UDK 621.31 ENJAAC 46 (1–6) 1 — 430 ISSN 0013-7448

energija

ČASOPIS HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

Zagreb, prosinac 1997.

SADRŽAJ ENERGIJE U 1997. GODINI

	str.	br.
Bajs D.: Sadašnji problemi i razvoj 110 kV mreže sjeverozapadnog dijela EES-a	355	6/97
Banić S. - Ilijanić V.: Djelotvornost koordinacijskih iskrišta 220 kV ugrađenih u DV polja postrojenja	177	3/97
Domac J. - Tomšić Ž.: Proizvodnja energije iz slame i kukuruzovine u Istočnoj Hrvatskoj	383	6/97
Feretić D. - Tomšić Ž.: Tehnički, energetski i ekonomski aspekti korištenja prirodnog plina u elektroenergetici	145	3/97
Ćuć S. - Radovanović J.: Pranje izolatora pod naponom	109	2/97
Jakl F. - Jakl A.: Problems of Conductor Heating Under Short Circuit Condition on Overhead Lines	255	4/97
Jengić A.: Polimerni materijali u elektroindustriji	403	6/97
Kalea M:. Neki aspekti rada pod naponom u visokonaponskim mrežama	95	2/97
Klečina F.: Zahtjevi za energetski informacijski sustav	283	5/97
Klepo M.: Model neizvjesnosti pojave opterećenja u modelu pouzdanosti i raspoloživosti elektroenergetskog sustava	135	3/97
Klepo M.: Modeli proizvodnih jedinica u modelu pouzdanosti i raspoloživosti ees-a - Model bazne jedinice	209	4/97
Klepo M.: Podloge za izgradnju tarifnog sustava za električnu energiju	367	6/97
Kovačević T. - Tomšić Ž. - Feretić D.: Vrednovanje šteta po okoliš u elektroenergetici	219	4/97
ixner J. - Kalea M.: Popravak DV 400 kV Ernestinovo-Tumbri radom pod naponom	87	2/97
Majstrović M. - Goić R. - Sutlović E. - Mudnić E. - Bajs D.: Utjecaj parametara revitaliziranih agregata 1 i 2 u HE Zakučac na prijelaznu stabilnost elektroenergetskog sustava	229	4/97
Malbaša N.: Položaj termoelektrana na ugljen u planiranju i razvoju elektroenergetike	3	1/97
Markovčić B.: Kako je počela široka elektrifikacija u Hrvatskoj	49	1/97
Matanić R.: Napredne izvedbe nuklearnih reaktora: Europski tlakovodni reaktor	305	5/97
Mesić M.: Sustavna zamjena visokonaponskih prekidača 400-110 kV u transformatorskim stanicama PrP Zagreb	45	1/97
Mileusnić E.: Sigurnost kod primjene privremenih električnih instalacija na gradilištima	75	2/97
Mravak I.: Specifične štete uslijed neisporučene električne energije i snage potrošačima	23	1/97
Nevečerel D. - Pavlović P.: Optimizacija tipa i presjeka zaštitnog užeta na DV 400 kV Žerjavinec - Heviz	311	5/97
Potočnik V.: Termoelektrane i industrijska ekologija	243	4/97
Protić R.: Uporaba prirodnog plina u proizvodnji gorivih ćelija (fuel colls)	19	1/97
Sabolić D.: Osnove optičkih komunikacija - I.dio: Prijenos optičkog signala svjetlovodnim vlaknom	319	5/97
Sabolić D.: Osnove optičkih komunikacija - II. dio: Generiranje, detekcija i pojačanje svjetlosnih impulsa u digitalnim prijenosnim sustavima	389	6/97
Sabolić D.: Utjecaj GSM mobilnih telefona na rad srčanih elektrostimulatora (pacemakera)	79	2/97
Sabolić D.: Suvremena kretanja u istraživanjima i normizaciji biomedicinskih učinaka elektromagnetskih polja	31	1/97
Sabolić D.: Kratak opis i usporedba digitalnih TDMA sustava pokretne telefonije	177	3/97
Sabolić D.: Razvoj treće generacije sustava mobilnih komunikacija bazirane na tehnici raspršnog spektra	247	4/97
Sarajčev I.: Određivanje očekivanih privremenih prenapona na metaloksidnim odvodnicima prenapona smještenim u polju blok transformatora pri naglom rasterećenju generatora	39	1/97
Schenner R.: Analiza utjecajnih faktora na kvalitetu napona u niskonaponskoj mreži	165	3/97
Subašić D. - Strohal P.: Međunarodne obveze RH na području zaštite od zračenja i nuklearne sigurnosti	155	3/97
Tešnjak S. - Kuzle I. - Brezovac M.: Modeliranje hidroelektrana	287	5/97
Vagić N.: Višenamjensko korištenje kondenzatorskih baterija	185	3/97
Wagmann L. - Mihalek E.: Metoda procjene viših harmonika u NN mreži zbog uporabe električnih nelinearnih trošila u kućanstvima	379	6/97
Žutobradić S.: Parametarska analiza impulsnih značajki složenih uzemljivača	71	2/97
Šander M.: Evaluacija kombi i kogeneracijskog postrojenja u TE-TO Zagreb	299	5/97

UDK 621.31 ENJAAC 46 (1) — (1997) 1— 68 ISSN 0013-7448

ČASOPIS HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

energija

Godište 46 (1997) Zagreb 1997 Br. 1

IZDAVAČI – PUBLISHER

Hrvatska elektroprivreda

POMOĆ U IZDAVANJU

Ministarstvo znanosti, tehnologije i informatike

IZDAVAČKI SAVJET – THE PUBLISHING COUNCIL

Branko *Grgić*, dipl. ing. (predsjednik), HEP Split – Adrijano *Fišer*, dipl. ing., HEP Rijeka – Marijan *Kalea*, dipl. ing., HEP Osijek – Damir *Karavidović*, dipl. ing., HEP Osijek – mr. Mladen *Mandić*, dipl. oec., HEP Zagreb – dr. Vladimir *Mikuličić*, dipl. ing., FER Zagreb – dr. Niko *Malbaša*, dipl. ing., Ekonerg, Zagreb

UREDNIČKI ODBOR - EDITORIAL BOARD

Glavni urednik - Editor-in-chief: dr. Zorko *Cvetković*, dipl. inž.

Urednik - Editor: Zdenka *Jelić*, prof.

Urednici rubrika – Contributing Editors: »Energetski sistemi«, dr. Goran *Granić*, dipl. ing. – »Hidroelektrane«, Vladimir *Prizl*, dipl. ing. – »Termoelektrane i toplane«, Ivan *Vučetić*, dipl. ing. – »Prijenos električne energije«, mr. Zdenko *Tonković*, dipl. ing. – »Razvoj, distribucija i potrošnja električne energije«, Mladen *Ježić*, dipl. ing. i Dasenko *Baldasari*, dipl. ing. – »Ekonomsko poslovanje i tarifna politika«, dr. Jure *Šimović*, dipl. ecc., Mladen *Mandić*, dipl. ecc. i Marijan *Magdić*, dipl. ecc. – »Ekologija«, dr. Niko *Malbaša*, dipl. ing. – »Informatika«, Nikola *Lastrić*, dipl. ing. – Tehnički urednik – Technical Editor: Branko *Mališ* – Lektor – Lingvistic Adviser: Šimun *Čagalj*,, prof. – Metrološka recenzija – Metrologic review: mr. Mladen *Zeljko*, dipl. ing.

Redakcija završena 1997 – 01 – 15

SADRŽAJ

Malbaša N.: Položaj termoelektrana na ugljen u planiranju i razvoju elektroenergetike (Pregledni članak) 3
Protić R.: Uporaba prirodnog plina u proizvodnji električne energije pomoću gorivih ćelija (Stručni članak) 19
Mravak I.: Specifične štete uslijed neisporučene električne energije i snage potrošačima (Prethodno priopćenje) 23
Sabolić D. – Zentner S. – Poldrugač B.: Suvremena kretanja u istraživanjima i normizaciji biomedicinskih učinaka elektro--magnetskih polja (Pregledni članak) 31
Sarajčev I.: Određivanje očekivanih privremenih prednapona na metaloksidnim odvodnicima prenapona smještenim u polju blok tansformatora pri naglom rasterećenju generatora (Prethodno priopćenje) 39
Mesić M.: Sustavna zamjena visokonaponskih prekidača 400-110 kV u transformatorskim stanicama PrP-a Zagreb (Pregledni članak) 45
Markovčić B.: Kako je počela široka elektrifikacija u Hrvatskoj (Stručni članak) 49
Vijesti iz elektroprivrede 53
Savjetovanja i konferencije 58
Iz strane stručne literature 63

Fotografija na omotnoj strani

NE KRŠKO

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 A4 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 članka 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 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, professional 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 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

POLOŽAJ TERMOELEKTRANA NA UGLJEN U PLANIRANJU I RAZVOJU ELEKTROENERGETIKE

Dr. sc. Niko Malbaša, Zagreb

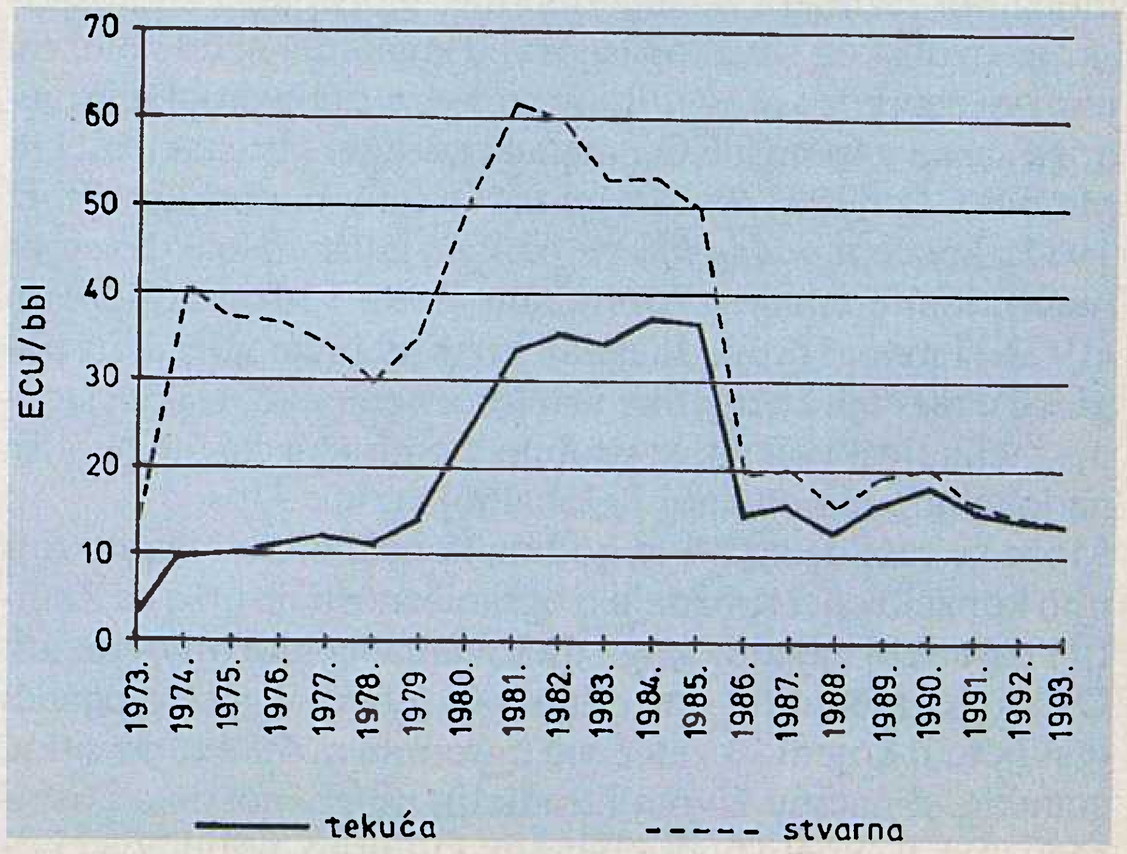
UDK 621.311.22:621.31
PREGLEDNI ČLANAK

Dan je pregled razvoja termoenergetike u proteklih tridesetak godina s posebnim osvrtom na razvoj termoelektrana na ugljen. Posebno su analizirana nova tehnološka rješenja termoelektrana na ugljen, te mogućnost udovoljavanja novim, sve oštrijim normama zaštite okoliša.
U cijelom razmatranom periodu uglen je bio temeljno gorivo za proizvodnju električne energije u svijetu, a to je i danas. Proizvodnja električne energije iz ugljena iznosi trenutno 59% od ukupno proizvedene električne energije iz fosilnih goriva. U Europskoj uniji je taj postotak još i veći (67%), a u Sjevernoj Americi (74%), srednjoj i istočnoj Europi (78%) i Aziji (76%) još i iznad toga.
Zanimljivo je kako ugljen nikada od energetičara nije deklariran kao gorivo budućnosti; uvijek su postojala rješenja kvalitetnija s gledišta okoliša, prihvatljivija javnosti i s boljim iskorištenjem goriva. Svoju vodeću ulogu on prije svega ima zahvaliti nekim bitnim prednostima - sigurnosti dobave, stabilnoj cijeni i ogromnim rezervama u svijetu koje su raspoređene na svim kontinentima.
To su prednosti koje će ugljen, usprkos povremenim zastojima, još dugo održati na ključnom mjestu u svjetskoj elektroenergetici.

Ključne riječi: termoelektrane na ugljen, planiranje razvoja, nova tehnološka rješenja.

Uvod

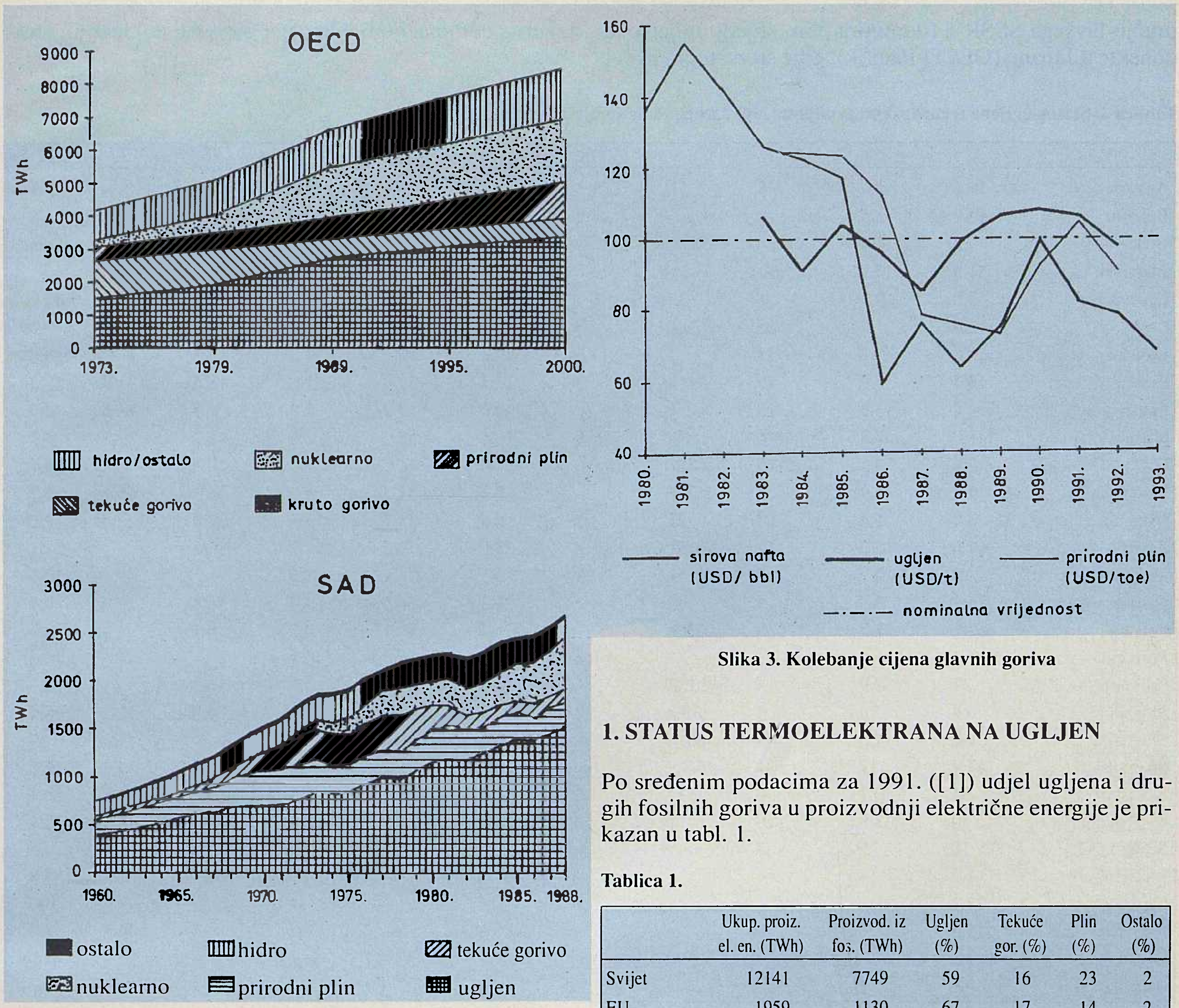
Da je prije tridesetak godina, oko **1965**. godine, netko pitao svjetske energetičare koje će gorivo prevladavati u elektroenergetskoj budućnosti, jamačno bi se najviše njih opredijelilo za **tekuća goriva**. Razloge za takav odgovor bilo je lako objasniti. Barel nafte stajao je manje od tri dolara, izvori su izgledali nepresušni, nagao razvitak automobilske industrije tražio je ogromne količine benzina, a ostatke rafinerijskog postupka, razna loživa ulja, gotovo da nije bilo moguće prodati. Tehnološka rješenja termoelektrana bila su već usvojena, a zbog jeftinoga goriva, traženje nekih novih tehnoloških mogućnosti nije ničim bilo stimulirano.
Problematika utjecaja na okoliš, kao dio sustavne akcije, nije uopće postojala. Ne samo da nije bilo organiziranih skupina ni državnih organa koji bi se zanimali za okoliš, nego je bio vrlo rijedak i pojedinačan znanstveni interes za ove teme.
Otprilike 1960. god. bilo je instalirano u zemljama OECD-a oko 25.000 MW u elektranama na tekuće gorivo i one su proizvodile oko 100 TWh električne energije godišnje, a već 1973. je instalirana snaga porasla na oko 250.000 MW s proizvodnjom od preko 1000 TWh godišnje.
Sve se, međutim, gotovo trenutno preokrenulo. Naftna kriza iz 1973. godine, te njen ponovni udar s početkom 80-tih, definitivno su pokopali perspektivu tekućega goriva u elektroenergetici. Cijena sirove nafte s 2-3 skočila je na desetak dolara po barelu (1974.), odnosno na više od 35 USD/bbl (1980.-1985.).
Danas su cijene sirove nafte opet niske, realno na razini od prije 1973. (usp. sl. 1, prema [1]), ali se povratak tekućega goriva u elektroenergetiku teško može očekivati. Razlozi za to nisu više samo ekonomski. Godine 1990. u zemljama OECD-a bilo je instalirano oko 240.000 MW u elektranama na tekuće gorivo s proizvodnjom od svega oko 600 TWh/god, s tendencijom daljnjega pada u budućnosti. Od 1973. do 1990. udio tekućega goriva se smanjio s 26% na 9%, a 2000. god. taj udio neće prelaziti 7% [2].
Da je energetičare netko **1975**. godine pitao o perspektivama elektroenergetike, svi bi, gotovo uglas, uskliknuli: **Nuklearna energija**. Imali bi za takvu tvrdnju stotinu argumenata, a gotovo nijedan protiv. Nova se moćna tehnologija pokazala spasonosnim rješenjem u situaciji opterećenoj nestabilnim tržištem nafte i političkim previranjima u područjima glavnih zemalja proizvođača. Planirano je, u relativno kratkom periodu u svijetu izgraditi na stotine nuklearnih elektrana, od toga u bivšoj Jugoslaviji, sjetimo se, čak dvadesetak.
Ubrzo su se javili i prvi organizirani otpori. Nakon dokumenata NEPA (National Environment Policy Act) od 1. siječnja 1970. u SAD-u i konferencije UN o okolišu u Stockholmu, 1972., naglo se širi pokret brige za okoliš koji ubrzo počinje pretendirati i na politički utjecaj. Glavna su meta postale nuklearne elektrane, jer je oponiranje nuklearnim elektranama stvaralo široke mogućnosti za jednostav-



Slika 1. Cijena sirove nafte

nu medijsku i političku eksploataciju. Nuklearne elektrane su se ipak ubrzo gradile i do 1985. izgrađeno je oko 200.000 MW, s proizvodnjom od 1200 TWh godišnje.
Međutim, planovi se nisu ni približno ispunili. Nezgoda na *Otoku tri milje* u SAD-u u proljeće 1979. godine, iako bez ikakvih posljedica po okoliš, zapanjila je stručnjake. I pored desetljeća vrlo detaljnih analiza sigurnosti nuklearnih elektrana, u kojima su razmatrane tisuće raznih scenarija moguće nezgode, zbio se događaj čiji slijed nitko nije predvidio. Pokazalo se da u području nuklearne sigurnosti još postoje tajne. Pokrenut je ogroman stručni potencijal u čitavome svijetu, postavljena su nova pravila, svaki je reaktor u zapadnim zemljama detaljno pregledan i podešen prema novim zahtjevima. Nuklearna je sigurnost opet dovedena na potrebnu razinu. Ali zastoj je bio neizbježan. Osim toga novi zahtjevi su zakomplicirali radne postupke i znatno povisili troškove rada i održavanja. Troškovi su kapitala pri izgradnji novih objekata enormno porasli zbog zastoja u izgradnji poradi novih sigurnosnih zahtjeva, a također i zbog nagloga porasta cijene kapitala uvjetovane restriktivnom monetarnom politikom s početka 80-tih (*"reganomika"*, *"tačerizam"*). Električna je energija iz nuklearnih elektrana odjednom poskupjela.
Eksplozija reaktora u Černobilju u proljeće 1986. godine bila je ustvari mnogo više najava raspada jednog političkog sustava nego rezultat tehničke ili tehnološke pogreške u nuklearnoj sferi. Sudbonosne pogreške nisu napravili inženjeri u elektrani, nego su one napravljene u središtu političkoga i vojnopolitičkoga odlučivanja. Ipak, taj je događaj gotovo posvuda u svijetu okrenuo stav javnosti protiv nuklearnih elektrana.
Iako se i nakon 1986. povećava instalirana snaga nuklearnih elektrana i njihova proizvodnja, ne može se nikako reći da su nuklearne elektrane ispunile očekivanja energetičara iz sredine 70-tih.
Nakon lošeg iskustva s tekućim gorivom i s nuklearnom energijom, što bi energetičari odgovorili **1985**. na pitanje o perspektivi elektroenergetike? Recept bi jamačno bio: **štednja energije i obnovljivi izvori.**
Restriktivni monetarizam prve svjetske sile, kao odgovor na rastrošne 70-te, doveo je do nagloga porasta cijene kapitala, smanjenja investiranja u nove objekte, pada stopa porasta. Ukratko: ozdravljenje, restrukturiranje, štednja. Tehnološki razvoj i napredak, umjesto investicijske ekspanzije. Smanjenje potrošnje i zaposlenosti, ali porast kvalitete. Svijest o ograničenim resursima i o ekološkim prijetnjama globalnih razmjera (kisele oborine, ugroženost stratosferskoga ozonskog sloja, opasnost od stvaranja neravnoteže u izmjeni energije kroz zemljinu atmoferu zbog promjene njenoga sastava (porast CO_2, metana i drugih tzv. stakleničkih plinova). Izvještaj *Brundtland* ("Our common future"), iz 1987., koncept *podnošljivog razvoja* (sustainable development), konferencije u Montrealu (1986.) i Rio de Janeiru (1992.) i mnogi drugi događaji imali su bitan utjecaj na poglede u razvoju energetike i elektroenergetike. Dakle, štednja i tehnološki razvitak, osobito u području zaštite okoliša na lokalnoj, regionalnoj i globalnoj razini.
Može se reći da su 80-te godine konačno dovele do krajnjih konzekvenci spoznaju o ograničenosti resursa na Zemlji i o potrebi zajedničkoga djelovanja na globalnoj razini. Ostalo je, međutim, bez odgovora pitanje kako to postići u svijetu u kojem su zatečene ogromne razlike u razvitku, standardu, načinu života i tradiciji, mogućnostima i aspiracijama, u svijetu podijeljenom: kulturno, politički i civilizacijski.

U svemu su elektroenergetičari opet promašili. Uza svu štednju i tehnološki razvitak, brzo se pokazalo da ni u najrazvijenijim zemljama nije moguće zaustaviti porast potrošnje električne energije. Stope porasta nisu doduše velike, ali 2-3 posto godišnje izgleda da je granica ispod koje se nikako nije moguće spustiti. U manje razvijenim zemljama i u zemljama u razvitku ni godišnji porast od pet i više posto nije iznenađenje.
Porast proizvodnje hidroelektrana i drugih obnovljivih izvora je zamjetljiv, ali sadašnji udio u elektroenergetici od oko 18 posto je izgleda njihov dugoročni maksimum.
I konačno, što kažu energetičari u **1995.** o temi razvitka elektroenergetike? Nakon svih promašaja, uglavnom šute. Posebno u zapadnim zemljama, a osobito u Europi. Dio ih se uvukao pod političke skute svojih državnih administracija, jer su valjda konačno shvatili da je energetika ustvari politika i ništa više, a dio ih se okrenuo prema zaštiti okoliša kao hit-temi, pa su energetski skupovi u posljednje vrijeme gotovo postali ekološki skupovi.
Logično je onda da su energetičari 90-ih postali kompotni oportunisti. Igraju na jedinu kartu koju vole čuti i političari i javnost: **plin.** Kao i u prijašnjim periodima sve im ide u prilog: plin je razmjerno jeftin, ekološki podoban, općenito prihvatljiv u javnosti, a na raspolaganju su vrhunska tehnološka rješenja s vrlo visokim stupnjem iskorištenja goriva. Međutim već su sada uočljive i moguće pukotine: otkud plin, tko će namiriti povećane zahtjeve, što će biti s cijenom, tko garantira opskrbu u višegodišnjem periodu?
U ovome kratkom prikazu gotovo cjelokupne povijesti organizirane elektroenergetike nikada pri pogledu u budućnost, u globalnim svjetskim predviđanjima, kao dominantna značajka razvitka elektroenergetike nije spomenut **ugljen.** A upravo je ugljen cijelo to vrijeme, u posljednjih 30 godina, a dakako i prije toga, bio stožerno gorivo u svjetskoj elektroenergetici s gotovo fantastičnom disperzijom; svega se nekoliko zemalja u svijetu ne koristi ugljenom u elektroenergetici.
Da paradoks bude veći, kroz cijeli taj period su postojala tehnološka rješenja koja proizvode jeftiniju električnu energiju od elektrana na ugljen; uvijek su postojala rješenja koja su kvalitetnija s obzirom na zaštitu okoliša; uvijek su postojala rješenja prihvatljivija javnosti i uvijek su postojala rješenja s boljim iskorištenjem goriva.
Udio ugljena je u proizvodnji električne energije uvijek bio iznad 35% u zemljama OECD-a, a danas je oko 40%. Proizvodnja električne energije iz termoelektrana na ugljen se od 1973. udvostručila u zemljama OECD-a, porasla je s oko 1500 TWh/god na oko 3000 TWh/god u 1995. (sl. 2, [2]).
Naravno, stabilan položaj ugljena u elektroenergetici nije slučajan. Postoji niz prednosti koje ima ugljen i kojima on uspijeva kompenzirati svoje nedostatke.
Glavna mu je prednost u sigurnosti dobave, a to je značajka koja se u elektroenergetici vrednuje više od cijene. Sigurnost dobave proizlazi iz ogromnih zaliha ugljena koje su raspodijeljene mnogo ravnomjernije nego zalihe nafte i plina, a nalaze se u politički mnogo stabilnijim zemljama. Tako su npr., prema stanju iz 1989. god ukupne potvrđene eksploatabilne zalihe konvencionalnih goriva iznosile 3911 milijardi barela ekvivalentne nafte (ne računajući zemlje bivšega istočnoga političkog bloka), od čega se na ugljen odnosi 2355 Gbbl ili 60,2%, na naftu 918 Gbbl ili 23,5%, na plin 489 Gbbl ili 12,5%, te na uran ostatak od 149 Gbbl ili 3,8%, prema [3].



Slika 2. Proizvodnja električne energije

Slika 3. Kolebanje cijena glavnih goriva

Osim toga te se zalihe, pretežno nalaze u zemljama OECD-a, dakle u politički stabilnim razvijenim zemljama, a zalihe nafte i plina uglavnom se nalaze u zemljama OPEC-a i u području bivšega SSSR-a.

Mnoge su zemlje počele s upotrebom vlastitoga ugljena i na tome stvorile izvjesnu tradiciju. U posljednje je vrijeme i međunarodna trgovina ugljenom sve veća (244 Mt u 1995., s predviđenim porastom na 352 Mt u 2000. god.), a zbog ogromnih rezervi stalno se otvaraju nova nalazišta, pa je ponuda tradicionalno veća od potražnje.

Druga je velika prednost ugljena u relativnoj stabilnosti cijene. Iako cijena ugljena reagira na promjene cijene drugih energenata, u prvom redu sirove nafte, reakcija je prigušena (usp. sl. 3, prema [4]).

U posljednje su vrijeme termoelektrane na ugljen i tehnološki obnovljene, postoje već na pragu komercijalne primjene i nova tehnološka rješenja, opskrbljene su s vrlo kvalitetnim sustavima zaštite okoliša, a znatno im je porasla i iskoristivost goriva.

O pojedinostima tehnoloških rješenja bit će u ovome članku još govora, a sada pogledajmo neke činjenice o termoelektranama na ugljen, prije svega u europskim zemljama.

1. STATUS TERMOELEKTRANA NA UGLJEN

Po sređenim podacima za 1991. ([1]) udjel ugljena i drugih fosilnih goriva u proizvodnji električne energije je prikazan u tabl. 1.

Tablica 1.

	Ukup. proiz. el. en. (TWh)	Proizvod. iz fos. (TWh)	Ugljen (%)	Tekuće gor. (%)	Plin (%)	Ostalo (%)
Svijet	12141	7749	59	16	23	2
EU	1959	1130	67	17	14	2
EFTA	427	53	44	10	25	21
Sr. i ist. Europa	427	318	78	10	12	0
Ex SSSR	1703	1224	32	15	52	1
Sj. Amerika	3875	2518	74	8	13	5
OECD-Pacifik	1069	720	37	35	25	3
Mediteran	64	41	61	16	23	0
Afrika	330	261	68	17	15	0
Srednji istok	229	218	5	49	46	0
Azija	1538	1146	76	15	7	2
J. Amerika	520	118	11	39	47	3

Ukupno je, dakle, udio električne energije proizvedene iz fosilnih izvora (uključena je i geotermalna energija) u svijetu oko 64 posto, a u Europi (Europska unija, EFTA, Srednja i Istočna Europa, bez zemalja bivšega SSSR-a) oko 53 posto.

U fosilnim gorivima dominira ugljen, u svijetu 59 posto, u Europskoj uniji 67 posto, u srednjoj i istočnoj Europi čak 78 posto. Udio ugljena u fosilnim gorivima je 74 posto u Sjev. Americi, 76 posto u Aziji (bez Japana koji je uključen u OECD-Pacifik) i 68 posto u Africi.

Ugljen je malo zastupljen u J. Americi (tamo dominira hidroenergija), na Srednjem istoku (što je razumljivo); u po-

području bivšega SSSR-a (dominira plin, slijedi ugljen), te donekle u Japanu (OECD-Pacifik), gdje su zastupljeni svi izvori s dominacijom tekućega goriva u nuklearnih elektrana.

Tablica 2. Status ugljena u europskim zemljama, 1992. (bez zemalja bivšega SSSR-a)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Austrija	16.8	2.4	8	0.7L	1.8	5.3	10.6	6.0	13.6	–	69.8
Belgija	14.0	5.5	14	–	8.2	19.4	26.8	2.1	9.3	60.2	1.6
BiH	n	1.9	4	L	–	n	n	–	–	–	n
Bugarska	11.5	5.7	25.0L	3.0	13.6	35.0	4.9	16.2	33.9	10.0	
Hrvatska	3.8	0.1	1	0.1	0.1	0.3	2.8	23.1	13.0	17.6	43.2
Češka	13.4	7	15	75L,K	1.5	46.0	1.3	0.7	20.0	2.0	
Danska	9.6	71.7	17	–	12.3	27.2	90.7	4.0	2.3	–	3.0
Finska	13.3	5.8	19	n	4.3	16.2	29.4	1.8	8.6	33.0	27.2
Francuska	104.4	13.6	18	n	n	42.0	9.2	1.9	0.6	73.6	14.7
Njemačka	118.0	57.8	116	117c	8	310.6	58.2	2.6	6.2	29.8	3.2
Grčka	8.9	4.5	6	52L	0.5	26.9	71.9	21.7	0.3	–	6.1
Mađarska	7.2	1.9	8	15L,S	–	9.4	31.3	6.0	16.3	45.7	0.7
Irska	3.8	1.3	3	2T	1.9	8.9	58.1	15.7	22.9	–	3.3
Italija	61.6	10.3	13	0.3ce,L	10.9ce	22.9	10.5	52.2	16.2	–	21.1
Makedonija	1.4	0.7	2	5L	–	3.5	76.1	4.3	–	–	19.6
Nizozemska	15.1	3.7	6	–	8.4ce	26.3	34.0	4.4	56.3	4.9	0.4
Poljska	32.2	27.0	38	107S,K	–	121.0	97.1	0.5	0.1	–	2.8
Portugal	7.4	1.4	3	–	3.1ce	11.2	37,2	46.2	–	–	16.6
Rumunjska	22	9	14	6ce,L,K	–	15.6	27.5	10.7	36.1	–	25.7
Slovačka	6.4	n	4	3S,L	2	7.1	31.3	4.0	4.8	51.5	8.4
Slovenija	n	1.0	3	3.9L,S	–	4	40	10	–	20	30
Španjolska	43.9	11	21	16.3ce	7.1ce	66.4	41.2	9.2	2.2	34.6	12.8
Švedska	34	0.7	6	0.8T	1.2	5.3	3.7	1.3	0.4	43.8	50.8
V. Britanija	70	38.8	29	75	5	201.7	62.5	8.6	2.7	24.1	2.1
Srbija i CG	10	6	7	n	–	n	n	n	–	–	n
Luksemburg	1.2	–	–	–	–	–	–	4.9	39.3	–	55.8
Norveška	27.1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	100
Švicarska	15.5	–	–	–	–	–	–	0.7	0.4	40.5	58.4
Island	1.0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	100
Albanija	n	–	–	–	–	–	–	7	–	–	93

Stupci u tabl. 2.

1 Ime zemlje
2 Ukupna snaga u elektroenergetskome sustavu, GW
3 Ukupna snaga termoelektrana na ugljen, GW
4 Broj termoelektrana na ugljen (broj lokacija)
5 Potrošnja vlastitoga ugljena, Mt (v. napomenu)
6 Potrošnja uvoznoga ugljena, Mt (v. napomenu)
7 Proizvodnja električne energije u termoelektranama na ugljen, TWh/g
8 Udio ugljena u proizvodnji električne energije, %
9 Udio tekućega goriva u proizvodnji električne energije, %
10 Udio plina u proizvodnji električne energije, %
11 Udio nuklearne energije u proizvodnji električne energije, %
12 Udio hidroelektrana i ostaloga u proizvodnji električne energije, %

Napomena za stupce br. 5 i 6: Ako uz broj nije ništa dopisano, radi se o milijunima tona kamenoga ugljena. Oznake L, S, K i T dodatno označavaju lignit, smeđi ugljen, kameni ugljen i treset. Oznaka ce znači da je količina svedena po ogorjevnoj vrijednosti na standardni ugljen (29300 MJ/kg).
Napomena za sve stupce: Oznaka n znači da podaci nisu dostupni, odnosno da im je kvaliteta problematična. Crtica označava nulu.

U tabl. 2 dan je status ugljena u europskim zemljama (prema [10]). U čak 11 zemalja: Bugarska, Češka, Danska, Njemačka, Grčka, Irska, Makedonija, Poljska, Slovenija, Španjolska i V. Britanija ugljen je vodeće gorivo u termoelektranama s udjelom od 35 posto (Bugarska) do 97,1 posto (Poljska). U 7 zemalja: Belgija, finska, Mađarska, Nizozemska, Portugal, Rumunjska i Slovačka ugljen je drugo gorivo - u četiri zemlje nakon nuklearne energije, u dvije nakon plina i u jednoj nakon tekućega goriva.

Ukupna snaga termoelektrana na ugljen u Europi, prema tabl. 2, iznosi 225.000 MW, a one se nalaze na 385 lokacija.

U Europu se uveze godišnje za potrebe termoelektrana oko 80 Mt (milijuna tona) ugljena, najviše u Dansku, Italiju, Nizozemsku i Belgiju.

Poljska, Mađarska, Makedonija, Rumunjska i Slovenija upotrebljavaju vlastiti ugljen, a to uglavnom vrijedi i za Bugarsku, Češku, Njemačku i Grčku. Nasuprot tome,

Belgija, Danska, Nizozemska i Portugal, a uglavnom i Italija uvoze ukupnu količinu za potrebe termoelektrana.
Ako gledamo europske mediteranske zemlje (Španjolska, Francuska, Italija, Grčka), one imaju oko 40.000 MW instalirane snage u termoelektranama na ugljen, a uvoze oko 20 Mt ugljena godišnje, dakle četvrtinu europskoga uvoza.

1.1. Starost elektrana i njihov radni potencijal

Analizirana su ukupno 1093 bloka europskih elektrana na ugljen, ukupne snage 209.201 MW. Prosječna snaga po bloku je dakle 191 MW. Od toga je 439 blokova ukupne snage 52.351 MW u bivšim istočnim zemljama (po istočnoj tehnologiji) i njihova je prosječna snaga 119 MW, a 654 bloka ukupne snage 156.850 MW, s prosječnom snagom od 240 MW po bloku, su u ostalim europskim zemljama.
Podaci o godini ulaska u pogon su raspoloživi za 1081 blok ukupne snage 205.156 MW i analiza je dana u tabl. 3. Isto je učinjeno i za američke elektrane na ugljen u tabl. 4.
Vidi se da je u Europi oko 750 blokova s oko 120.000 MW pušteno u rad prije 1975. godine, dakle stariji su od 20 godina, a više od 850 blokova, s ukupnom snagom od oko 145.000 MW ušlo je u pogon prije 1980. god. Američke su elektrane još starije.
U 2010. godini, koja se obično navodi kao referentna za srednjoročno planiranje, svi će ti blokovi zbog dotrajalosti i neekonomičnosti biti izvan pogona. Naime, sasvim sigurno se neće ponoviti sadašnja situacija kad su još u radu i neke jedinice stare više od 30 pa i 40 godina, jer nova serija elektrana (ne samo na ugljen) radi s bitno boljim stupnjem djelovanja i dovoljan je samo blagi porast cijena goriva (a on je neizbježan), pa da stare jedinice presele u područje vršnoga rada ili budu zatvorene.

Tablica 3. Starost europskih elektrana

Ulazak u pogon	Snaga, MW	Broj blokova	Pros. snaga	Kumulativno
do 1959.	9770	159	61(*)	9770
1960.-1964.	21191	191	111	30961
1965.-1969.	39829	217	184	70786
1970.-1974.	46552	186	250	117338
1975.-1979.	27283	104	262	144621
1980.-1984.	27181	100	272	171802
1985.-1989.	22171	83	267	193973
1990.-1991. (1993.)	10983	41	268	205156

(*) U periodu do 1960. mnoge su jedinice napravljene iz većeg broja kotlova i turbina sa zajedničkim parnim kolektorom, pa su prosječne snage po kotlu ili turbini manje. Tako je npr. još u radu elektrana-toplana u Leipzigu, puštena u rad 1939., ukupne električne snage 310 MW, koja se sastoji iz 14 parnih kotlova i 11 turbina.

Budući da će se sasvim sigurno na postojećim lokacijama s elektranama na ugljen graditi novi objekti također na ugljen (jer lokacija je resurs koji se teško napušta, osobito u situaciji u kojoj je mukotrpan put do novih lokacija), to znači da samo obnovom starih jedinica Europa treba od 1992. (to je godina na kojoj se temelji ova analiza) do 2010. izgraditi 145.000 MW novih jedinica na ugljen.
Taj će broj biti jamačno i veći jer niz blokova, prije svega u bivšim zemljama europskoga Istoka neće odraditi ni realno moguć radni vijek zbog tehnološke i koncepcijske zastarjelosti.

Tablica 4. Starost elektrana u SAD-u

Ulazak u pogon	Snaga, MW	Broj blokova	Pros. snaga	Kumulativno
do 1949.	5840	142	41	5840
1950.-1954.	20689	230	90	26529
1955.-1959.	28868	200	144	55397
1960.-1964.	25273	142	178	80670
1965.-1959.	43213	135	320	123883
1970.-1974.	65807	133	495	189690
1975.-1979.	53602	106	506	243292
1980.-1984.	54036	107	505	297328
1985.-1989.	20839	40	521	318167
1990.-1992.	5322	13	409	323489

Osim toga, dio blokova će se prije zatvoriti i zbog ekoloških razloga. Naime, prema usvojenim i u većini europskih država prihvaćenim normama zaštite okoliša, već nakon 2000., a najkasnije do 2005., će postati obveza primjenjivanje vrlo strogih standarda zaštite okoliša i na stare objekte, što će za većinu njih značiti i kraj rada, jer to neće moći ekonomski podnijeti.
Uostalom, ni Hrvatska tu nije izuzetak i vrlo je vjerojatno da nijedan od postojećih blokova termoelektrana neće doživjeti 2010. iako nam to teško pada i nastojimo izmisliti razne razloge da se to ne dogodi. Nismo mi u tome jedini. Ni Europa se lako ne odriče starih objekata, barem što se tiče planova njihovih državnih administracija, jedu vlastitu energetsku supstancu i čekaju bolja vremena, ali zato će biti bolnije suočavanje sa stvarnošću za desetak godina onih koji nisu shvatili da je termoelektrana od 30 godina poput čovjeka od 80 - mogu biti zdravi i sposobni za rad, ali se na njima ne može graditi budućnost.
Problem starih objekata je nov problem u svijetu elektroenergetike. Električna energija doduše, vuče svoje korijene još iz prošloga stoljeća, ali zamah dobiva tek 30-tih godina ovoga stoljeća, a pravu ekspanziju tek 60-tih. Stoga se izlasci iz pogona starih objekata gotovo i nisu događali prije 1980. Čak i kasnije, u 80-tim, zbog visoke cijene kapitala i opadajućih cijena goriva (v. sl. 1), nije bilo uputno odricati se starih objekata. Uostalom, elektroenergetski su sustavi mahom bili preizgrađeni u 70-tim godinama zbog očekivanih visokih stopa gospodarskoga porasta, koje se u 80-tim nisu ni približno realizirale.
Tako se prije desetak godina u uvjetima visokih cijena kapitala i niske cijene goriva, javila kao spasonosna formula mogućnost revitalizacije, odnosno produljenja životnog vijeka objekata. naime, kako god bili oronuli i tehnološki zastarjeli, stari su objekti proizvodili jeftiniju električnu energiju nego mogući novi, koji su k tome bili opterećeni i mnogo strožim uvjetima zaštite okoliša.
U takvom je ozračju napravljena i projekcija razvitka hrvatske elektroenergetike na početku ovoga desetljeća [5]. Ratna zbilja i niz problema s tim u vezi, samo su dodatno pojačali opći dojam da nam je najvažnija zadaća zadržati postojeće objekte u radu koliko je god to moguće. Takav je stav i aktualan i još se nekako može braniti, ali već sutra je moguć veliki zaokret.
Način i lakoća s kojom Hrvatska potpisuje međunarodne sporazume značajne za razvitak elektroenergetike (npr. CO_2

protokol) pokazuje da je taj zaokret, iako možda mnogi nisu toga svjesni, već nastupio.
Mišljenje je autora ovoga teksta da koncepcija revitalizacije starih objekata, kao način produljenja njihova životnoga vijeka, barem ako je riječ o razvijenim i europskim zemljama već pripada prošlosti. Izuzetan tehnološki napredak posljednjih desetak godina donio je nove, znatno produktivnije mogućnosti. Naravno revitalizacijom se ovdje ne smatra rekonstrukcija starih objekata, što je čest slučaj, kad se bitno mijenja tehnološka osnova elektrane uz iskorištenje nekih starih sustava (najčešće je to parna turbina s generatorom).
Osim toga, padom Berlinskoga zida otvoreno je, ili će se otvoriti nakon stabiliziranja političkih prilika, ogromno gradilište na Istoku. smanjenje izdataka u vojne svrhe stvorit će veliku količinu raspoloživoga kapitala kojemu će cijena padati, a cijene će se energenata - zbog ograničenih zaliha i zbog sve skupljih nalazišta, te zbog zaštitnih ekoloških taksa koje će postati opća pojava - neizbježno povećavati. U takvoj situaciji pobjeđuju nova tehnološka rješenja, koja su u vodećim razvijenim zemljama već pripremljena i iskušana. Kako će se u tome snaći termoelektrane na ugljen? O tome nešto više u nastavku ovoga teksta.

2. RAZVITAK NOVIH TEHNOLOŠKIH RJEŠENJA ZA TERMOELEKTRANE NA UGLJEN

Gotovo od samih početaka razvitak termoelektrana s kraja prošloga stoljeća, bolje rečeno otkada je parna turbina istisnula stapni parni stroj, nije bilo bitne koncepcijske promjene u termoelektrani na ugljen. Ona se sastoji od parnoga kotla, parne turbine i kondenzatora s rashladnim sustavom, te električnoga generatora.
Nešto se veća tehnološka promjena dogodila postupnim prijelazom od loženja na rešetki na loženje ugljene prašine, pa se tako uvode dva nova bitna elementa sadašnjih termoelektrana: mlinovi ugljena i kvalitetni filtri dimnih plinova, te prevladavanje aksijalno pogonjene parne turbine nad radijalnom, što je omogućilo realizaciju stupnjevanoga zagrijavanja napojne vode i time bitnoga poboljšanja termičkoga stupnja djelovanja.
Zadana tako sa svojim osnovnim dijelovima, termoelektrana na ugljen se tehnološki razvijala u kontinuitetu, bez radikalnih promjena, pritom je tehnološki razvitak u pravilu uvijek bio znatno ispred prektične primjene. Tome su sljedeći razlozi:

1. Gotovo sve do 60-ih godina potrebne su električne energije bile relativno male, a elektroenergetski sustavi, čak i u industrijski najrazvijenijim zemljama, slabo razvijeni. To je ograničavalo izgradnju jedinica većih snaga, a za manje jedinice se niz tehnoloških unapređenja jednostavno nije isplatio. Tako je, npr., još 30-tih godina bilo moguće napraviti parni kotao i turbinu za tlak viši od 200 bara, ali u praksi taj tlak nije prelazio 50 bara, jer je to kod jedinica do 50 MW, koje su se tada najčešće gradile, bilo tehnički optimalno.
2. U početku, sve do sredine stoljeća, termoelektrane na ugljen su uglavnom bile vršne elektrane za elektroenergetske sustave koji su se uglavnom temeljili na hidroelektranama. U takvoj situaciji njihov tehnološki razvoj nije bio posebno stimuliran.
3. Dugo je ugljen bio ekskluzivno gorivo u termoelektranama. Tek sredinom 60-tih naglo se povećava upotreba loživih ulja, zbog njihove povećane proizvodnje i niske cijene, te donekle prirodnoga plina, uglavnom na mjestima eksploatacije nafte, ali temeljno na istoj tehnologiji, što ugljenu nije bila veća zapreka, jer su niske cijene tekućih goriva vrlo kratko trajale.
4. U tehnološkome smislu termoelektrane na ugljen nisu, sve do posljednjih desetak godina, imale ni valjanu tehnološku konkurenciju. Doduše, još zarana su se počeli razvijati dizelski strojevi i plinske turbine kao moguća konkurencija, ali su ipak došli prekasno. Naime, njihove jedinične snage su stalno bivale znatno manje od optimalnih za elektroenergetske sustave koji su se brzo razvili, pa su i jedinične snage jedinica u sustavu također naglo rasle. To su termoelektrane na ugljen mogle lako slijediti, ali dizelski stroj i plinska turbina nisu. Oni su postali pravo rješenje za brodsku propulziju, a u elektroenergetskim sustavima tek kao vršne jedinice ili kao moguća rješenja za izolirana područja.

U posljednje vrijeme, točnije u posljednjih 10-15 godina dogodile su se međutim velike promjene koje su termoelektrane na ugljen, odnosno njihovu klasičnu varijantu, stavile pred teška iskušenja.

2.1. Termoelektrana na ugljen i zahtjevi s gledišta zaštite okoliša

Dvije su bitne opće spoznaje iz 70-tih godina doživjele u 80-tih svoj vrhunac s dugoročnim i definitivnim utjecajem na elektroenergetiku. To su: 1) spoznaja o potrebi radikalne zaštite okoliša kao zajedničkoga dobra od neprocjenljive važnosti, te 2) spoznaja o ograničenosti resursa na Zemlji i o permanentnoj, gotovo inherentnoj nestabilnosti što je ta spoznaja proizvodi u svjetskome gospodarstvu, a u energetici i elektroenergetici osobito.
Kad god svjetsko gospodarstvo dođe u krizu tehnološki je razvitak jedini način prevladavanja problema. Tako je bilo i u ovome slučaju i rezultati su zaista dojmljivi.
Kako su u tome prošle termoelektrane na ugljen i kakve odgovore one mogu ponuditi? U nastavku se opisuju tehnička i tehnološka rješenje na termoelektranama na ugljen koja prije svega odgovaraju na zahtjeve utjecaja na okoliš.
Pod utjecajem na okoliš se osobito misli na posljedice emisija iz termoelektrane u zrak, vodu i tlo, na buku izazvanu radom objekta, na probleme s otpadnim tvarima, ali sve više se vodi računa i o vizualnim i općenito estetskim značajkama elektrane i o njenome uklapanju u prostor. Utjecaj može biti lokalan, regionalan, kontinentalan i globalan. Osobito su globalni utjecaji termoelektrana na ugljen u posljednje vrijeme u središtu pozornosti, jer su one veliki emiteri ugljičnoga dioksida čije gomilanje u atmosferi može dovesti do globalnih promjena klime na Zemlji.

2.1.1. *Emisija sumpornoga dioksida, SO_2*

Ugljen sadrži najčešće do 1% sumpora u organskim i anorganskim spojevima i taj sumpor izgaranjem u ložištu parnoga kotla prelazi u SO_2. Manja, kod kamenih ugljena gotovo zanemariva, količina SO_2 se veže na čestice pepela (osobito ako u pepelu postoji veća količina CaO i MgO,

što je rijetkost), a ostatak je spreman putem dimnjaka otići u atmosferu.
Sumporni dioksid je plin koji u manjim količinama nastaje i u prirodi (0,005-0,015 mg/m³). Ljudi nisu osobito osjetljivi na taj relativno slabo otrovan plin, pa akutni simptomi nisu ustanovljeni kod najosjetljivijih osoba ni pri 1 mg/m³ u duljem periodu (većina ljudi osjeti miris pri oko 0,7 mg/m³), ali su neke biljke (osobito jela i slične čitinjače) izuzetno osjetljive, pa su posljedice uočene već pri trajnim koncentracijama od 0,06 mg/m³.
Međutim, čak se i ovako niske koncentracije rijetko mogu pojaviti u okolici termoelektrane i to u najgorim meteorološkim situacijama.
Problem vezan za SO_2 je ustvari regionalan, jer raspadajući se u atmosferi brzinom od 1-3 posto na sat tvori sulfatnu grupu SO_4 uz oslobađanje dva kationa vodika H+ pa na većim udljenostima (i do 1000 km) sudjeluje u tzv. kiselim oborinama.
Zbog toga se, od početka 80-tih, osobito u Njemačkoj, Japanu i SAD-u, a danas praktično posvuda, instaliraju u novim elektranama (i jednom dijelu starih) uređaji za odsumporavanje koji za 85-95 posto smanjuju emisiju SO_2. Tako bi jedna elektrana, trošeći ugljen s 1 posto sumpora, emitirala u atmosferu oko 2.000 mg/m³, a s uređajem za odsumporavanje će emitirati 100-300 mg/m³, ovisno o stupnju odsumporavanja.
Tehnologija odsumporavanja se u barem 70 posto slučajeva temelji na stvaranju suspenzije vapnenca ($CaCO_3$) ili vapna (CaO) kroz koju prostrujavaju dimni plinovi pri čemu se SO_2 veže i dodatno oksidira pa se stvara prilično čist gips ($CaSO_4 \times 2H_2O$) kao nusproizvod ovoga procesa. Tehnologija, dakle uvodi i neke komplikacije. Potrebno je pronaći kvalitetan vapnenac, organizirati eksploataciju, dopremu, mljevenje i skladištenje. S druge strane gips se mora osušiti i prirediti za skladištenje, odvoz s lokacije ili deponiranje.
Sve su to rješivi problemi, ali cijeli postupak stoji oko 100 USD/kW (oko 7% investicije u elektranu), a potrošnja energije također nije beznačajna (nekoliko postotaka od proizvedene električne energije).
U tabl. 5 je prikazano stanje uređaja za odsumporavanje u Europi. vidljivo je da je to još uvijek nova tehnologija za većinu zemalja (mnogo veće snage su u planu ili u izgradnji nego u pogonu). Izuzetak su Njemačka i Austrija, te uglavnom Nizozemska, Danska i Finska.

Tablica 5. Status uređaja za odsumporavanje u Europi [11]

Zemlja	Plan. (MW)	Ugovoreno (MW)		U pogonu (MW)	
		Vlažni	Suhi/polus.	Vlažni	Suhi/polus.
Austrija	-	400	210	815	785
Bugarska	200	2100	-	-	-
Češka	2360	2100	-	-	220
Danska	-	1695	-	870	1380
Finska	-	2015	230	-	560
Francuska	1200	-	-	-	500
Njemačka	3800	6900	180	38000	3780
Grčka	200	-	-	-	-
Mađarska	-	-	-	-	100
Italija	9000	400	-	30	80
Nizozemska	1200	-	-	2730	-
Poljska	2000	3200	1800	-	-
Rumunjska	-	-	-	-	100
Slovačka	-	220	-	-	-
Slovenija	350	265	-	-755	
Švedska	125	-	-	-	1060
Španjolska	1050	-	-	-	-
Turska	840	-	-	300	-
Velika Britanija	2000	6000	-	-	-

2.1.2. *Emisija dušičnih oksida, NO_x*

Ugljen sadrži oko 1-2 posto dušika, a mnogo veća se količina dovodi u ložište sa zrakom za izgaranje. Dušik iz goriva, te dio dušika iz zraka oksidiraju u ložištu u NO, koji brzo prelazi u mnogo otrovniji i opasniji NO_2. U kombinaciji s ugljikovodicima u atmosferi, uz katalitičko djelovanje sunčeve svjetlosti, stvara se iz NO_2 ozon (pri čemu se NO_2 stalno regenerira), a ozon je vjerojatno najotrovnija prirodna tvar koja uopće postoji, iako srećom vrlo rijetko dostiže koncentracije štetne za ljude i vegetaciju.
Ciklus NO_2-ugljikovodici-ozon karakterističan je za prometna vozila, jer ona emitiraju velike količine i NO_2 i ugljikovodika (naravno, ako nemaju katalizator). Dušični oksidi emitirani iz termoelektrana opasniji su zbog prijelaza u nitratnu grupu NO_3, pri čemu se oslobađa H^+ tako da i emisija NO_X-a sudjeluje u kiselim oborinama iako mu je štetni efekt, zbog nekih dodatni povoljnih reakcija u tlu, nekoliko puta mnji nego SO_2.
Zbog toga se emisiji NOx-a iz termoelektrana tradicionalno poklanjala manja pozornost nego emisiji SO_2. Osim toga i emisija je manja i iznosi uglavnom između 800 i 1400 mg/m³, ako se ne poduzmu nikakve zaštitne mjere.
Naravno, nakon što su, prije svega velike i razvijene zemlje - Njemačka, Japan i SAD, pa i neke druge (Austrija, Nizozemska, Danska) gotovo riješile problem vezan uz SO_2 i svele ga na manje od 400 mg/m³ u emisiji, problem emisije NO_X-a je naglo izbio u prvi plan.
Postoje mnoga tehnološka rješenja za smanjivanje emisije NOx-a iz termoelektrana na ugljen. Ona se uglavnom dijele na dvije skupine: 1) mjere u ložišu, 2) čišćenje dimnih plinova.
Mjere u ložištu su jeftinije, ali je smanjenje emisije relativno malo (30%-50%). Ograničenje emisije NOx-a od 650 mg/m³, što je još uvijek prevladavajući kriterij u mnogim zemljama, uglavnom se može postići ovim mjerama. Kod starih objekata ima ovaj pristup znatnu prednost, jer je pročišćavanje dimnih plinova teško realizirati (najčešće zbog nedostatka prostora) na ekonomski prihvatljiv način.
Tehnološki se mjere u ložištu temelje na činjenici da je za stvaranje dušikova oksida potrebna istovremeno visoka temperatura (1200 i više stupnjeva), te prisutnost slobodnoga kisika. Stoga se izgaranje tako projektira da se u jednome dijelu ložišta postižu visoke temperature, ali s podstehiometrijskim sadržajem zraka (kisika), a u drugome dijelu ložišta se dodaje obilna količina zraka kako bi se izgaranje u potpunosti realiziralo, ali su tamo temperature znatno niže. Naravno, raspoloživ je niz tehnika kojima se to postiže (npr. OFA - over fire air).
Najbolji se rezultati postižu pročišćavanjem dimnih plinova, pri čemu u velikoj većini prevladavaju načini temeljeni na selektivnoj katalitičkoj redukciji NOx-a (tzv. SCR uređaji). Upravo su SCR uređaji ono što se najčešće skriva pod pojmom *$deNO_x$* uređaj.

SCR metoda se temelji na uštrcavanju amonijaka u dimne plinove u prisutnosti katalizatora pri čemu se NO i NO_2 razgrađuju na dušik i vodenu paru. Katalizator je najčešće (98% izvedenih) izgrađen iz titanova oksida, često s dodatkom vanadija i volframa, najčešće (60%) u obliku pčelinjega saća ili ploče (30%). SCR uređaji su se najprije počeli primjenjivati u Japanu (1980.) i Njemačkoj (1985.), te nešto kasnije u Austriji. U posljednjih 5-6 godina još su neke zemlje počele graditi SCR uređaje, a danas se već grade i planiraju na većini novih objekata.

Kvaliteta katalitičke reakcije bitno ovisi o temperaturi. Optimum je uglavnom oko 350°C, što nije nimalo zgodno. Naime budući da filtri dimnih plinova i uređaj za odsumporavanje rade optimalno pri znatno nižoj temperaturi, u SCR uređaj ulaze prljavi dimni plinovi s cjelokupnim sadržajem letećega pepela i sumpornoga dioksida. Zato se takav položaj SCR uređaja obično zove "high dust", pa je kratica za ovu varijantu HDSCR. Pepeo mehanički šteti katalizatoru, a SO_2 inhibira njegovo djelovanje. Stoga SCR uređaj bolje i dulje radi ako je ugljen s manje sumpora i pepela.

Tehnički se ovaj problem može riješiti na dva načina i oba su ugrađena u nizu objekata, iako HD varijanta prevladava.

Prvi je način da se filtar dimnih plinova stavi na mjesto koje mu baš i ne odgovara, ispred SCR uređaja, dakle na temperaturu 350°C. Ovo je rješenje primijenjeno u Japanu na nekoliko objekata. To je tzv. "low dust" varijanta, pa se ova konfiguracija označava s LDSCR.

Drugi je način da se SCR uređaj postavi iza filtra dimnih plinova i iza uređaja za odsumporavanje. To je tzv. "tail end" varijanta, najčešće upotrebljavana u Njemačkoj kod postojećih jedinica, jer za ostale varijante kod tih objekata ne postoji razpoloživi prostor između *ekonomajzera* i predgrijača zraka, gdje je njegovo prirodno mjesto.

Nedostatak je ove varijante što se plinovi nakon izlaska iz uređaja za odsumporavanje moraju grijati na 350°C, što je znatan utrošak energije. Kako bi se taj nedostatak prevladao, u posljednje se vrijeme razvijaju sustavi prilagođeni nižim temperaturama dimnih plinova.

SCR uređaj snižava sadržaj NOx-a za oko 70-85%. Ako se želi veće smanjenje postoji opasnost da se na izlazu pojavi povećana koncentracija amonijaka, a osobito u pepelu, što može izključiti mogućnost primjene toga pepela npr. u cementnoj industriji. (Zbog toga je za ovaj detalj poželjno da ugljen sadrži više pepela!).

Kombinacijom mjera u ložištu i SCR uređaja može se kod termoelektrana na ugljen smanjiti emisija NOx-a na manje od 200 mg/m^3.

Uređaj je jeftiniji od uređaja za odsumporavanje (oko 80 USD/kW, tj. oko 6% investicije u elektranu), ali su troškovi rada i održavanja veći zbog izmjene katalizatora svake 3 godine (tendencija je da se ovaj period produlji na 5 godina).

2.1.3. *Emisija čestica pepela*

Kameni ugljen sadrži najčešće između 5% i 15% negorivih tvari, od čega se oko 15% u kotlu nakon izgaranja aglomerira u šljaku (ako se radi o načinu odvođenja pepela u suhome stanju, što je danas uobičajeno za normalan kameni ugljen) a ostatak tvori tzv. leteći pepeo koji bi, da nema filtra, kroz dimnjak *pobjegao* u okoliš.

Izgaranjem ugljena s 15% negorivih tvari (uz pretpostavku da se iz kilograma ugljena stvara 9,3 m^3 dimnih plinova svedenih na uobičajene standardne uvjete - suhi plin, 5% kisika u d.p., 1013 hPa, 0°C) emitiralo bi se u atmosferu oko 13.700 mg/mg^3 pepela.

Srećom je tehnologija filtara toliko napredovala da je moguće sa suvremenim elektrostatičkim filtrima eliminirati 99 do 99,5% čestica, a ako je baš potrebno i uz povoljne karakteristike ugljena i znatno više (do 99,8%). Moguće je za još bolje performance upotrijebiti i tzv. vrećaste filtre, čija se tehnologija naglo razvija u poboljšanju trajnosti i smanjenju osjetljivosti materijala od kojih su napravljeni, te sniženju cijene.

S gledišta elektrostatskoga filtra, povoljnije je ako je dimni plin bolje električne vodljivosti, a to je uglavnom povezano s povećanim sadržajem SO_2 u d.p. Tako ono što je loše za SCR uređaj (povećana količina SO_2 u d.p.) postaje dobro za elektrostatički filtar.

U navedenom će primjeru količina čestica na izlazu iz filtra biti između 137 mg/m^3 i 68 mg/m^3, a ako bi stupanj otprašivanja iznosio 99,8% taj bi se sadržaj smanjio na svega 27 mg/m^3. Nužno je dodati da plin, nakon izlaska iz filtra, prolazi kroz uređaj za odsumporavanje koji također odstrani barem 505 čestica, pa je stvarna emisija dvostruko niža od ovih brojaka.

Razumljivo, ako je sadržaj negorivih tvari u ugljenu manji od 15%, emisija će biti još razmjerno niža.

Tako se može reći da će termoelektrana na ugljen ramjerno lako udvoljiti zahtjevu od 50 mg/m^3, što je trenutno najstroži standard.

Elaktrostatički filtar stoji približno kao i uređaj za odsumporavanje (oko 100 USD/kW), a troškovi u eksploataciji nisu osobito veliki.

2.1.4. *Manipulacija s ugljenom i zbrinjavanje krutih proizvoda izgaranja*

Već i šira javnost polako prihvaća činjenicu da je moguće u termoelektranama na ugljen osigurati i održati u radu izuzetno niske emisije glavnih onečišćenja - SO_2, NOx i čestica. Stoga se sve više pojavljuje otpor prema samome ugljenu, načinu njegove dopreme i skladištenja na lokaciji, te prema nusproizvodima izgaranja ugljena i rada elektrane općenito.

U ovom dijelu problema nastaje niz tehnoloških mogućnosti sa sljedećim ciljevima: 1) spriječiti raznošenje prašine ugljena i nusproizvoda (tzv. fugitivne emisije), 2) povećati iskorištenje nusproizvoda izgaranja i rada elektrane, 3) popraviti vizualni i estetski dojam o elektrani kao cjelini i o njenim pojedinim dijelovima.

Elektrana snage 500 MW (a to je otprilike minimalna snaga kod koje se s vrhunskom zaštitom okoliša neće ugroziti rentabilnost elektrane) treba godišnje oko 1.000.000 tona kvalitetnoga kamenog ugljena (s donjom ogrjevnom vrijednošću od barem 26 MJ/kg). Ako ugljen ima 1% sumpora i 10% negorivih tvari, tada je potrebno dopremiti godišnje na lokaciju elektrane oko 30.000 tona vanprenca i otpremiti oko 170.000 tona pepela i šljake, te oko 50.000 tona gipsa.

Pepeo i osobito gips se mogu upotrijebiti u industriji cementa, pri čemu obje strane imaju korist, a osobito okoliš, a šljaka se može iskoristiti i u cestogradnji, za nasipanja i ravnanja terena i sl.

Pepeo i šljaka, kao uostalom i gips, mogu se i trajno odložiti na deponiju, prema propisima koji vrijede za tu vrstu tehnološkoga otpada.

Što se tiče fugitivnih emisija najjednostavnije je cijeli sustav napraviti u zatvorenoj izvedbi, a tako je moguće realizirati i vizualne i estetske zahtjeve.

Danas je tehnika stvaranja zatvorenih skladišta, silosa i transportne infrastrukture toliko napredovala da to više nije preskupo. Naravno, što će se i kako primijeniti ovisi o značajkama lokacije i o lokacijskim uvjetima.

Prekrcaj s broda i na brod je također poboljšan s gledišta zaštite okoliša. Sve je više uređaja za kontinuirani iskrcaj, te brodova s instaliranim uređajima za iskrcavanje, uz razne tehnike za eliminiranje prašenja, čak i pri vrlo snažnome vjetru.

2.1.5. *Emisija ugljičnoga dioksida*

Kameni ugljen sadrži oko dvije trećine ugljika (u gorivim spojevima više od 90%), koji izgaranjem prelazi u ugljični dioksid, CO_2. Tako izgaranjem tone ugljena nastaju oko 2,5 tone CO_2.

Ugljični dioksid nije štetan ni otrovan, a za većinu biljaka je nužan, jer one u procesu fotosinteze iz ugljičnoga dioksida stvaraju organsku tvar, pretvarajući tako sunčevu energiju u kemijsku energiju koja se vraća natrag (kao i potrošeni CO_2) izgaranjem organske tvari.

Računa se da se u procesu fotosinteze godišnje potroši na Zemlji oko 600 milijardi tona Co_2, a toliko ga se po prilici i stvori disanjem organizama, oksidacijom organske tvari u prirodi, razgradnjom karbonatnih stijena i drugim prirodnim mehanizmima.

Razvitkom energetike i porastom potrošnje fosilnih goriva proizvodi se sve više CO_2 umjetnim putem, trenutno godišnje oko 20 milijardi tona, pa mu se količina u atmosferi stalno povećava.

Ugljičnoga dioksida ima u atmosferi relativno malo (0,035%), ali je uključen s još nekim plinovima u niz regulirajućih mehanizama, prije svega pri reguliranju izmjene energije između Zemlje i izvanzemljinog prostora.

Stoga se pretpostavlja da bi povećanje sadržaja CO_2 u atmosferi moglo poremetiti tu izmjenu energije i dovesti do nepovoljnih promjena područja temperature i općenito klime na Zemlji. Zbog toga se na globalnome planu nastoji smanjiti proizvodnja CO_2, iako čvrsta međunarodna regulativa u tome smislu još ne postoji, s jedne strane zbog toga što još ne postoji suglasnost o mogućim opasnostima, a također i zbog evidentne istine kako promjene ne bi sve jednako pogodile.

Problem povećanja CO_2 pogađa konvencionalnu energetiku, pritom najviše ugljen, jer je u njemu sadržaj ugljika u gorivoj tvari najveći (oko 95%), ali i tekuće gorivo (sadržaj ugljika oko 85%) i prirodni plin (sadržaj ugljika 75%). Stoga se u razgovorima između energetičara ponekad spominje kako je cijelu priču lansirao tzv. "nuklearni lobby", jer su, u nedostatku tehničkih mjera za eliminaciju CO_2 iz dimnih plinova, a pod pretpostavkom oštrih ograničenja, nuklearne elektrane jedini izlaz.

Naravno, moguća je i druga interpretacija po kojoj neki drugi, nazovimo ga "nenuklearni lobby", namjerno umanjuje moguće probleme vezane uz CO_2 da ne bi prepustio nuklearnoj energiji odlučujuću prednost.

U svakom slučaju za Hrvatsku, koja emitira manje od 0,5% od svjetske proizvodnje CO_2, ovaj je problem, barem za sada, bez ikakvoga značenja i činjenica da smo vrlo promptno i na brzinu stvorili izvjesne međunarodne obveze na ovom području (prije Kine, Rusije, SAD-a i mnogih drugih velikih zemalja), ostavlja mogućnost jedino za čuđenje. Zlobnici bi rekli: Konačno potpisasmo nešto što zaista nitko od nas nije tražio.

2.1.6. *Otpadne vode*

Ova je tema ovdje samo radi kompletnosti, jer su svi problemi već odavno riješeni i samo je pitanje kakvi će se zahtjevi postaviti. Termoelektrana na ugljen ne proizvodi veliku količinu otpadnih voda, pa je sve zahtjeve moguće realizirati s relativno malim ulaganjima.

Poseban je problem voda za hlađenje kondenzatora elektrane, s obzirom da su potrebne velike količine vode, ali to je podjednak problem za sve termoelektrane s mogućim rješenjima praktično bez posljedica za okoliš.

2.2. Pregled tehničkih inovacija na vitalnim sustavima termoelektrane na ugljen

Osim razvitka opreme za zaštitu okoliša i njene primjene, kako na novim tako i na dijelu novijih postojećih objekata, posljednjih godina postoji i vrlo dinamičan ravitak na osnovnim tehnološkim sustavima termoelektrana na ugljen.

Razvitak je tu išao u nekoliko pravaca: 1) razvitak osnovnoga koncepta termoelektrane na ugljen, 2) razvitak koncepta izgaranja u fluidiziranom sloju, 3) razvitak integriranog koncepta s rasplinjavanjem ugljena.

U ovome će se poglavlju razmotriti razvitak temeljen na klasičnoj tehnologiji, a u sljedećemu razvitak novih sustava.

Kao što je već rečeno, zahtjevi vezani uz zaštitu okoliša su dominantno utjecali na razvitak temoelektrana na ugljen (kao i drugih elektroenergetskih rješenja). Pritom je stupanj djelovanja elektrane, tj. stupanj pretvorbe kemijske energije goriva u električnu energiju na generatoru bitan čimbenik. Ako je stupanj djelovanja veći, tada je za istu količinu proizvedene električne energije potrebno manje goriva, pa su i sve emisije u okoliš niže. Ako se promatra emisija CO_2 kao bitan faktor, tada je povećanje djelotvornosti pretvorbe energije praktično jedini način smanjena emisije.

Nova kvaliteta na konceptu klasične termoelektane na ugljen je realizirana s nizom malih poboljšanja. Pritom se može reći kako ni jedno od tih poboljšanja nije bilo nepoznato, ali zbog stanovitih razloga ona nisu do sada živjela u komercijalnom smislu. Tako je npr. prva elektrana sa superkritičnim parametrima pare (30 Mpa/650°C) napravljena u Rusiji još prije 30 godina, a oko 220, uglavnom toplanskih objekatak, nešto nižim parametrima (uglavnom 24 MPa/565C) još je u radu. Slično se dogodilo i u SAD-u, ali je tamo sve ostalo na jednoj elektrani (30 MPa/560°C), isključivo zbog ekonomskih razloga.

U posljednje vrijeme, prije svega zbog nagloga razvitka novih materijala, te općega napretka tehnike uspjelo je napraviti objekt s visokim stupnjem pretvorbe energije, izdržljiv i pouzdan u radu, ekološki vrlo prihvatljiv i ekonomski konkurentan.

U radu je već nekoliko elektrana iz ove generacije, a glavni su predstavnici elektrana Hekinan u Japanu, Esbjerg u

Danskoj i Meri-Pori u Finskoj. U Danskoj su u izgradnji još dvije elektrane s još naprednijim rješenjima (npr. Skaerbaek), a i Njemačka počinje primjenjivati možda najkvalitetnije rješenje od svih (Hessler).
U tabl. 6 su dani osnovni usporedbeni podaci.
Glavne su značajke svih projekata sljedeće:

1. Vrlo visok stupanj djelovanja koji prelazi 42%. Pritom finske i danske elektrane zahvaljuju to dijelom i izuzetno hladoj rashladnoj vodi, pa će možda najveći domet postići njemačka elektrana koja s rashladnim tornjevima garantira 45%, a pri snazi od svega 40 posto od nominalne, stupanj djelovanja je još uvijek 42 posto.
2. Visok stupanj djelovanja postignut je nizom mjera (npr. sniženje temperature dimnih plinova na izlazu iz zagrijača zraka sa 125 na 115°C dodaje 0,24 postotka stupnju djelovanja). Poboljšanja imaju i svoje nedostatke koje istovremeno treba riješiti. U rečenom primjeru sniženje temperature d. p. može izazvati koroziju ako ugljen ima mnogo sumpora, a malo kalcijevih i magnezijevih oksida.
Postoje i optimizacije višega reda, jer ako ugljen ima malo sumpora i mnogo kalcijevih i magnezijevih okdisa, lošije će raditi elektrostatički filtar, a može biti ugrožena i upotreba pepela. Ako se u ugljenu nalazi manje negorivih tvari, riješit će se problem čestica, ali se može pojaviti problem viška amonijaka u pepelu, što opet ugrožava njegovu primjenu uz nepovoljne efekte u okolici (neugodan miris).
Elektrane su u odnosu na klasične sheme postale znatno kompliciranije, ali su napredovali regulacija i upravljanje, pa se niz problema u radu izbjegava na taj način.
3. Naravno, glavni doprinos visokom stupnju djelovanja dolazi od parametara pare. Oni spadaju u natkritične ili ultranatkritične, pri čemu se tlakovi približavaju 30 Mpa (300 bara), a temperature 600°C. Broj zagrijača napojne vode je barem 8, pa čak do 10, a na elektrani Skaerbaek se gradi dvostruko međupregrijanje pare (na 7,7 i na 1,9 MPa) što će znatno podići stupanj djelovanja turbinskoga ciklusa.
4. Najviše ipak treba zahvaliti razvitku novih materijala koji mogu podnositi visoke temperature. To su već tradicionalno čelici legirani kromom i molibdenom, a dodaju se za razne dijelove i volfram, niobij, dušik i dr. Poznati su pod oznakama X20, P91, E911 i sl. Od njih se izgrađuju najopterećeniji dijelovi: cijevni snopovi pregrijača, najvruće sekcije međupregrijača, parni vodovi visokoga tlaka i dijelovi parne turbine. Sve je više i titana, a kondenzatori iz titana su već uobičajeni standard. Razvitak je vrlo intenzivan i brz, pa se elektrane koje se sada grade vće po upotrijebljenim materijalima znatno razlikuju od onih puštenih u rad prije 2-3 godine. Tako npr. na elektrani Hessler upotrebljavaju P91 umjesto X20 na nekim komponentama i time povećavaju fleksibilnost elektrane pri promjeni opterećenja.

2.3. Nova koncepcijski različita tehnološka rješenja

Za razliku od klasične termoelektrane na ugljen, čiji je razvitak ukratko opisan u prethodnom poglavlju, razvijaju se u posljednjih desetak godina i nova, koncepcijski različita rješenja termoelektrana na ugljen. U osnovi se radi o dva tipa objekata s mnogo mogućih varijanti. Glavni su

Tablica 6.

Parametar	Hekinam	Esbjerg	Meri-Pori	Skaerbaek	Hessler
Snaga bloka (jedinice), MW	700	385	560	415	732
Godina ulaska u pogon	1992.	1993.	1993.	1997.	n
Podrijetlo ugljena	razno	n	Pol, Kol.	JA, Kol.	n
Finoća meljeve, %/mikron	80/200	n	n	85/90	n
Snaga tehničkog minimuma, %	30	35	n	n	< 40
Tlak svježe pare, MPa	25,5	25,1	24	28,5	27,5
Temperatura svježe pare, °C	543	560	540	580	580
Broj međupregrijanja	1	1	1	2	1
Temperatura međupregrij., °C	593	560	560	580/580	600
Temp. na izlazu iz zagr. zr. °C	n	104	n	n	105-125
Broj zagrijača napojne vode	n	n	n	10	9
Temp. nap. v. (ul. u kotao), °C	n	275	n	n	300
Sadržaj sumpora u uglj., %	< 1	1-3	0,3-1,7	1-3	n
Sadržaj dušika u uglj., %	<1,8	n	n	n	n
Broj gorača ugljena	3x4	4x4	3x10	3x4	n
Neizgoreni ugljik, %	oko 2	n	n	n	n
Uređaj za odsumporavanje	da	da	da	da	da
Sniž. NO_x u kotlu, OFA i sl.	da	da	ne	da	n
Gorač za sinženje NO_x-a	ne	ne	da	da	n
SCR uređaj	da	ne	da	da	da
Elektrostatički filtar	da	da	da	da	da
Vlažni elektrostatički filtar	da	ne	ne	n	n
Emisija SO_2, mg/m^3	< 150	n	400	< 400	n
Emisija NO_x, mg/m^3	< 90	n	200	n	n
Emisija čestica, mg/m^3	< 10	< 50	60	30	n
Tip hlađenja kondenzatora	n	protočni	protočni	protočni	optočni
Tlak kondenzacije, kPa	n	n	n	2,3	n
Stupanj djelovanja kotla, %	n	n	n	95,4	n
Neto stupanj djelovanja, %	41,9	45,3	43,5	49	> 45

predstavnici tih rješenja: *1) sustav izgaranja ugljena u atmosferskome cirkulirajućem fluidiziranome sloju* (CFB – Circulating FLuidized Bed), *2) sustav izgaranja ugljena u pretlačnome stacionarnom fluidiziranome sloju* (obično označava kao PSFB – Pressurized Stationary Fluidized Bed ili PFBC – Pressurized Fluidized Bed Combustion), i *3) integrirani sustav kombiniranih postrojenja s rasplinjavanjem ugljena* (IGCC – Integrated Gasification COmbined Cycle ili CGCC – Coal Gasification Combined Cycle).

2.3.1. *CFB sustavi*

CFB su rješenja sa najvećom praktičnom primjenom, postoji u radu oko 200 objekata, ali uglavnom male snage, do 50 MW. Posljednjih godina grade se i veće jedinice, a najveća je do sada puštena u rad potkrak prošle godine (250 MW, Provence Gardanne, Francuska, L37). Vjeruje se kako će iskustva na tom bloku pomoći pri koncipiranju velikoga bloka CFB snage 600 MW.

Velika je prednost CFB blokova što mogu upotrebljavati ugljen i ostatke rafinacije nafte vrlo loše kvalitete, a pritom je emisija u okoliš vrlo niska. Elektrana Gardenne troši ugljen s 11-14 posto vlage, 28-34 posto pepela, 3,7 posto sumpora, ogrjevne vrijdnosti 13-14 MJ/kg, a emitira u okoliš manje od 400 mg/m3 SO_2 i manje od 250 mg/m^3 NOx. Parametri svježe pare su 16,3 MPa i 565°C s jednim međupregrijanjem na istoj temperaturi.

Nedostatak je u razmjerno niskome stupnju djelovanja (manji od 38 posto), te u pepelu nepodesnome za upotrebu zbog loše strukture i visokoga sadžaja kalcijeva i magnezijeva oksida i gipsa.

2.3.2. *PFBC sustavi*

Razvitak tehnologije izgaranja ugljena u fluidiziranome sloju s povišenim tlakom u ložištu od samoga početka (60-tih godina) temeljio se na principima stacionarnog sloja. Danas se sustavi s pretlačnim stacionarnim fluidiziranim slojem, nalaze na početku komercijalne primjene. Tijekom 1989/90. puštena su u pogon PSFB postrojenja u Švedskoj (Vaertan), Španjolskoj (Escatron) i SAD-u (Tidd). Sva tri projekta temelje se na ABB tehnologiji (blokovi tipa P200 približno podjednake snage, oko 80 MW). Tvrtka ABB razvila je i jedinice P800 izlazne snage cca 350 MW. Završetak izgradnje jednoga takvog bloka u Japanu na lokaciji Karita planiran je ove godine.

U ložište s pretlačnim stacionarnim FB-om ubacuje se pripremljeno gorivo na način koji ovisi o sastavu ugljena (ogrijevnoj vrijednosti i sadržaju sumpora). Izgaranje se odvija na tlaku 1,2-1,6 MPa (što je određeno tipom plinske turbine) i na temperaturi 750-900°C (gornja granica je limitirana točkom taljenja pepela i reakcijama vezivanja sumpora). Toplina izgaranja skorištava se u parnom ciklusu (proizvodnja pregrijane pare i međupregrijanje). Tlak rezultirajućih dimnih plinova (iz kojih se u ciklonima, neposredno na izlazu iz ložišta, odstranjuju krute čestice) iskorištava se u plinskoj turbini koja pokreće kompresor i putem reduktora spojeni generator električne energije. Dio od ukupno proizvedene energije postrojenja koji se proizvede u plinskoj turbini iznosi maksimalno 20%. Toplina ekspandiranih dimnih plinova (temperatura na izlazu iz turbine iznosi približo 400°C) iskorištava se za zagrijavanje napojne vode i to čini manji dio (10-15%) od ukupno predane topline parnom krugu.

Vidljivo je da PFBC sustav uvodi plinsku turbinu koja podiže stupanj djelovanja, ali ostaju problemi s pepelom koji je konglomerat raznih tvari s vrlo ograničenom mogućnošću upotrebe.

Na elektrani Karita primjenjena je posebno konstruirana plinska turbina GT140P snage 70 MW, s temperaturom plinova na ulazu od 850°C, a ostatak od 285 MW se proizvede u parnoj turbini. Tlak u kotlu je 1,6 Mpa, a parametri pare 24,1 MPa/566°C. Može podnijeti sve vrste goriva, od lignita do antracita. Sorbent je vapnenac, a stupanj djelovanja oko 43 posto.

Pri upotrebi ugljena ogrjevne vrijednosti od oko 25 MJ/kg s 1 posto sumpora, emitira se u atmosferu oko 200 mg/m^3 SO_2, manje od 300 mg/m^3, NO_x, te 30 mg/m^3

Glavni tehnološki problem ostaje razvoj filtara za visoki tlak i visoku temperaturu koji bi osigurali potrebnu čistoću plinova na ulazu u plinsku turbinu. Također, budući da se odsumporavanje realizira u ložištu, smanjena je kiselost, pa time i vodljivost dimnih plinova što otežava rad elektrostatskih filtara, pa se oni moraju locirati u toploj zoni ili zamijeniti vrećastim filtrima, koji opet imaju nekih svojih specifičnih problema u radu.

Nedostatak može biti i u razmjerno visokoj emisiji CO, te N_2O koji su rezultat snižavanja NO_X-a.

2.3.3. *IGCC sustavi*

IGCC tehnologija je rješenje kod kojega se ugljen u primarnome dijelu rasplinjava tako da nepotpuno izgara u uvjetima nedovoljnoga pristupa kisika. Rasplinjavanje se odvija u posebnim pećima – plinskim generatorima (rasplinjačima). U plinski generator dovode se gorivo, kisik (zrak) i vodena para, a kemijske reakcije izgaranja rezultiraju plinom i krutim ostatkom. Teži se da proizvedeni plin sadrži veći postotak H_2 i CO. Tako dobiveni plin, nakon adekvatnoga tretmana, izgara u komori plinske turbine (poput prirodnoga plina), dok se toplina ispušnih plinova iskorištava u parnome ciklusu postrojenja.

Postoji nekoliko različitih izvedbi rasplinjača, ali su tri tipa: 1) **rasplinjavanje u prostoru** (nosioci tehnologije Shell, Prenflow, Krupp Koppers, Texaco, Dow Chemical, NEDO, GSP, VEW), 2) *rasplinjavanje u sloju* (najpoznatije su tehnološke izvedbe Lurgi, British Gas/Lurgi i KIlnGAS) i 3) rasplinjavanje u fluidiziranom sloju (nosioci tehnologije KRW, British Coal, U-Gas, HT-Winkler). Međutim, princip rada svih tipova je u osnovi jednak.

Očekuje se da će intenzivna ulaganja u razvitak ove tehnologije vrlo brzo omogućiti njenu širu komercijalnu primjenu. Prva komercijalna IGCC termoelektrana izlazne (neto) snage 250 MW u Buggenumu (Nizozemska) puštena je u rad krajem 1993, a nekoliko drugih projekata, snage do 600 MW nalazi se u raznim fazama planiranja, odnosno izgradnje.

U elektrani Buggenum je primijenjen rasplinjač tvrtke Shell koji radi na temperaturi od 1500°C, a parametri parnoga ciklusa su 12,5 MPa i 510°C. Ukupni stupanj djelovanja postrojenja je 43 posto. Ako bi se usvojila tehnologija čišćenja plina na visokoj temperaturi, otpala bi potreba hlađenja plina iza rasplinjača, pa bi stupanj djelovanja porastao na 44-45 posto.

Kako je riječ o novome tehnološkom rješenju ekološke su prednosti nesumnjive. Odsumporavanje se realizira s 99% efikasnosti, pa je emisija SO_2 niža od 20 mg/m³. Odsumporavanjem se proizvodi čisti sumpor, oko 5000 t/g za elektranu od 350 MW, koji je neopasan i komercijalno vrijedan proizvod. Emisija NOx je također niska ne prelazi 150 mg/m³ uz uvjet dodavanja pare ili vode u komoru izgaanja plinske turbine ili uz upotrebu posebnoga gorača za sniženje emisije NOx-a. IGCC proces s lakoćom udovoljava i ograničenju emisije čestica; ta je emisija i nekoliko puta niža od uobičajenoga ograničenja. Čvrsti otpadni proizvod je u obliku gašene slijepljene šljake s ograničenom mogućnošću upotrebe pa se predviđa odlaganje šljake na prikladan deponij. Olakšavajuća je okolnost što je šljaka u obliku vrlo otpornome na ispiranje, pa se može odložiti gotovo na svakoj lokaciji bez većih mjera zaštite.
Ostali otpad iz tehnološkoga procesa odlaže se na poseban deponij ili se obrađuje prema regulativi za opasni otpad.
Najveći problem IGCC postrojenja je potencijalna proizvodnja velike količine tekućih efluenata. Osobiti je problem teških metala koje uređajem za obradu otpadnih voda često nije moguće svesti na potrebnu mjeru. Stoga je u sustav uključen proces isparavanja u kojem se otpadne vode koncentriraju prije konačne obrade.
Krajem prošle godine puštena je u rad elektrana na rijeci Wabash, kao prvo IGCC postrojenje u SAD-u, neto snage 262 MW (bruto snage 296 MW, vlastita potrošnja 34 MW). Pritom se u plinskoj turbini proizvedu 192 MW, a u parnome dijelu 104 MW, s ukupnim neto stupnjem djelovanja 42 posto. Novost je ovoga postrojenja odvajanje čestica iz vrućih plinova.
Postrojenje se temelji na tehnologiji firme Dow Chemical. Iako upotrebljava razmjerno loš ugljen s 2,5 posto sumpora, emisije u okoliš su vrlo niske: 30 mg/m³ SO_2, 100 mg/m³ NOx, 60 mg/m³ CO, 10 mg/m³ čestica i oko 3 mg/m³ hlapljivih organskih tvari.

3. ZAKLJUČAK

Što reći, nakon svega, o perspektivama ugljena u elektroenergetici, osobito u Europi, jer europska situacija određuje i buduću situaciju u Hrvatskoj?
Odgovor je naravno teško dati, jer niz parametara odlučuje o tome. Uostalom, nije cilj ovoga teksta da ponudi konačan zaključak ove teme. Za takvo što bi bilo potrebno podrobnije analizirati i moguću konkurenciju, prije svega plinsku i nuklearnu opciju, gdje je u tehnološkome smislu također šlo do znatnih poboljšanja.
Naročito su se plinske turbine znatno tehnološki unaprijedile u posljednjih desetak godina. Porasle su im jedinične snage na više od 150 MW, a u izgradnji su jedinice i do 240 MW, sa stupnjem djelovanja i do 38 posto, pa se u kombiniranom procesu (plinska turbina + kotao na otpadnu toplinu + parna turbina) već grade elektrane snage i do 700 MW sa stupnjem djelovanja do 58 posto. Pri tome je utjecaj na okoliš NO_x buka) bitno smanjen.
Nuklearne elektrane se također ubrzano unapređuju. Glavni su ciljevi povećati sigurnost sa što manje aktivnih komponenata i sniziti cijenu investicije, te naročito održavanja. Ako dođe do porasta cijene konvencionalnih goriva, te ako se radikalizira problem emisije CO_2 uvođenjem zaštitnih taksi, nuklearne će elektrane jamačno opet izbiti u prvi plan.

U nastavku se daju, prema mišljenju autora ovoga teksta, glavni utjecajni čimbenici o kojima će znatno ovisiti rasplet na elektroenergetskoj sceni u bliskoj budućnosti.

3.1. Privatizacija i deregulacije

Privatna inicijativa i vlasništvo u elektroenergetici nije novost. U SAD-u su praktično svi elektroenergetski objekti tradicionalno u privatnome vlasništvu. Međutim, u drugim zemljama, a osobito u Europi je tradicionalna slika drukčija, s gotovo potpunim državnim vlasništvom. U posljednje se vrijeme to počinje mijenjati, pa se javlja sve više neovisnih proizvođača energije (IPP – Independent Power Producer), a i mnoge zemlje bivšega istočnog bloka kreću u tome smjeru. U Europi je privatizacija najprije počela u V. Britaniji, a trenutno se najbrže kreće u Italiji, Portugalu, Turskoj, Irskoj, te od bivših zemalja istočnoga bloka u Češkoj, Mađarskoj, Poljskoj, Litvi, Kazahstanu i Rusiji. Od izvaneuropskih zemalja treba spomenuti Argentinu, Boliviju, Brazil i Čile, te Maroko.
S izvjesnim zaostatkom deregulacija prati privatizaciju. Riječ je o radikalnom skidanju državnih barijera slobodnoj trgovini u energetskome sektoru i općenito slobodnome poduzetništvu. Perjanice takvoga pristupa su u svijetu SAD, V. Britanija i Australija, a u Europi Austrija.
Privatizacija i deregulacija će dovesti do bitnih promjena. Tržište energentima će postati dinamičnije, međunarodna trgovina energetntima će dobiti zamah, uglavnom na štetu domaće proizvodnje od koje se očekuje da se upusti u konkurenciju s malom ili nikakvom pomoći države.
Privatni je kapital manje sklon riziku i dugoročnim investicijama, a teže dolazi i do licencne dokumentacije. Stoga će favorizirati investicijski jeftinija i za javnost prihvatljivija rješenja. Kombinirane plinske elektrane su za njih idealna rješenja, pod uvjetom da rizik dobave plina i nestabilnosti njegove cijene mogu prevaliti na kupca električne energije ili barem u tome smislu dobiti izvjesne garancije. Elektrane na ugljen ne prolaze baš dobro kod IPPs zbog dva glavna razloga: 1) ugljen za potrebe termoelektrana je još uvijek pretežno domaći proizvod (SAD, Njemačka, Španjolska, Engleska) sa znatnim državnim utjecajem, 2) ugljen je uglavnom slabo prihvatljiv od strane javnosti. Ali, naravno, situacija će se vjerojatno u budućnosti mijenjati u korist ugljena.

3.2. Smanjenje i ukidanje subvencija domaćemu europskom ugljenu

U Europi države proizvođači uglena znatno subvencioniraju svoj ugljen. Jedino u V. Britaniji domaći ugljen može prihvatiti konkuenciju uvoznoga ugljena, te donekle u Poljskoj, čiji ugljen može konkurirati jedino u susjednim zemljama (Austrija, Slovačka, Češka, Njemačka, Ukrajina, Mađarska, baltičke i skandinavske zemlje):
U Njemačkoj, Španjoljskoj i nekim drugim zemljama domaći je ugljen otprilike dvostruko skuplji od uvoznog (takav je slučaj i u nas u Raši) i državne su subvencije znatne. U 1996. će u Njemačkoj subvencije domaćemu ugljenu iznositi 7,5 milijardi DEM, ali s tendencijom smanjenja sljedećih godina i svođenjem na svega oko 2 milijarde DEM u 2005. god. Naravno, postoji i grupacija koja bi željela zadržati postojeće stanje što dulje. To je prvorazredno političko pitanje u Njemačkoj, a postoje pritisci i

iz drugih država EU. Osim toga, nije postignut konsensus ni oko budućnosti nuklearne energije.
Rezultat će takve politike, bez obzira kojim se tempom subvencije ukidale, biti smanjenje potrošnje domaćega ugljena i nužost njegova nadomještanja uvoznim ugljenom ili plinom, ako već ne nuklearnom energijom.
Naravno, pritom je važna spoznaja da će nove termoelektrane na ugljen raditi s mnogo boljim stupnjem djelovanja, pa će za jednaku proizvodnju električne energije trošiti možda i za četvrtinu manje ugljena.

3.3. Tretman emisije CO_2

Položaj bi ugljena prema drugim fosilnim gorivima (da se i ne govori o obnovljivim izvorima i nuklearnoj energiji znatno otežalo uvođenje posebne takse proporcionalne proizvodnje CO_2. Naime, izgaranjem ugljena nastaje oko 92 kg/GJ ugljičnoga dioksida, izgaranem tekućega goriva 74 kg/GJ, a izgaranjem prirodnoga plina svega 53 kg/GJ.
U tome je smislu ipak teško predvidjeti razvoj događaja. Prije svega, ne postoji još potpuna stručna suglasnost oko tipa i intenziteta klimatskih promjena koje bi mogle nastati, budući da pojava zahtijeva kompliciranо matematičko modeliranje atmosfere bez dovoljno kvalitetnih mjernih podataka. Tako je 5-6 toplih godina bilo dovoljno da se digne uzbuna iz prilično kompetentnih krugova, da bi ovogodišnja hladna zima s puno snijega sve poremetila. Ne postoji suglasnost ni oko intenziteta prirodnih mehanizama regulacije temperature, prije svega nije lako procijeniti ulogu ogromnih vodenih prostora na Zemlji u reguliranju količine CO_2 u atmosferi. Konačno, pojava ne ugrožava izravno ljudske živote i barem na prvi pogled ostaje na raspolaganju izvjesno vrijeme prije nego što situacija postane kritična. Što je možda najbitnije, pojava ne ugrožava sve jednako; neke bi zemlje znatno stradale, a neke bi osjetile čak i pozitivne efekte ako dođe do porasta temperature i podizanja razine svjetskih mora.
Neke su zemlje već uvele takse na proizvedenu energiju i na proizvedeni CO_2. Neki planovi u Europskoj uniji su rađeni s pretpostavkom da bi energetska taksa iznosila oko 1 USD/GJ, a taksa na CO_2 oko 12 USD po toni CO_2. Uz takav bi scenarij cijena proizvedene električne energije porasla za oko 1,8 USc/kWh u elektrani na ugljen, odnosno za 1,1 USc/kWh u elektrani na plin.

3.4. Opća ekonomska kretanja u svijetu

Opća ekonomska kretanja u svjetskom gospodarstvu u sljedećem periodu će znatno utjecati na elektroenergetiku i položaj ugljena u njoj. Poznato je da je u ekonomskim analizama diskontna stopa, tj. granična stopa povrata kapitala, parametar sa znatnim utjecajem na rezultat, a istovremeno i parametar koji je najteže odrediti (procijeniti). Taj je parametar ustvari mjera cijene kapitala odnosno očekivanja u području cjelokupnog gospodarstva.
Ako prevladava optimizam u gospodarstvu (bilo daje on realan ili je rezultat kratkoročne ili dugoročne politke neke zemlje ili skupine zemalja) diskontne će se stope smanjivati te otvarati putove povećanom investiranju i gospodarskom razvoju. Ako su očekivanja pesimistična kamatna će stopa rasti, stimulirajući štednju i bolje iskorištenje postojećih objekata umjesto investiranja u nove. Razumljivo je da je diskontna stopa i dio politike neke zemlje, pa je ona različita u pojedinim zemljama, ovisno o njihovoj gospodarskoj situaciji. Budući da je svjetsko gospodarstvo pod velikim utjecajem najrazvijenijih i najbogatijih zemalja, a njihovi su međusobni odnosi prilično regulirani, prosječni iznosi diskontne stope održavaju globalne odnose u svjetskome gospodarstvu.
Budući da je energetika temeljna gospodarska infrastruktura, cijena kapitala u području energetike je istovremeno i mjera za ukupna očekivanja u svjetskome gospodarstvu. Zbog toga svaki poremećaj u enegetici bitno utječe na cijenu kapitala. Naftna kriza iz 70-tih godina podigla je u mnogim zemljama graničnu cijenu kapitala (diskontnu stopu) s 3-5 posto na više od 15 posto.
Viša diskontna stopa favorizira rješenja s manjim investicijama i višim troškovima goriva,obrnut je slučaj pri nižim diskontnim stopama.

3.5. Prihvatljivost od strane javnosti

Termoelektrane na ugljen su općenito slabo prihvaćene od strane javnosti. Može se čak reći da u medijima i široj javnosti i nemaju pobornika. Čak im je naklonost javnosti općenito manja od naklonosti nuklearnim elektranama. Takav stav nije nov, ali se općenito radikalizirao u posljednje vrijeme isticanjem u prvi plan razloga zaštite okoliša, te pojavom plina kao jeftinije i ekološki povoljnije konkurencije.
Gledajući, pak sa stručnoga stajališta, može se bez pretjerivanja reći da su današnje termoelektrane na ugljen, kao što je to dijelom vidljivo i iz ovoga teksta, s gledišta utjecaja na okoliš, gotovo čisti objekti. Nova tehnološka rješenja će taj aspekt još i unaprijediti. Postoji već i službena potvrda za takvu konstataciju. IGCC projekt na rijeci Wabash, o kojemu je ovdje bilo govora, nakon napravljene studije o procjeni utjecaja na okoliš dobio je u svibnju 1993. od američkoga Odjela za energetiku (DOE – Department of Energy) *Nalaz o beznačajnom utjecaju na okoliš* (fonsi – Finding of No Significant Impact), pa nije bio potreban poseban dokument o utjecaju na okoliš (EIS – Environmental Impact Statement) čija izrada obično zahtijeva oko dvije godine detaljnoga rada. Tako je jedna termoelektrana na ugljen od ove vrlo rigorozne institucije prihvaćena kao ekološki podoban objekt bez detaljnih istraživanja.

Ipak, postoje velike razlike između pojedinih zemalja. U Hrvatskoj je osobito velik utjecaj Austrije i Italije, a u tim su zemljama protivnici termoelektrana na ugljen u posljednje vrijeme osobito glasni. Postoje i razlozi za to. U Italiji radi 13 velikih termoelektrana na ugljen snage veće od 10.000 MW, a tek u zadnjih nekoliko godina se počinje realizirati program odsumporavanja i to isključivo pod utjecajem javnosti. O SCR uređajima još nema ni govora.

U Austriji su pak otpori osobito usmjereni prema domaćemu lignitu, koji će se vjerojatno prestati upotrebljavati i bit će zamijenjen uvoznim kamenim ugljenom.

U Njemačkoj otpor termoelektrana na ugljen nije osobito snažan, jer je Njemačka realizirala radikalan plan zaštite okoliša na novim i na većem dijelu postojećih objekata. Slično je i u Danskoj i Nizozemskoj.

U nekim zemljama otpori nisu veliki, jer problemi zaštite okoliša nisu još u prvom planu (Španjolska, Grčka, Portugal).

U zemljama istočne Europe (Mađarska, Češka, Slovačka,

Poljska i dr.) mnogo se radi na unapređenju postojećih objekata, napredak je evidentan, pa javnost nije previše protiv. Hrvatska je izgledala bitno različita od svih tih zemalja. Zbog turizma, poljoprivrede i šumarstva, te zbog rijetkih prirodnih ljepota i raznolikosti, zaštita okoliša je temeljni uvjet razvoja gospodarstva. Zbog rata i njegovih posljedica može izgledati da postoji niz prioritetnijih poslova od zaštite okoliša. Zbog privredne ekspanzije koja je nužna, povećanje će potrošnje električne energije vjerojatno premašiti očekivanja i najvećih optimista.

3.6. Stabilnost energetskoga tržišta i kretanje cijena goriva

U diskusiji o cijenama goriva vrijedi gotovo kao pravilo, da je kretanje cijena glavnih energenata povezano, i barem do sada je uglavnom tako s cijenom sirove nafte. Razlog tomu je u praksi da se pri ugovaranju plina ili ugljena cijena uglavnom veže za cijenu sirove nafte ili nekih njezinih derivata. Međutim, ne postoji jasna slika o predviđanju cijena nafte u budućem periodu. Postoje dva gledišta: jedno, da će se cijena sirove nafte u bliskoj budućnosti (20-30 godina) kretati oko dvadesetak USD po barelu i, drugo, da će ona brzo porasti na oko 35 USD/bbl. Postoje, naravno i predviđanja cijene nafte između tih vrijednosti. O pretpostavljenoj cijeni nafte u budućnosti bitno ovisi i perspektiva termoelektrana na ugljen. Ako bi cijena nafte (a to znači i plina i ugljena) porasla, to bi znatno obezvrijedilo one alternative sa skupljim gorivom, a snizilo cijenu električne energije proizvedne u alternativama s jeftinijim gorivom. Naime, ako bi za isti postotak porasla cijena ugljena i plina, to bi bilo znatno povoljnije u korist opcija s ugljenom, budući da je kod njih udio troškova goriva u cijeni proizvedene električne energije niži.

Međutim, opravdano je pretpostaviti da bi u tom slučaju i diskontne stope morale porasti kao neposredna reakcija na taj efekt na tržištu energenata, što bi opet u dogledno vrijeme izazvalo smanjenje cijena energenata i nakon toga i postupno smanjenje kamatne stope.

Ovo je naravno samo gruba orijentacija, jer su moguća manja ili veća odstupanja od pretpostavke o povezanosti cijena raznih goriva, npr. da se cijene plina ili ugljena u budućnosti ne ponašaju tako elastično u odnosu na cijenu nafte, kao što je to bio slučaj u prošlosti. Postoje primjeri konkurencije u odnosu plin-plin, tako da će se neka uhodana pravila možda i bitno promijeniti.

U svakom slučaju, porast cijena goriva ide u korist ugljena, a posebno ako se cijena plina bude povećala brže od cijene ugljena.

Kakva će biti rezultanta navedenih čimbenika i kako će onautjecati na položaj ugljena u svjetskoj i europskoj elektroenergetici, teško je prosuditi. U svakom slučaju, ugljen će između fosilnih goriva još dugo imati vodeću ulogu u proizvodnji električne energije. Njegov udio od oko 70 posto u Europi i SAD-u odnosno oko 60 posto u svjetskim razmjerima možda će se i nešto smanjiti u neposrednoj budućnosti, ali mu vodeću ulogu između fosilnih goriva, barem u sljedećih 20 godina, nitko ne može preoteti. Tekuće je gorivo uglavnom stvar prošlosti. Plina ipak nema toliko, a potreban je u znatnim količinama industriji i općoj potrošnji, da bi mogao ozbiljnije i na dugoročnoj osnovi ugroziti ugljen.

U svemu tome su i energetičari postali iskusniji. Nisu više tako jednoznačni i jednostrani. Govore o plinu, rade uglavnom na ugljenu, a misle o nuklearnoj energiji. Tako će nekako i biti. Tko uhvati plin u sljedećih desetak godina, vjerojatno će napraviti dobar posao, poslije ostaje ugljen i u konačnosti nuklearna energija. Ako se opet ne dogodi nešto nepredviđeno. A sigurno hoće.

LITERATURA

[1] Energy in Europe, 1993 – Annual Energy Review, CEC 1994.
[2] Electricity Supply in the OECD, OECD/IEA, 1992.
[3] Facts and Figures, OPEC, 1991.
[4] Energy Prices and Taxes, OECD Paris, 1994.
[5] GRANIĆ, G. i dr., "Mogući scenariji razvija Hrvatske elektroprivrede", Institut za elektroprivredu Zagreb, 1991.
[6] Coaltrans 95, Helsinki, 1995.
[7] MALBAŠA, N. i dr., "Usporedbena analiza mogućih rješenja termoelektrane na primorskoj lokaciji", Ekonerg, 1995.
[8] THAMBIMUTHU, K. V., "Gas cleaning for advanced coal-based power gwneration", IEACR/53, 1993.
[9] MAUDE, C., "Advanced power geneation – a comparative study of design options for coal", IEACR/55, 1993.
[10] MAUDE, C. W., KIRCHNER, A. T., DANIEL, M., MONTFORT, O., "World coal-fired power stations, Europe and Russia", IEACR/70, 1994.
[11] European Community FGD Update in Europe, Electric Power Int. 3/1993.
[12] Projectd Costs of Generating Electricity, Update 1992, OECD/IEA, NEA 1993.
[13] MATANIĆ, D., ABRAMOVIĆ, B., KOMERIČKI, Z., "Razvoj termoelektrana loženih ugljenom, Knjiga1: Nove tehnologije izgaranja ugljena", EKONERG, 1992.
[14] Coal Information 1991, IEA, 1991.
[15] Energy in Europe, A view to future, Special issue, CEC 1992.
[16] Energy Policies of IEA countries, 1991 Review, OECD/IEA, 1992.
[17] IGCC feasibility study shows promise, Modern power systems, June 1992.
[18] J. MAKANSI, "Coal-based systems strive to fend off challenge from gas", ELectric Power Int, second quarter, 1994.
[19] T. J. MIDGLEY, A. SALEM, I. T. T. OH, J. E. AHN "Supercritical steam generators blend high efficiency, low NOx emissions", ELectric Power Int, fourth quarter, 1994.
[20] Vestkraft unit 3, Denmark, Esbjerg extracts more efficiency from p-c-firing technology, Electric Power Int, third quarter, 1994.
[21] Meri-pori power plant, FIinland, Minimizing environmental impact goes beyond emission control, Electric Power Int, third quarter, 1994.
[22] Hekinan station, Japan, Quest for cleanest coal-fired boiler stops here, Electric Power Int, third quarte, 1993.
[23] Karita 360 MWe PFBC plant will be the first P800, Modern Power Systems, Feb. 1995.
[24] M. TAKESHITA, "Air pollution control costs for coal-fired power stations", January 1995, IEAPER/17, IEA COAL RESEARCH
[25] Electric power, Specifying powerplant componenet's – Italian style style, fourth quarter, 1994.
[26] Electric power, Small advance in coal-based steam cycle add up to large performance gain, fourth quarter, 1994.
[27] Electric power, Applying emerging technology to electricity production, forth quarter, 1992.

[28] ELectric power, Esbjerg sest stage for advanced coal-fired powerplant, fourth quarter, 1992.

[29] McGraw-Hill's, Electric power, second quarter, 1994.

[30] McGraw-Hill's, Electric power, Steag boasts qears of experience with SCRs at powerplants in Germany, third quarter, 1994.

[31] McGraw-Hill's, Electric power, Uk blazes a private-power trail; will others in Europe follow?, fourth quarter, 1993.

[32] Electric power international, J. Makansi, Clean power from coal, first quarter, 1993.

[23] Electric power international, Architestural styling a hallmark of combined heat/power plant, first quarter, 1993.

[34] Modern Power System, MPS Review, W. Emsperger, J. Karg, P. Voigtländer, IGCC holds promise for burining oil residues, APril 1995.

[35] Modern Power System, Advanced turbines hold the key to economic IGCC, August, 1995.

[36] Modern Power System, J. Cook, J. Boot, Wabash Rivier nears copletion, May 1995.

[37] Modern Power System, PRovence 250 MWe CSB makes a promising start, April 1995.

[38] Modern Power System, Highest supercritically for Skeak and Nordjylland, March 1995.

[39] C. MAUDE, "Advanced power generation – a comparative studu of design options for coal", IEACR/55, March 1993.

[40] Management of by-products from IGCC power generation, IEACR/38, May 1991.

[41] KISIĆ, Z., MALBAŠA, N., "Comparative Analysis of Possible Transportation Routes for Imported Coal, "Bulk Solids Handling, Vol. 14 (1994) No. 3, pp. 523-531.

[42] KISIĆ, Z., MALBAŠA, N., SELANEC. Z.: "Program aktivnosti za prethodne radove za termoelektranu na uvozni ugljen u primorskom dijelu Hrvatske", EKONERG, Zagreb, 1993.

[43] IEA Coal Research, Annual Report 1992 – 1993, Gemini House, London, 1993.

THE ROLE OF COAL THERMO POWER PLANT IN PLANNING AND DEVELOPMENT OF ELECTRIC ENERGY SUPPLY

A review of thermo energy supply is given for the past 30 years with a special emphasis on coal thermo power plants. Especially new technological solutions of coal thermo power plants are analysed as well as the possibility to meet new, always more severe ecological standards.

Through the whole of the period observed coal has been and still is a basic fuel for electric energy production. Electric energy production from coal makes 59% of the total electric energy production from the fossil fuels. In the European Union this share is even greater (67%), in North America (74%), Middle and Eastern Europe (78%), Asia (76%) and even aboe it.

It is interesting how coal has never been declared as the fuel of the future by energy personnel, there were always solutiond from the point of ecological and public view and with better fuel usage. Its leading role it owes primarily to some essential advantages - security of supply, stable price and huge reserves all over the world.

These are advantages that are going to help coal, in spite of periodical stoppages, to maintain its key position for many years to come in the world electric energy supply.

DIE STELLE DER KOHLE ALS BRENNSROFF NUTZENDER DAMPFKRAFTWERKE IN DER PLANUNG UND ENTWICKLUNG DER STROMVERSORGUNG

Dargestellt wird die Entwicklung der Stromversorgung aus Dampfkraftwerken in den vergangenen 30 Jahren mit besonderem Rückblick auf Kohle als Brennstoff nutzender Dampfkraftwerke. Besoonders wurden neue technische Lösungen für solche Dampfkraftwerke erörtert, die Möglichkeit der Befolgung neuer immer strengeren Umweltschutznormen inbegriffen.

In der gesammten betrachteten Zeitspanne war die Kohle in der ganzen Welt der weitest genützte Brennstoff für die Stromerzeugung - und das ist sie bis heute geblieben. Die Stromerzeugung aus Kohle beträgt heutzutage 59% der gesammten Erzeugung aus fossilen Brennstoffen. Dieses Prozent ist in der Europäischen Union noch größer (67%), und in Nordamerika (74%), in Mittel- ind Ost- Europa (78%), und in Asien (76%) und mehr.

Merkwürdig ist, daß Kohle seitens der Energetiker nie als Zukunrtsbrennstoff erwähnt wurde; immer griff man nach Lösungen welche umweltfreundlicher, der Öffentlichkeit annehmbarer, sowie den Brennstoff besser nutzend erschienen. Ihre führende Rolle verdankt die Kohle vorerst einigen ihrer wesentlichen Vorteille: die Zulieferungsicherheit, der stabile Preis und die riesegen, gleichmäßig auf alle Kontinente verteilte Reserven.

Das sind jene Vorteile, welche der Kohle, trotz zeitweiligem stagnieren, noch lange die Schlüsselstellung der Weltenergieversorgung beibehalten werden.

Naslov pisca:

dr. sc. Niko Malbaša, dipl. ing.
EKONERG, d.d.
Ulica grada Vukovara 37
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1996-11-10.

industrogradnja d.d.
PODUZEĆE ZA GRAĐENJE, PROJEKTIRANJE, KONZALTING, PROIZVODNJU, TRGOVINU, VANJSKO-TRGOVINSKO POSLOVANJE, UGOSTITELJSTVO I TURIZAM, ZAGREB

HRVATSKO ENERGETSKO DRUŠTVO
ZAKLADA „HRVOJE POŽAR"

Glavni odbor Zaklade „Hrvoje Požar", na temelju Poslovnika o dodjeli godišnje nagrade „Hrvoje Požar", te Poslovnika o stipendiranju mladih energetičara, objavljuje

NATJEČAJ

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

- za stručni i znanstveni doprinos razvitku energetike,
- za inovacije u području energetike,
- za realizirani projekt racionalnog gospodarenja energijom,
- za unapređenje kvalitete okoliša, vezano uz energetske objekte,
- za popularizaciju energetike.

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, s pismenim obrazloženjem i s priloženom dokumentacijom, mogu podnijeti znanstvene i znanstveno-nastavne organizacije, znanstvena i stručna društva, pojedini znanstveni i javni radnici, te ostale ustanove i trgovačka društva.

II. Studentima energetskog usmjerenja, završnih godina studija i diplomantima, dodjeljuje se 5 godišnjih 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.

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. Studentima energetskog usmjerenja dodjeljuje se 5 stipendija za stručni dio studija.
Prijedlog za dodjelu stipendija mogu podnijeti sveučilišni nastavnici, ili sami studenti.

IV. Natječaj je otvoren od 15. ožujka do 15. travnja 1997. godine.

Prijedlozi se podnose tajništvu Hrvatskog energetskog društva, Zagreb, Ulica grada Vukovara 37.

Prijava mora sadržavati ime/naziv i adresu predloženika s brojem telefona.

Sve obavijesti mogu se dobiti na tel. 01/61 14 744.

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

UPORABA PRIRODNOG PLINA U PROIZVODNJI ELEKTRIČNE ENERGIJE POMOĆU GORIVIH ĆELIJA (FUEL CELLS)

Prof. dr. sc. Radmilo P r o t i ć, Zagreb

UDK 537.32:621.3

STRUČNI ČLANAK

Prikazuje se stanje razvoja tehnologije gorivih ćelija te njihova uporaba za proizvodnju topline i električne energije koje kao gorivo koriste prirodni plin.

Ključne riječi: energija, nove tehnologije, prirodni plin, gorive ćelije, istraživanje, razvoj, proizvodnja električne energije, ekologija.

Potrošnja električne energije u stalnom je porastu, iako su godišnje stope rasta u konstantnom padu, zahvaljujući u prvom redu visokoj učinkovitosti korištenja električne energije te promjenama u gospodarstvenom sastavu u najrazvijenijim zemljama u svijetu. Pojačana, tj. dinamična potrošnja električne energije u zemljama u razvoju, a posebno u zemljama Pacifika i Južne Azije, održavaju i dalje relativno visoke stope potrošnje energije u svijetu.

U razdoblju od 1970. do 1980. godine prosječne godišnje stope rasta potrošnje električne energije u svijetu iznosile su 5,2%, u Sjevernoj Americi 4%, u Zap. Europi 4,3%, u Centralnoj i Istočnoj Europi 6,2% te u zemljama Pacifika 6,9%.Stope rasta za navedene zemlje u vremenu od 1980. do 1990. godine bile su 3,5%, 2,4%, 2,7%, 0,7%, 3,5% te 5,8%.

Predviđena potrošnja od 1990. do 2020, imat će nešto usporeniji rast, pa će se godišnje stope rasta kretati kako slijedi: 2,3% 1%, 1,5%, 1,7% te 3,4% za navedene zemlje i svijet. [1]

Povećanje potrošnje električne energije zahtijeva, istodobno i nove izvore primarne energije.

Tako, na primjer, u 1980. godini bilo je utrošeno 30% primarne energije za proizvodnju električne energije, u 1990. godini 36% te u 1992. godini također 36%. Procjenjuje se da će u 2010. godini biti potrebno 40% primarne energije za proizvodnju električne energije. [2]

Poznato je da je proizvodnja električne energije u termoelektranama znatan zagađivač okoliša. Tako na primjer, u zemljama Europske unije (12) u 1990. godini emisija otrovnih plinova iznosila je So_2 59%, NO_X na 23,9% te CO_2 32,8%. [3]

Navedeni čimbenici glavni su razlog što se znatna pozornost posvećuje istraživanju i razvoju novih izvora energije i u tome sklopu i istraživanju i razvoju gorivih ćelija (fuel cells), u najrazvijenijim zemljama u svijetu, o čemu će biti riječi u našem članku.

1. VRIJEME POTREBNO ZA KOMERCIJALIZACIJU NOVIH TEHNOLOGIJA U ENERGETICI

1.1. Dinamične promjene u politici, u tehnologijama, u sferi socijalne politike, kulture, uz edukaciju koja je usmjerena na prihvaćanje novina te promjene u strukturi gospodarstva, osnovna su obilježja razvitka u suvremenom svijetu.

Uvođenje inovacija, kod čega je, očito, da tehnologija postaje jedan od najvažnijih raspoloživih izvora, daje neizbrisiv pečat i u razvitku energetike. Snažan utjecaj demokratskih institucija u borbi za kvalitetu života ima odraza posebno u energetici. Sve stroži kriteriji u pogledu dozvoljene emisije otrovnih plinova postavlja pred proizvođače i potrošače energije prilično složene zadatke. Energija, koja emitira manje otrovnih plinova, uz energetske prednosti, prihvatljivija je nego izvori energije čija je niža tržna cijena.

1.2. Dug je razvojni put od početka fundamentalnih istraživanja do prve komercijalne jedinice, ne samo u energetici, nego i u drugim oblastima ljudskog stvaralaštva.
U tablici 1. prikazan je povijesni razvoj odabranih tehnologija u energetici. Relativno kratko razdoblje istraživanja i razvoj u oblasti nuklearne energije (16 godina) posljedi-

Tablica 1. Povijesni razvoj šest odabranih tehnologija u energetici

	Vrijeme znanstvenog pokusa do prve komercijalne jedinice	Potrebno vrijeme da bi tehnologija zauzela značajnije mjesto
1. Nuklearna energija	16 godina	20 godina
2. Diesel motor	60 godina	30-50 godina
3. Sagorijevanje ugljena u prahu	25 godina	15-18 godina
4. Solarna energija	60 godina	30 godina (različito u pojedinim zemljama)
5. Male hidroelektrane	50 godina	20-30 godina
6. Toplinske pumpe	30 godina	20 godina

Izvor: Energy Technology Policy, OECD, Paris 1985., str. 45.

ca je interesa ne samo privrede, nego u prvom redu vojnih krugova, koji su je koristili kao najubitačnije razarajuće oružje na kraju Drugog svjetskog rata.
Posebno treba primijetiti da je potrebno dodatno vrijeme da bi tehnologija zauzela značajnije mjesto u gospodarstvu. Dodatno vrijeme je, u pravilu, kraće prema vremenu od znanstvenih pokusa do prve komercijalne jedinice. Dužina potrebnog dodatnog vremena leži u sferi ekonomskih kategorija (tržište, cijena koštanja, dobit, konkurentnost i dr.).

2. RAZVOJ TEHNOLOGIJA U PROIZVODNJI GORIVIH ĆELIJA

2.1. Gorive ćelije pretvaraju kemijsku energiju prirodnog plina u električnu energiju elektrokemijskim djelovanjem vodika i kisika. Taj proces nudi visoku energetsku učinkovitost, zanemarljivu poluciju otrovnih plinova, proizvodnju bez buke te mogućnost prilagođavanja. Učinkovitost pretvorbe u električnu energiju iznosi približno 40%. Emisija oksida dušika vrlo je niska i iznosi 10 ppm.
U pogledu stupnja razvoja poznatih tehnologija, the Phosphore Acid Fuel Cells (PAFC) bit će uskoro u komercijalnoj fazi, dok su ostale tehnologije i to: the Molten Carbonate Fuel Cells (MCFC), the Solid Oxide Fuel Cells (SOFC) i the Polymer Electrolyte Fuel Cell (PEFC) u fazi razvoja.
Gorive ćelije koje koriste prirodni plin kao gorivo sastoje se iz tri podsustava: proizvodnje goriva (Fuel Processor), količine aktivne tvari - posebno složen izvjestan broj elemenata u određenom prostoru (Stack) i regulator mehaničke snage, energije (Power Conditioner). [4,5].

2.2. Osnovna struktura proizvodnje goriva iz prirodnog plina sastoji se od tri katalitička reaktora: za odsumporavanje, za proizvodnju sintetskog plina (H_2/Co)- syngas, pomoću parnog reforminga (steam reforming) i proizvodnje CO pomoću konverzije voda/plin.
Odsumporavanjem se odstranjuju sumporoviti spojevi koji se nalaze u prirodnom plinu ili u spojevima dobivenim prilikom odorizacije.
Obično se koristi proces hidrodesulfurizacije pa se sastojci organskog izlažu utjecaju vodika, a kao proizvod dobiva se vodikov sulfid (H_2S), koji se zatim odstranjuje (removed) djelovanjem apsorpcije cinkovog oksida.
Trajnost reformera i promjena katalizatora ovise o sadržaju sumpora u plinu koji treba biti ispod 0,5-1 ppm. Zahtjevne značajke u procesu reforminga su kompaktnost, visoka učinkovitost, brz start, brzo puštanje u pogon te zaustavljanje postrojenja.
Količina vodika koja je potrebna za postrojenje od 50 kW gorive ćelije zahtijeva približno 50 Nm^3/h prirodnog plina. Kako reformer u kemijskoj industriji radi kod stalnog opterećenja, sposobnost održavanja stalnog opterećenja bitna je za reformer gorive ćelije, budući da brzina proizvodnje vodika treba slijediti potražnju električne energije. Optimalan sustav gorivih ćelija postavlja visok stupanj povezanosti proizvodnje goriva (fuel processor) i količine aktivne tvari (stack) s ciljem maksimizacije učinkovitosti sustava. Otpadna toplina ćelija osigurava energiju za proizvodnju pare koja se koristi u reformeru. Budući da je pretežni dio plina utrošen prilikom elektrokemijske reakcije, neiskorišteni plin recirkulira u reformeru i izgara u svrhu nadomjestka endotermičke energije. [4]
Tlak, omjer S/C i temperatura reforminga su kritični radni parametri koji imaju najvećeg utjecaja na učinkovitost sustava gorive ćelije. Izlazni plinovi iz reformera sadrže od 10 do 20% CO koji su u slučaju tehnologije PAFC otrovni. Zbog toga sustav PAFC zahtijeva promjenu stupnja konverzije s ciljem smanjenja koncentracije CO do 1% i manje, dok tehnologije MCFC i SOFC mogu koristiti veću koncentraciju CO.

2.3. Fuji Electric (Japan) razvio je drugu generaciju reformera za proces PAFC čija je termička učinkovitost i visoka temperatura goriva bila poboljšana smanjenjem S/C omjera. To je prouzročilo smanjenje obujma, težine i količine katalizatora u reformeru. [4]
Izmjenjivač topline (The heat - exchange reformer) razvila je kompanija Haldor - Topsoe, što je bilo objavljeno u godišnjem izvještaju 1991. god.; uspješno su obavljeni pokusi, pa su ugrađeni u postrojenja od 1 MW PAFC u Milanu i od 5 MW PAFC u postrojenju u Amazaki, Japan. Ista firma razvila je novi koncept sa tri konvenktivna reformera koji omogućuju da se kapaciteti električnog postojenja kreću u rasponu od 100 kW do 30 MW.
U postrojenjima se koristi izvjestan broj katalizatora posebnog oblika, (Catalyst - filled bayonet tubes), koji se griju strujanjem otpadnih plinova i zaštićeni su pomoću kontrole sustava konvekcije tako da održavaju maksimalnu temperaturu zidova cijevi ispod 900 °C. [4]
Unutarnji reforming (IR) je tehnički tako konstruiran da bi, izgleda, mogao poslužiti kao alternativa za vanjski reforming. On je primjenljiv kod tehnologije MCFC i SOFC. IR je atraktivan iz dva razloga: prvo, s obzirom na mogućnost učinkovitog korištenja regenerirane topline, dobivene elektrokemijskom reakcijom za potrebe endotermičke reakcije reformera, a drugo, jer se istodobno smanjuju troškovi investicija.
Sniženje ukupnih troškova može se postići smanjenjem ukupnih dimenzija i težine postrojenja, eliminacijom vanjskog reformera i opreme.
U tehnologiji SOFC parna reforming reakcija mogla bi se ostvariti pomoću Ni zirconia anode. Istraživački napori u razvitku optimizacije anodnog materijala imaju za cilj da osposobe anodni materijal da istodobno djeluje i kao anoda i kao katalitički reforming. Međutim, tu se pojavljuje kao problem rizik od taloženja ugljika na površinu anode. Taj se problem pojavljuje kod niskog omjera S/C uslijed poteškoće održavanja ravnomjerne distribucije temperature na željenoj razini unutar stack-a te osiguranja što dužeg vijeka trajanja anode.

3. TROŠKOVI PROIZVODNJE GORIVIH ĆELIJA (PAFC)

3.1. S obzirom na relativno kratko vrijeme istraživanja i razvoja proizvodnje gorivih ćelija koja datiraju od 1980. gorine, troškovi proizvodnje su dosta visoki i iznose 2500 AM $/kW za proizvodnju PAFC, koja se nalazi u komercijalnoj fazi.
Radi usporedbe navode se podaci o povijesnom kretanju troškova proizvodnje solarne energije (Photovoltaic Module Costs) u svijetu.

Ranih 1980. godina troškovi za 1 kWh/p iznosili su od 25.000 do 50.000 AM $, da bi u 1990. godini troškovi pali na 6.000 AM $ za kWh/p, pa je proizvodnja PVs postala komercijalno zanimljiva. Postoje tehničke mogućnosti za široku primjenu solarne energije u selima, za rasvjetu u kućanstvu, za navodnjavanje, opskrbu kabela, bolnicu i dr.

Zanimljiv je primjer Kenije gdje seoska kućanstva troše više solarne električne energije nego iz javne mreže.
Jedinični kapacitet PVs je prije 15 godina bio samo1 MW, da bi danas dosegao 60 MW. [6]

4. PREGLED RAZVITKA PROIZVODNJE GORIVIH ĆELIJA U NEKIM ZEMLJAMA U SVIJETU

4.1. Širok je raspon mogućnosti korištenja gorivih ćelija za proizvodnju električne energije. U usporedbi s konvencionalnim termoelektranom proizvodnja električne energije proizvedena iz gorivih ćelija ima sljedeće značajke:

(a) S obzirom na direktnu proizvodnju električne energije ostvaruje se visoka učinkovitost. U kombinaciji korištenja otpadne topline, ukupna energetska učinkovitost se ostvaruje s približno 80%.
(b) U rasponu kapaciteta proizvodnje električne energije moguće je postići visoku učinkovitost kod malih i velikih postrojenja.
(c) Emisija NO_X prouzročena sagorjevanjem je zanemarljiva. Visoka ukupna učinkovitost osigurava manju proizvodnju CO_2.
(d) Postrojenja za proizvodnju električne energije mogu se izgraditi ne samo duž obale mora ili u blizini rijeka, već na mjestima gdje je potreba za električnom energijom, uključujući i unutrašnjost i podzemne prostorije urbanih prostora. [7]

Japan je na vrijeme shvatio važnost razvoja gorivih ćelija iz sljedećih razloga:

- Treba nastojati promovirati energiju koja će zamijeniti naftu iz razloga sigurnosti;
- Pojačati napore da bi se svladali globalni problemi zatopljenja (warming) unapređenjem energetske učinkovitosti, smanjiti utjecaj kiselih kiša sniženjem emisije NO_x te intenzivno unaprijediti R i D gorivih ćelija.

Pridajući važnost proizvodnji gorivih ćelija, Japan je kao posebnu stavku Nacionalnog programa o razvitku energije uvrstio i proizvodnju gorivih ćelija kao prioritet. [7]

4.2. Tokyo Electric Power Co naručio je u 1991. godini postrojenje od 11 MW tehnologije PAFC. Dio postrojenja (osim gorivih ćelija) bit će proizvedeno u Toshibi. Postrojenje je u radu.
U nastavku se daju osnovne značajke postrojenja od 11 MW u Japanu.

Pojedine stavke:	Specifikacija:
1. Procijenjena snaga (at AC transmission Terminal)	11 MW
2. Učinkovitost (at AC transmission terminal) HHV	41,1%
3. Gorivo	Prirodni plin
4. Emisija ispušnih plinova NO_X	Maksimalno 10 ppm
5. Mjesto testiranja	Tokyo Electric Power
6. Proizvođač ćelije	International Fuel Cells Corporation (Cells stack - samo USA), ostala oprema Toshiba
7. Raspored testiranja	Siječanj 1991-1993. - Test proizvodnje

Izvor: 18th WGC, IGU - Report of Committee F Industrial and Commercial Utilization of Gases, Berlin 8-11 srpnja 1991. - str. 125.

4.3. Razvitak gorivih ćelija u Japanu započeo je 1981. godine u sklopu djelatnosti "Agence of Industrial Science and Technology" (Ministarstva za međunarodnu trgovinu i Industriju), a projekt razvitka nazvan je "The Moonlight Project" koga pretežno financira država, ali i zainteresirane privatne kompanije.
Istraživanja su započela tehnologijom PAFC, da bi se kasnije istraživalo na procesima Molten Carbonate Fuel Cell (MCFC), Solid Oxide Fuel Cells (Sofc), a od 1992. godine i na Polymer Electrolyte Fuel Cells (PEFC).

4.4. Način uporabe gorivih ćelija je vrlo različit, u prvom redu, postoji mogućnost disperzije regionalne opskrbe električnom energijom i toplinom, proizvodnja električne energije za hotele, bolnice, kućanstva i dr. Visoka je učinkovitost primjene PAFC tehnologije i kod malih kapaciteta.
Prema "General Principles for Introduction of New Energy", na sastanku održanom u prosincu 1994. godine, očekuje se da će u Japanu proizvodnja gorivih ćelija iznositi 200 MW u 2000. godini te 2200. MW u 2010.
Prema podacima NEDO (New Energy and Industrial Technology Development Organization) Japan danas posjeduje 92 postrojenja PAFC s ukupno 20 MW; što predstavlja, približno, 2/3 postrojenja u svijetu. Kapaciteti su u rasponu 50 kW disperziranih postrojenja za zgrade do 11 MW za zamjenu za klasičnu termoelektranu. [7]
Istraživanja ostalih tehnologija gorivih ćelija (MCFC, SOFC i PEFC) su u tijeku. Rad je usmjeren na poboljšanje svojstava ćelije te produžetka života ćelija. Tako se previđa da bi u 1997. godini bilo pušteno u proizvodnju pilot postrojenje - MCFC za proizvodnju električne energije kapaciteta 1 MW. [7]
Zanimljivo je da u strategiji razvoja novih izvora energije (gorive ćelije, solarna energija, energija vjetra), Japan predviđa da bi udio gorivih ćelija iznosio 96% od planirane proizvodnje električne energije do 2010. godine od navedenih izvora energije. Jedan od gorućih problema u uporabi gorivih ćelija je dužina vijeka trajanja gorivih ćelija. Iskustvo je pokazalo da bi ćelije bile u stanju proizvoditi 13.000 sati bez zamjene. To vrijeme proizvodnje je kratko i trebalo bi da ćelije proizvode najmanje 40.000 sati bez zamjene. [8]
U pogledu sadašnjeg statusa razvoja gorivih ćelija, istraživanja su najdalje otišla u SAD, Japanu, ali i u nekim europskim zemljama, kao na primjer u Njemačkoj, Danskoj, Švedskoj, Italiji itd.
Značajna je aktivnost usmjerena u SAD u svezi procesa PAFC koja je već 1990. godine bila na pragu komerzijalizacije. IFC (Internation Fuel Cells Corporation - SAD) razvio je proces i izradio termoelektranu snage 11 MW na osnovi svoga od 4,5 MW pilot postrojenja. [5]

International Cells Corporation (IFC) započela je s komercijalnim marketingom u 1992. godini prve generacije PAFC po cijeni od približno 2500 $kW. Navedena cijena bit će ostvarena ukoliko se razvitak uznapreduje prema predviđenim rokovima. U 1990. godini u svijetu je bilo svega 53 postrojenja PAFC od čega je na SAD otpalo 28, Japan 21, Njemačku 2, Dansku 1 i Švedsku 1. [5]
Ranije je navedeno da danas sam Japan raspolaže s 92 postrojenja ukupnog kapaciteta 20 MW, a prema podacima Rafaela Vellonea i suradnika sada su u radu u Europi 9 postrojenja od po 200 kW kogeneracije tehnologije PAFC. Prema planu trebalo je biti pušteno u proizvodnju novih 10 postrojenja u drugoj polovici 1994. gpdine. [9]

5. ZAKLJUČAK

U svezi uvođenja gorivih ćelija, kao novog izvora energije za proizvodnju električne energije, koje kao gorivo koristi prirodni plin, znanstvenike i stručnjake očekuje još dosta posla.
U prvom redu se nameće problem dugoročne stabilnosti procesa proizvodnje, koji je usko povezan s vijekom trajanja gorivih ćelija. S druge strane, pak, visina proizvodnih troškova za uspješan razvitak posljednjih godina opravdava nadanja da će između 2005. i 2010. godine tehnologija PAFC biti u punoj komercijalnoj uporabi, a između 2020. i 2030. godine i tehnologija Solid Oxid Fuel Cells.
Vjerujemo da će se ostvariti želja jednog japanskog znanstvenika da će gorive ćelije postati istinski prijatelj prirode.

LITERATURA

[1] Energy For Tomorrow's World - World Energy Council 1993. Cogan Page Ltd - First Publeshed - St. Martin's Press, New York 1995, str. 279.

[2] D'ERMO Vittorio i sur.: "Changes in the World Economic Structure and Impact on Energy Intensities and Energy Market" - WEC 16th Congress, Tokyo 8-13. 10. 1995. - str. 202.

[3] Commission of the Euopean Communities - "A View to the Future" Brussels, rujan 1992, str. 145, 149 i 153.

[4] 19th World Gas Conference - IGU "Report of Committee F - Industrial and Comercial Utilization od Gases - Milan 20-23. lipanj 1994. godine, str. 73, 74.

[5] 18th World Gas Conference - IGU - Report of Committee F - Industrial and Comercial Utilization od Gases, Berlin 8-11. srpanj 1991, str. 124, 125.

[6] Denis ANDERSON - "Energy, Environment and Economy - Complementaries and Conflicts in Search for Sustainable Growth" - World Energy Council - 16th kongres Tokyo, 8-13. 10. 1995. str. 125.

[7] NAKAOKA Akira - "Future Expectation od Fuel Cells in Japan" - WEC 16th Congress, Tokyo 8-13. listopada 1995., Division 2 - Future Sustainable Energy Supply - str. 275, 176, 177, 179.

[8] "Power Generation Choices: Costs, Risks and Externaties" - Procedings of an International Symposium Washington (USA) 23-24. rujan 1993. - str. 221, 222.

[9] Rafaele VELLONE i sur. - "Realizing the Potential of Fuel Cells in Italy. Division 2" - Future Sustainable Energy Supply - WEC - 16th Congress, Tokyo, 8-13. 10. 1995., str. 287.

NATURAL GAS USAGE IN A PRODUCTION OF ELECTRIC ENERGY BY FUEL CELLS

The paper presents the state of technological development of fuel cells and their application in heat energy production, whereby natural gas is used as a fuel.

DIE NUTZUNG DES ERDGASES IN DER STROMMERZEUGUNG MITTELS BRENNSTOFZELLEN

Dargestellt wird die Entwicklung der Herstellung von Brenstoffzellen und deren Nutzung zwecks Stromerzeugung unter Verwendung von Erdgas als Brennstoff.

Naslov pisca:

Prof. dr. sc. Radmilo Protić
Dobri dol 54
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukupis:
1996-10-15.

industrogradnja d.d.

PODUZEĆE ZA GRAĐENJE, PROJEKTIRANJE, KONZALTING, PROIZVODNJU, TRGOVINU, VANJSKO-TRGOVINSKO POSLOVANJE, UGOSTITELJSTVO I TURIZAM, ZAGREB

SPECIFIČNE ŠTETE USLIJED NEISPORUČENE ELEKTRIČNE ENERGIJE I SNAGE POTROŠAČIMA

Mr. sc. Ivan M r a v a k, Zagreb

UDK 338:621.311

PRETHODNO PRIOPĆENJE

S obzirom na problematiku projektiranja i vođenja elektroenergetske mreže u članku je dan osvrt na iznalaženje šteta zbog neisporučene električne energije i snage kod potrošača. Za određivanje kvantificiranih pokazatelja primarnih šteta prikazan je matematički model "korelacija narodnog dohotka i potrošnje električne energije" dok je za određivanje sekundarnih šteta naznačena "Input-Output analiza". Navedeni su modeli "Makro nivo" i "Mikro nivo" te model za određivanje ukupne štete industrijskog potrošačkog čvora. Na bazi poznatih specifičnih šteta u industriji izvedene su specifične štete u drugim privrednim granama. Dane su tablice i dijagrami kvantificiranih pokazatelja specifičnih šteta u drugim zemljama, u periodu od 1970. do1990, uz osvrt na problematiku kompariranja tih pokazatelja. Naznačene su neke od mjera koje direktno dovode do smanjenja neisporučene električne energije.

Ključne riječi: **električna energija, grupe potrošača, vrijeme ispada potrošača, specifične štete električne energije i snage kod potrošača.**

1. UVOD

Inženjeru pri projektiranju elektroenergetske mreže sve se više nameće pitanje uporabe kvantificiranih pokazatelja pouzdanosti napajanja potrošača električnom energijom. Razvojem programa za određivanje pokazatelja pouzdanosti i njohovom uporabom sa drugim programima projektiranja u stanju smo odrediti optimalne planove razvoja za svaku elektroenergetsku mrežu. Naravno, pri tome je potrebno poznavati troškove investicija, troškove tehničkih gubitaka, troškove popravki i planskog remonta, kao i troškove uslijed prekida napajanja električnom energijom. Navedene vrste troškova, svedene na godišnji nivo, često prikazujemo dijagramom ovisnosti troškova o pouzdanosti sustava gdje pri optimalnom nivou pouzdanosti sustava imamo minimalne ukupne troškove. Pri projektiranju težimo dovođenju sustava u tu točku.

Jedan od značajnih problema predstavlja kvantificirano određivanje šteta uslijed prekida isporuke električne energije potrošačima. Odmah uočavamo da se ovdje radi o dvije grupe šteta. Jednu grupu čine štete zbog neisporučene električne energije i snage u elektroprivredi, dok u drugu grupu svrstamo štete zbog neisporučene električne enegije i snage kod potrošača.

U ovom članku predmet našeg interesa su štete kod potrošača. Njih dijelimo na primarne i sekundarne štete. Dok pod pojmom primarnih šteta podrazumijevamo štete koje direktno dovode do smanjenja proizvodnje kod potrošača, dotle pod sekundarnim štetama podrazumijevamo štete kod potrošača kojima je uzrok neisporuka električne energije i snage potrošačima koji u tehnološkom lancu prethode promatranom potrošaču.

Kvantificirane pokazatelje primarne štete određujemo na nekoliko načina, od kojih su ovdje navedena dva:

- Korelacija narodnog dohotka i potrošnje električne energije (točnija metoda).
- Anketa potrošača.

Kvantificirane pokazatelje sekundarne štete najčešće određujemo "Input-Output analizom".

Ovisnost između raznih djelatnosti uzima se u obzir preko obrade sekundarnih šteta. Često se upotrebljava kada su nam poznati pokazatelji pouzdanosti, metoda kvantificiranog određivanja sekundarnih šteta. Iz razloga postojanja ne malih teškoća kod određivanja ukupnih šteta koriste se pristupi za određivanje specifičnih šteta koji su svrstani u dvije grupe:

- Makro nivo
- Mikro nivo.

Tako dolazimo do kvantificiranih pokazatelja specifičnih šteta u industriji, a zatim projekcijom na ostale djelatnosti kvantificiramo štete tih djelatnosti obuhvaćajući tako cijelu privredu.

Prva opsežna istraživanja na području šteta zbog neisporučene električne energije i snage potrošačima potječu od prije 25 godina, dok se prve ozbiljne rasprave o ovim štetama održavaju na savjetovanju CIRED, 1981. godine. Nakon toga u više zemalja došlo se do kvantificiranih pokazatelja koji su u ovom radu prikazani tablično ili dijagramom. Skrenuta je pozornost na problematiku izračunavanja kvantificiranih pokazatelja specifičnih šteta zbog neizgrađenosti jedinstvenih kriterija i postupaka pri njihovom određivanju.

Iznešena je mogućnost smanjenja šteta zbog neisporučene električne energije i snage kod potrošača, ugradnjom elemenata elektroenergetskog sustava koji direktno utječu na skraćenje vremena ispada potrošača.

2. MODELI

U ovom poglavlju osvrnut ćemo se na nekoliko modela putem kojih možemo odrediti štete (primarne i sekundarne) zbog neisporučene električne energije kod potrošača.

2.1. Linearna korelacija narodnog dohotka i potrošnje električne energije

Ovom korelacijom obuhvaćamo primarne štete. Izraz koji daje linearnu povezanost narodnog dohotka (*ND*) sa potrošnjom električne energije (*W*) ima izgled:

$$ND = a \cdot W + b \tag{1}$$

gdje su *a,b* konstante koje se određuju minimumom sume razlike kvadrata, tj. traži se minimum izraza:

$$S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (N D_i - aW_i - b)^2 \tag{2}$$

N - period analize (broj godina za koje se znaju podaci)

Nakon parcijalnog deriviranja po *a* i *b* te izjednačavanja s nulom dobivamo

$$\sum_{i=1}^{N} W_i - N D_i - a \sum_{i=1}^{N} W_i^2 - b \sum_{i=1}^{N} W_i = 0 \tag{3}$$

$$\sum_{i=1}^{N} N D_i - a \sum_{i=1}^{N} W_i - b N \tag{4}$$

Uvedimo supstitucije:

$$A = \sum_{i=1}^{N} W_i - N D_i;\ B = \sum_{i=1}^{N} W_i^2;\ C = \sum_{i=1}^{N} W_i;\ D = \sum_{i=1}^{N} N D_i \tag{5}$$

pa izrazi (3) i (4) poprimaju oblik:

$$A - aB - bC = 0 \tag{7}$$

$$D - aC - bN = 0 \tag{8}$$

Rješenja sustava (7) i (8) su:

$$a = \frac{1}{B}(A - bC) \tag{9}$$

$$b = \frac{DB - AC}{BN - C^2} \tag{10}$$

gdje je:

a - šteta zbog neisporučene električne energije

b - narodni dohodak (ne ovisi o električnoj energiji)

Korelacija postoji ako je faktor korelacije $r \geq 0{,}7$ pri čemu je:

$$r = \sqrt{1 - \frac{\sum_{i=1}^{N} (N D_i - N D)}{\sum_{i=1}^{N} (N D_i - \overline{N D})^2}} \tag{11}$$

gdje je:

$$ND = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} N D_i$$

$N D_i$ - izračunata vrijednost faktora korelacije u i-toj godini.

2.2. Input-Output analiza

Služi za kvantitativno određivanje sekundarnih šteta. Djelatnosti privrede dijele se u sektore. Tako imamo:

- sektor proizvodnih djelatnosti (djelatnosti koje stvaraju dohodak - industrija, rudarstvo i dr.)
- sektor društvenih djelatnosti (djelatnosti koje ne stvaraju dohodak već sudjeluju u potrošnji društvenih proizvoda)

Input-Output analiza zasniva se na tablici:

I	II
III	

I – reprodukcijska potrošnja

II – finalna potrošnja

III – društveni proizvod

$\sum_i \sum_j X_{ij}$ - je izraz za ukupnu reprodukcijsku potrošnju koji daje uvid u veličinu i strukturu direktnih proizvodnih međuzavisnosti svih sektora privrede,

gdje su:

i-redovi - sektori izručioci

j - stupci - sektori potrošači materijalnih dobara

*X*ij - utrošak proizvoda što ga daje sektor izručica i sektoru potrošača j

Jednadžba raspodjele (vrjednost proizvodnje sektora izručioca i) ima izgled

$$Xi = \sum Xij + Yi - Ui \tag{12}$$

gdje je:

*Y*i - finalna potrošnja proizvoda sektora izručioca

*U*i - iznos uvezenih proizvoda od stane sektora i

Možemo napisati:

$$Yi = Ij + Ci + Ei \tag{13}$$

gdje je:

*I*j - investicijska potrošnja

*C*i - osobna i opća potrošnja

*E*i - izvoz

Za cijelu otvorenu privredu važi izraz:

$$\sum Xi = \sum_i \sum_j X_{ij} = \sum Ii + \sum Ci + \sum Ei - \sum Ui \tag{14}$$

Jednadžbe vrijednosne strukture bruto proizvoda može se iskazati u obliku:

$$Xj = \sum Xij + Dj \tag{15}$$

Društveni proizvod ostvaren u sektoru je.

$$Dj = Oj + Wj + Vj \tag{16}$$

gdje je:

*O*j - amortizacija u sektoru j

*W*j - osobni dohoci u sektoru j

*V*j - višak proizvoda u sektoru j

Jednadžba opće ravnoteže sada poprima izgled:

$$\sum_i Xi = \sum_i Xj \tag{17}$$

Rješava se matričnim putem (metodom iteracija).

2.3. Određivanje ukupne štete industrijskog potrošača

Ukupna šteta industrijskog potrošača može se izračunati na bazi vjerojatnosnog karaktera štete pomoću izraza.

$$L = \int_0^{\max} L(t) f(t) \mathrm{d}t \tag{18}$$

gdje je:

*t*max - maksimalno moguće vrijeme trajanja kvara

$f(t)$ - gustina raspodjele vremena trajanja kvara

$L(t)$ - funkcionalna ovisnost sumarne štete od vremena trajanja kvara

Ako znamo statistiku kvarova pri snabdjevanju potrošača električnom energijom moguće jke odrediti $F(t)$ i $L(t)$, a zatim izračunati očekivanu ukupnu štetu kod industrijskog potrošača.

$$f(t) = \mu\, e, \mu = \frac{1}{t} \text{ (izrazi vrijede u industriji nafte)} \quad (19)$$

$$L = \sum_{k=1}^{m+1} \int_{t_{k-1}}^{t} \cdot\, L(t) f(t) \mathrm{d}t \quad (20)$$

Ovakvi problemi rješavaju se na računalu jednom od aproksimativnih metoda.

2.4. Makro nivo

Specifičnu štetu određujemo na nivou cijelog industrijskog kompleksa. Šteta se tretira kao dio neostvarenog dohotka. Ovaj model omogućuje kvantifikaciju štete i kod potrošača kod koji nije moguće štetu izraziti novčanim iskazom (široka potrošnja, elektrificirani transport i dr.) Uzmimo da je dohodak industrijskog kompleksa (D) funkcija više faktora ($x1, x2, \ldots xn$). Tada važi:

$$D = f(x1\ x2 \ldots\ldots xn) \quad (21)$$

$$D = \frac{\partial}{\partial} \frac{D}{X_1} \cdot \Delta X_i + \frac{\partial}{\partial} \frac{D}{X_2} \Delta X_2 + \ldots + \frac{\partial}{\partial} \frac{D}{X_n} \Delta X_n \quad (22)$$

Pri prirastu nekog od faktora dobijamo prirast dohotka

$$L = \cdot\, \Delta D \quad (23)$$

Ako je električna energija dominantan faktor koji utječe na D, te uzimajući ($x1=W, x2, \ldots xn=\text{const}$) dobit ćemo specifičnu štetu kao:

$$l = L/\Delta W = -\Delta D/\Delta W = -\partial D/\partial W \quad (24)$$

2.5. Mikro-nivo

Ovo je složeniji pristup od postupka danog u 2.4 jer specifičnu štetu (l) definiramo na osnovi izračunate direktne (Ld) i indirektne (Li) komponente ukupne štete (L).

$$I\mathrm{d} = L\mathrm{d}/P \text{ (kn/kW)} \quad (25)$$

$$i\mathrm{i} = L\mathrm{i}/P\mathrm{sr}\text{-}t \text{ (kn/kWh)} \quad (26)$$

$$I = l\mathrm{i} + k \cdot l\mathrm{d}/t \text{ (kn/kWh)} \quad (27)$$

Koristeći poznate postupke za određivanje neisporučene električne energije u potrošačkom čvoru i definiranjem cijena neisporučenog kW i kWh, ukupnu štetu (L) izračunavamo kao:

$$L = l \cdot \Delta W = l \cdot \lambda \cdot \tau \cdot P(\mathrm{kn}) \quad (28)$$

gdje je:

λ-frekvencija ispada
τ-vrijeme trajanja ispada (god.)
P-ispala snaga (kW).

2.6. Anketa

Ovaj način prikupljanja podataka u cilju određivanja specifične štete uslijed neisporučene električne snage potrošačima koristi se za relativno brzo dobivanje ocijenskih podataka o novčanom iznosu specifične štete.

Prednost ove metode je ta što omogućava unaprijed definiranje grupa potrošača te određivanje specifične štete kod tih grupa potrošača.
Nedostatak ove metode sastoji se u tome što anketirana poduzeća mogu dati odgovore u širokom rasponu procijenjene štete tako da se dobiveni rezultati kreću u divergentnim granicama, a to znatno otežava pravilnu procjenu vrijednosti specifične štete.
Ipak, u nedostatku mogućnosti za realizaciju ranije naznačnih modela preporuča se provođenje ankete potrošača.

3. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Rezultate istraživanja možemo svrstati, ovisno o desetljeću u kojem su dobiveni, u dvije grupe:

1. Rezultati istraživanja od 1970. do 1980. godine
2. Rezultati istraživanja od 1981. do 1990. godine.

3.1. Rezultati istraživanja od 1970. do 1980. godine

U ovom članku prikazani su prvi rezultati istraživanja koji datiraju iz razdoblja od 1970. do 1972. godine. Koristeći se ranije navedenim matematičkim modelima dobiveni su konkretni pokazatelji šteta zbog neisporučene električne energije i snage potrošačima u SAD-u. Švedskoj, Belgiji i SSSR-u kako je to prikazano u tablici 1.

Tablica 1. Specifična šteta zbog neisporučene električne energije i snage potrošačima

Red. broj	Država	Specifična šteta DEM/kW	Specifična šteta DEM/kWh	Razdoblje god.
1	SAD	3,02	4,29	1970-1972
2	Švedska	0,32	0,80	1970-1972
3	Belgija		1,55	1970
4	Belgija		1,61	1972
5	SSSR		0,32-1,06	1972

Problem kvantificiranja sekundarnih šteta izvire iz problema međuzavisnosti djelatnosti i vrlo je složen, čak i kod razvijenih zemalja sa dobro organiziranom privredom. Osnovno je pitanje visine specifične štete kod određenog potrošača ako on ne dobije na vrijeme potrebnu robu a zakašnjenje je uslijedilo zbog neisporuke električne energije. Ovdje se koristimo stranim iskustvima (8) koja stavljaju troškove tih djelatnosti u odnos prema industriji.

Tablica 2. Odnos specifičnih šteta potrošačkih grupa i Industrije u Švedskoj u 1972. godini

Red. broj	Potrošačka grupa	Odnos specif. šteta
1	industrija	1,00
2	kućanstvo	2,00
3	poljoprivreda	4,00
4	trgovina	3,33
5	transport	1,67
	Distribucija bez velike industrije	
6	urbane sredine	3,00
7	pokrajinsko područje	2,67
8	Švedska (prosjek)	1,67

Odmah treba napomenuti da prosječne vrijednosti za zemlju ne proizilaze iz prikazanih tablica 2, 3, i 4 jer su iste dane u sažetom obliku dok je prosjek zadržan.
Ukoliko zadržimo odnose iz tablice 2. dobit ćemo da za Hrvatsku, pri cijenama iz 1972. godine, vrijede rezultati prikazani u tablici 3.

Tablica 3. Spcifične štete uslijed neisporučene električne energije u Hrvatskoj u 1972. godini

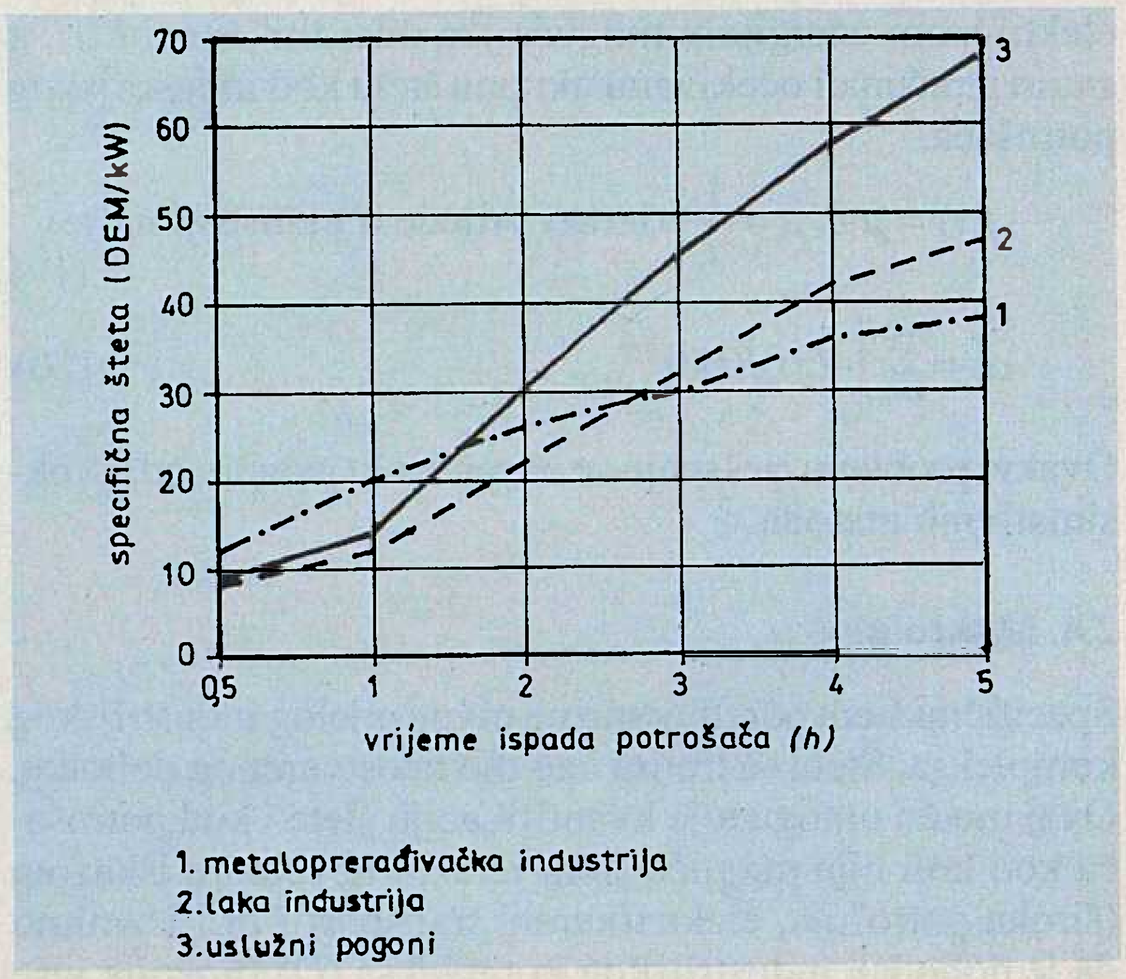
Red. broj	Potrošačka grupa	Specifična šteta din/kWh
1	industrija	5,2
2	kućanstvo	10,4
3	poljoprivreda	15,6
4	trgovina	17,2
5	transport	8,7
	Distribucija bez velike industrije	
6	urbane sredine	15,6
7	pokrajinsko područje	13,9
8	Švedska (prosjek)	8,7

U Hrvatskoj je 1976. godine provedena anketa u cilju dobivanja specifičnih šteta neisporučene električne energije i snage. Rezultati su dani u tablici 4.

Tablica 4. Specifične štete uslijed neisporučene električne snage za sedam grupa potrošača u Hrvatskoj u 1976. godini

Red. broj	Potrošačka grupa	Vršno opterećenje kW	Potroš. el. ener. MWh	Trajanje potrošnje h	Specif. šteta DEM/kW
1	industrija stakla	18360	115286	6280	0,07
2	metalna industrija	18189	48487	2666	1,24
3	kemijska industrija	56500	381539	7000	0,43
4	prehrambena industrija	4048	13442	3320	1,47
5	tekstilna industrija	22664	12584	555	0,14
6	građevinska industrija	6016	30478	5066	0,05
7	drvna industrija	2539	9651	3800	0,58
8	prosjek Hrvatska				0,46

Prema (8) navodi se prosječna specifična šteta od 4.5 DEM/kW u 1972. godini.
U stručnoj literaturi navode se vrijednosti specifične štete zbog neisporučene električne snae u 1974. godini od 0,8 DEM/kW.
Prema rezultatima provedene ankete u Hrvatskoj za 1976. godinu, dobiveno je 4,0 DEM/kW, što je deset puta više od rezultata iz (8) iz čega možemo izvući zaključak da su anketirani potrošači iznijeli najteže najteže moguće slučajeve. Realna vrijednost, prema (7), kreće se između podataka iz literature i ankete što bi se moglo procijeniti na 1,0 DEM/kW, za industriju (može i promet) i 0,5 DEM/kW za ostalo.
U Njemačkoj i Finskoj od 1978. do 1979. godine vršena su istraživanja u gradskim srednjonaponskim mrežama (5) s ciljem određivanja specifičnih troškova ispada potrošača. Rezultati za tri grupe potrošača u finskoj: (metaloprerađivačka industrija-1, laka industrija-2 i uslužni pogoni - 3 prikazani su na slici 1. dijagramom ovisnosti specifičnih troškova ispada o trajanju ispada.



Slika 1. Ovisnost specifičnih šteta o vremenu trajaja ispada potrošača u Finskoj 1979. godine

3.2. Rezultati istraživanja od 1981. do 1990. godine

Već početkom osamdesetih godina dolazi do intenziviranja istraživanja na području šteta zbog neisporućene električne energije potrošačima tako da 1981. godine u SAD objavljuju troškove uslijed prekida napajanja u privredi, što je prikazano u tablici 5.

Tablica 5. Štete uslijed prekida napajanja električnom energijom u privredi SAD-A u 1981. godini

Red. broj	Industrija	Trajanje prekida h	Normalan period rada h/god.	Troškovi prekida (sipada) niži $x10	viši $x10	niži $kWh	viši $kWh
1	hrane	4	2016	2091	4539	2,38	5,17
2	duhana	4	2016	0	0	0,00	0.00
3	tekstila	4	8544	5413	10323	10,35	19,71
4	građevinskog drveta	4	2016	865	1381	3,83	6,12
5	namještaja	4	2016	579	1127	3,51	6,83
6	papira	4	8544	1508	3151	0,98	2,05
7	tiskarska	4	8544	696	1273	1,45	3,19
8	kemijska	4	8544	1129	3925	2,63	9,13
9	rafinerije nafte	4	8544	471	919	6,48	6,74
10	gume i plastike	4	8544	363	630	2,11	4,12
11	kože	4	2016	1321	2328	3,05	5,29
12	kamena, keram. i stakla	4	8544	942	1306	2,58	4,54
13	primarnih metala	4	2016	1507	2419	1,71	2,37
14	neelektričnih strojeva	4	4864	3137	5795	2,41	3,86
15	električnih strojeva	4	8544	1315	2568	3,65	6,75
16	transportne opreme	4	8544	1864	2598	1,68	3,20
17	mjerne opreme	4	4864	1215	2669	2,34	3,26
18	raznovrsne proizvodnje	4	4864	891	1914	3,72	8,17
	poljoprivreda			21	21	2,90	7,79

Na savjetovanju CIRED, 1981. godine održavaju se prve značajne rasprave o štetama zbog neisporučene električne energije i snage. Izvješća iz pet evropskih zemalja (Belgja, UK, Finska, Francuska i Nizozemska) pokazala su da je prosječna specifična šteta zbog neisporučene električne snage 3,0 DEM/kW.

Tablica 6. Specifične štete uslijed neisporučene električne energije u Danskoj u 1982. godini

Red. broj	Potrošačka grupa	Specifična šteta DEM/kWh
1	mala industrija i uredi	5,2
2	robne kuće	10,4
3	kućanstva i poljoprivreda	15,6

U Danskoj su putem ankete potrošača došli do rezultata prikazanih u tablici 6.
Iste godine u Švedskoj su došli do maksimirnalnih troškova uslijed neisporučene električne energije i snage ovisno o trajanju ispada što je dano tablicom 7.

Tablica 7. Maksimalne vrijednosti specifične štete električne snage i energije ovisno o trajanju ispada u Švedskoj u 1982. godini

Red. broj	Grupa potrošača	Troškovi neisporučene el. energije i snage					
		do 1h		1 do 2 h		2 do 8 h	
		DM/kW	DM/kWh	DM/kW	DM/kWh	DM/kW	DM/kWh
1	teška industrija	0,1-0,3	0,2-4,9	1,3-6.9	0,5-6,2	1,9-12,8	0,3-6,8
2	veliki gradovi	2,7	9	11,7	8,9	20,9	9,5
3	seoska kućanstva	1,5	3,8	5,3	3,7	9	4,5
4	cijela zemlja	1,2	4,3	5,4	4,8	10,3	5,6

Prema (4) smatra se da možemo zadržati ranije pokazatelje tako da za 1983. godinu u Hrvatskoj procjenjujemo da su specifične šteta: 1 DEM/kW (za industriju i promet) i 0,5 DEM/kW (ostalo). Prema (7) smatra se da cijena neisporučenog kWh treba da bude 25 puta veća od cijene normalno isporučenog kWh, promatrano kroz vrijeme trajanja prekida od jednog sata.
U Kanadi dolazi do značajnih istraživanja na ovom polju 1984. godine Troškovi neisporučene električne energije određeni su u funkciji trajanja ispada za dvije grupe potrošača (komercijala i mala industrija). Pod "komercijala" su podrazumijevali banke, prodavaonice i sl, dok su u grupu "mala industrija" svrstali potrošače koji se napajaju sa distribucijske mreže, a nisu obuhvaćeni pod "komercijala". Rezultati su prikazani u tablici 8.

Tablica 8. Specifična šteta uslijed neisporučene električne energije u funkciji trajanja ispada u Kanadi u 1985. god.

Red. broj	Grupa potrošača	Specif. štete (troškovi ispada) $kW trajanje isapda (h)				
		1/60	20/60	1	4	8
1	komercijala	0,28	2,05	5,88	21,51	63,07
2	mala industrija	0,7	2,88	5,19	13,87	27,6

Ako se potrošače upozori ranije tada podatke iz tablice 8. množimo koeficijentom redukcije a < 0,32. Nadalje, u tablici 9, iznose troškove neisporučene električne energije kućanstvima ovisno o trajanju iznenadnog ispada.

Tablica 9. Specifična šteta uslijed neisporučene el. en. kućanstvu u 1985. godini

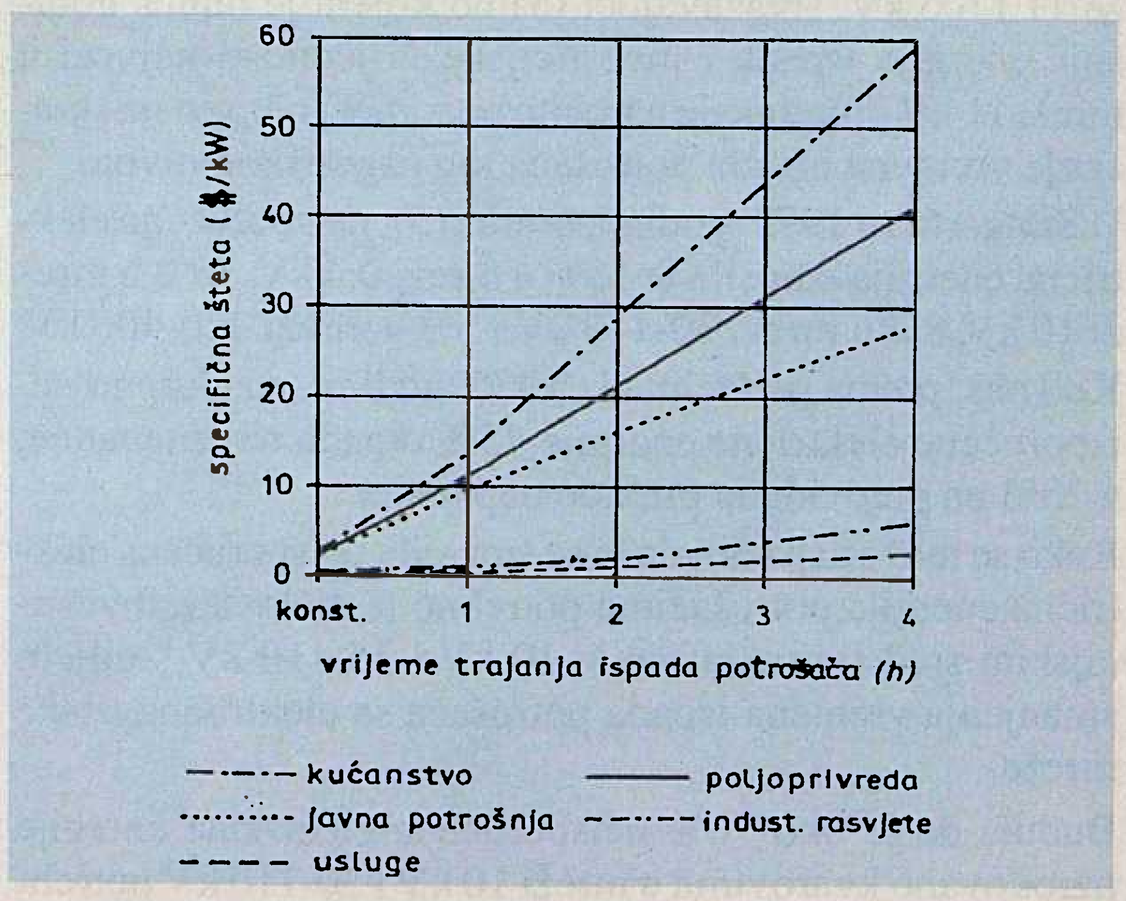
Red. broj	Iznenadni ispad h/mjesec	Specifična šteta $/kW
1	0,33	0,06
2	1	0,31
3	4	3,16
4	12	4,91

U jesen 1986. godine provedena su istraživanja u Finskoj na uzorku od 150 000 potrošača s ciljem određivanja specifične štete uslijed neisporučene električne energije potrošačima koji su podijeljeni u pet grupa (kućanstvo, poljoprivreda, javni potrošači, laka industrija i uslužni pogoni). Uzeto je u obzir različito trajanje ispada kao i to da li je ispad bio planiran (P) ili neplaniran (I). Rezultati su dani u tablici 10.

Tablica 10. Specifične štete ovisno o trajanju ispada u Finskoj u 1986. god.

Red. broj	Grupa potrošača		Troškovi neisporučene električne energije (DM/kWh)				
			konst.	do 1h	1 do 4h	4 do 12h	preko 12h
1	kućanstva	I	0,1	0,9	0,8	0,2	1,5
		p	0,1	0,5	0,5	0,2	0,6
2	poljoprivreda	I	0,2	1,6	2,1	2,1	4,7
		p	0,1	0,6	1,2	2	3,2
3	javni potrošači	I	2,8	14,1	10,8	7,4	25,5
		p	2,1	1,9	5,8	2,5	13,2
4	laka industrija	I	2,7	16	17,6	10,2	22,1
		p	1,6	12,2	16,4	8,4	12,2
5	uslušni pogoni	I	3,8	19,5	26,8	18,7	10,6
		P	1,3	12,9	12,4	20,4	3,9

Prema (1) iste godine pojavio se u Finskoj dijagram ovisnosti troškova ispada o dužini trajanja prekida za pet grupa potrošača, što je prikazano slikom 2.



Slika 2. Dijagram ovisnosti specifičnih šteta o vremenu trajanja ispada za pet grupa potrošača u Finskoj u 1986. godini

Tablica 11. Specifična šteta za četiri grupe potrošača u SAD-u u 1988. god.

Red. broj	Grupa potrošača	Specif. šteta $/kWh
1	stambeni	4,05
2	komunalni	4,05
3	komercijala	39,69
4	industrija	6,78
5	poljoprivreda	3,53

Rezultati istraživanja u SAD-u ljeto 1988. godine daju kvantificirane podatke direktnih troškova ispada potrošača u toku jednog sata za četri grupe potrošača, što je prikazano u tablici 11.

4. TRAJANJE ISPADA POTROŠAČA

Za smanjenje štete zbog neisporučene električne energije potrošaču bitno je smanjiti vrijeme ispada potrošača sa elektroenergetske mreže uvažavajući pravilo da veća ispala snaga zahtijeva kraće trajanje ispada potrošača. Istraživanja u UK za 1976. godinu (5) pokazuju, u tablici 12, srednje godišnje trajanje ispada po naponskim nivoima.

Tablica 12. Srednje godišnje trajanje ispada potrošača u UK u 1979. god.

Red. broj	Električna mreža kV	Srednje godišnje trajanje ispada %
1	>132	1
2	132;66,33	10
3	11;6,6	61
4	<1	12
5	Plan. prekidi	16

Od 16% planiranih prekida 75% se odnosi na mrežu 11 i 6,6 kV. Iz tablice 12. vidljivo je da od ukupnog trajanja prekida 73% otpada na potrošače koji se napajaju sa mreže 11 i 6,6 kV. Uvažavajući (5) po kojem je odnos godišnje energije ispada i investicijske vrijednosti najveći u mreži 11 kV potrebno je naročitu pozornost obratiti na skraćenje vremena ispada potrošača tog naponskog nivoa.

U Stutgartu za 1977. godinu, prema (5), neisporučena električna energija iznosila je 15% u mreži 0,4 kV, 76% u mreži 10 kV, 8% u mreži 30-110 kV i 1% u mreži 220-400 kV.

Kod nas, prema podacima iz 1985. godine, od ukupno neisporučene električne energije 75% otpada na iznenadne, a 25% na predviđene prekide napajanja.

Kako se može zapaziti, da bi se smanjila neisporučena električna energija potrošačima potrebno je djelovati, investicijskim sredstvima, u mreži 10 kV i 35-110 kV s ciljem smanjenja vremena ispada potrošača sa elektroenegetske mreže.

Budući da je oko 70% neisporučene električne energije uzrokovano kvarovima u mreži 10 kV i 30-110 kV potrebno je trajanje kvara svesti na optimalni minimum. To se može postići na više načina od kojih ovdje navodimo tri:

- uvođenje sustava centralnog daljinskog upravljanja
- proširenje postojećih sustava daljinskog upravljanja na mreži 10 kV
- ugradnju električne opreme i aparata sa mogućnošću automatskog brzog premještanja mjesta razdvajanja (vezano za prstenastu mrežu).

5. KRATKA ANALIZA

Iz tablica i dijagrama, prikazanih u ovom radu, uočavamo:

- prikupljene podatke u periodu od 1970. do 1990. godina
- rezultate istraživanja iz deset zemalja (Belgija, Danska, Finska, Hrvatska, Kanada, Njemačka SAD, SSSR, Švedska i Velika Britanija)
- grupe potrošača na kojima su istraživanja vršena, a koje su različite za svaku zemlju.

Najčešće se operiralo sa slijedećim grupama potrošača.

1. mala industrija i uredi, robne kuće, kućanstvo i poljoprivreda
2. industrija, kućanstvo, poljoprivreda, trgovina i transport
3. urbane sredine, seoska područja
4. teška industrija, veliki gradovi, seoska kućanstva
5. komercijala, mala industrija
6. kućanstvo, poljoprivreda, javni potrošači, laka industrija, uslužni pogoni
7. metaloprerađivačka industrija, laka industrija, uslužni pogoni
8. stambeni, komunalni, komercijala, industrija, poljoprivreda

Promotrimo na slučajevima SAD-a i Švedske kretanje kvantificiranih pokazatelja specifičnih šteta udlijed neisporučene električne energije i snage potrošačima u razdoblju od 1970. do 1990. godine.

- Specifične štete uslijed neisporučene električne energije i snage u SAD-u od 1970. do 1972. godine, izkazane su vrijednostima 3,02 DEM/kW i 4,29 DEM/kWh, da bi 1981. godine bile kvantificirane iznosima 7,35 DEM/kWh, a 1988. godine vrijednosti 20,4 DEM/kWh (preračunato pri tečaju 1$=1,5 DEM).
- Specifične štete u Švedskoj iskazane su slijedećim redoslijedom:
  1970. godine u iznosima 0,32 DEM/kW i 0,8 DEM/kWh,
  1972. godine prosječnim iznosom od 1,67 DEM/kW,
  da bi 1982. godine bile iskazane vrijednostima 10.3 DEM/kW i 5,6 DEM/kWh. Iz navedenih pokzatelja odmah uočavamo da su kvanitificirani pokazatelji specifičnih šteta uslijed neisporučene električne energije i snage potrošačima imale niske vrijednosti u prvom razdoblju analize (1970-1980) da bi u drugom razdoblju (1981-1990) znatno porasle. Razloge ovome vidimo u poboljšanju modela putem koji su pokazatelji dobiveni, a koji su, pored ostalog, obuhvatili: trajanje neisporuke električne energije i snage potrošačima, frekvenciju ispada potrošača, utjecaj višestrukih kvarova, utjecaj električne zaštite i dr. U najnovijim modelima uveden je i faktor najave ispada potrošača (Kanada) koji utječe na smanjenje kvantificiranih pokazatelja ($a \leq 0{,}32$).

Rezultati ispitivanja u Finskoj iskazani su 1979. godine za laku industriju sa 8 DEM/kW, dok su 1986. godine za istu grupu potrošača dane vrijednosti od 2,7 DEM/kWh, ako je ispad bio iznenadan, i 1,6 DEM/kWh ako je ispad bio planiran.
Urbane sredine u Švedskoj (1972.) imale su 1.72 puta veće kvantificirane pokazatelje specifičnih šteta od seoskih sredina, dok je 1982. godine tajm omjer porastao na 2,1.
Prosječna vrijednost specifične štete uslijed neisporučene električne snage potrošačima, u razdoblju analize od 1981. do 1990. godine u više evropskih zemalja (Belgija, Engleska, Finska, Francuska i Nizozemska) iznosila je 3 DEM/kW.
U Hrvatskoj su 1972. godine dobiveni rezultati u iznosu od 8,7 din/kWh. Četiri godine kasnije anketom je ustanovljena specifična šteta uslijed neisporučene električne snage potrošačima od 4 DEM/kW što je tada ocijenjeno nerealno visokim (oko 10 puta više negu u (8)) upozoravajući da anketom dobivamo vrlo grupe pokazatelje. Rezultati analize iz 1983. godine upućivali su tada na prihvatljive vrijednosti za Hrvatsku od 1 DEM/kW (za industriju i promet) i 0,5 DEM/kW (ostalo).

6. ZAKLJUČAK

U svrhu optimiranja elektroenergetskog sustava, tj. predviđanja dinamike izgradnje novih elektroenergetskih objekata kao i njihovog vođenja, potrebno je obratiti značajnu pozornost na štete zbog neisporučene električne energije i snage kod potrošača. Kvantificirano određivanje ovih šteta vrši se intenzivnije od 1981. godine i do danas je objavljeno mnoštvo rezultata od kojih su neki iznešeni u ovom radu. Uočljivo je da nema jedinstvenog pristupa u određivanju šteta kako pri definiranju grupa potrošača, trajanju ispada potrošača, frekvenciji ispada potrošača, veličini ispale snage kao i mogućnosti prethodnog upozorenja potrošača. Za današnje prilike u Hrvatskoj, na osnovi ranijih istraživanja, uz dosta rezerve, uvažavajući porast vrijednosti specifičnih šteta zbog korištenja modela koji su u drugom periodu analize u promatranim zemljama, obuhvatili više relevantnih parametara, procjenjujemo vrijednosti na 2-3 DEM / kWh.

Daljnje aktivnosti na polju određivanja šteta zbog neisporučene električne energije i snage kod potrošača, kao i njihovom smanjenju trebaju se odvijati u dva paralelna smjera:

1. Definiranje jedinstvenih postupaka, što podrazumijeva:
   - jednoznačno određivanje grupa potrošača
   - jednoznačno prikazivanje trajanja ispada potrošača (frekvencija ispada)
   - uvažavanje najave isključenja potrošača
   - uvažavanje perioda isključenja po dobi godine
   - uvažavanje perioda isključenja po dobi dana (dan, noć) i dr.
2. Smanjenje trajanja ispada potrošača uvođenjem:
   - sustava centralnog daljinskog upravljanja
   - proširenjem sustava daljinskog vođenja na mreže 10 kV
   - automatskog brzog premještanja mjesta razdvajanja u prstenastim mrežama

U sadašnjim uvjetima gospodarstva u Hrvatskoj određivanje specifičnih šteta vrlo je teško provodivo, te možemo samo vršiti procjene na bazi ranije određenih pokazatelja, uvažavajući današnje čvrste energetske pokazatelje. Vjerovatno bi bilo interesantno provesti anketu te na osnovu rezultata ankete (iako anketa daje manje pouzdane pokazatelje od drugih metoda) doći do kvantificiranih pokazatelja specifičnih šteta zbog neisporučene električne snage potrošačima.

LITERATURA

[1] A. MAKINEN, J. PARTANEN, E. LAKERVI: "A Practical Aproach for Estimating Future Outage Cost in Power Distribution Networks", IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 5, No. 1, January 1990.

[2] S. BURNS, G. GROSS: "Value of Service Reliability.", IEEE Transacton on Power System. Vol. 5, No. 3, August 1990.

[3] "The National Electric Reliability Stady: Technical Study Report", U. S. Department of Energy DOE/EP-0005, April 1981.

[4] I. ČAUŠ, R. SCHENER: "Utvrđivanje šteta nastalih zbog neisporučene električne energije i snage", Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1983.

[5] A. FAGARAZZI: "Tehnički i ekonomski aspekti pouzdanosti napajanja gradskih srednjenaponskih mreža", CIGRE, Neum, April. 1991.

[6] I. MRAVAK: "Utjecaj višestrukih kvarova na pokazatelje pouzdanosti elektroenergetskog sustava", Magistarski rad, Elektrotehnički fakultet, Zagreb, 1993.

[7] N. MIJUŠKOVIĆ: "Računarski programi za tehnoekonomsku analizu distributivnih mreža", CIGRE, Budva, 1987, Ref. br. 39. 04.

[8] B. MATTISSON, J. NUDER: "Simplified Use of Failure Statistic for Optimizing System and Equipment Design", CIGRE, Sweden, 1972.

[9] M. PAPIĆ, H. ŠEHOVIĆ: "Tehno-ekonomski model za ocjenu nivoa pouzdanosti napajanja industrijskih potrošačkih čvorova", CIGRE, Struga, 1985, Ref. br. 23. 05.

SPECIFIC DAMAGES CAUSED BY UNSUPPLIED ELECTRIC ENERGY AND POWER TO THE CONSUMERS

Considering the problems of design and electric network management, a riview on damages caused by unsupplied energy and power to the consumers is given in the paper. For the determination of quantificated parameters of primary damage the mathematical model "Correlation berween National Product and Electric Energy Consumption" is shown and for the determination of secondary damages "Input Analysis" is quoted. The models of "Macro and Micro Level" as well as the model for the determination of the entire industrial consumer node damage are stated. Based on known specific damages in industry, starting with the specific damages in all other economic activities are determined. Tables and diagrams of quantificated parameters of specific damages in other countries for the period from 1970 do 1990 are given together with the problems of comparing them. Some measures are mentioned that lead directly to the decrease of unsupplied electric energy.

Energija, god. 46 (1997) 1, 23-30

DURCH DEN AUSFALL VON ENERGIE- UND LEISTUNGS- LIEFERUNGEN ENSTANDENE REALSCHÄDEN BEI DEN VERBRAUCHERN

Es ist ein Rückblick auf die Ermittlung der, durch den Ausfall von Energie- und Leistungs- Lieferungen, entstandenen Schäden gegeben, im Bezug auf Fragen, welche sich beim Entwerfen eines Stromversorgungsnetzes und bei dessen Führung stellen. Wegen der Ermittlung von Kenngrößen der direkten Schäden ist das mathematische Modell genannt "Das Verhältniß des Nationaleinkommens und des Stromverbrauches" gegeben, indem zur Ermittlung von indirekten Schäden auf die Eingabe-Erforschung ("Input-Analyse") hingewiesen wird. Angegeben sind Modelle auf "Makro-Ebene" und "Mikro-Ebene" und ein Modell Für die Gesammtschädenbestimmung eines Industrie-Ballungszentrums. Auf Grund bekannter facheigener Schäden in der Industrie sind auf solche Schäden in anderen Wirtschaftszweigen Folgerungen gezogen. Gegeben sind Tabellen und Diagramme für facheigene Kenngröoßen in anderen Ländern in der Zeitspanne 1970 - 1990 mit Rückblick auf Probleme des Vergleiches dieser Größen. Einige auf die Lieferungseinschrenkung von Strommengen unmittelbar wirkende Maßnamen sind angedeutet.

Naslov pisca:

mr. sc. Ivan Mravak, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda
Direkcija za distribuciju
Ulica grada Vukovara 37
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1996-11-04.

industrogradnja d.d.

PODUZEĆE ZA GRAĐENJE, PROJEKTIRANJE, KONZALTING, PROIZVODNJU, TRGOVINU, VANJSKO-TRGOVINSKO POSLOVANJE, UGOSTITELJSTVO I TURIZAM, ZAGREB

SUVREMENA KRETANJA U ISTRAŽIVANJIMA I NORMIZACIJI BIOMEDICINSKIH UČINAKA ELEKTROMAGNETSKIH POLJA

Mr. sc. Dubravko Sabolić — Sonja Zentner — Božidar Poldrugač, Zagreb

UDK 538.312:61
PREGLEDNI ČLANAK

Rad pruža vrlo sažet, ali potpun prikaz stanja biomedicinskih istraživanja utjecaja neionizirajućih elektromagnetskih zračenja na zdravlje čovjeka i daje popis relevantne literature u kojoj se mogu pronaći detaljni podaci. Također su prikazane suvremene tendencije u razvoju normi zaštite ljudi od elektromagnetskih polja počevši od statičkih i niskofrekventnih, s posebnim naglaskom na mrežne frekvencije (50/60 Hz), pa sve do područja milimetarskih valova (300 GHz). Dan je i kratak osvrt na stanje ove specifične struke u našoj zemlji.

Ključne riječi: elektromanetsko polje, biološki učinci, normizacija zaštite ljudi od neionizirajućih zračenja.

1. UVOD

Biološke posljedice primjene električne energije privlače posljednjih godina iznimno veliku pozornost stručnih krugova i javnosti. Javlja se opća zabrinutost za moguće efekte vezane uz nedovoljno istražene manifestacije polja u organizmima, koji tijekom evolucije nisu bili izloženi drugim elektromagnetskim zračenjima, osim prirodnim. Današnja se razina elektromagnetskih smetnji stalno prisutnih u eteru može ponajprije zahvaliti ljudskoj aktivnosti, i znatno je veća od prirodnog fona. To se posebice odnosi na polja mrežne frekvencije (50/60 Hz), te na radiofrekventna polja.

Istraživanja biomedicinskih utjecaja ovih polja provode širom svijeta mnogi multidisciplinarni timovi stručnjaka iz područja elektrotehničkih i prirodnih znanosti. Cilj je uočavanje i objašnjenje efekata koje pokazuju elektromagnetska polja na sve zdravstvene aspekte života, prikupljanje podataka i ustanovljenje normi koje trabaju omogućiti efikasnu zaštitu populacije. Posao pritom nije nimalo lak. Sa stanovišta elektrotehničke struke potrebno je upustiti se vrlo duboko u pitanja analize propagacije elektromagnetskih polja, kako bi se omogućila teorijska predikcija parametara ekspozicije tijela vrlo složenog sastava i oblika, unešenog u elektromagnetsko polje; zatim omogućiti potrebna mjerenja i razraditi postupke u dozimetriji, pružiti biomedicinarskim timovima potrebne eksperimentalne uvjete, i konačno, dati veliki doprinos određivanju zaštitnih veličina polja u postupku donošenja propisa. U našoj zemlji postoje dva vrijedna tima koja se bave ovom problematikom: onaj okupljen oko Studijskog komiteta 36 HK CIGRE (voditelj prof. dr. Ivan Plačko), te onaj angažiran na istraživačkom projektu Europske zajednice COST 244, pod vodstvom prof. dr. Zlatka Korena, koji je u 1996. godini imao vrlo žive aktivnosti kulminirale zapaženim sastankom COST-a 244 5. i 6. listopada u Zagrebu, a u čijem su radu sudjelovali mnogi svjetski autoriteti iz ovoga područja. U istraživanjima biokompatibilnosti električnih sustava Hrvatska je kadrovski sposobna dati ravnopravne doprinose, i svakako je u interesu privrede da podrži ova nastojanja.

Temeljna svrha članka koji slijedi je da pruži, koliko je to moguće u zadanom formatu, iscrpan pregled istraženih bioloških efekata, kao i onih još nedovoljno razjašnjenih, što će čitatelju sigurno biti zanimljivo, te da isto tako podastre osnovni pregled zaštitne normizacije danas aktualne u Europi i svijetu. Ako to ima interesa i potrebe upoznati se s detaljima problematike, na kraju će pronaći popis meritorne literature, pretežno dostupne kod nas.

2. PROCJENA ZDRAVSTVENIH RIZIKA I PRAGOVI DJELOVANJA POLJA

2.1. Utjecaji polja niskih frekvencija

Metode procjene zdravstvenih rizika pri ozračenosti elektromagnetskim poljima obuhvaćaju medicinska i biološka ispitivanja epidemiološke prirode, na ljudskim i životinjskim populacijama, te biomedicinska istraživanja na grupama pokusnih životinja i staničnim preparatima *(in vitro)*, a služe kao temelj za normizaciju dopuštenih vrijednosti ozračivanja. Pregledi obavljenih istraživanja s detaljnim propisima referencija čitatelj može pronaći u [1], [2], [3], [4]. Ovdje će se dati najvažniji naglasci vezani za biološke efekte mrežnih i drugih niskih frekvencija. Čitatelj će svakako primijetiti da postoji određena gradacija: pri ispitivanjima ljudi količina uočenih djelovanja je najmanja, dokazi često nemaju veliku težinu, a efekti koji su uočeni mnogo puta spadaju u bezazlene. Kada se istraživači spuste na razinu pokusa sa životinjama, na vidjelo izlazi veći broj pojava, ponekad povezanih i s težim bolestima. Na staničnoj pak razini podaci se mogu učiniti najalarmantnijima. Koji su razlozi tih različitosti i kako onda shvatiti podastrijete činjenice?

Na niskim frekvencijama, od kojih nas najviše zanimaju mrežne (50 i 60 Hz), električno i magnetsko polje u okolini električnih naprava (npr. dalekovoda) ponašaju se nepovezano. Dok je električno polje na nekom mjestu ispod voda uvijek isto, dokle god je on pod naponom, magnetska indukcija varira razmjerno struji opterećenja voda. Kada se ljudsko tijelo nađe u takvom prostoru ono perturbira

električno polje. Na mrežnoj je frekvenciji vodljivost organizma tako velika da silnice električnog polja bivaju praktički okomite na površinu kože, a jakost polja unutar tijela može pasti i za koji 100 dB prema vrijednosti u odsustvu tijela. Radi toga električno polje djeluje uglavnom na površini, pobuđujući vibracije dlaka ili kose, i uzrokujući elektrostatska mikropražnjenja. Zbog ovoga "samooklapanja" tijela, zapaženi učinci električnog polja su rijetki i ne zabrinjavaju. Naprotiv, kada se pokus vrši in vitro, na kulturi bakterija ili sl, bez teškoća se proizvode jakosti polja koje inače vladaju pod dalekovodima, [5], [6], recimo do kojih 15 kV/m, pa i mnogo veće, tako da su promatrane kulture *doista* pod utjecajem velikih polja, te su i uočeni efekti brojniji. Drugačije je s magnetskim poljem: obzirom da ljudski organizam ne sadrži feromagnetske tvari, prisustvo tijela zapravo i ne djeluje na razdiobu magnetske indukcije, te ona u svojoj punoj vrijednosti prodire u organizam uzrokujući u njemu vrtložne struje po Faradayevom zakonu. Tadi toga je danas uobičajeno tvrditi da je magnetsko polje na niskim frekvencijama "opasnije".
Povijesno gledano, istraživanja su krenula u tom smjeru da su se najčešće odvojeno promatrala djelovanja električnog i magnetskog polja. Suštinski, kada je riječ o magnetskome, njegovo djelovanje je maleno ili nikakvo (jer u tijelu nema magnetičkih tvari), ali je penetracija u dubinu organizma mnogo efikasnija (iz istog razloga), pa dolazi do djelovanja induciranog vrtložnog električnog polja. Zato se gustoća struje u tkivu pojavljuje kao ključni faktor u razradi standarda na niskim frekvencijama.
Medicinska ispitivanja i mjerenja ekspozicijskih uvjeta na ljudima sadrže neke inherentne i nerješive teškoće. Primjerice, da bi se saznala jakost polja na nekom mjestu unutar organizma, potrebno je kirurškim zahvatom ugraditi mjernu sondu u živog čovjeka, a zatim ga ozračiti dostatnom razinom polja, za koje još nismo sigurni da nije štetno. S medicinskog je gledišta takvo istraživanje nemoralno i nedopustivo, a pronalaženje dragovoljaca bilo bi zaista teško. Što se tiče određivanja jakosti polja u tkivu, danas na raspolaganju stoje i razvijaju se numeričke metode proračuna, u kojima je sasvim sigurno budućnost dozimetrije neionizirajućih zračenja. Pitanje ozračivanja ljudi i dalje ostaje problematično, i može se donekle ublažiti epidemiološkim studijama.
No, pritom je vrlo teško eliminirati ostale faktore, poput utjecaja pušenja, alkohola, štetnih tvari, stresa, nedijagnosticiranih bolesti, itd. Radi toga je na ljudskim uzorcima vrlo teško postići statističku signifikantnost, pa se pribjegava eksponiranju životinja (štakora, miševa, majmuna, peradi i drugih) uz kontrolu životnih uvjeta, odnosno staničnih preparata ljudskog ili drugog porijekla. Kod uporabe životinja problematično je rezultate preskalirati na ljudsku vrstu. Rezultati iztraživanja na staničnim uzorcima moraju pak biti promatrani u svjetlu izdvojenosti iz složenog organizma, radi čega nastaje masa predvidivih i nepredvidivih utjecaja.

2.1.1. *Studije na ljudima - električno polje*

Najviše istraživača uočava vibracije tjelesnih dlaka. Na 50 i 60 Hz oko 5% populacije osjeća taj efekt pri jakosti polja od 3-5 kV/m, a on ima počinje smetati na 15-20 kW/m. Ove se pojave smatraju bezopasnima. Kapacitivna pražnjenja između odjeće i tijela zapaža 10% populacije pri 0.6-1.5 kV/m, a prag smetnje je 2-3.5 kV/m. gustoće struja na mjestima iskrenja lokalno mogu biti velike, pa se javlja osjet, iritacija ili bol, a kod višestrukog ponavljanja dolazi do nervoze i smanjenja radne sposobnosti. Osim u ekstremnim slučajevima, pojava iskrenja se smatra bezopasnom.
Krv i kardiovaskularni sustav ne trpe od NF električnih polja. Jedino je uočeno blago usporenje pulsa u mirovanju, pri kombiniranoj ekspoziciji sa 9 kV/m i 20 μT, ali efekt nestaje aktiviranjem tijela. EKG ne pokazuje nikakve promjene. EEG pokazuje promjene, ali bez pridruženih neurofizioloških ili mentalnih promjena. Dapače, jedna studija pokazuje da dok 36 kV/m (50 Hz) mentalne sposobnosti rješavanja kompleksnih zadataka rastu! Vrlo slaba periodički uključivana NF polja (2.5 V/m) mogu sinkronizirati dnevni ritam organizma u odsustvu drugih pobuda (noć/dan i sl.).
Apsolutna donja granica pobude mišićnih i živčanih stanica izražava se gustoćom struje, a iznosi oko 10 mA/m^2, dok se eksterno električno polje koje to može pobuditi procjenjuje na 40-120 kV/m - dakle vrijednosti na kakve se rijetko može naići. U stvarnosti je za direktnu pobudu ovih tkiva potrebno polje veće možda i za čitav red veličine. Ukupno, akutni efekti do 20 kV/m na mrežnim su frekvencijama vrlo mali i ne mogu se razlučiti od normalnih bioloških varijacija.

2.1.2. *Studije na ljudima - magnetsko polje*

Uočene su lagane obojene vizualne senzacije uzrokovane pobudom retinalnih stanica gustoćom struje od oko 10 mA/m^2, kakvu može proizvesti sinusna indukacija efektivne vrijednosti 1-2 mT na 50 Hz. Višesatne ekspozicije do 5 mT na 50 i 60 Hz nisu izvršile nikakvih utjecaja na krvne pretrage, krvni tlak, EKG, puls i tjelesnu temperaturu. Istodobno, ekspozicije oko 0.1 mT uzrokovale su poboljšanje mentalne sposobnosti kratkotrajnog pamćenja. Ekspozicije vrlo jakim poljima mrežnih i nižih frekvencija (60 mT) uzrokovale su indisponiranost i glavobolju, te promjene na evociranim potencijalima oka, iako bez popratnih simptoma. Fibrilacija srca može potaći tek indukcija od 0.9 T na 60 Hz, tj. oko 1 T na 50 Hz. Na frekvencijama 1-1,5 kHz pragovi pobude ekscitabilnih stanica su oko 1-10 A/m^2, što odgovara tranzijentima indukcije od 40-60 T/s.

2.1.3. *Studije na životinjama - električno polje*

Ovdje će biti navedeni samo opći rezultati javnosti najzanimljivijih istraživanja, a to su ona vezana za reproduktivne i razvojne funkcije, genetske efekte i karcinogenezu.
Glede reproduktivno-razvojnih istraživanja, uočeno je općenito da jaka električna polja (do 100 kV/m) nemaju nikakva utjecaja na razvoj ploda štakora i miševa niti u slučaju kronične ekspozicije. Za više vrijednosti polja potrebna su daljnja ispitivanja. Potpuno iste konstatacije vrijede i za pokuse s genetskim materijalom: električna NF polja do 100 kV/m nisu mutagena.
Naprotiv, polja mrežnih frekvencija jakosti 40 kV/m povećala su broj kemijski induciranih tumora dojke na svakoj pojedinoj ženki miša koja je oboljela, ali ipak, relativni broj oboljelih ženki nije bio veći nego u neozračivanoj skupini. Ovaj nalaz ima samo marginalnu težinu, ali upozorava na potrebu daljnjeg studiranja. Treba svakako na-

glasiti da spontano pobuđivanje tumora samo električnim ili magnetskim poljem (tj. bez paralelne uporabe kemijskog kancerogenog spoja ili implantacije tumora) do sada *nije znanstveno utvrđeno*. Uz dužan se oprez može reći da električna NF polja vrlo vjerojatno nisu kancerogena.

2.1.4. *Studije na životinjama - magnetsko polje*

I ovdje ćemo se ograničiti samo na tri najzanimljivija aspekta. Neki pokusi na frekvencijama od 10 do 1000 Hz ukazivali su na mogućnost abnormalnog razvoja centralnog nervnog sustava kokošjih embrija pri samo 1.2 μT. Statistički značaj takvih studija je nategnut, ali one prisiljavaju na oprez i nastavak istraživačkih napora. Vanjske deformacije tek rođenih miševa otkrivene su pri kroničnoj ekspoziciji trudnih ženki pilastom indukcijom amplitude 15 μT i frekvencije 20 kHz. Zasada ovakvo djelovanje slabih magnetskih polja na prenatalni razvoj može polučiti zabrinutost i treba dati dobar poticaj detaljnim istraživanjima, što se u jednakoj mjeri odnosi i na genetska istraživanja, jer ona, vjerojatno čudnom igrom slučaja, do danas gotovo uopće nisu provedena.
Glede djelovanja na pojavu i promociju tumora, situacija je prilično jasna: na mrežnim frekvencijama, pri efektivnim vrijednostima do 0.5 mT, nisu uočeni nikakvi utjecaji na kemijski pobuđene ili usađene tumore. Naprotiv, nekoliko studija pokazuje da su mišice s usađenim tumorima dojke živjele u prosjeku duže (!) ako su bile kronično izlagane umjerenim indukcijama na frekvencijama do 460 Hz. (Ovaj efekt poznat je i u radio području [7], a tumači se pregrijavanjem stanica tumora uslijed inducirane struje, pri čemu one, poput svih drugih tjelesnih stanica, odumiru. Dapače, danas se u onkološkoj praksi standardno koristi radiofrekventno pregrijavanje tumora kao metoda liječenja).

2.1.5. *In vitro studije na staničnim preparatima u svezi karcinogeneze*

Rezultati više studija zapažaju efekte na stnaične procese rasta i proliferacije, ali do sada nije potvrđeno da to nisu posljedice drugih metaboličkih promjena. Efekti magnetskih polja do 100 μT i direktno primijenjenih gustoća struja do 3 A/m^2 pri 50/60 Hz na stanice kancera nisu jasno ustanovljeni. Čini se da polja preko 100 μT imaju utjecaja na reprodukciju DNA kod ljudi, ali rezultati nisu ponovljeni u uznemirujućoj mjeri. Opći je dojam da se na stničnoj razini naziru moguća djelovanja na procese važne u nastajanju i širenju zloćudnih bolesti, ali da ona nisu znanstveno etablirana i da je nužan nastavak istraživanja.

2.2. Utjecaji polja visokih frekvencija

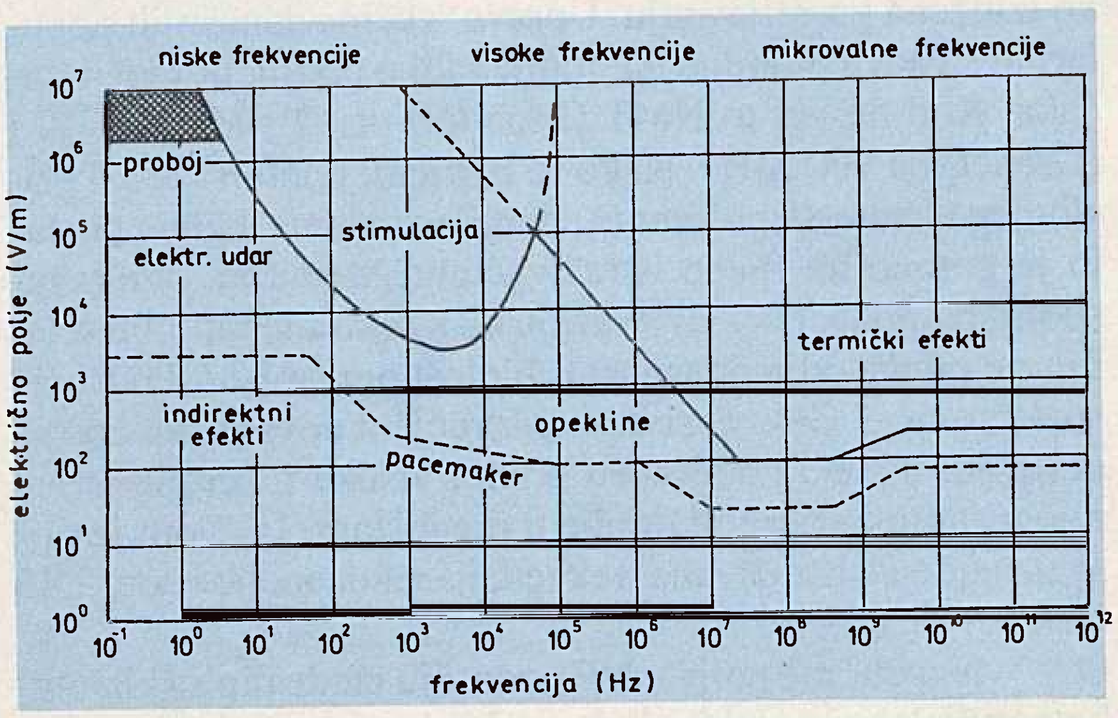
Na visokim frekvencijama, neka to bude npr. od 10 kHz naviše, praktički čitv spektar je pokriven radijskim odašiljačima i inom opremom, počev od dugovalnih navigacijskih sustava pa do radijskih komunikacija u milimetarskom opsegu. Valna duljina na frekvenciji od 300 GHz je 1 mm, i to je gornja granica na kojoj se danas razmatraju biološki efekti neionizirajućih zračenja. U fizikalno-tehničkom smislu, suštinska razlika prema NF-u je u tome da električno i magnetsko polje putuju zajedno kao elektromagnetski val, čija dubina prodiranja u organizam općenito pada s frekvencijom, ali postoje važni detalji vrijedni pažnje. Na frekvencijama pri kojima je valna duljina usporediva tjelesnim gabaritima dolazi do opće rezonancije i rezonancije pojedinih organa, što izaziva povećanu apsorpciju energije polja. U čovjeka je frekvencija tjelesne rezonancije negdje oko 70 MHz. Područje iznad 300-4000 MHz karakterizirano je još uvijek efikasnim prodorom polja u tijelo, a radi valne duljine koja je tek reda dm dolazi do kvazioptičkog fokusiranja energije i pojave tzv. vrućih točaka - uskih područja s visokom razinom polja, koja su tako izložena pregrijavanju. Upravo većina današnjih popularnih sustava mobilne telefonije radi u području vrućih točaka. Kod nas su to NMT (Mobitel) na 410 MHz i GSM (Cronet) na 900 MHz. Kako se pokretni telefon koristi prislonjen uz uho, deponiranje energije zračenja u glavi postalo je gotovo hit među istraživačima. Međutim, danas raspoloživi podaci nas uvjeravaju da s te strane mobilni telefon ne predstavlja opasnost u biološkom smislu. Područje iznad nekih 1 GHz naziva se područjem površinske apsorpcije, jer uslijed vodljivosti tkiva i visoke frekvencije val nije u stanju prodrijeti dublje u organizam. U ovom je opsegu najčešće istraživana frekvencija rezonancije vode, 2.45 GHz.
Osnovne veličine polja u NF području glede bioloških efekata uvijek su se dobivale iz podataka o gustoćama struje (vidjeti ranije). Na frekvencijama iznad 100 kHz pragovi pobude živčanih i mišićnih stanica, a posebno drugih, toliko su visoki, da od bioloških efekata apsolutno dominira zagrijavanje tkiva strujama induciranim prodorom elektromagnetskog polja. Zato se u zadnje vrijeme udomaćila uporaba veličine SAR (Specific Absorbtion Rate, specifični stupanja apsorpcije), koji je jednak:

$$SAR = \frac{\partial P}{\partial m} = \frac{\sigma}{\rho} E^2 = \frac{1}{\sigma\rho} j^2 \qquad [\mathrm{W/kg}] \qquad (1)$$

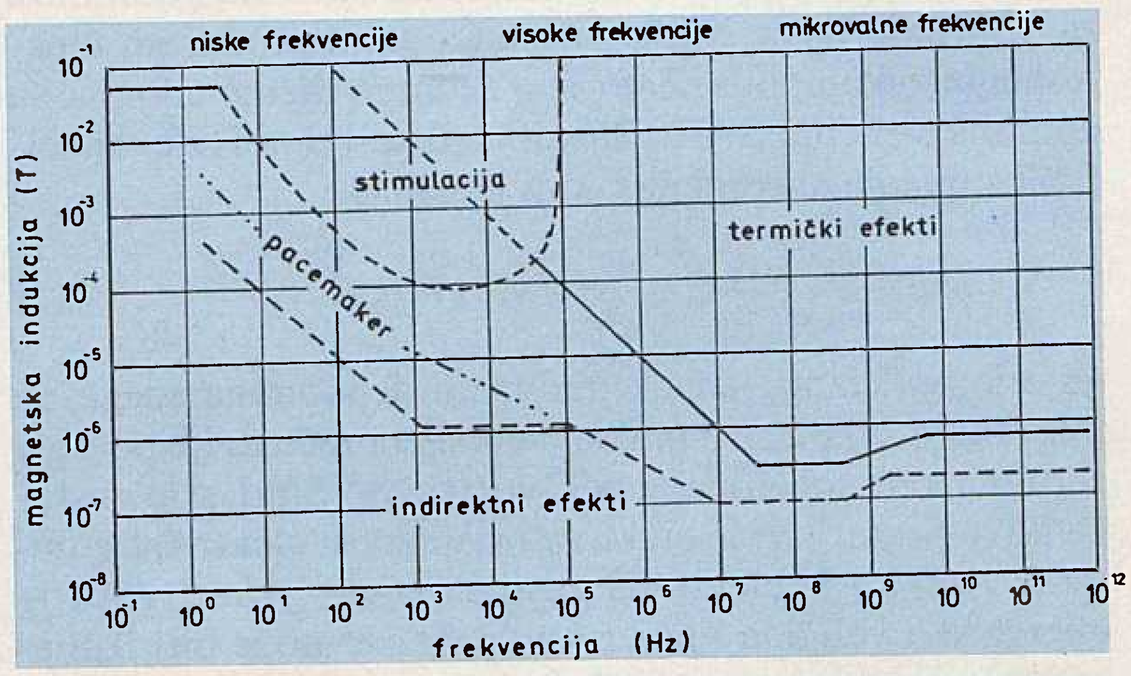
gdje je prvi izraz jednak derivaciji deponirane snage po masi tkiva, a koji se u praksi računa pomoću dvije potonje formule. d je specifična vodljivost tkiva [S/m], ρ je gustoća tkiva [kg/m^3], E je efektivna vrijednost električnog polja [V/m], a j je efektivna gustoća struje [A/m^2]. *SAR* je energetska veličina i kao takav načelno može biti izmjeren kalorimetrijskom metodom, izbjegavajući mjerenje polja, što je na ovim frekvencijama u blizini raspršnog objekta dosta težak zadatak. Novi zaštitni standardi u radiofrekventnom i mikrovalnom opsegu bazirani su listom na ograničenju upravo veličine *SAR*, koja, valja zamijetiti, ne ovisi samo o parametrima polja, već i o električnim svojstvima tkiva.
Pregled rezultata bioloških studija neće se davati kao što je to učinjeno za niske frekvencije. Zainteresirani čitalac može naći podrobne podatke u [7]. Možda jedino treba naglasiti da su studije dale u mnogo slučajeva nejasne i nekonzistentne podatke, baš kao i za N područje, ali se par efekata ipak ističe time što su opaženi od više timova. Primjerice, zamijećen je porast relativnog broja pobačaja kod žena - medicinskih tehničarki koje su duže radile na radiofrekventnoj dijatermiji, te je zapažena veza učestalosti izvođenja te radnje s učestalošću pobačaja. Nadalje, čini se da je uočena nekakva veza između kronične mikrovalne eksponiranosti muškaraca i smanjenja spermatogeneze, te povećane stope očinstva nad djecom s Downovim sindromom (mongoloidnost). Isto tako, naziru se, iako nejasno, neke moguće oftamološke posljedice. Istraživanja raka su potpuno kontradiktorna i zapravo ne daju razloga za ozbiljnu zabrinutost.

3. NOVA KRETANJA U NORMIZACIJI ZAŠTITE OD ELEKTROMAGNETSKIH POLJA

Odmjeravanje visine zdravstvenih rizika prvi je korak u standardizaciji, koji se čini temeljem raspoloživih medicinskih studija, i zapravo je dosta težak uslijed ranije prikazanih problema, Ipak, uočene su neke opće linije vodilje vezane uz raznorodne utjecaje na zdravlje čovjeka.



Slika 1. Pragovi utjecaja električnog polja



Slika 2. Pragovi utjecaja magentskog polja

Na najnižim frekvencijama, od 0 Hz do nekoliko Hz, pragovi su određeni električnim probojem i udarima, koji su tipični za polja iznad 100 kV/m. Područje mrežnih frekvencija karakterizirano je pragovima stimulacije tkiva, koji korespondiraju električnim poljima za red veličine nižima, odnosno idukcijama reda mT. Karakteristika stimulacije neuronskog i mišićnog tkiva ima tipičan paraboličnI oblik vidljiv na *slikama 1 i 2*, koji postiže svoj minimum na frekvencijama od nekih 3-5 kHz. U području blizu 100 kHz pragovi stimulacije vrlo brzo rastu, pa biološki učinci polja postaju dominantno termalni. Na višim frekvencijama vidljivi su ranije spomenuti fenomeni rezonancija (sedlo oko 100 HMz) i površinske apsorpcije. Donje krivulje *na slikama 1 i 2* odnose se na druge indirektne efekte i moguće interferencije sa srčanim elektrostimulatorima, i predstavljaju u svakom slučaju najlošija iskustva. Čitatelj će zapaziti sličnosti pragova definiranih ovim slikama, koji su inače korišteni u pripremi novog CENELEC (Europska komisija za elektrotehničku normizaciju) predstandarda [10], sa sažetkom biomedicinskih ispitivanja iznijetim u poglavlju 2.

Za radiofrekventno i mikrovalno područje postoje kod određivanja pragova određeni detalji na koje valja skrenuti pozornost. Kod termičkog utjecaja govori se o podizanju tjelesne temperature zdravog čovjeka. Tijekom fizičkih napora tijelo samo proizvodi prosječnu specifičnu toplinsku snagu od 3-5 W/kg. U normiranom toplinskom okruženju ustanovljeno je da *SAR* usrednjen na cijelo tijelo iznosa 1-4 W/kg u trajanju od 30 minuta neće podići srednju tjelesnu temperaturu odrasla čovjeka za više od 1 K. Zato je kao zaštitna margina za termičke utjecaje na radnu populaciju uzeta 10 puta manja vrijednost: 0.4 W/kg. Opća populacija štiti se dodano faktorom 5, pa je ograničenje postavljeno na 0.08 W/kg. Zdravstvene pojave vezane za pulsnu emisiju radiofrekventnih polja, amplitudno modulirana polja ekstremno niskim frekvencijama, i još neke manje bitne, nisu dobro istražene, pa nisu utjecale na današnji oblik standarda. Transparentni prikaz ovih pojedinosti nalazi se u [7].

3.1. Preporuke IRPA

Međunarodna udruga za zaštitu od zračenja IRPA (International Radiation Protection Association) je zajedno sa Svjetskom zdravstvenom organizacijom WHO (World Health Organisation) donijela 1981. preporuke za visokofrekventni pojas bazirane na radiofrekventnoj ekspoziciji od najviše 1-10 W/m^2 (gustoća snage ravnog vala) za radnu populaciji, dočim za opću nisu specificirane veličine polja, ali je naznačeno da su one niže. Tri godine kasnije nastala je detaljnija preporuka u kojoj su za frekvencije ispod 10 MHz bile upotrijebljene jakosti električnog i magnetskog polja, a između 10 MHz i 300 GHz *SAR*. 1988. uslijedila je revizija preporuke [11], u kojoj je zadržan maksimalni *SAR* cijelog tijela od 0.4 W/kg za radnike, ali je uvaženo da lokalni *SAR* može mjestimično biti i do 300 puta veći radi nejednolike razdiobe polja (vruće točke, zaglavak, gležanj, prsti). Preporuke za električna i magnetska polja mrežne frekvencije (50/60 Hz), te za statička magnetska polja IRPA je donijela redom 1990. i 1994. godine [9], [12]. One su bazirane na ograničenju neperturbiranih veličina polja izračunatih konzervativnom metodom prema vrijednosti gustoće struje praga pobude od 10 mA/m^2. IRPA trenutno daje preporuke za niske frekvencije samo za 0, 50 i 60 Hz, te za visoke frekvencije od 100 kHz do 300 GHz. Normiraje preostalog dijela spektra je u tijeku. Glavni naglasci IRPA preporuka u NF dijelu su:

- Statičke indukcije ne smiju prijeći 0.2 T.
- Električno polje na 50/60 Hz ne smije prijeći 10 kV/m (radnici, cijeli radni dan); 30 kV/m (radnici, 2 sata u radnom danu), 5 kV/m (opća populacija, stalno); 10 kV/m (opća populacija, nakratko, par sati).
- Magnetska indukcija na 50/60 Hz ne smije prijeći 0.5 mT (radnici, cijeli radni dan); 5 mT (radnici, 2 sata u radnom danu); 0.1 mT (opća populacija, stalno); 1 mT (opća populacija, nakratko, par sati).

Usporedba ovih odrednica s njemačkim normama DIN-VDE 0848 može se naći u [13].

Na radijskim frekvencijama (100 kHz do 300 GHz) osnovne odrednice su:

- Lokalni *SAR* u ekstremitetima mora biti ispod 20 W/kg u svakom gramu tkiva.

- Lokalni *SAR* bilo gdje drugdje mora biti ispod 10 W/kg u svakom gramu tkiva.
- Prosječni *SAR* cijelog tijela ne smije prijeći 0.4 W/kg za radnu populaciju.
- Prosječni *SAR* cijelog tijela ne smije prijeći 0.08 W/kg za opću populaciju.

S time u skladu izvedene su preporuke o najvećim dozvoljenim efektivnim vrijednostima električnog i magnetskog polja bez prisustva čovjeka u prostorima gdje ljudi borave. Za radnu populaciju vrijednosti se odnose na ekspoziciju iz jednog ili više izvora tijekom bilo kojih 6 minuta jednog radnog dana. Preporuka za opću populaciju odnosi se na bilo kojih 6 minuta cijelog dana (24 sata): Tablica 1. prikazuje ove vrijednosti.

Tablica 1. Izvadak za visokofrekventno područje iz preporuka IRPA

Frekvencija	E_{ef} neometano [V/m]	H_{ef} neometano [A/m]	Ekvival. gust. snage ravnog vala [W/m^2]
Radna populacija			
01.-1 MHz	614	1.6 / f	-
1-10 MHz	614 / f	1.6 / f	-
10-400 MHz	61	0.16	10
0.4-2 GHz	3 $\sqrt{f}$	0.008 $\sqrt{f}$	f / 40
2-300 GHz	137	0.36	50
Opća populacija			
0.1-1 MHz	87	0.23 / $\sqrt{f}$	-
1-10 NHz	87 / $\sqrt{f}$	0.23 / $\sqrt{f}$	-
10-400 MHz	27.5	0.073	2
0.4-2 GHz	1.375 $\sqrt{f}$	0.037 $\sqrt{f}$	f / 200
2-300 GHz	61	0.16	10

Napomena: frekvencije u formulama izražavaju se u MHz

3.2. Novi europski predstandard ENV 50166

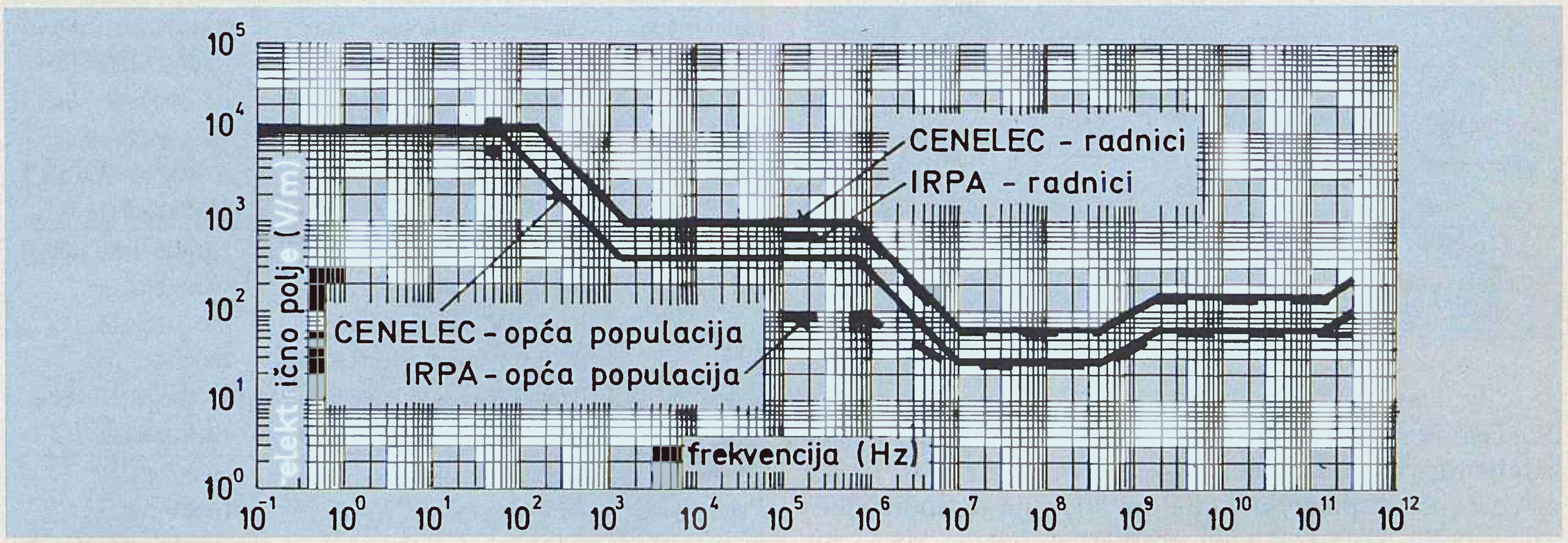
Dr. Barnabas Kunsch [10] iznosi prijedlog nove europske norme zaštite od utjecaja elektromagnetskih polja zna zdravlje ljudi. On pokriva cijelo frekventno područje od 0 Hz do 300 GHz. Podijeljen je u dva dijela, obzirom na bitnu različitost najvažnijih pojava koje se manifestiraju na niskim i visokim frekvencijama. Prvi dio bavi se opsegom od 0 Hz do 10 kHz, a drugi od 10 kHz do 300 GHz.

Predstandard ENV 50166 definira dvije vrsta veličina: *osnovna ograničenja*, koja predstavljaju maksimalne dozvoljene vrijednosti unutar organizma, te *referentna ograničenja*, koja su izračunata iz osnovnih uz pretpostavku najgoreg mogućeg položaja tijela u odnosu na polje koje vlada u nekom prostoru. Tvrdi se da uklapanje u referentne vrijednosti automatski osigurava i uklapanje u osnovna ograničenja. Prebacivanje referentnih vrijednosti je dozvoljeno ako se osigura poštivanje osnovnih. Naime, već je rečeno da je vrijednosti polja unutar organizma vrlo teško objektivno mjeriti, pa i računati, te bi propisivanje samo osnovnih, bioloških ograničenja, malo značilo za oživotvorenje norme u praksi. ENV omogućuje da se temeljem mjerenja polja bez prisustva čovjeka u danoj radnoj sredini provjeri slaganje s referentnim vrijednostima i time odmah osigura poštivanje bioloških ograničenja. To je nesumnjivo velika prednost ovog novog prijedloga norme. Poštivanje osnovnih ograničenja u njemu ne garantira izostanak ometanja implantiranih i drugih uređaja medicinske elektronike.

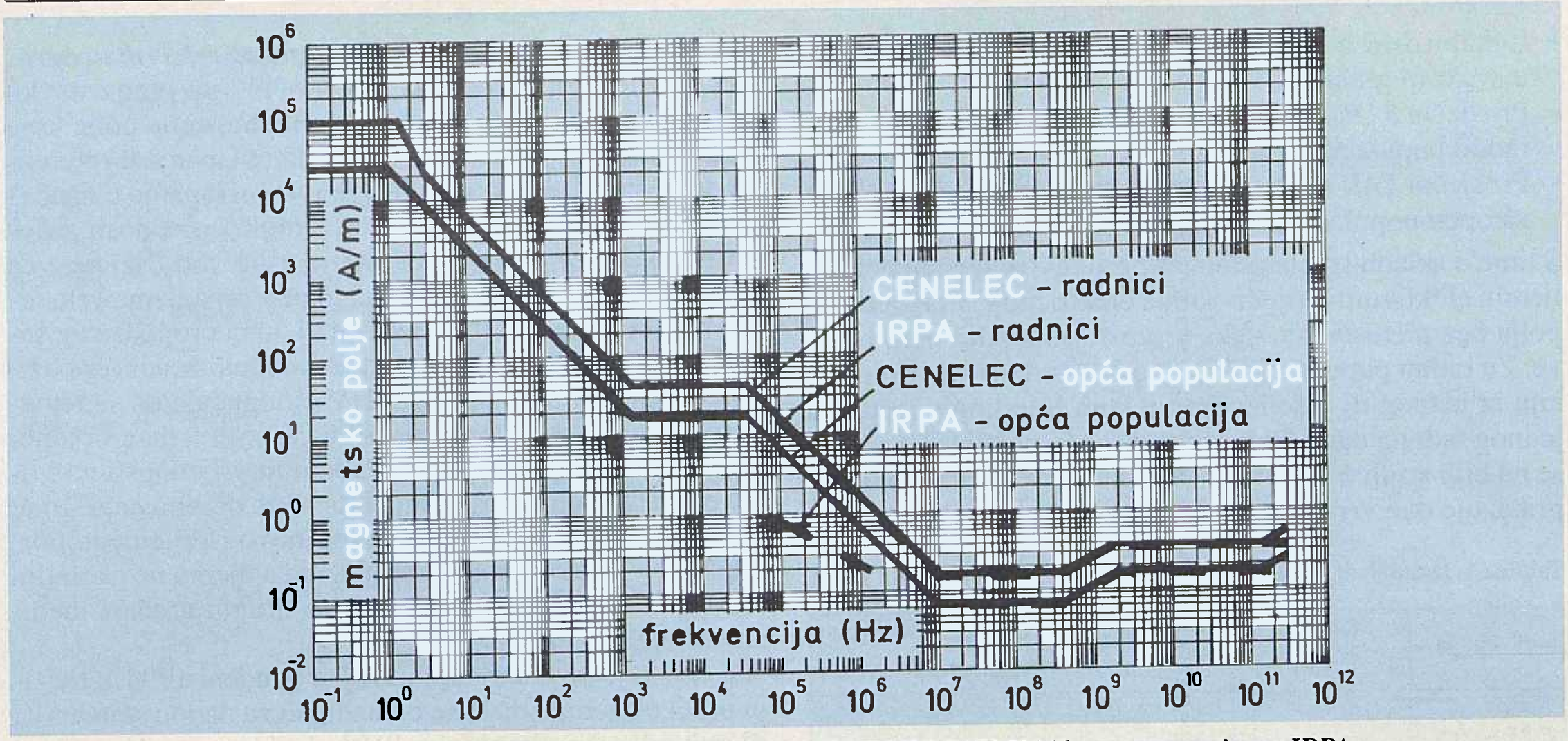
Nakon što je predstandard usvojen (studeni 1994.), trebaju proći tri godine da bi se on uzdigao za razinu standarda, ili pak odbacio. Preporuke IRPA, baš kao i predstandard ENV 50166, nemaju obvezujuću snagu i nacionalna tijela ne moraju mijenjati svoje norme radi usklađenja s ovima, ali svakako uživaju velik ugled i imaju značajan utjecaj na rad ostalih standardizacijskih tijela. To se posebno odnosi na IRPA, čije preporuke uopće ne uzimaju u obzir ekonomske implikacije njihova poštivanja, već samo znanstveno-medicinske činjenice. Usporedni prikaz ova dva sustava preporuka temelji se na klasičnom članku autora ENV-a, dr. B. Kunscha [10], kao i na njegovu predavanju održanom na sastanku COST-a 244 6. listopada 1996. na Fakultetu elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, a pružen je na slikama 3 i 4, te u tablicama 2, 3 i 4.

3.2.1. *Niske frekvencije (0 Hz - 10 kHz)*

Osnovna ograničenja u ovom frekventnom opsegu daju se u terminima gustoće struje, kontaktne struje, električnog polja i statičkog magnetskog polja. Između 4 i 1000 Hz odabrana je vrijednost od 10 mA/m^2 kao ograničenje gustoće struje za radnike, jer je opće prihvaćeno da taj stimulus ne izaziva nikakve negativne efekte, već samo lagane senzacije nerva. Iznad 1 kHz ograničenje raste razmjerno frekvenciji, a ispod 4 Hz ponaša se u skladu sa zakonom 1/f, suglasno karakteristici praga pobude ekscitabilnih stanica. Faktor sigurnsoti za opću populaciju je



Slika 3. Referentna ograničenja električnog polja u CENELEC ENV 50166, te u preporukama IRPA



Slika 4. Referentna ograničenja magnetskog polja u CENELEC ENV 50166, te u preporukama IRPA

Tablica 2. Usporedna tablica nekih osnovnih ili referentnih ograničenja u ENV 50166 i ograničenja po IRPA na 0 Hz (0.1 Hz), odnosno 50 Hz

	0 (0.1) Hz		50 Hz	
Populacija	Radna	Opća	Radna	Opća
gustoća induc. struje u glavi i trupu [mA/m²]	(40) ENV osnov.	(16) ENV osnov.	10 ENV osnov. 10 IRPA	4 ENV osnov. 2 IRPA
električno polje [kV/m]	42 ENV osnov. 14 ENV refer. (30) ENV osnov. (10) ENV refer.	14 ENV osnov.	30 ENV osnov. 10 ENV refer. 10 IRPA	10 ENV osnov. 5 IRPA
indukcija [mT]	2000 ENV osnov. 200 ENV refer. 200 IRPA	40 ENV refer.. 40 IRPA	1.6 ENV refer. 0.5 IRPA 0.1IRPA	0.64 ENV refer.
kontaktna struja [mA]	(3.5) ENV osnov.	(1.5) ENV osnov.	3.5 ENV osnov.	1.5 ENV osnov.

Tablica 3. Usporedna tablica osnovnih ograničenja u ENV 50166 i ograničenja po IRPA na visokim frekvencijama, izražena apsorpcijom i kontaktnom strujom, za radnu populaciju. Zaštitni faktor za opću populaciju kod ENV je 5, a maksimalna kontaktna struja za opću populaciju je 20 mA

	ENV (10 kHz - 300 GHz)	IRPA (100 kHz - 300 GHz)
SAR [W/kg]		
cijelog tijela	0.4	0.4
ekstremiteta	20	20
glave i trupa	10	10
SA [mJ/kg]	10	ne propisuje
kontaktna struja [mA]	35 za 100 kHz - 3 MHz	50 za 100 kHz - 100 MHz

Tablica 4. Usporedna tablica referentnih ograničenja u ENV 50166 u i ograničenja po IRPA na visokim frekvencijama za radnike (cijeli radni dan) i stalnu ekspoziciju opće populacije

	Ograničenje	Frekvencijski pojas u kojemu vrijedi
električno polje [V/m]	1000 ENV, radnici	1.5-600 kHz, slika 3
	61 IRPA, radnici	10-400 MHz
	400 ENV, opća populacija	1.5-600 kHz, slika 3
	87 IRPA, opća populacija	0.1-1 MHz
	27.5 ENV, opća populacija	10-400 MHz slika 3
	27,5 IRPA, opća populacija	10-400 MHz
indukcija [μT]	53 ENV, radnici	1.5-400 kHz, slika 4
	0.2 IRPA, radnici	10-400 MHz
	8.8. ENV, opća populacija	100 kHz, slika 4
	0.91 IRPA, opća populacija	100 kHz
	0.088 ENV, opća populacija	10-400 MHz, slika 4
	0.091 IRPA, opća populacija	10-400 MHz
gustoća snage vala [W/m²]	10 ENV, radnici	10-400 MHz
	2 ENV, opća	10-400 MHz
	2 IRPA, opća	10-400 MHz

2.5. Osnovno ograničenje kontaktne struje pri dodiru neuzemljenih vodljivih objekata je 3.5 mA za radnu, tj. 1.5 mA za opću populaciju u cijelom NF pojasu. Spora električna polja, koja izazivaju primjerice dizanje kose, mikroizbijanja i druge smetajuće efekte, ograničena su na 42

kV/m za istosmjerni izvor polja, odnosno 30 kV/m za frekvencije do 0.1 Hz. Radi se o vršnim vrijednostima. Slično je statička magnetska indukcija ograničena na 2 T. Vrijednosti spomenute u ovom odjeljku su osnovna ograničenja.

3.2.2. *Visoke frekvencije (10 kH$_z$ - 300 GHz)*

Veličine korištene u ovom dijelu su: konaktna struja (10 kHz - 3 MHz), gustoća inducirane struje (10 kHz - 10 MHz), *SAR* (iznad nekih 1 MHz, i to razne vrijednosti, npr. za cijelo tijelo, udove, itd.), te SA (Specific Absorbtion, specifična apsorpcija) [J/kg], za pulsna polja iznad 300 MHz, trajanja kraćeg od 30 μs u jednom ciklusu. Limit kontaktne struje raste razmjerno frekvenciji između 10 i 100 kHz, a zatim, između 0.1 i 3 MHz, ostaje na razini 35 mA za radnu, tj. 20 mA za opću populaciju. Gustoća inducirane struje ograničena je sa f [Hz]/100 [mA/m^2], uz sigurnosni faktor od 2.5 za opću populaciju. Odredbe u vezi *SAR*-a cijelog tijela i lokalnih vrijednosti praktički su vrlo slične kao kod IRPA. Dodano je ograničenje specifične apsorpcije za pulsna polja trajanja ispod 30 μs na nosiocu iznad 300 MHz, koja ne smije prerasti 10 mJ/kg, uz sigurnosni faktor 5 za opću populaciju. Atermički efekti visokih frekvencija nisu uključeni u ovaj predstandard, ali se trenutno ispituju u okviru CENELEC-a.

4. AKTIVNOSTI U OKVIRU PROJEKTA COST 244

COST projekti (European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research) su projekti Europske Unije iz različitih znanstvenih područja. Republika Hrvatska trenutno sudjeluje u radu 20 COST projekata, no koordinira i vodi samo jedan projekt - COST 244 : Biomedical Effects of Electromagnetic Fields (Biomedicinski učinci elektromagneskih polja). Koordinator je prof. dr. sc. Zlatko Koren, profesor Fakulteta elektrotehnike i računarstva, koji ujedno na nacionalnoj razini vodi i koordinira projekt Ministarstva znanosti i tehnologije : Biomedicinski učinci elektromagnetskog zračenja.
COST projekti podijeljeni su na 15 istraživačkih područja od kojih je najveće područje telekomunikacija. COST 244 razvrstan je u grupu projekata telekomunikacija, ali zbog specifičnog područja istraživanja okuplja znanstvenike iz područja elektrotehnike i medicinskih znanosti, kao i stručnjake raznih svjetskih organizacija (WHO, CENELEC, FCC. . .). Na projektu sudjeluje 19 COST zemalja (A, B, CRO, CH, CZE, D, DK, E, F, FIN, GR, H, I, NL, POL, S, SLO, SLW, UK) te Litva, Bugarska i USA. Projekt obuhvaća 198 nacionalnih projekata, 140 institucija i preko 600 znanstvenika.
Glavni zadatak projekta COST 244 je iznalaženje standarda o dozvoljenoj izloženosti ljudskog organizma elektromagnetskim poljima na temelju usporedbe postojećih nacionalnih standarda (u zemljama u kojima već postoje) i novih istraživanja koja se paralelno vrše. Projekt je trajao 4 godine (listopad 1992 - listopad 1996), a s obzirom na važnost ovih istraživanja i brojne efekte koje još treba proučiti i razjasniti usvojeno je produženje projekta od strane Europske unije na još 4 godine tzv. COST 244 2nd Round. Znanstvenici u okviru COST 244 djeluje kroz 3 radne grupe s podgrupama: "Epidemiologija i utjecaji na ljudsko zdravlje", "Temeljna istraživanja" (podgrupe biofizičkih aspekata, staničnih studija i studije na životinjama) i "Sustavi i primjenjena istraživanja" (podgrupe numeričke metode i fizički fantomi). Kao posebno tijelo u okviru projekta djeluje i MCCC (Komitet za koordinaciju mobilnih komunikacija).
U posljednje 4 godine održano je 12 COST 244 MCM (Managment Comimittee Meeting - sastanak upravnog odbora) i simpoziji na teme:

1. Numeričke metode u bioelektromagnetskim istraživanjima
2. Mobilne komunikacije i polja niskih frekvencija
3. Instrumentacija i mjeriteljstvo u bioelektromagnetskim istraživanjima
4. Preosjetljivost na elektromagnetska zračenja
5. Referentni modeli za bioelektromagnetska ispitivanja sustava za mobilne komunikacije
6. Veza između metoda za određivanje izloženosti i standarda & Dizajn i kontrola kvalitete laboratorijskih eksperimenata
7. Biološki efekti vezani uz amplitudno modulirana RF polja
8. Sličnosti i razlike mehanizmima međudjelovanja elektromagnetskih polja i bioloških materijala na niskim frekvencijama i radiofrekvencijama & Dozimetrija

Završni sastanak COST 244 Ist Round održan je 5. i 6. listopada 1996. u Zagrebu, na Fakultetu elektrotehnike i računarstva. U okviru tog sastanka održan je simpozij "Sličnosti i razlike mehanizmima međudjelovanja elektromagnetskih polja i bioloških materijala na niskim frekvencijama i radiofrekvencijama & Dozimetrija", 12. sastanak upravnog odbora (12th MCM) i okrugli stol na temu: Koordinacija istraživanja u svijetu u području biomedicinskih učinaka eletromagnetskih polja.
Na sastanku su dani izvještaji međunarodnih tijela i organizacija, te izvještaji aktivnosti na nacionalnom nivou. Posebno valja istaknuti izlaganje dr. Barnabas Kunscha o radu u okviru komisije CENELEC TC 211 "Izloženost ljudi elektromagnetskim poljima", izlaganje dr. Roberta Clevelanda iz U.S. Federal Communications Commission (FCC) - američke komisije za komunikacije odgovorne za izdavanje dozvola za telekomunikacijske usluge u SAD, te prezentaciju tvrtke Wandel & Goldermann "Precizna mjerna tehnologija u službi zaštite od elektromagnetskih polja".

Na kraju valja naglasiti da se relevantni podaci o aktivnostima u okviru projekta COST 244 nalaze na INTERNET-u, u bazi podataka koja se redovito obnavlja i osvježava. Baza podataka dohvatljiva je sa WWW-a (World Wide Web) pod adresom http://bagan.srce.hr/cost244/

5. ZAKLJUČAK

Današnje stanje normizacije zaštite ljudi od biomedicinskih utjecaja elektromagnetskih zračenja određeno je do sada prikupljenim spoznajama mnogih istraživačkih grupa multidisciplinarnog karaktera. Preporuke o ograničenjima ekspozicije temelje se na dobro utvrđenim efektima, dočim oni koji još nisu dostatno rasvijetljeni nisu niti korišteni u procesu donošenja preporuka. Najveći autoritet u svijetu imaju preporuke IRPA, dok u Europi sve više na značaju dobija predstandard CENELEC-a ENV 50166.

Problematika bioloških utjecaja elektromagnetskih polja nije ni izdaleka zatvorena, i predstoje godine istraživanja i preispitivanja, te poboljšanja postojećih normi. Uloga elektrotehničkih stručnjaka pritom je teorijska i praktična priprema i ostvarivanje dobro definiranih eksperimentalnih uvjeta za potrebe biomedicinskih istraživanja, te sudjelovanje u donošenju normativa, i posebno njihovom provođenju u život. Naša zemlja ima ljude koji su u prilici uhvatiti priključak ovim zbivanjima kao ravnopravni sudionici, što oni već i čine. Sigurno je u interesu hrvatske države i privrede podržati ova nastojanja i materijalno, tim prije što je količina sredstava nužnih za aktivno sudjelovanje u ovom području zaista mala naspram mnogih drugih znanstveno-stručnih disciplina.

LITERATURA

[1] Z. J. SIENKIEWICZ, R. D. SAUNDERS, C. I. KOWALCZUK, "Biological Effects of Exposure to Non-ionising Electromagnetic Fields and Radiation, II. Extremely Low Frequency Electric and Magnetic Fields", National Radiation Protection Board, Oxfordshire, UK, Feb. 1991.

[2] WHO, "Environmental Health Criteria 35, Extremely Low Frequency (ELF) Fields, Geneva, 1984.

[3] "The First World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, Abstract Book", Lake Buena Vista, USA, June 1992.

[4] "Biological Effects of Nonionising Electromagnetic Radiation (A Digest of Current Literature)", Vol. XI, No. 4, June 1988, US Navy & Information Ventures Inc, Arlington, Virginia, 1988.

[5] D. SABOLIĆ, "Procjena uvjeta elektromagnetske izloženosti živih bića u blizini 400 kV dalekovoda", Energija 5/1996, Zagreb, 1996.

[6] D. SABOLIĆ, "Procjena uvjeta elektromagnetske izloženosti živih bića u blizini različitih dalekovoda", Energija 6/1996, Zagreb, 1996.

[7] WHO, "Enviromental Health Criteria 137, Electromagnetic Fields (300 Hz to 300 GHz)", Geneva, 1993.

[8] D. MILETIĆ, "Metode određivanja raspodjele uskladištene elektromagnetske energije u biološkim materijalima", magistarski rad, Elektrotehnički fakultet u Zagrebu, 1992.

[9] INIRC/IRPA, "Interim Guidlines on Limits of Exposure to 50/60 Hz Electric and Magnetic Fields", Health Physics 58, pages 113-122, 1990.

[10] B. KUNSCH, "The New European Prestandard ENV 50166; Human Exposure to Electromagnetic Fields", Proceedigs of the COST 244 meeting in Athens, 25-28. March 1995. (ed. D. Šimunić), Athens 1995.

[11] IRPA, "Guidlines on Limits of Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Fields in the Frequency Range From 100 kHz to 300 GHz, Health Physics 54, pages 115-123, 1988.

[12] ICNIRP, "Guidlines on Limits of Exposure to Static Magnetic Fields", Health Physics 66, pages 100-106, 1994.

[13] I. PLAČKO, "Istraživanja utjecaja električnog i magnetskog polja na žive organizme", Energija 5/1994, Zagreb, 1994.

[14] "State of the Science Colloquium", University La Sapienza of Rome, Faculty of Electronic engineering, Rome, Nov. 1995.

[15] "Proceedings of the COST 244 Meetings on Mobile Communications and Extremely low Frequency Fields & Instrumentation and Measurements in Bioelectromagnetic Research, (Ed. D. Šimunić), Zagreb - Rome, 1994.

[16] "Proceedings of the COST 244 Meeting on Reference Models for Bioelectromagnetic Test of Mobile Communicatins Systemsi", (Ed. D. Šimunić), Zagreb - Rome, 1994.

[17] A. ŠANTIĆ, "Biomedicinska elektronika", Školska knjiga, Zagreb, 1995-

[18] K. POKOVIĆ, "Raspodjela radiofrekvencijskih polja u dielektričnim materijalima s gubicima", magistarski rad, Elektrotehnički fakultet u Zagrebu, 1994.

[19] D. SABOLIĆ, "Neki biomedicinski učinci uređaja mobilne telefonije druge generacije", magistarski rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, 1996.

[20] CIGRE, WG 36.01, "Electric Power Transmission and the Environment: Fields, Noise and Interference" (2 languague edition, English+French), Paris, 1991.

[21] IEEE "Transactions on Power Systems"

[22] IEEE "Transactions on Microwawe Theory and Techniques"

[23] IEEE "Transactions on Electromagnetic Compatibility"

[24] IEEE "Transactions on Biomedical Engineering"

[25] IEEE "Transactions on Antennas and Propagation"

CONTEMPORARY MOVEMENTS IN DEVELOPMENT AND STANDARDISATION OF BIO-MEDICAL EFFECTS OF ELECTRO-MAGNETIC FIELDS

This work gives a very condensed, but complete review of the state of bio-medical research results on influence of non-ionised electro-magnetic radiation on human health, offering a list of relevant literature, where detailed data can be found. There is also a display of contemporary trends in standardisation development of human protection from electro.magnetic fields, starting with the static and low frequency ones, with special emphasis on network frequencies (50/60 Hz) to the range of millimetre waves (300 GHz). Also a short riview on the state of this specific profession in our country is given.

ZEITGENÖSSISCHE GEBÄRDEN IN DER FORSCHUNG UND IN DER NORMUNG BIOLOGISCH-HEILKUNDLICHER WIRKUNGEN ELEKTROMAGNETISCHER FELDER

Vorgezeigt wird hier - zusammenfassend, aber vollkommen - der Zustand biologisch-heilkundlicher Forschung des Einflusses nichtionisierender elektromagnetischer Strahlungen auf den Gesundheitszustand des Menschen und gegeben ist das Verzeichnis des sachdienliches Schrifttums in welchem ausführliche Unterlagen zu finden sind. Ebenso angezeigt sind zeitgenössische Tendenzen in der Entwicklung von Normen zum Schutz der Menschen von der Einwirkung elektromagnetischen Felder, angefangen mit den statischen und niederfrequenten bis hin zum Milimeterwellen Bereich (300 GHz), und mit besonderer Betonung auf Metzfrequenzen (50-60 Hz). Gegeben ist auch ein kurzer Rückblick auf den Zustand dieses arteigenen Faches in Kroatien.

Naslov pisaca:

mr. sc. Dubravko Sabolić, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda
Prijenosno područje Zagreb
Ulica gradaVukovara 37
10000 Zagreb, Hrvatska

Sonja Zentner, dipl. ing.
Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za radiokomunikacije i visokofrekvencijsku elektroniku
Unska 3, 10000 Zagreb
Hrvatska

Božidar Poldrugač, dipl. ing.
Hrvatska pošta i telekomunikacije
Sektor pokretne telefonije
Jurišićeva 13, 10000 Zagreb
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1996-11-08.

ODREĐIVANJE OČEKIVANIH PRIVREMENIH PRENAPONA NA METALOKSIDNIM ODVODNICIMA PRENAPONA SMJEŠTENIM U POLJU BLOK TRANSFORMATORA PRI NAGLOM RASTEREĆENJU GENERATORA

Dr. sc. Ivan S a r a j č e v, Kaštel Sućurac

UDK 621.316.933:621.313.12
PRETHODNO PRIOPĆENJE

Obrađena je problematika određivanja privremenih prenapona na metaloksidnim odvodnicima prenapona, koji su ugrađeni u polju blok transformatora, a do kojih dolazi pri naglom rasterećenju generatora. Tretirane su konfiguracije: generator - blok transformator - kabelski vod, koje se redovito susreću u hidroelektranama sa strojarnicom i blok transformatorom smještenim u kaverni i rasklopnim postrojenjem podalje na otvorenom prostoru. Prikazana je teorija popratnog prijelaznog stanja i razvijen je izvorni izraz za proračun amplituda očekivanih privremenih prenapona. Rezultati proračuna dobiveni korištenjem dotičnog izraza redovito su na strani sigurnosti. Prezentirani postupak proračuna je primijenjen na primjeru bloka 2 HE "Zakučac", kakav se planira ostvariti u sklopu pokrenutog procesa obnove dotične elektrane.

Ključne riječi: blok transformator, generator, kabelski vod, metaloksidni odvodnik prenapona, prijelazno stanje, privremeni prenapon, rasterećenje generatora.

1. UVOD

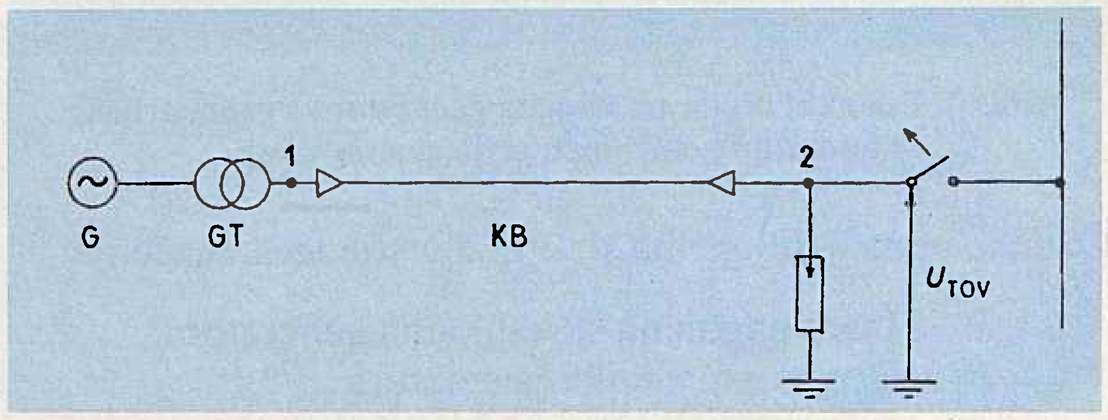
Nazivni napon metaloksidnog (MO) odvodnika prenapona, *U*r, predstavlja maksimalno dozvoljenu efektivnu vrijednost napona, nazivne frekvencije (50 Hz), ograničenog trajanja (10 sek.), koji se smije primijeniti između priključaka odvodnika prenapona budući da je odvodnik apsorbirao nazivni iznos energije. U svezi je s termičkom stabilnošću odvodnika i bira se na temelju privremenih prenapona koji se mogu javiti u mreži na mjestu ugradnje odvodnika.

Privremeni prenaponi jesu oscilatorni prenaponi između faze i zemlje ili faze i faze u određenoj točki mreže, koji su relativno dugog trajanja i koji su neprigušeni ili tek slabo prigušeni. Potječu obično od kvarova sa zemljom (jednopolni ili dvopolni kratki spoj s istodbnim spojem sa zemljom) i operacija sklapanja (ispadi tereta), te zbog pojava nelinearnosti (efekti ferorezonancije, viši harmonici). Karakteriziraju se: amplitudom, U_{TOV}, trajanjem, t_{TOV}, i frekvencijom oscilacija. Potonja veličina se, pritom, kreće u području od nekoliko Hz-a do nekoliko stotina Hz-a. Vrijedi stoga sljedeća funkcijska ovisnost:

$$U_r = f(U_{TOV}, t_{TOV}) \qquad (1)$$

Način izbora veličine U_r u skladu s (1) prikazan je u [2-3]. U ovom radu predočit će se postupak određivanja privremenih prenapona na MO-nim odvodnicima prenapona koji su smješeni u polju blok transformatora, a do kojih dolazi pri naglom rasterećenju generatora. Naime, u spomenutim uvjetima valja očekivati značajne iznose privremenih prenapona.

Na sl. 1 prikazana je jednopolna shema generatora G, pripadnog mu blok transformatora GT i kabelskog voda KB u uvjetima rasterećenja generatora G.



Slika 1. Jednopolna shema generatora G, pripadnog mu blok transformatora GT i kabelskog voda KB u uvjetima rasterećenja generatora

Prezentirana konfiguracija najčešće se, primjerice, javlja u hidroelektranama sa strojarnicom i blok transformatorom smještenim u kaverni, pri čemu je veza s vanjskim rasklopnim postrojenjem ostvarena posredstvom odgovarajućeg kabelskog voda. Na sl. 1 vidljiv je i položaj MO-nog odvodnika prenapona.

2. POSTUPAK PRORAČUNA

Pri naglom rasterećenju generatora, izazvanog isklapanjem prekidača u polju blok transformatora, dolazi do porasta napona u sustavu isklopoljeni generator - blok transformator - kabelski vod, sl. 1. Popratno povećanje napona (pojava privremenih prenapona) u spomenutom sustavu posljedica je:

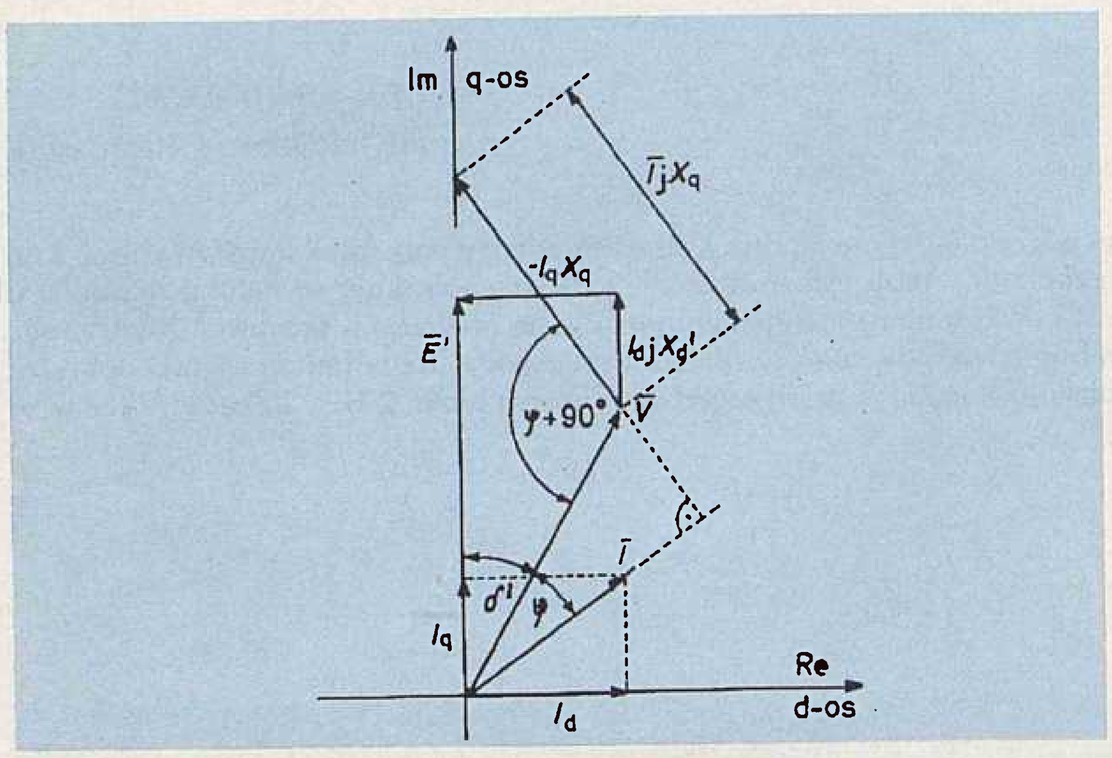
a) iznosa i karaktera (cos φ) prethodnog opterećenja generatora
b) povećanja broja okretaja rotora generatora (raste pritom i frekvencija).

Ovo se događa kroz određeno prijelazno stanje, tijekom kojeg također djeluju:

- automatski regulator napona generatora (djeluje na uzbudu, te smanjuje napon generatora)
- regulator broja okretaja turbine (smanjuje broj okretaja turbine/generatora, a tada i frekvenciju, te ujedno i napon generatora).

Djelovanje regulatora napona generatora i broja okretaja turbine praćeno je odgovarajućom tromošću, a može doći i do njihovog zatajenja. U radu će se stoga razmatrati najnepovoljniji privremeni prenaponi koji se mogu očekivati u promatranom sustavu.

Neka se, općenitosti radi, usvoji da generator G posjeduje rotor s geometrijski istaknutim polovima. Njegov fazorski dijagram napona u prijelaznom stanju prikazan je na sl. 2, [4]. Isti odgovara sinkronoj brzini vrtnje generatora.



Slika 2. Fazorski dijagram napona generatora s geometrijski istaknutim polovima u prijalaznom stanju

Oznake upotrijebljene na sl. 2 imaju sljedeća značenja:

V - fazni napon na stezaljkama generatora

I - struja opterećenja generatora

φ - fazni pomak između napona i struje opterećenja generatora

X'_d - prijelazna reaktancija generatora u d-osi; računa se na temelju izraza:

$$X'_d = \frac{x'_d\%}{100} \cdot \frac{U^2_{nG}}{S_{ng}} \tag{2}$$

gdje su:

$x'_d\%$ - postotna prijelazna reaktancija generatora u d-osi

U_{nG} - nazivni napon generatora

S_{nG} - nazivna prividna snaga generatora

X_q - sinkrona reaktancija generatora u q-osi; računa se s pomoću izraza:

$$X_q = \frac{x_q\%}{100} \cdot \frac{U^2_{nG}}{S_{ng}} \tag{3}$$

u kojem, uz prije objašnjene oznake, veličina xQ % predstavlja postotnu sinkronu reaktanciju generatora u Q-osi.

δ' - kut opterećenja generatora u prijelaznom stanju; određuje se temeljem sl. 2 iz izraza:

$$\sin\delta' = \frac{I \cdot X_q \cdot \sin\varphi}{\sqrt{V^2 + (IX_q)^2 + 2VIX_q \cdot \sin\varphi}} \tag{4}$$

I_d, I_q - sastavnice struje opterećenja generatora u d i q osi, respektivno; određuju se u skladu sa sl. 2 kako sljedi:

$$\bar{I} = I \cdot e^{j(90°-\delta'-\varphi)} = I_d + jI_q \tag{5}$$

$$I_d = I \cdot \sin(\delta' + \varphi) \tag{6}$$

$$I_q = I \cdot \cos(\delta' + \varphi) \tag{7}$$

$\bar{E}'$ - elektromotorna sila generatora s geometrijski istaknutim polovima u prijelaznom stanju; jednaka je izrazu, sl 2:

$$\bar{E}' = \bar{V} + I_d \cdot jX'_d - I_q \cdot X_q \tag{8}$$

Iz sl. 2 također slijedi:

$$\bar{V} = V \cdot e^{j(90°-\delta')} = V \cdot \sin\delta' + jV\cos\delta' \tag{9}$$

Za generator s kružnim rotorom, za koji vrijedi sljedeća jednakost:

$$X'_d = X_q \tag{10}$$

izraz (8) u skladu sa (5) prelazi u oblik:

$$E'_0 = \bar{V} + \bar{I} \cdot jX'_d \tag{11}$$

Budući da je kod generatora redovito zadovoljena slijedeća nejednakost:

$$X'_d < X_q \tag{12}$$

usporedbom izraza (8) i (11) dobiva se:

$$\bar{E}'_0 > \bar{E}' \tag{13}$$

Dakle, kod generatora s kružnim rotorom valja očekivati veća prenaponska naprezanja pri rasterećenju nego li kod generatora s geometrijski istaknutim polovima. Stoga se zamjenom generatora s geometrijski istaknutim polovima s odgovarajućim generatorom s kružnim rotorom dolazi do proračuna koji je više na strani sigurnosti (dobiju se viši prenaponi).

Da bi se za sustav prikazan na sl. 1, pri naglom rasterećenju generatora, odredio privremeni prenapon na mjestu ugradnje MO-nog odvodnika prenapona, potrebno je naponsko i strujno stanje na krajevima navedenog kabelskog voda opisati sustavom prijenosnih jednadžbi, koje napisane u općenitom obliku glase, [6]:

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_2 \cdot ch(\bar{\gamma} l) + \bar{I}_2 \bar{Z}_c \cdot \mathrm{sh}(\bar{\gamma} l) \tag{14}$$

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_2 \cdot \mathrm{ch}(\bar{\gamma} l) + \frac{\bar{V}_2}{\bar{Z}_c} \cdot \mathrm{sh}(\bar{\gamma} l) \tag{15}$$

pri čemu su:

$\bar{V}_1, \bar{V}_2$ - fazni naponi na početku i kraju promatranog kabelskog voda, respektivno

$\bar{I}_1, \bar{I}_2$ - struje na početku i kraju kabelskog voda, respektivno

$\bar{\gamma}, \bar{Z}_c$ - konstanta prostiranja odgovarajućeg elektromagnetskog vala i karakteristična impedencija kabelskog voda, respektivno; određuju se izrazima:

$$\bar{\gamma} = \sqrt{\bar{Z}_1 \cdot \bar{Y}_1} \tag{16}$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{\bar{Z}_1}{\bar{Y}_1}} \tag{17}$$

u kojima veličine $\bar{Z}_1$ i $\bar{Y}_1$ respektivno predstavljaju uzdužnu impedanciju i poprečnu adminitanciju direktnog redoslijeda promatranog kabelskog voda po jedinici njegove duljine; spomenute veličine računaju se slijedećim izrazima:

$$\bar{Z}_1 = R_1 + j2\pi f \cdot L_1 \tag{18}$$

$$\bar{Y}_1 = G_1 + j2\pi f \cdot C_1 \tag{19}$$

gdje su R_1, G_1, L_1 i C_1 jedinične konstante/parametri (otpor, odvod, induktivitet i kapacitet) direktnog redoslijeda navedenog kabelskog voda, dok je f odgovarajuća frekvencija.

l - duljina kabelskog voda.

Za razmatrano prijelazno stanje (naglo rasterećenje generatora) slijedi:

$$\bar{I}_2 = 0 \tag{20}$$

pa prijenosne jednadžbe (14) i (15) prelaze u oblik:

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_2 \cdot \mathrm{ch}(\bar{\gamma} l) \tag{21}$$

$$\bar{I}_1 = \frac{\bar{V}_2}{\bar{Z}_c} \cdot \mathrm{sh}(\bar{\gamma} l) \tag{22}$$

Iz (21) i (22) slijedi nadomjesna impedancija spomenutog kabelskog voda:

$$\bar{Z}_{KB} = \frac{\bar{V}_1}{\bar{I}_1} = \bar{Z}_c \cdot \mathrm{cth}(\bar{\gamma} l) \tag{23}$$

Nadalje, temeljem svega prije iznijetog, najnepovoljnije naponsko stanje na početku spomenutog kabelskog voda tijekom promatranog prijelaznog stanja može se odrediti izrazom:

$$\bar{V}_1 = P_T \cdot \bar{E}'_0 \frac{\bar{Z}_{KB}}{\bar{Z}_{KG} + j(X'_d + X_T)} \tag{24}$$

u kojem su:

p_T - prijenosni omjer blok transformatora GT; jednak je izrazu

$$P_T = \frac{U_{nT}}{U_{nG}} \tag{25}$$

pri čemu je U_{nT} nazivni napon višenaponskog namota blok transformatora.

X'_d - prijelazna reaktancija generatora u d-osi reducirana na višenaponsku stranu blok transformatora; u skladu s (2) i (25) ista iznosi:

$$X'_d = \frac{X'_d\,\%}{100} \frac{U^2_{nT}}{S_{nG}} \tag{26}$$

X_T - rekatancija blok transformatora direktnog redoslijeda, reducirana također na njegovu višenaponsku stranu; određuje se izrazom:

$$X_T = \frac{u_k\,\%}{100} \frac{U^2_{nT}}{S_{nT}} \tag{27}$$

u kojem su:

u_k - napon kratkog spoja blok transformatora u %

S_{nT} - nazivna snaga blok transformatora.

Iz (21) i (24) konačno sljedi

$$\bar{V}_2 = \frac{\bar{V}_1}{\mathrm{ch}(\bar{\gamma} l)} = \frac{P_T \bar{E}'_0}{\mathrm{ch}(\bar{\gamma} l)} \cdot \frac{\bar{Z}_{KB}}{\bar{Z}_{KB} + j(X'_d + X_T)} \tag{28}$$

Riječ je, dakle, o naponu na kraju promatranog kabelskog voda, koji je ujedno i privremeni prenapon na MO-nom odvodniku prenapona ugrađenom na tom mjestu. Vrijedi stoga:

$$U_{TOV} = |\bar{V}_2| \tag{29}$$

Da se dobiju što nepovoljnija razmatrana prenaponska stanja mogu se dodatno zanemariti gubici u promatranom kabelskom vodu, tj. može se usvojiti:

$$R_1 = G_1 = 0 \tag{30}$$

Stoga, uz pomoć (30), izrazi (16), (17), (23) i (28) prelaze u oblike:

$$\bar{\gamma} = j2\pi f \cdot \sqrt{L_1 \cdot C_1} = j\beta_0 \tag{31}$$

$$\bar{Z}_c = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} = Z_v \tag{32}$$

$$\bar{Z}_{KB} = -jZ_v \cdot \mathrm{ctg}\,(\beta_0 l) \tag{33}$$

$$\bar{V}_2 = \frac{P_T \cdot \bar{E}'_0}{\cos(\beta_0 l)} \cdot \frac{Z_v \,.\, \mathrm{ctg}(\beta_0 l)}{Z_v \cdot \mathrm{ctg}(\beta_0 l) - (X'_d + X_T)} \tag{34}$$

Iz (32) je vidljivo da je karakteristična impedancija, Z_c, dotičnog kabelskog voda postala jednaka njegovom valnom otporu $\bar{Z}_v$. Pored toga, iz (33) sljedi da je nadomjesna impedancija, $\bar{Z}_{KB}$, spomenutog kabelskog voda kapacitivnog karaktera.

Konačno, na temelju (29) i (34) dobiva se:

$$U_{TOV} = \frac{P_T \cdot E'_0}{\cos(\beta_0 l)} \cdot \frac{Z_v \,.\, \mathrm{ctg}(\beta_0 l)}{Z_v \cdot \mathrm{ctg}(\beta_0 l) - (X'_d + X_T)} \tag{35}$$

Valja ovdje još jednom naglasiti da se sva dosad provedena razmatranja odnose na nazivnu frekvenciju. Ona, naime, odgovara sinkronoj brzini vrtnje rotora spomenutog generatora.

Međutim, kao što je navedeno pod b), tijekom promatranog prijelaznog stanja - izazvanog naglim rasterećenjem generatora - dolazi do porasta brzine vrtnje rotora generatora, a tada i do porasta frekvencije. Označi li se sa ξ koeficijent porasta broja okretaja rotora generatora slijedi:

$$f' = \xi \cdot f_n \tag{36}$$

pri čemu su:

f n - nazivna frekvcencija

f' - frekvencija tijekom prijelasnog stanja.

Spomenuti porast frekvencije utječe na povećanje prijelazne elektromotorne sile generatora, kao i odgovarajućih

reaktancija generatora i blok transformatora, te na smanjenje nadomjesne impedancije kabelskog voda. Stoga izraz (35) poprima oblik:

$$U_{TOV} = \frac{P_T \cdot \xi \cdot E'_0}{\cos(\xi\beta_0 l)} \cdot \frac{Z_v \cdot \mathrm{ctg}(\xi\beta_0 l)}{Z_v \cdot \mathrm{ctg}(\xi\beta_0 l) - \xi\,(X'_d + X_T)} \qquad (37)$$

Netom izvedeni izraz je izvrsna osnova za određivanje amplituda privremenih prenapona na mjestu ugradnje spomenutog MO-nog odvodnika prenapona u polju blok transformatora u slučajevima naglog rasterećenja generatora.

3. PRIMJER I REZULTATI PRORAČUNA

Za proračun je izabran blok 2 u HE "Zakučac", kakav se planira ostvariti u sklopu pokrenutog postupka revitalizacije dotične elektrane. Navedeni blok se sastoji od: generatora, blok transformatora i kabelskog voda. Tehnički podaci pojedinih elemenata spomenutog bloka iznose, [8]:

Generator:

nazivni napon U_{nG} = 16 kV
nazivna snaga S_{nG} = 160 MVA
regulacija napona statora +5%, - 10%
nazivni faktor snage cos φ_n = 0.9
nazivna frekvencija f_n = 50 Hz
nazivna/sinkrona brzina vrtnje n = 333.3 r/min
brzina vrtnje pri pobjegu 575 r/min
zamašna masa rotora generatora mD^2 = 40000 tm^2
broj faza statorskog namota 3
spoj faza statorskog namota - zvijezda
nezasićena sinkrona reaktancija u d-osi x_d = 95.7 %
zasićena sinkrona reaktancija u d-osi x_{dz} = 91.5 %
nezasićena sinkrona reaktancija u q-osi x_q = 57.6 %
nezasićena prijelazna reaktancija u d-osi x'_d = 33.0 %
nezasićena početna reaktancija u d-osi x''_d = 20.0 %
nezasićena početna reaktancija u q-osi x''_q = 21.4 %
nezazićena inverzna reaktancija x_i = 20.7 %
nezasićena nulta reaktancija x_0 = 12.4 %
početna vremenska konstanta u d-osi T''_d = 0.13
ppčetna vremenska konstanta u q-osi T''_q = 0.09 s
prijelazna vremenska konstanta T'_d = 3.07 s
vremenska konstanta statorskog namota T_a = 0.34 s
mehenička vremenska konstatna T_m = 7.56 s.

Blok transformator, sastoji se od tri jednofazne jedinice s podacima:
broj faza 1
broj namota 2
grupa spoja (trofazno) YNd5
nazivna snaga S_{nl} = 55 MVA
nazivni naponi:
- višenaponska strana 242/$\sqrt{3}$ kV
- niženaponska strana 16 kv
nazivna frekvencija f_n = 50 Hz
napon kratkog spoja u_k = 14%
gubici praznog hoda P_0 = 26 kW
gubici kratkog spoja P_k = 155 kW.

Kabelski vod je nazivnog napona 220 kV. Sastoji se od tri jednožilna kabela. Odabrani su jednožilni kabeli s faznim vodičima iz bakra presjeka 300 mm^2 i izolacijom od umreženog polietilena, [9]. Preporučeno je dotične kabele složiti u trokutnom snopu da se međusobno dotiču, a njihove plašteve uzemljiti na oba kraja. Duljina spomenutog kabelskog voda iznosi 690 m.

Na temelju iznijetog u Poglavlju 2 - izrazi (2), (3), (4), (6), (7) i (8) - a polazeći od usvojenih/zadanih napona i opterećenja promatranog generatora, odredit će se odgovarajuće elektromotorne sile E' dotičnog generatora nastale pri njegovom naglom rasterećenju. Neka se u tu svrhu usvoji da je neposredno prije rasterećenja generatora njegovim stezaljkama vladao nazivni napon, tj.:

$$V = \frac{U_{nG}}{\sqrt{3}} = \frac{16}{\sqrt{3}} = 9{,}24 \text{ kV} \qquad (38)$$

Također, neposredno prije rasterećenja dotičnog generatora, neka su njegova opterećenja respektivno iznosila: 50 MVA, 100 MVA i 150 MVA, uz nazivni faktor snage navedenog generatora cos φ = 0,9 ind. Rezultati spomenutog proračuna predočeni su u tablici 1.

Osim toga, u tablici 1 prikazane su i odgovarajuće vrijednosti elektromotorne sile E'_0, dobivene proračunom prema izrazu (11). Usporedbe radi elektromotornih sila E' i E'_0 u spomenutoj tablici unesene su i njihove postotne razlike $\Delta e'$. Iste su izračunate u skladu sa slijedećim izrazom:

$$\Delta e' = \frac{E'_0 - E'}{E'} 100 \qquad (39)$$

Tablica 1. Rezultati proračuna prijelaznih elektromotornih sila generatora nastalih pri njegovom naglom rasterećenju

Napon i opterećenje gen.									
V [kV]	S [MVA]	cos φ	δ [°]	I [A]	I_d [A]	I_q [A]	E' [kV]	E_0 [kV]	$\Delta e'$ [%]
9.24	50	0.9	8.5	1804	1018	1489	9.68	6.69	0.10
9.24	100	0.9	15.6	3608	2389	2703	10.16	10.21	0.49
9.24	150	0.9	21.5	5412	3977	3670	10.70	10.79	0.84

Iz rezultata proračuna prezentiranih u tablici I uočavaju se neznatne razlike između prijelaznih elektromotornih sila E' i E'_0. Zadovoljena je pritom nejednakost (13).

Nadalje, iskorišten je izvorno razvijeni izraz (37) za određivanje amplituda privremenih prenapona na mjestu ugradnje spomenutog MO-nog odvodnika prenapona u slučajevima naglog rasterećenja generatora, pethodno opterećenog prema tablici 1. Određeni su odgovarajući privremeni prenaponi pri sinkronoj brzini vrtnje rotora dotičnog generatora (ξ = 1), te pri povećanju njegove brzine vrtnje za 10% i 20% iznad sinkrone brzine, tj. uz koeficijente ξ = 1.1 i ξ = 1.2, respektivno. Rezultati navedenog proračuna prikazani su u tablici 2.

Tablica 2. Rezultati proračuna amplituda privremenih prenapona na mjestu ugradnje MO-nog odvodnika prenapona, smještenog u polju blok transformatora, pri naglom rasterećenju generatora

Napon i opterećenje generatora			U_{TOV} [kV]		
V [kV]	S [MVA]	cos φ	ξ=1	ξ=1.1	ξ=1.2
9.24	50	0.9	147.2	162.1	177.0
9.24	100	0.9	155.1	170.7	186.5
9.24	150	0.9	163.8	180.5	197.0

Dobivene amplitude privremenih prenapona u tablici 2 mogu se izraziti odgovarajućim koeficijentima prenapona k_{pp}, definiranim prema izrazu:

$$k_{pp} = \frac{\sqrt{3}U_{TOV}}{U_m} \tag{40}$$

pri čemu je U_m najviši napon dotične mreže. Za konkretnu mrežu nazivnog napona $U_n = 220$ kV, najviši napon dotične mreže iznosi $U_m = 245$ kV, [7]. U tablici 3. prikazani su rezultati proračuna spomenutih koeficijenata privremenih prenapona.

Tablica 3. Rezultati proračuna koeficijenata privremenih prenapona na mjestu ugradnje spomenutog MO-nog odvodnika prenapona u uvjetima naglog rasterećenja generatora

Napon i opterećenje generatora			k_{pp}		
V [kV]	S [MVA]	cos φ	ξ=1	ξ=1.1	ξ=1.2
9.24	50	0.9	1.04	1.14	1.25
9.24	100	0.9	1.09	1.20	1.32
9.24	150	0.9	1.16	1.27	1.39

4. ZAKLJUČAK

U članku je tretirana problematika određivanja privremenih prenapona na MO-nim odvodnicima prenapona koji su smješteni u polju blok transformatora, a do kojih dolazi pri naglom rasterećenju generatora. Razmatrane su konfiguracije sustava: generator - blok transformator - kabelski vod, koje se javljaju u hidroelektranama sa strojarnicom i blok transformatorom smještenima u kaverni i rasklopnim postrojenjem smještenim podalje na otvorenom prostoru.

Amplitude nastalih popratnih privremenih prenapona u spomenutom sustavu posljedica su:

- iznosa i karaktera (cos φ) prethodnog opterećenja generatora
- povećanja broja okretaja rotora generatora.

Prezentirana je teorija odgovarajućeg prijelaznog stanja i razvijen je izvorni izraz za proračun amplituda očekivanih privremenih prenapona. Riječ je o izrazu koji daje rezultate na strani sigurnosti, jer su zanemarena: zasićenja generatora (računato je s nezasićenim reaktancijama generatora) i pripadnog mu blok transformatora, te prigušenje u spomenutom kabelskom vodu. Pored toga, navedeni izraz je prikladan za određivanje očekivanih privremenih prenapona u uvjetima zatajenja regulatora napona genertora i regulatora broja okretaja turbine.

Predočeni postupak proračuna je primijenjen na primjeru bloka 2 u HE "Zakučac", kakav se planira ostvariti u okviru započetog procesa revitalizacije spomenute elektrane.

LITERATURA

[1] IEC 99-4: Surge Arresters - Part 4: Metaloxide Surge Arresters without Gaps for A. C. Systems

[2] IEC 37 (secretariat) 93: Guide for the Selection and Application of Surge Arresters

[3] SARAJČEV I.: "Tehnička preporuka za zaštitu od prenapona visokonaponskih postrojenja 110 kV, 220 kV i 400 kV", FESB, Split, 1994.

[4] DESPOTOVIĆ S.: "Osnovi analize elektroenergetskih sistema", JUGEL, Beograd, 1962.

[5] PETERSON H. A.: "Transients in Power Systems", John Wiley and Sons, New York, 1951.

[6] HEINHOLD L.: "Power Cables and their Application", Siemens, 1979.

[7] IEC 71-1: 1992, Insulation Co-ordination - Part I: Definitions, Principles and Rules, 28 (Centrala Office) 58

[8] Končar: Idejni projekt revitalizacije sinkronih generatora, sustava uzbude, blok transformatora i VN kabela u hidroelektrani "Zakučac" - knjiga 1: Varijante rješenja, Institut za elektrotehniku, Zagreb, 1995.

[9] ABB: Kataloški podaci o VN kabelima, Švicarska.

DETERMINATION OF EXPECTED TEMPORARY OVERVOLTAGE ON METALOXID LIGHTNING ARRESTERS PLACED IN A FEEDER BAY CAUSED BY A SUDDEN GENERATOR UNLOADING

In the paper the questions of determining temporary overvoltage on metaloxid lightning arresters, placed in a feeder bay and caused by a sudden generator unloading, are evaluated. The following configurations are treated: generator - transformer set - cabled line, which are usually realised in hydro power plants with engine room and transformer set placed in a cavern and a substation placed further in an open place. The theory of a followed transient state is given including a source equation for the determination of expected temporary overvoltage magnitude. The results obtained using that equation are uaually on te security side. The calculation procedure presented is applied on the block 2 of the HPP Zakučac, that is planned to be realised within the already started process of the plant renewal.

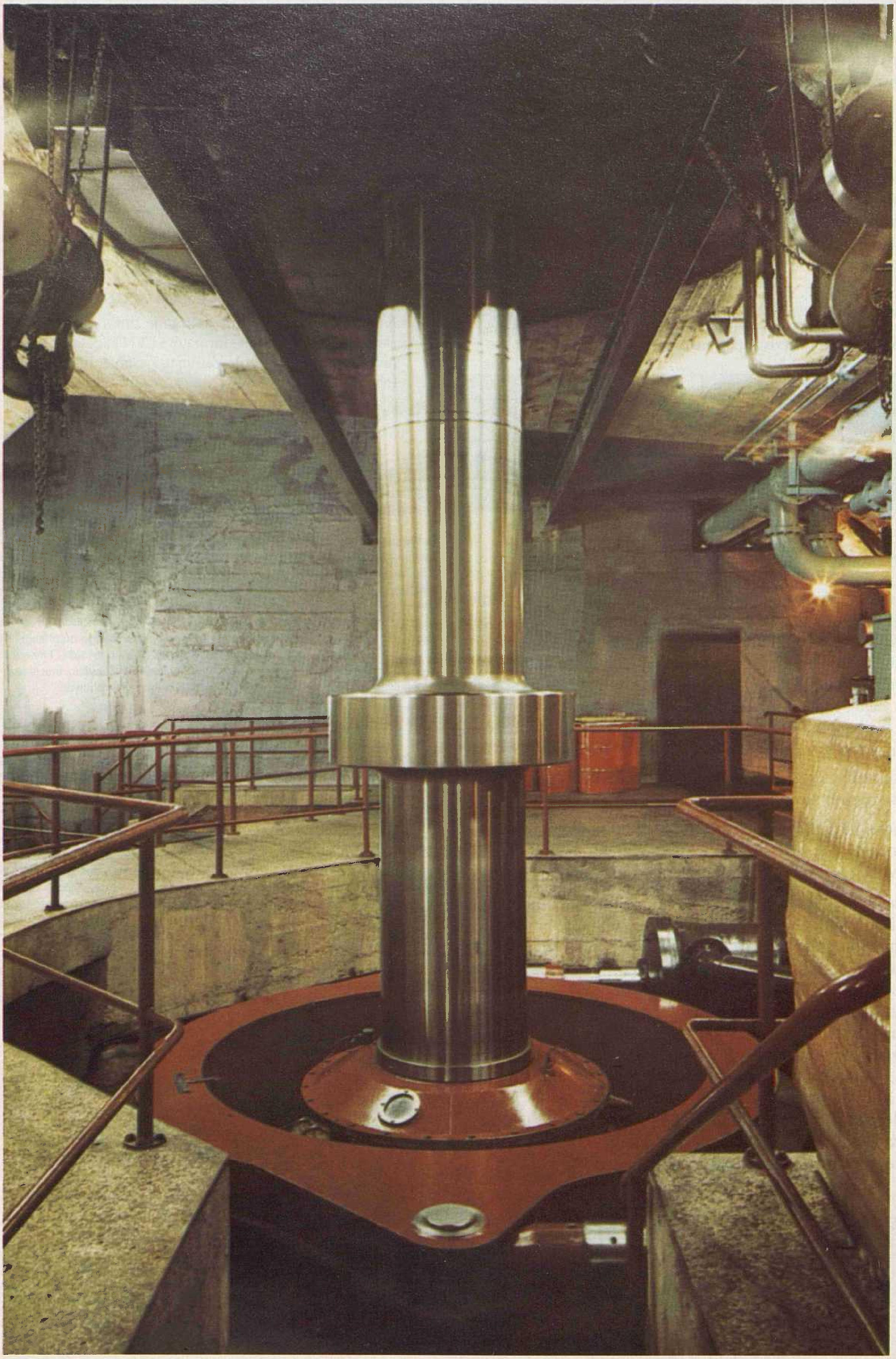
BESTIMMUNG DER ERWARTUNGSWERTE VON ZEITWEILIGEN ÜBERSPANNUNGEN IM FALLE EINER PLÖTZLICHEN ENTLASTUNG DES GENERATORS AN DEN METALLOXYD-UEBERSPANNUNGSABLEITERN, WELCHE SICH IN DER FELDTEILUNG AM BLOKUMSPANNER BEFINDEN

Bearbeitet wird der Fragenbereich der Bestimmung zeitweiligen Überspannungen an den sich in der Feldteilung am Blokumspanner befindenden Metalloxyd-Überspannungsableitern, welche bei dem plötzlichen Entlasten des Generators entstehen können. Behandelt ist die Anordnung (vorkommend gewöhnlich bei den Wasserkraftwerken mit in Kaverne liegendem Maschinen- und Blokumspanner-Raum): Generator - Blokumformer - Kebelleitung, mit der etwas entfernter errichteten Freiluft - Schaltanlage. Dargestellt wurde die Theorie der begleitenden Übergangserscheinungen, sowie ein originelles Berechnungsverfahren der Spitzenwerte erwarter zeitweiligen Überspannungen. Die Ergebnisse der Berechnungen auf Grund dieses Verfahrens sind in der Regel auf der Seite der Sicherheit. Das dargestellte Berechnungsverfahren, ist, innerhalb der beabsichtigten Überholung des Wasserkraftwerkes "Zakučac", an seinem Blok 2 angewandt worden.

Naslov pisca:

Dr. sc. Ivan Sarajčev, dipl. ing.
Fakultet elektrotehnike,
strojarstva i brodogradnje
Ruđera Boškovića bb
21000 Split, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1996-10-02.



Turbinski kat HE Zakučac

SUSTAVNA ZAMJENA VISOKONAPONSKIH PREKIDAČA 400-110 kV U TRANSFORMATORSKIM STANICAMA PrP-a ZAGREB

Miroslav M e s i ć, Zagreb

UDK621.316.545
PREGLEDNI ČLANAK

Visokonaponski prekidač su vitalne komponte u transformatorskim stanicama. Na uzorku od 242 jedinice analizira se nastanak današnje strukture jedinica po starosti, tipu i stanju u periodu od približno 50 godina. Parcijalnim pristupom revitalizaciji postrojenja na primjeru podgrupe prekidača, temeljem analize i ocjene stanja moguće je sustavno odrediti opseg i tijek zamjene prekidača.
Realizacijom zamjena prekidača bitno se mijenja danas nepovoljna struktura prekidača i time direktno utječe na povećanje pouzdanosti i raspoloživosti elektroenergetskog sustava.

Ključne riječi: prekidač, transformatorska stanica, pouzdanost, stanje, starost, tehnologija, zastupljenost, struktura, zamjena, revitalizacija, održavanje, analiza, zaostajanje, iskustvo.

1. UVOD

1.1. Visokonaponski prekidač je nesumljivo jedna od najvažnijih komponenti rasklopnog postrojenja, a njegova ispravnost i pouzdanost su osnovne pretpostavke funkcioniranja postrojenja u normalnim i incidentnim situacijama.
Ukupno stanje prekidača određeno je kvalitetom proizvoda, redovitošću i kvalitetom održavanja, starosti i režimom rada. Statistika pogonskih događaja i kvarova pokazuje da broj havarija i većih kvarova prekidača nije zabrinjavajući, te da veliki broj kvarova i smetnji ima porijeklo u pomoćnim sklopovima, te starosti-izraženom zamorom materijala.

1.2. Promatranjem vremenskog razdoblja kroz 50 godina (1950-2000) može se zaključiti da su u objektima prijenosne mreže zastupljene različite tehnologije visokonaponskih prekidača: pneumatski prekidači (2Pv, 3P), malouljni i SF6 prekidači, različite starosti, stanja i sigurnosti.

1.3. Zbog različitih razloga u promatranom razdoblju pojavio se veliki zaostatak u pravodobnom obnavljanju rasklopnih postrojenja, pa tako i zamjene prekidača, te analiza postojećeg stanja pokazuje relativno veliki broj prekidača najstarije tehnologije i najveće starosti, veliki udjel prekidača srednje generacije i mogućnost generiranja istog problema u bliskoj budućnosti.

1.4. Za prekidače najstarije generacije (prekidači tipa 2Pv) nisu ispunjene temeljne pretpostavke redovnog i interventnog održavanja, što je uz poodmaklu životnu dob, smanjenu pouzdanost i povećanu vjerojatnost kvara dovoljan razlog za zamjenu starih jedinica novima. Ako se uzme u obzir veliki broj jedinica najstarije životne dobi u pogonu, može se konstatirati da one predstavljaju slabo mjesto u elektroenergetskom sustavu i time direktno ugrožavaju njegovu raspoloživost i pouzdanost. Istodobno, slijedom iskustava iz prošlosti problem istih dimenzija ne bi se smio pojaviti u srednjoj generaciji prekidača (prekidači tipa 3P).

1.5. Primjenom modela koncentričnog sustava planiranja za objekte prijenosne mreže podgrupu prekidača, temeljem analize stanja moguće je pravodobnim planiranjem pristupiti postupnoj zamjeni jedinica najlošijeg stanja i najstarije životne dobi, te obnovom i zamjenom dijela jedinica srednje generacije značajno promijeniti strukturu zastupljenosti visokonaponskih prekidača u postrojenjima po tipovima, starosti, a time direktno povećati pouzdanost i raspoloživost elektroenergetskog sustava.

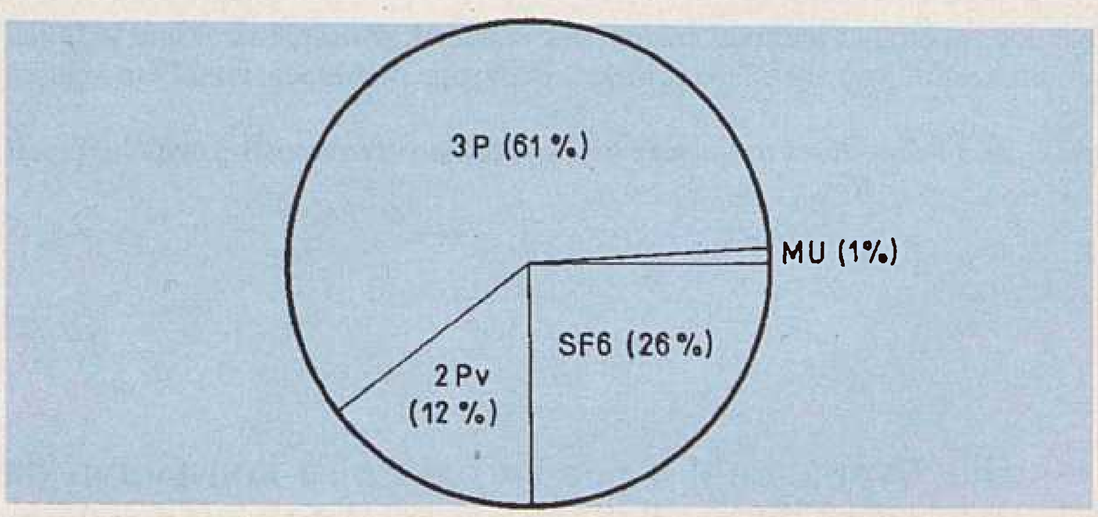
2. PREGLED STANJA VISOKONAPONSKIH PREKIDAČA 400-110 kV U TRANSFORMATORSKIM STANICAMA PrP-a ZAGREB

2.1. Različitost tehnologija i stanja visokonaponskih prekidača, velike teškoće u održavanju i pogonski događaji glavni su razlozi sustavnog pristupa rješavanju tog problema u PrP-u Zagreb krajem osamdesetih i početkom devedesetih godina.
Temeljem pregleda stanja, zastupljenost prekidača po tipovima i osnovnim pokazateljima prikazana je za postrojenja PrP-a Zagreb u tablici 1.
Uzorak od 242 visokonaponska prekidača 400-110 kV u ukupno 38 transformatorskih stanica PrP-a Zagreb, može se smatrati dovoljno reprezentativnim za uočavanje sustavnih pravilnosti i zakonitosti koji vrijede za iste, veće, ili slične uzorke.

Tablica 1. Zastupljenost visokonaponskih prekidača po tipovima u postrojenjima PrP-a Zagreb – stanje 1993.

Tip prekidača	2Pv	3P	MU	SF6	Ukupno
Broj jedinica (kom.)	28	146	3	65	242
Broj objekata s jedinicama tipa (kom)	5	16	2	23	–
Prosječna starost (god.)	29	18	17	9	18
Učešće u ukupnom (%) broj jedinicu	12	61	1	26	100
Učestalost red. održavanja (Remont) god.	3	6	6	9	–
Mogućnosti održavanja	L	D	L	D	–
Mogućnosti zamjene	L	D	L	D	–
Vjerojatnost kvara	V	N	V	N	–

L – loše V – visoka MU – malouljni prekidač
D – dobre N – niska



Slika 1. Grafički prikaz zastupljenosti visokonaponskih prekidača po tipovima – stanje 1993.

Na slici 1 grafički je ilustrirana zastupljenost prekidača po tipovima – stanje 1993. godine.

2.2. Iz prezentiranih pokazatelja vidljiva je relativno velika zastupljenost jedinica najveće prosječne starosti i najstarije tehnologije uz loše (L) mogućnosti održavanja i zamjene jedinice u slučaju havarije, malom učestalosti održavanja i visokom (V) vjerojatnošću kvara i smetnji.
Najzastupljeniji su prekidači srednje generacije (61%), no relativno dug vijek trajanja od prosječno 18 god. upućuje na okolnost ulaska starijih jedinica u najstariju generaciju. Temeljem navedenih pokazatelja sumarno se može konstatirati nepovoljna struktura zastupljenosti prekidača po tipovima koja u pogonu i održavanju rezultira velikim teškoćama i problemima.

2.3. Kvalificirani stručnjak i potrebita mehanizacija, supstitucija na nivou modula ili cijele jedinice, raspolaganje rezervnim dijelovima u potrebitoj količini, uz potrebu isključenja pripadajućeg dijela postrojenja (polja) čine temeljne pretpostavke redovnog i interventnog održavanja. Za prekidače najstarije tehnologije (2Pv) i malouljne prekidače (MU) nisu ispunjene temljnje pretpostavke održavanja, te je uz okolnosti nemogućnosti održavanja, starosti i zamora materijala, te povećanog pogonskog rizika i veće vjerojatnosti kvara evidentan zaključak o potrebi zamjene jedinica novima iz generacije prekidača SF6.

2.4. Prema rezultatima analize i ocjena stanja prekidača sukladno modelu koncentričnog sustava planiranja [1] u PrP-u Zagreb 1993. godine, sačinjen je plan sustavnog poboljšanja strukture zastupljenosti prekidača po tipovima u slijedećim koracima:

a) hitna zamjena malouljnih prekidača lošeg stanja, srednje starosti, ali potpune nemogućnosti održavanja (2 objekta-ukupno 3 kom)
b) postupna zamjena prekidača 2Pv najstarije dobi i najlošijg stanja (1 etapa-18 kom., 2 etapa-10 kom.)
c) obnavljanje prekidača srednje generacije tipa 3P revitalizacijom, također postupnim procesom po etapama.
d) postupna zamjena najstarijih i najslabijih prekidača srednje generacije u usporenom tempu

2.5. Zamjena visokonaponskih prekidača starijih tehnologija novima, predstavlja u objektu u pogonu radnju visokog stupnja složenosti i pogonskog rizika.
Ciklus-projektni zadatak – projekt – nabava novih jedinica, građevinski i elektromontažni radovi – puštanje u pogon, ima svoja pravila i procedure, cijenu i trajanje.
Početkom sustavnog poboljšanja strukture zastupljenosti prekidača po tipovima u postrojenjima PrP-a Zagreb može se smatrati 1994. godina, od kada je prema ranije navedenoj strategiji obavljeno slijedeće:

1. Završetak izrade projekta zamjene ukupno 18 prekidača 2Pv u 3 objekta (TS Nedeljanec-10 kom., TS Pokuplje-4 kom., TS Ivanić Grad-4 kom.), te nabavka novih prekidača na nivou Direkcije za upravljanje i prijenos HEP-a.
2. Hitna zamjena malouljnih prekidača (u TS Ludina-2 kom. i TS Ludbreg-1 kom.).
3. Tehničko ekonomska analiza revializacije prekidača 3P.

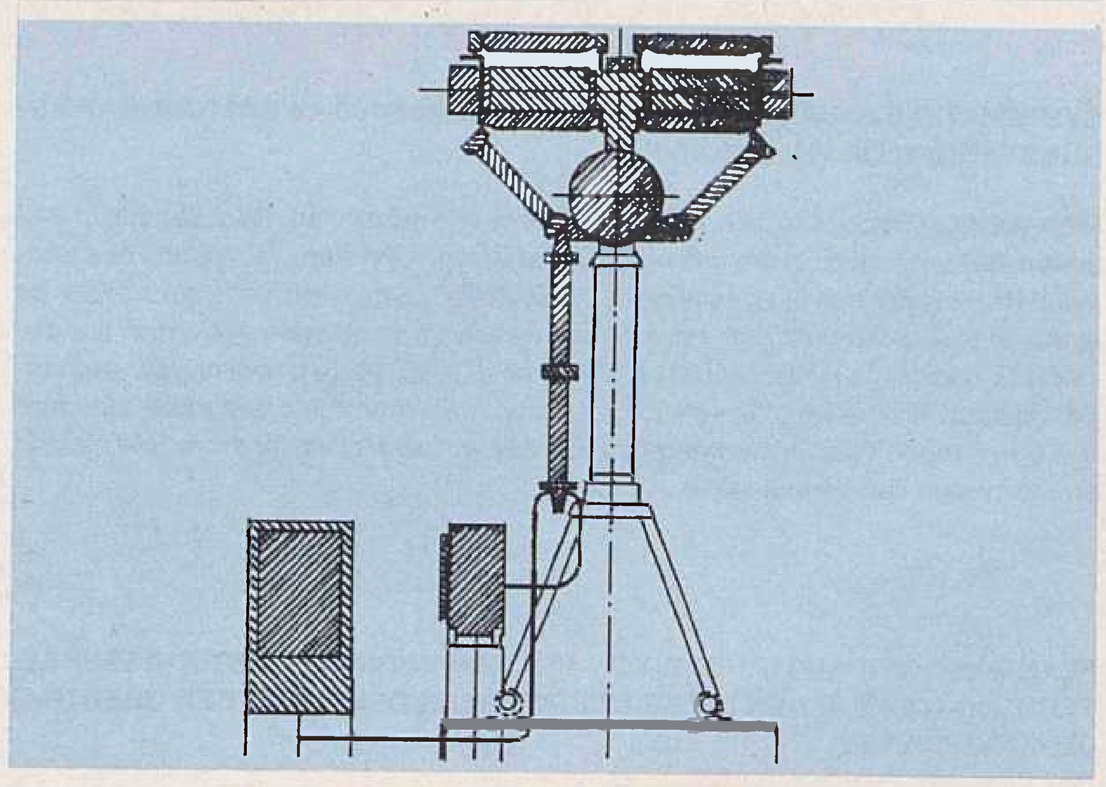
Tijekom 1996. godine predviđena je zamjena prekidača tipa 2Pv u TS Pokuplje-4 kom. i TS Ivanić Grad-4 kom. a obavljena je nabavka rezervnih dijelova za revitalizaciju većeg broja prekidača 3P. U 1997. godini očekuje se zamjena prekidača u TS Nedeljanec-10 kom., te obavljanje navedene revitalizacije većeg broja prekidača 3P.

2.6. Zbog najveće zastupljenosti u prostrojenjima (142 kom. – 61%) posebna je pozornost posvećena prekidačima srednje generacije tipa 3P, ali već ozbiljne životne dobi (18 god. prosječno). Osim pogonskih razloga, već je ranije spomenuta obveza izbjegavanja generiranja problema zaostajanja u postupnim zamjenama jedinica kao što je to slučaj s prekidačima 2Pv.
Na osnovi sličnih iskustava u svijetu, kvalitetno sustavno rješenje pitanja prekidača 3P na dulji rok može se postići njihovom obnovom – revitalizacijom.
Revitalizacija prekidača 3 P u osnovi se pojednostavljeno može svesti na primjenu nove i kvalitetnije tehnologije kompletnog brtvenog materijala u prekidaču, posljedica čega je povećanje sigurnosti i pouzdanosti u radu, smanjivanje učestalosti održavanja i odnosnih troškova, te relativnom produljenju životne do bi.
Temeljem tehnološko-ekonomske analize opravdanosti revitalizacje prekidača 3P konkretnim primjerom potvrđena je realnost revitalizacije, a krajem 1996.

očekuje se isporuka probne količine kompleta rezervnih dijelova za 10 prekidača.

Postupnom usporenom zamjenom najstarijih jedinica 3P novim prekiačima tipa SF6, te revitalizcijom većeg broja preostalih jedinica 3P može se postići kvalitetna ravnoteža u podgrupi 3P u relativno dugačkom prijelaznom razdoblju do potpunog prijelaza na prekiače SF6.

Na slici 2. prikazani su osnovni moduli prekidača 3P čiji se brtveni materijali zamjenjuju novima.

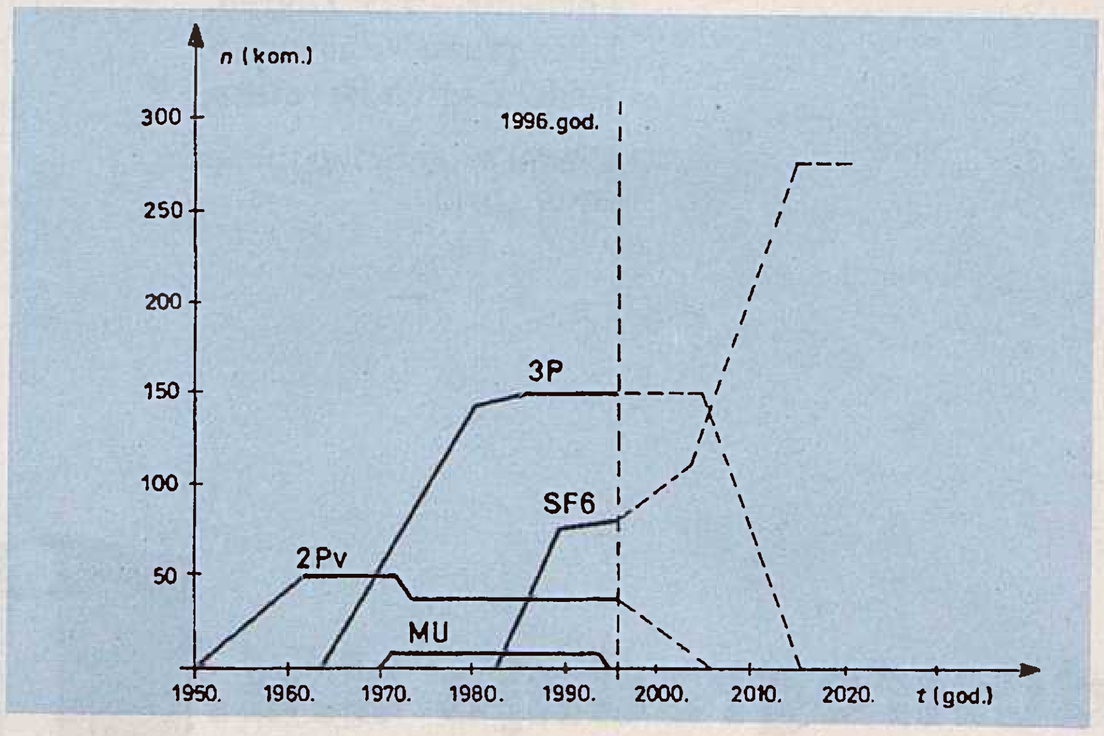


Slika 2. Osnovni moduli prekidača tipa 3P

3. PROMJENA STRUKTURE ZASTUPLJENOSTI PREKIDAČA 400-110 kV PO TIPOVIMA U TRANSFORMATORSKIM STANICAMA PrP-a ZAGREB

3.1. Na osnovi analize stanja i postavljenog plana zamjene prekidača u razdoblju od 1993. do 1996. godine značajno je promijenjena struktura zastupljenosti visokonaponskih prekidača u transformatorskim stanicama PrP-a Zagreb.

Eliminacijom malouljnih prekidača (3 kom.) i prekidača 2Pv (8 kom.), te u cijelosti obavljenim pripremnim postupkom za zamjenu još 10 kom. prekidača 2Pv i revitalizaciju prekidača 3P, broj slabih točaka u elektroenergetskom sustavu je znatno smanjena uspostavljen je i redoviti i normalan sustav održavanja novih jedinica. Promjena strukture zastupljenosti prekidača po tipovima za razdoblje od 1950. do 2015 prikazana je na slici 3.



Slika 3. Promjena strukture zastupljenosti prekidača po tipovima za razdoblje od 1950 do 2015. god.

3.2. Na slici 3 vidljivo je nastajanje te promjene strukture zastupljenosti prekidača u razmatranom razdoblju od 1950. do 2000. godine, te očekivani proces promjene strukture do 2015. godine. Zanimljivo je uočiti pravilnost periodike pojave novih tehnologija koji će se vjerojatno nastaviti i u bliskoj budućnosti. Također je evidentan i predugačak period eksploatacije prekidača 2Pv i kao posljedica toga sporiji rast broja prekidača SF6 u postrojenjima. Sličan period eksploatacije prekidača 3P prognoziran je temeljem obavljene revitalizacije prekidača, te se stoga ne očekuju teškoće u održavanju i eksploataciji kao što je to bio slučaj s prekidačima tipa 2Pv. Ocjena stanja pokazuje stupanj zakašnjenja početka zamjene prekidača 2Pv prekidačima SF6 reda 7-10 godina.

3.3. Promjenom strukture zastupljenosti visokonaponskih prekidača eliminirana su slaba mjesta u postrojenjima, odnosno elektroeneretskom sustavu, te uspostavljeni normalni uvjeti održavanja.

Zamjenom prekidača 2Pv prekidačima SF6 uz navedene direktne efekte vrlo su važni i indirektni efekti:

1. Napuštanje podsustava proizvodnje, pripreme i razvoda komprimiranog zraka koji je bio vrlo često mjesto kvara i smetnji i zahtijevao vrlo učestalo, a stoga i skupo održavanje.
2. Uređenjem jedinice 2Pv u boljem stanju uz pomoć sklopova ostalih napuštenih jedinica formira se pogonska rezerva koje do sada nije bilo i time ublažuju posljedice mogućih havarija.
3. Rastavom napuštenih jedinica moguće je koristiti dio pojedinačnih rezervnih dijelova ili u boljem slučaju modula.
4. S obzirom na visoku učestalost redovnog održavanja prekidača 3Pv (reda 3 god.) njihovim napuštanjem bitno se smanjuju troškovi održavanja glede niske učestalosti redovnog održavanja prekidača SF6 (reda 9. god.).
5. Iskustvo u procjeni stanja, planiranju i realizaciji zamjena za istovrsan postupak u budućnosti prigodom zamjene prekidača 3P.

3.4. Prva iskustva PrP-a Zagreb u revitalizaciji postrojenja pokazuju različitost pristupa ovom složenom pitanju. Granice potrebne i opravdane revitalizacije primarne i sekundarne opreme, pomoćnih pogona i građevinskih elemenata u transformatorskim stanicama vrlo je teško odrediti.

Dakako da je kompletna revitalizacija objekta u kontinuitetu tehnički najkvalitetnije, ali objektivno zbog mnogih i različitih tehničkih i ekonomskih ograničenja teško izvedivo rješenje.

Parcijalni pristup revitalizaciji objekta prema modelu koncentričnog sustava planiranja na primjeru podgrupe zamjena prekidača pokazao je u PrP-u Zagreb dobar rezultat. U situaciji procijenjene pogonske ugroženosti prekidača, dugotrajni postupak pripreme i realizacije revitalizacije jednog objekta rješava problem tog objekta, a ostali u čekanju predstavljaju neposrednu opasnost.

S druge strane jednom obavljena zamjena prekidača uklapa se u svaki koncept revitalizacije objekta i predstavlja veliki doprinos revitalizaciji.

Konstatacija o zakašnjelosti postupka zamjene prekidača najstarije tehnologije 2Pv od 7-10 godina još je jedan dokaz u prilog parcijalnoj revitalizaciji vitalnih komponenti postrojenja, a izostanak temeljnih pretpostavki održavanja neposredni povod za pravodobnu, planiranu i organiziranu zamjenu prekidača.

4. ZAKLJUČAK

4.1. Visokonaponski prekidač je vitalna komponenta rasklopnog postrojenja koja značajno utječe na pouzdanost i raspoloživost elementa elektroenergetskog sustava u normalnim i incidentnim situacijama.
Promatranjem perioda od 50 godina na uzorku od 242 prekidača u 38 transformatorskih stanica PrP-a Zagreb, može se konstatirati zastupljenost različitih tehnologija prekidača koja je nastala vremenom, različitosti, stanja i pouzdanosti.

4.2. Zaostajanjem u pravodobnoj zamjeni prekidača najstarije tehnolgoije od 7-10 godina nastale su slabe točke u postrojenjima, a izostankom temeljnih pretpostavki održavanja ispunjeni su uvjeti za zamjenu prekidača.
Pravodobnom ocjenom stanja i planiranjem, primjenom modela koncentričnog sustava planiranja na podgrupi prekidača moguće je u relativno kratkom vremenu bitno promijeniti strukturu zastupljenosti prekidača po tipovima, što je prikazano za razdoblje od 1993. do 1996. na primjeru postrojenja PrP-a Zagreb.

4.3. Zamjenom prekidača najstarije tehnologije i revitalizacijom prekidača srednje generacije postupnim procesom bitno se povećava pouzdanost i raspoloživost postrojenja, te uspostavlja uredan sustav održavanja uz brojne, tehnički i ekonomski velike indirektne efekte.

4.4. Analizom nastanka današnjeg uzorka od 242 komada u razdoblju od 1950. do 2000. godine uočena je pravilnost periodike pojave novih tehnologija i dinamike promjene strukture, te dana približna prognoza stanja u budućnosti, uključujući i objektivnu vjerojatnost pojave novih tehnologija.

4.5. Prva iskustva na primjeni parcijalne revitalizacije objekata prijenosne mreže PrP-a Zagreb na podgrupi prekidača pokazuje vrlo dobre rezultate s učinkom povećanja pouzdaosti elektroenergetskog sutava i uspostavljana urednog sustava održavanja.

LITERATURA

[1] M. MESIĆ: "Pregled stanja objekta PrP-a Zagreb" (veljača 1994. god.)

[2] M. MESIĆ: "Tehničko-ekonomska analiza revitalizacije prekidača 3P 110 kV" (ožujak 1995.)

[3] M. MESIĆ: "Primjena modela koncentričnog sustava planiranja radova u objektima prijenosne mreže" ("Energija" br. 5-6, listopad-prosinac 1995.)

SYSTEMATIC EXCHANGE OF HIGH-VOLTAGE 400-100 kV SWITCHGEARS IN SUBSTATIONS OF PrP ZAGREB

High-voltage switchgears are vital components of a substation. On a sample of 242 units today's structure of the unit regarding age, type and state, in a period of approximately 50 years has been analysed. Using partial revitalisation of a substation, for example of a switchgear subgroup, based on analysis and state evaluation it is possible to determine systematically the volume and schedule of switchgear exchange. With the realisation of the switchgear exchange, today's unfavourable structure can be changed essentially whereby reliability and availability of the whole electric power system can be increased.

PLANMÄSSIGER AUSTAUSCH VON HOCHSPANNUNGS-LEISTUNGSSCHALTERN 400-100 kV IN DEN UMSPANNERWERKEN DES ZAGREBER ÜBERTRAGUNGSGEBIETES

Leistungsschalter der Hochspannungs-Anlagen sind wesentliche Bauteile von Umspannerwerken. An einem Satz von 242 Einheiten als Muster wird die Entstehung der augenblicklich bestehenden Zusammensetzung von Umspannem nach Alter, Type und Zustand, für eine Zeitspanne von etwa 50 Jahren überprüft. Ein anteiliger Zutritt der Erneuerung von Anlagen, am Beispiel der Untergruppe Leistungsschalter, ermöglicht den folgerichtigen Umfang und den zeitlichen Ablauf des Austausches dieser Garäte.
Nach durchgeführtem Austausch wird sich die zur Zeit ungünstige Zusammensetrung von Leistungsschaltem wesentlich ändem und dadurch sowohl eine größere Zuverlässigkeit als auch eine größere Verfügbarkeit der Stromversorgung im Verbund bewirken.

Naslov pisca:

Miroslav Mesić, dipl. ing.
Hrvatska Elektroprivreda d.d.
Direkcija za upravljanje
i prijenos – PrP Zagreb,
Ulica grada Vukovara 37,
10000 Zagreb Hrvatska,

Uredništvo primilo rukopis:
1996-10-14.

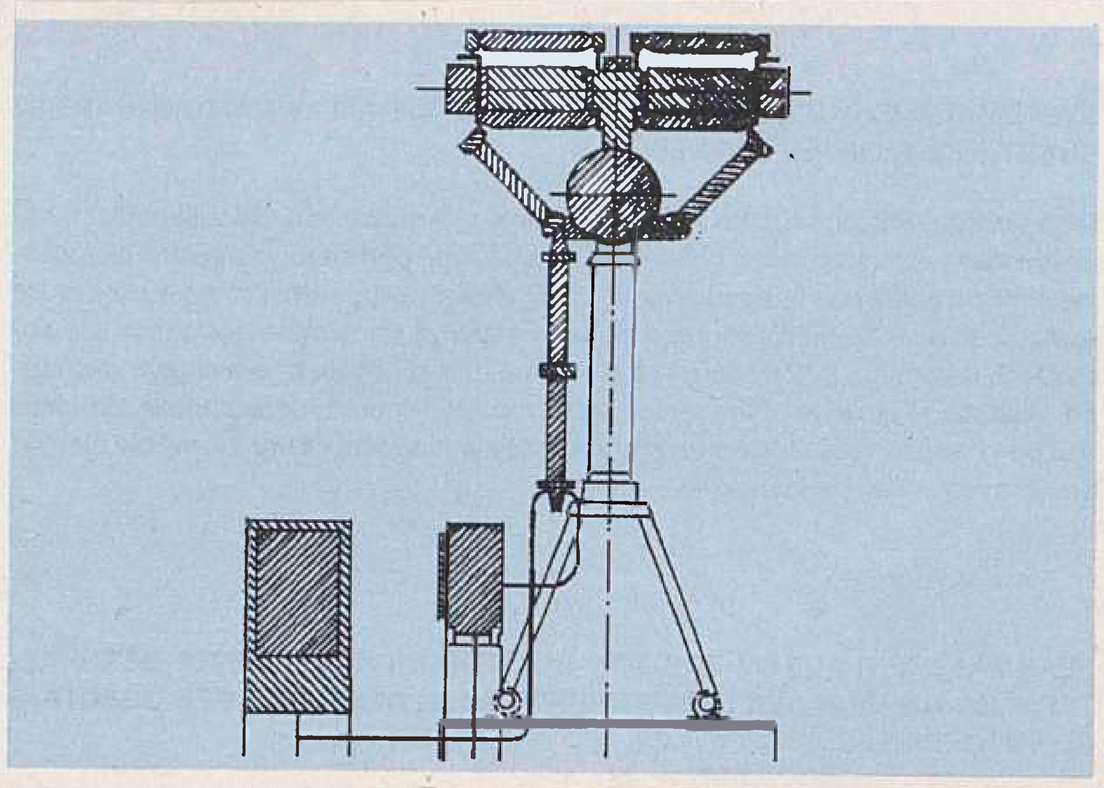
industrogradnja d.d.

PODUZEĆE ZA GRAĐENJE, PROJEKTIRANJE, KONZALTING, PROIZVODNJU, TRGOVINU, VANJSKO-TRGOVINSKO POSLOVANJE, UGOSTITELJSTVO I TURIZAM, ZAGREB

očekuje se isporuka probne količine kompleta rezervnih dijelova za 10 prekidača.

Postupnom usporenom zamjenom najstarijih jedinica 3P novim prekiačima tipa SF6, te revitalizcijom većeg broja preostalih jedinica 3P može se postići kvalitetna ravnoteža u podgrupi 3P u relativno dugačkom prijelaznom razdoblju do potpunog prijelaza na prekiače SF6.

Na slici 2. prikazani su osnovni moduli prekidača 3P čiji se brtveni materijali zamjenjuju novima.

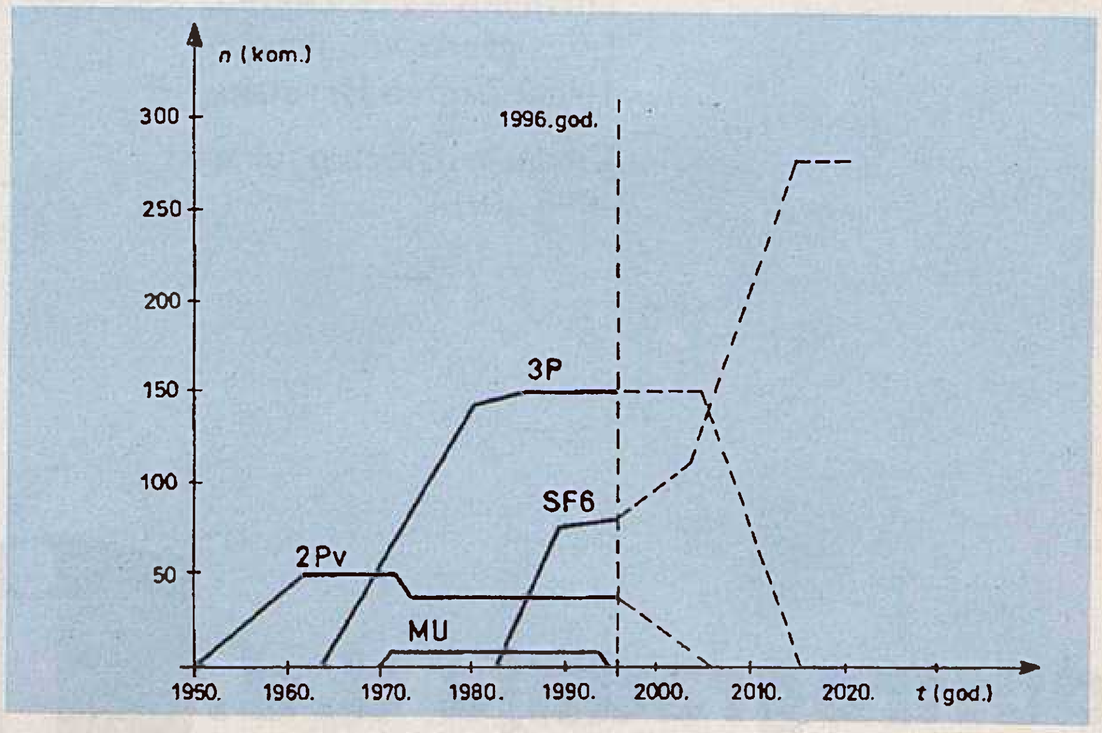


Slika 2. Osnovni moduli prekidača tipa 3P

3. PROMJENA STRUKTURE ZASTUPLJENOSTI PREKIDAČA 400-110 kV PO TIPOVIMA U TRANSFORMATORSKIM STANICAMA PrP-a ZAGREB

3.1. Na osnovi analize stanja i postavljenog plana zamjene prekidača u razdoblju od 1993. do 1996. godine značajno je promijenjena struktura zastupljenosti visokonaponskih prekidača u transformatorskim stanicama PrP-a Zagreb.

Eliminacijom malouljnih prekidača (3 kom.) i prekidača 2Pv (8 kom.), te u cijelosti obavljenim pripremnim postupkom za zamjenu još 10 kom. prekidača 2Pv i revitalizaciju prekidača 3P, broj slabih točaka u elektroenergetskom sustavu je znatno smanjena uspostavljen je i redoviti i normalan sustav održavanja novih jedinica. Promjena strukture zastupljenosti prekidača po tipovima za razdoblje od 1950. do 2015 prikazana je na slici 3.



Slika 3. Promjena strukture zastupljenosti prekidača po tipovima za razdoblje od 1950 do 2015. god.

3.2. Na slici 3 vidljivo je nastajanje te promjene strukture zastupljenosti prekidača u razmatranom razdoblju od 1950. do 2000. godine, te očekivani proces promjene strukture do 2015. godine. Zanimljivo je uočiti pravilnost periodike pojave novih tehnologija koji će se vjerojatno nastaviti i u bliskoj budućnosti. Također je evidentan i predugačak period eksploatacije prekidača 2Pv i kao posljedica toga sporiji rast broja prekidača SF6 u postrojenjima. Sličan period eksploatacije prekidača 3P prognoziran je temeljem obavljene revitalizacije prekidača, te se stoga ne očekuju teškoće u održavanju i eksploataciji kao što je to bio slučaj s prekidačima tipa 2Pv. Ocjena stanja pokazuje stupanj zakašnjenja početka zamjene prekidača 2Pv prekidačima SF6 reda 7-10 godina.

3.3. Promjenom strukture zastupljenosti visokonaponskih prekidača eliminirana su slaba mjesta u postrojenjima, odnosno elektroeneretskom sustavu, te uspostavljeni normalni uvjeti održavanja.

Zamjenom prekidača 2Pv prekidačima SF6 uz navedene direktne efekte vrlo su važni i indirektni efekti:

1. Napuštanje podsustava proizvodnje, pripreme i razvoda komprimiranog zraka koji je bio vrlo često mjesto kvara i smetnji i zahtijevao vrlo učestalo, a stoga i skupo održavanje.
2. Uređenjem jedinice 2Pv u boljem stanju uz pomoć sklopova ostalih napuštenih jedinica formira se pogonska rezerva koje do sada nije bilo i time ublažuju posljedice mogućih havarija.
3. Rastavom napuštenih jedinica moguće je koristiti dio pojedinačnih rezervnih dijelova ili u boljem slučaju modula.
4. S obzirom na visoku učestalost redovnog održavanja prekidača 3Pv (reda 3 god.) njihovim napuštanjem bitno se smanjuju troškovi održavanja glede niske učestalosti redovnog održavanja prekidača SF6 (reda 9. god.).
5. Iskustvo u procjeni stanja, planiranju i realizaciji zamjena za istovrsan postupak u budućnosti prigodom zamjene prekidača 3P.

3.4. Prva iskustva PrP-a Zagreb u revitalizaciji postrojenja pokazuju različitost pristupa ovom složenom pitanju. Granice potrebne i opravdane revitalizacije primarne i sekundarne opreme, pomoćnih pogona i građevinskih elemenata u transformatorskim stanicama vrlo je teško odrediti.

Dakako da je kompletna revitalizacija objekta u kontinuitetu tehnički najkvalitetnije, ali objektivno zbog mnogih i različitih tehničkih i ekonomskih ograničenja teško izvedivo rješenje.

Parcijalni pristup revitalizaciji objekta prema modelu koncentričnog sustava planiranja na primjeru podgrupe zamjena prekidača pokazao je u PrP-u Zagreb dobar rezultat. U situaciji procijenjene pogonske ugroženosti prekidača, dugotrajni postupak pripreme i realizacije revitalizacije jednog objekta rješava problem tog objekta, a ostali u čekanju predstavljaju neposrednu opasnost.

S druge strane jednom obavljena zamjena prekidača uklapa se u svaki koncept revitalizacije objekta i predstavlja veliki doprinos revitalizaciji.

KAKO JE POČELA ŠIROKA ELEKTRIFIKACIJA U HRVATSKOJ

Boris Markovčić, Zagreb

UDK621.31:621.316
STRUČNI ČLANAK

Članak opisuje početke elektrifikacije poslije prvog svjetskog rata i iznosi neke detalje koji osvjetljavaju to doba.

Ključne riječi: povijest elektrifikacije, elektroprivreda

U poslijeratnom razdoblju, nakon prvog svjetskog rata, nastala je izvjesna privredna konjuktura, što je pogodovalo i širenju elektrifikacije u Hrvatskoj. Pojedina mjesta i naprednija sela gradili su svoje male elektrane, prvenstveno za potrebe rasvjete. Gradilo se bez plana i pogleda u širinu. Elektrifikacija se rješavala za više ili manje usko područje, koje je gravitiralo pojedinoj postojećoj većoj elektrani. U tadašnjoj državi, Kraljevini SHS, odnosno Jugoslaviji, bilo je više inicijativa da se donose plan elektrifikacije, ali to nije nikada ostvareno. Elektrifikacija sela činila se naročito nepogodnom, jer nije davala izgleda za rentabilnost posla. Svjetska ekonomska kriza, početkom tridesetih godina, imala je negativan utjecaj i na električno gospodarstvo u Hrvatskoj. Osim toga, kočnica su bili i različiti nameti, jer se korištenje električne energije smatralo nekom vrstom luksuza.

Široka je elektrifikacija pokrenuta tek 1937. godine osnivanjem Banovinskog električnog poduzeća (BEP). Zadaća je poduzeća bila da izgrađuje elektroenergetske izvore i provodi široku elektrifikaciju seoskih općina. Banovina je sama htjela preuzeti proizvodnju, prijenos i veću razdiobu električne energije na svom području, kako bi na taj način elektrifikacija bila povjerena onom faktoru koji može najbolje procijeniti pojedine momente za razvoj planskog električnog gospodarstva. U početku je to bilo samo područje Savske banovine, a nakon njena osnivanja i cijele Banovine Hrvatske.

Za izgradnju i stavljanje u pogon elektroenergetskih izvora svakako je trebalo duže vrijeme, pa je poduzeće, uz početak radova na velikim objektima, odmah počelo elektrifikacijske radove u seoskim područjima, gdje su se ubrzo vidjeli pozitivni rezultati. Problemi su bili vrlo akutni pa nije bilo vremena za proučavanje općih elektrogospodarstvenih pitanja i izrade općeg elektrifikacijskog plana. Provođenje seoske elektrifikacije bio je jedan od najbližih ciljeva BEP-a, sukladno riječima profesora inženjera Miroslava Ploha, glavnog pokretača cijelog pothvata. U jednom od svojih promidžbenih govora o elektrifikaciji on je rekao da treba omogućiti svim našim krajevima da dođu do električne energije. Ona treba podrijeti u sva mjesta, pa i u najzabitnije selo. Struja je veliki pomagač u radu i unapređenju gospodarstva. Ona mora biti u vlasništvu naroda.

Kako BEP nije imao svojih elektrana vezao je svoja elektrificirana područja na postojeće najbliže elektrane. Tako su niskonaponske mreže Moslavine i jugozapadnog dijela hrvatskog zagorja vezane na mrežu Zagrebačke električne centrale (GEC), Međimurje i Hrvatsko zagorje na mrežu elektrane Fala, Duga Resa i krašić na gradsku munjaru u Karlovcu, a Čepin kraj Osijeka na mrežu Gradske električne centrale u Osijeku. U Hrvatskom primorju i Gorskom kotaru nije bilo prikladnih izvora električne energije, pa je BEP za opskrbu svojih potrošača i za gradilište HE Vinodol izgradio pomoćne elektrane u Fužinama i Drveniku.

Električno je poduzeće financirano djelomično iz sredstava Savske banovine, a zatim Banovine Hrvatske, a djelomično iz dugoročnih zajmova koji su zaključeni kod gradske štedionice u Zagrebu i Štedionice Savske banovine. Nakon osnutka NDH i promjene imena u Državno električno poduzeće (DEP), nastavljeno je financiranje iz državne riznice.

Još prije početka radova na elektrifikaciji (1937.) izrađeni su "Uvjeti dobave električne energije iz električnih naprava BEP-a". S malim promjenama 1939. godine objavljen je "pravilnik dobave i prodavanja električne struje iz elektrovoda Električnog poduzeća Banovine Hrvatske u Zagrebu". Pravilnik određuje odnos između BEP-a i potrošača i služio je kao temelj poslovanja.

Prema spomenutom Pravilniku seoske općine (zadruge za elektrifikaciju, zemljišne zajednice) koje žele postati BEP-ovi potrošači moraju posjedovati svoju mjesnu mrežu i transformatorsku stanicu. Ako BEP gradi ova postrojenja, a u početku gradio ih je isključivo on, BEP izvodi gradnju bez zaračunavanja dobiti, uz cijenu svog vlastitog troška. Ovu investiciju plaća općina (zadruga, zajednica), koja je vlasništvo uređaja djelomičnom isplatom njihove vrijednosti. Općina (zadruge, zajednice) su osim toga bile duže staviti BEP-u na raspolaganje:

1. sve stupove (neimpregnirane) za vodove napona 6 kV, koji su prolazili njihovim područjem
2. nestručnu radnu snagu za gradnju vodova 6 kV, transformatorskih stanica 6/0,4 kV i mjesnih mreža;
3. potrebne prostorije za zkladište, radionicu i uredovnicu;
4. besplatno pravo služnosti na općinskom i privatnom zemljištu za potrebe gradnje i uzdržavanja električnih naprava.

Izvršenjem ovih uvjeta postajale su općine (zadruge, zajednice) bez ikakvih daljnjih obveza sudionici na utršku prodane električne energije s jednom trećinom. S ovim je prihodima bilo zamišljeno izplaćivati naprave koje je izgradio BEP. Općina (zadruga, zajednica) imala je pravo na udio samo one električne energije koja je potrošena preko njezine transformatorske stanice. Veći potrošači, izravno priključeni na 6 kV, bili su izravni BEP-ovi potrošači. Vodovi visokog napona 6 kV i 30 kV i transformatosrke stanice 30/6 kV bili su isključivo vlasništvo BEP-a.
Uzdržavanje postrojenja, koja su bila vlasništvo općine (zadruge, zajednice) padalo je na teret BEP-a. Isto tako i očitanje brojila, ispostava računa i naplata. Na taj je način BEP bio maloprodavač struje za sva seoska područja. Od 1941. godine poduzeće se nastojalo osloboditi uloge maloprodavača prodajom struje na veliko općinama.
Prvi terenski radovi na elektrifikaciji počeli su ljeti 1938. godine u općini Križ, a priključak mjesta Križ, kao prvog mjesta koje je elektrificirao BEP, uslijedilo je u siječnju 1938. godine. Gradnja mjesnih mreža nastavljena je u toj oćini i općini Čazma, a zatim u Dubravi i Popovači. Tijekom 1939. godine radovi su počeli u općini Krašić, Duga Resa i Gorskom kotaru. Iste su godine radovi počeli također i u Međimurju, ali je zbog mađarske okupacije BEP marao napustiti to područje. Zbog elektrifikacije srednje Dalmacije osnovana je u ljetu 1940. godine. Tehnička uprava u Splitu. Tada su počeli radovi na gradnji voda 15 kV na otoku Braču i mjesne mreže na Visu. Zbog ratnih prilika svi su radovi u Dalmaciji morali biti prekinuti.
Dok je seoska elektrifikacija tekla vrlo uspješno, gradnja velikih objekata, započeta 1940., vrlo je brzo, zbog rata, morala biti obustavljena. Predradnje za gradnju HE Vinodol već su započele 1937. godine. Generalni je plan rađen 1938./39., naručeni su strojevi, a ljeti 1940. otpočeli su građevinski radovi. Svaka aktivnost na gradnji ovog objekta prekinuta je u jesen 1943. godine. Istodobno s gradnjom hidroelektrane počela je gradnja dalekovoda 100 kV. Vod je predviđen za prijenos električne energije iz HE Vinodol do transformatorske stanice Sv. Klara kraj Zagreba. Računalo se s prijenosom snaga oko 60 MVA, uz Cosϑ = 0,8 uz napon od 100 kV. Treba napomenuti, da je BEP izvodio svoja postrojenja u skladu s njemačkim propisima VDE, čija je primjena bila ozakonjena u tadašnjoj Kraljevini Jugoslaviji. Prema tim su propisima odabrani visoki naponi 100 kV, 30 kV i 6 kV (kasnije 10 kV) i niski napon 380/220 V.
Dalekovod 100 kV građen je kao dvosustavni na zajedničkim drvenim impregniranim stupovima s nogarima. Specijalni su stupovi (kutni i rasteretni) građeni od armiranog betona. Vodiči su bili bakreni 95 mm² Cu, a tri zaštitna užeta od čelika 50 mm². Če. Do prekida gradnje podignuta su na 15 km trase stupovi, a potpuno je završeno tek 5 km voda.
U početku su vodiči sviju napona bili od bakra, čak su se polagala i bakrena uzemljena. Prvo se odustalo od bakrenih uzemljivača, jer je bakar redovito završio kao modra galica u susjednim vinogradima. No, u tijeku rata došlo je do zabrane uporabe bakra za električne vodiče, pa je DEP prešao na korištenje aluminija (50 mm² i 35 mm²) i čelika (50 mm² i 35 mm²) za visokonaponske vodove. Prvi vod izgrađen u aluminiju bio je vod 10 kV Zlatar Bistrica-Pešćeno (50 mm² Al, 10 km), a prvi vod s čeličnom užadi (50 mm², 6,6 km) bio je na liniji Popovača-Potok. Oba su voda stavljena u pogon 1943.

U prvobitnom je planu bilo, da se za sve vodove upotrebljavaju impregnirani jelovi stupovi, a od neimpregniranih jedino kestenovi. U okviru poduzeća osnovano je 1940. godine u Gorskom kotaru nekoliko impregnacija. Ipak uslijed neprilika, koje su impegnacije još prije rata morale prebroditi, mnogi su vodovi izvedeni s neimpregniranim stupovima. Takvi su stupovi ugrađivani u mjesne mreže i vodove 6 kV, gdje su stupove davale općine, odnosno zemljišne zajednice. Veliki ih je broj bio hrastovih, nepravilnih i grbavih, a što je najgore, bili su kratka vijeka. Trajnost im se pokušala povećati paljenjem dijela koji se ukopava u zemlju, no uspjeh nije bio naročit.
Prijenosni vodovi 35 kV građeni su na drvenim portalnim stupovima s kapastim porculanskim izolatorima. Razdjelni pak vodovi 6 kV, odnosno 10 kV, izvedeni su na jednostavnim drvenim stupovima s potpornim izolatorima.
Predviđena opterećenja mjesnih mreža bila su vrlo niska. Prilikom projekta mreže računalo se s istovremenim opterećenjem od 40 W po kući, a u ratnom razdoblju i 30 W po kući. U takvoj su mreži, naravno, bakreni vodiči od 6 mm² bili vrlo česti, a snage transformatora 6/0,38 kV vrlo male. Za neka su se sela ugradili transformatori od samo 5 kVA, dok je transformator veće snage od 20 kVA smatran "velikim": Kao tip seoske transformatorske stanice uzeta je transformatorska stanica na drvenim stupovima (također često vrlo grbavim). Jedino u područjima s teškim atmosferskim prilikama, kao šo su Gorski kotar i Primorje, izvedene su zidane stanice. Zidane su također sve transformatorske stanice 30 kV.
Prema projektiranom opterećenju se vidi da je računano samo s rasvjetom. Zanimljivo je napomenuti da su mnogi seljaci bili zadovoljniji što imaju elektriku u štali nego u kući, jer je prilikom hranjenja stoke zimi u mračnim jutrima uvijek prijetila opasnost od požara. U ljetnim mjesecima, međutim, potrošci su bili vrlo mali. Neka su kućanstva plaćala samo najam brojila No, ubrzo su se pokazale poteškoće u ovako slabim mrežama. Već 1940. se npr. prilikom žetve u Moslavini počelo kod vršalica prelaziti od pogona lokomobila na elektromotore. Radilo se npr. o priključku nekog mlina, to se moglo predvidjeti projektom ili posebnom granom mreže, no vršilica je pokretni poljoprivredni stroj priključen prema potrebi. Zbog velikog nepredviđenog pada napona mnoga su sela donijela zaključak da padom mraka vršalice moraju prestati s radom. Polako su imućnija gospodarstva nabavljala strojeve na električni pogon (cirkulari, sječkalica) što je sve više opterećivalo mrežu.
Udaljenije kuće se prilikom projektiranja često nisu javile za priključak, već su ga tražile nakon izgradnje mreže. Mreža je naknadno produljivana, obično jednofazno pa je na koncu "zadnja uća" dobila polovinu nazivnog napona.
Nestručna se radna snaga koristila prvenstveno za kopanje jama i podizanje stupova, a bila je većinom dragovoljna. Obično su se dragovoljci potrudili da ne budu žedni, pa su imali poteškoća u vraćanju kući.
Javna je rasvjeta projektirana kao polunoćna i cjelonoćna. Sklopka za ukapčanje javne rasvjete često se nalazila kod nekog seoskog uglednika, koji u vedrim noćima s mjesečinom nije rasvjetu uopće palio.
Kao što smo vidjeli, široka je elektrifikacija počela vrlo skromno, no krenula je. Narod je postao svjestan blagodati elektrike i važnosti elektrifikacije.

Zamisao profesora Plohla da se elektrifikacijom obuhvati i najzabitnije selo počela se ostvarivati.
Premda BEP, odnosno DEP, nije u razdoblju svog djelovanja od 1937. do 1945. godine uspio izgraditi niti jedan veći izvor električne energije, svojim radom utro je značajan put potpunoj elektrifikaciji i jedinstvenoj elektroprivredi Hrvatske.

HOW WIDE ELECTRIFICATION HAS STARTED IN CROATIA

The paper describes the electrification beginning after the first world war and some details that illustrate that period.

WIE SETZTE WEIT UND BREIT DIE STROMVERSORGUNG IN KROATIEN AN

Das Artikel beschreibt die Anfänge der Stromversorgung in Kroatien nach dem ersten Weltkrieg und führt einige diese Epoche kennzeichnende Einzelheiten an.

Naslov pisca:

Boris Markovčić, dipl. ing.
Vojnovićeva 26, 10000 Zagreb,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1996-12-05.

industrogradnja d.d.

PODUZEĆE ZA GRAĐENJE, PROJEKTIRANJE, KONZALTING, PROIZVODNJU, TRGOVINU, VANJSKO-TRGOVINSKO POSLOVANJE, UGOSTITELJSTVO I TURIZAM, ZAGREB

DALEKOVOD d.d.

DALEKOVOD DANAS

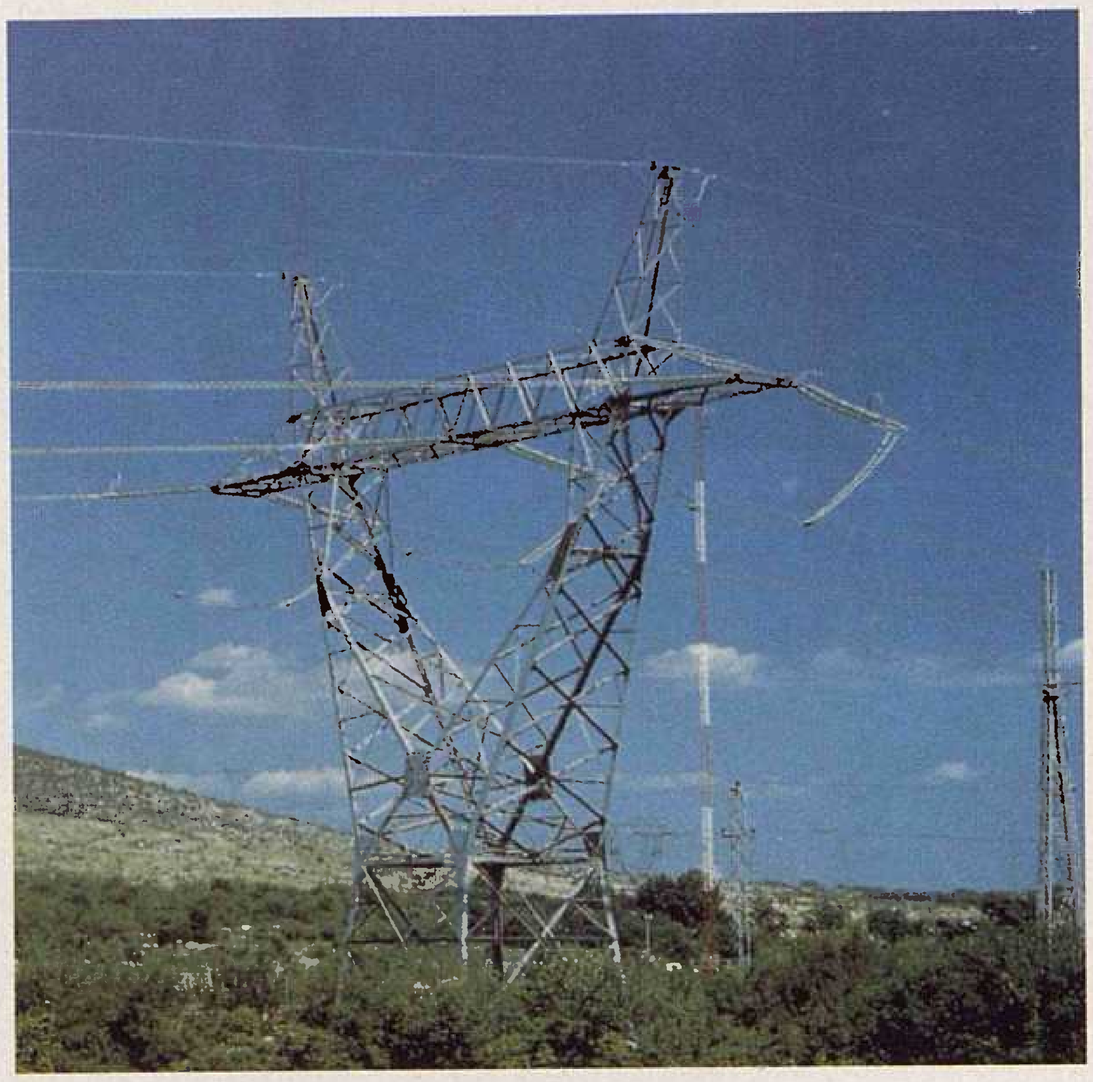
DALEKOVOD je dioničko društvo za inženjering, proizvodnju i gradnju. Za potrebe svog poslovanja utemeljio je:
— Tvrtku DALCOM sa sjedištem u FREILASSINGU — Njemačka
— Tvrtku DALEN sa sjedištem u LJUBLJANI — Slovenija
DALCOM i DALEN rade samostalno, ali s ograničenom odgovornošću.

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 LB19H (1/94)

Ulica grada Vukovara 37
10000 ZAGREB — HRVATSKA
Tel.: ++385-1-6125-111, 511-325
Fax: ++385-1-530-606, 511-754

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 LB19I (1/94)

OSNOVNI STATISTIČKI POKAZATELJI ZA RAZDOBLJE OD I-IV. 1996.

Između statističkih podataka objavljenih u Mjesečnom statističkom izvješću 10/1996. Državnog zavoda za statistiku izabrani su najvažniji podaci za elektroprivrednu djelatnost, za razdoblje od I-IX. 1996. godine. Obuhvaćeni:

- indeksi fizičkog obujma proizvodnje,
- podaci o proizvodnji električne energije,
- podaci o broju zaposlenih u elektroprivredi,
- podaci o bruto i neto plaći po zaposlenom u elektroprivredi, te
- indeksi neto plaće.

Indeksi fizičkog obujma industrijske proizvodnje skupni su indeksi proizvoda prema usvojenoj nomenklaturi. Ponderacijski koeficijenti društveni su proizvod za jediničnu proizvodnju određenog proizvoda i korigiraju se svake godine na razini grane u skladu s preporukom statističkog ureda UN.
Znak "Ø" ispred brojčane vrijednosti označava godišnji prosjek.
Indeksi fizičkog obujma proizvodnje za elektroprivrednu djelatnost prikazani su u tablici 1.
U tablici 2. prikazana je ukupna proizvodnja električne energije, te količine električne energije proizvedene u hidrolektranama i termoelektranama.

Podaci o radnicima prema tablici 3. iskazani su kao godišnji prosjek podataka prikupljenih polugodišnjim izvještajem sa stanjem 31. ožujka i 30. rujna. Godišnji prosjek broja zaposlenih izračunat je kao aritmetička sredina 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 određeno ili neodređeno vrijeme. Pod prosječnim neto plaćama po zaposlenom podrazumijevaju se primanja zaposlenih temeljem redovnog radnog odnosa. Osim ispalata za stvarno izvršeni rad, obuhvaćene su i ostale isplate koje ulaze u neto-plaće, tj. naknada za godišnji odmor, državne blagdane i neradne dane utvrđene zakonom, bolovanja do 42 dana, odsustvo za stručno obrazovanje, obnašanje vojne obveze, te naknade za topli obrok.
Bruto-plaća po zaposlenom u elektroprivredi prikazana je u tablici 5. Bruto-plaća po zaposlenom obuhaća sve vrste neto isplata, tj. plaće iz radnog odnosa u koje su uključena i zakonom propisana obvezna izdvajanja, a to su doprinosi (stopa 23,85%), porezi i prirezi.
U tablici 6. prikazani su indeksi neto plaće po zaposlenom. Prosjek 1995. godine uzima se kao indeks 100.

Tablica 1.

	1993/Φ 1995.	1994/Φ 1995.	I-IX.1995./ I-IX. 1994.	I-IX. 1996./ I-IX.1995.	1995./Φ1995.			1996./Φ1995.				
					VIII	IX	X	V	VI	VII	VIII	IX
Indeks fizičkog obujma proizvodnje	103,2	95,3	102,9	121,2	91,1	91,1	88,7	113,4	112,6	108,0	94,7	105,9

Tablica 2.

Proizvodnja električne energije		1994.	1995.	I-IX.		1995.				1996.						
				1995.	1996.	VII	VIII	IX	X	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Ukupno	MWh	8 716 727	9 145 654	6 741 504	8 168 919	649 856	694 161	694 331	676 144	915 902	919 351	864 461	858 342	823 025	721 779	806 929
Hidroenergija	MWh	5 425 994	5 614 448	4 205 786	5 661 862	423 875	417 107	440 688	433 843	600 623	694 125	627 322	571 162	560 168	473 939	478 664
Termoenergija	MWh	3 290 733	3 531 206	2 535 718	2 507 057	225 981	277 054	253 643	242 301	315 279	225 226	237 139	287 180	262 857	247 840	328 265

Tablica 3.

	Prosjek		1995.				1996.						
	1994.	1995.	VII	VIII	IX	X	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Broj zaposlenih (u tisućama)	16,0	16,0	16,1	16,1	16,0	16,1	16,1	16,1	16,1	16,2	16,3	16,5	16,5

Tablica 4.

	Prosjek		Prosjek I-V.		1995.			1996.			
	1994.	1995.	1995.	1996.	VI	VII	VIII	V	VI	VII	VIII
Neto-plaća po zaposlenom (u kunama)	1 350	2 032	1 952	2 545	1 923	1 904	1 969	2 705	2 352	2 617	2 588

Tablica 5.

Φ 1995. = 100

	Prosječne bruto plaće po zaposlenom u kunama					Indeksi bruto plaće po zaposlenom		
	V. 1996.	VI. 1996.	VII. 1996.	VIII. 1996.	I-VIII. 1996.	VI.1996. V. 1996.	VII. 1996./. VI. 1996.	VIII. 1996./ VII. 1996.
Bruto-plaća i indeksi bruto-plaće po zaposlenom	4 485	3 780	4 222	4 228	4 157	84,3	111,7	100,1

Tablica 6.

Indeksi neto plaće	Prosjek		Prosjek I-V.		1995.			1996.			
	1993.	1994.	1995.	1996.	VI	VII	VIII	V	VI	VII	VIII
	28,0	66,4	96,1	125,3	94,6	93,7	96,9	133,1	115,8	128,8	127,4

SBK

DAN ENERGIJE U HRVATSKOJ

Dne 13. prosinca 1996. godine Hrvatsko energetsko društvo, Ministarstvo znanosti i tehnologije, Ministarstvo gospodarstva i Hrvatska gospodarska komora orgaizirali su 5. Forum posvećen potrošnji energije. Prezentirani referati su svrstani u 5 skupina: Prva skupina referata obuhvaća problematiku projekcije razvoja i prognozu potrošnje električne energije u slijedećih 25 godina. Druga skupina referata prezentira energetsku strategiju i politiku, te regionalni aspekt opskrbe energijom. Treća skupina referata bavi se problematikom opskrbe i potrošnje prirodnog plina, a četvrta alternativnim izvorima energije. Petu skupinu referata čini analiza mogućnosti povećanja energetske učinkovitosti spojnog procesa EL-TO Zagreb, efikasnijeg upravljanja potrošnjom, te ekološki i gospodarski aspekti projektiranja energetskih postrojenja. U nastavku je prikaz autora i naziva njihovih referata.

- *Miljenović, Ž.:* Projekcija razvitka Hrvatske u razdoblju 1996.-2020.
- *Pešut, D., Slipac G.:* Potrebe energije do 2015. godine u Hrvatskoj
- *Reuter, A., Kuhner R., Wohlgemth N.:* Energy Models: Methods and Trends
- *Hill, Z.:* Zamke prognoziranja potrošnje energije
- *Kramberger, V.:* Energetska strategija Republike Hrvatske do 2010. godine
- *Krstulović, V.:* Mreža industrijske energetske efikasnosti (MIEE)
- *Matić, M.:* Kakvu energetsku politiku trebamo?
- *Kalea, M.:* Regionalni aspekt opskrbe energijom – Primjer Slavonije i Baranje
- *Kolundžić, S., Sekulić, G.:* Strategija opskrbe plinom do 2020. godine
- *Amvrović, S., Matić, D.:* Osvrt na mogućnost opskrbe RH prirodnim plinom
- *Szito, J.: Molnar, G.:* Perspektives of Natural Gas Consuption in Hungary up to 2010.
- *Oklopčić, Z.:* Simulacija opskrbe potrošača plinom tijekom ogrjevne sezone
- *Kamenski, M., Potočnik V.:* Program nefosilnih energenata u Hrvattskoj (Program NFE)
- *Jelić, K., Čubrić, S. Kevrić I.:* Geotermijska energija u svijetu i Hrvatskoj do 2020. godine
- *Krajčević, Ž.:* Bioplin – Austrijska iskustva i potrebe Hrvatske
- *Krička, T., Pilestić, S.:* Upotreba biomase kukuruza u procesu sušenja
- *Pilestić, S., Krička, T.:* Uljana repica u energetsko-proizvodnom krugu
- *Staniša, B., Krivak, B.:* Analiza mogućnosti povećanja energetske učinkovitosti spojnog procesa TE-TO Zagreb
- *Tomašić-Skevin, S.:* Efikasnije upravljanje potrošnjom boljom povezanošću s potrošačima i kvalitetnijom bazom podataka
- *Šander, M.:* Ekološki i gospodarstveni izazovi pri projektiranju energetski postrojenja

Za potrebe projekta o razvoju i organizaciji hrvatskog gospodarskog sektora načinjena je studija "Gospodarski razvitak RH do 2020. godine". Ova studija je podloga za definiranje energetske potražnje pri planiranju domaće i ukupne ponude energije. Na ovom Forumu je prezentiran dio navedene studije koji razmatra makroekonomsku projekciju razvitka RH od 1996.-2020. godine.

Prezentirane potrebe za energijom do 2025. godine u RH su radni rezultati predviđanja energetskih potreba (korisna toplina, motorna goriva i električna energija), koje se provodi u okviru projekta PROHES.

Regionalni aspekt opskrbe energijom prikazan je na primjeru Slavonije i Baranje. Za simulaciju opskrbe potrošača plinom tijekom ogrjevne sezone koristio se stohastički simulacijski model. Određene su statističke karakteristike za dnevnu potrošnju plina, te dana definicija sigurnosti opskrbe.

Predložen je program nefosilnih energenata (Program NFE) za racionalno korištenje energije i korištenje obnovljivih energenata), čijom bi se provedbom između ostalog smanjio porast uvoza fosilnih goriva i onečišćenja okoliša.

SBK

PROJEKT MALIH TERMOENERGETSKIH OBJEKATA U HRVATSKOJ

Na 5. energetskom Forumu 13. prosinca 1996. godine prezentirana je i publikacija "Projekt malih termoenergetskih objekata u Hrvatskoj". Ova publikacija je neka vrsta kataloga mogućih investicijskih pothvata u svezi s malim termoenergetskim objektima u Hrvatskoj. Ona pruža prvu informaciju potencijalnim malim ulagačima o mogućnostima investiranja.

Publikacija prezentira smjernice za izgradnu i korištenje malih termoenergetskih objekata. Mali termoenergetski objekti (kogeneracijska postrojenja) su postrojenja u kojima se istovremeno proizvodi električna i toplinska energija. U tim postrojenjima se ispušni plinovi i para iz procesa proizvodnje električne energije koriste još i za proizvodnju toplinske energije, što predstavlja visoku energetsku učinkovitost i malu emisiju štetnih tvari u okoliš. Uz smjernice za priključivanje ovakvih objekata do 5 MW na distribucijsku mrežu prikazana je i postojeća zakonska regulativa i financijska isplativost takvog objekta.

Razmatraju se i mogućnosti preinake postojećh kotlovnica i dizelskih agregata u male termoenergetske objekte. Dana je ocjena stanja postojećih objekata, te ocjena pogodnosti lokacija sa definiranjem mogućih varijanti izvedbe. Kriterij izbora varijante se temelji na analizi troškova i dobiti.

Prikazani su i primjeri projekata malih termoenergetskih objekata za motore s unutrašnjim sagorijevanjem, plinske turbine i parne turbine.

Mali termoenergetski objekti sa motorima s unutrašnjim sagorijevanjem nalaze primjenu u hotelima, bolnicama, stambenim blokovima, sportsko rekreacijskim centrima sa zatvorenim bazenima, trgovačkim centrima, deponijama komulanog otpada, postrojenjima za pročišćavanje otpadnih voda, poljoprivrednoj proizvodnji u staklenicima te ciglanama. U svim tim navedenim primjerima toplinom od hlađenja bloka motora i toplinom vrućih ispušnih plinova zimi će se proizvoditi topla voda za grijanje, a ljeti za pogon apsorpcijskog rashladnog stroja. Ovakvo kogencijsko postrojenje radit će paralelno s električnom mrežom podmirujući vlastite potrebe za električnom energijom. Viškove električne energije vlasnik će prodavati u mrežu Hrvatske elektroprivrede.

Primjena plinskoturbinskog agregata i kotla na ispušne plinove u kogeneracijskom postrojenju može naći primjenu u pivovarama s grijanjem dijela grada, kliničkim bolničkim centrima (1800 kreveta), industriji prerade mlijeka, industriji alkohola, mesnoj in-

dustriji, tekstilnoj industriji, inudstriji keramike te za grijanje naselja. Kotao na ispušne plinove će zimi proizvoditi vrelu vodu za tehnološke potrebe industrije ili naselja i za grijanje. I u ovom slučaju kogeneracijsko postrojenje će raditi paralelno s električnom mrežom, a viškovi električne energije će se slati u mrežu Hrvatske elektroprivrede.
Kao primjer primjene parnih turbina navodi se pilana, drvno prerađivačka industrija, sušara za žitarice, uljara te poljoprivredna proizvodnja u staklenicima. Kogeneracijsko postrojenje koristit će drvne otpatke i biomasu. Koristi se parnoturbinski agregat i parni kotao s izgaranjem drvnih otpadaka na roštilju ili izgaranjem biomase u vrtložnom sloju. Kogeneracijsko postrojenje radi u paralelnom spoju sa električnom mrežom, a viškovi električne energije se šalju također u mrežu Hrvatske elektroprivrede.

SBK

SVJETSKI DAN NORMI

14. listopada obilježava se kao *Svjetski dan normi*. Organiziranjem niza promotivnih aktivnosti nastoji se javnosti skrenuti pozornost na značenje normi u gospodarstvu i privatnom životu, jer primjena normi znači zdraviji život i okoliš, kvalitetnije proizvode i usluge, međunarodnu trgovinu bez zapreka i lakšu tehničku suradnju.
Vraćajući se unatrag 100 i više godina vrijedno je spomenuti nekoliko povijesnih datuma. Od 1. siječnja 1876. godine na cijelom području Austrougarske zakonski se uvodi metrički sustav. 2. veljače 1941. godine osniva se prva normizacijska institucija u Banovini Hrvatskoj. Savjetodavni odbor za normizaciju (SON) pri Odjelu za obrt, industriju i trgovinu izdaje svoje glasilo "Vijesti" u kojem objavljuje izvješća o radu i prijedloge normi. 24. rujna 1941. godine objavljena je prva hrvatska norma. U slijedeće 3 godine objavljene su 43 norme. 1950. godine ukinuta je zagrebačka normirna komisija.
Krajem 1992. godine, nakon raskida sa bivšom Jugoslavijom, osnovan je Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo. Iste godine osnovano je Hrvatsko društvo za normizaciju, koje izdaje svoje glasilo "Normizacijski vjesnik". Privremeno je preuzet Zakon o standardizaciji sa cca 13 000 JUS-a.
U razdoblju od 1992. godine do danas intenzivno se radilo na orgaiziranju i pripremi hrvatskih normi. U ožujku 1996. godine u Narodnim novinama objavljen je Pravilnik o hrvatskim normama sa popisom normi iz područja upravljanja i osiguranja kvalitete[1]. Zatim je objavljen novi Zakon o normizaciji u Narodnim novinama broj 55/96.[2] U pripremi je pripadajuća višejezična terminologija, koja treba olakšati prevođenje međunarodnih i europskih normi.

SBK

PROGRAMSKI PAKET PLANIRANJA, UGOVARANJA I FINANCIJSKE OPERATIVE

Sredinom prosinca 1996. godine održana je prezentacija kompjutorskog programskog paketa za praćenje izvršenja i financiranja godišnjeg plana Hrvatske elektroprivrede. Program je namijenjen djelatnicima koji obavljaju poslove:

– ugovaranje i nadzor obavljanja poslova po Godišnjem planu poslovanja i investicija HEP-a
– plaćanje financijskih obveza
– praćenje izvršenja plana.

Program je povezan sa programom knjigovodstva, te omogućuje automatsko knjiženje računa u bazu *Saldakonti* i *Glavnu knjigu*, kao i knjiženje računa *investicija* u program *Investicijskog knjigovodstva* i dalje *Osnovnih sredstava*.

Programski paket se sastoji od podprograma:
– planiranje i ugovaranje,
– financijska operativa,
– tečajna lista.

Planiranje i ugovaranje obuhvaća izradu i praćenje vremenskih i financijskih planova, obradu ponuda i izradu narudžbenica. Izrada izvještaja o realizaciji planova može biti na raznim organizacijskim nivoima (sektor, direkcija, itd.), po vrstama radova, namjeni sredstava, vrstama i grupama troškova, vrstama plana, odgovornim osobama, izvoditeljima radova, itd., već prema potrebama korisnika. Ujedno je omogućeno praćenje realizacije od izdavanja radnog naloga, izrade zahtjeva za dostavu ponude, izrade ugovora do stupanja na snagu ugovora, zaključivanja ugovora do završetka ugovorenih radova i usluga.
Potprogram Financijska operativa sastoji se od likvidature i platnog prometa. Podprogram omogućava da se u svakom trenutku zna kakav je status pojedinog dokumenta, je li dokument plaćen, kojim načinom je izvršeno plaćanje (virmanom, kompenzacijom, cesijom), kojeg datuma, itd. Unose se i podaci o priljevu sredstava, te je moguće na temelju njih odmah tiskati obavijest o plaćanju.
Kod financijskog planiranja u nekoj stranoj valuti moguće je raditi konverziju valutnih iznosa u kunske na svim planskim stavkama. Svakodnevno se ažurira tečajna lista prema podacima Narodne banke Hrvatske, te se na temelju toga automatski preračunavaju iznosi dokumenata u kunske i obratno.
Primjena ovog programskog paketa trebala bi početi početkom 1997. godine.

SBK

PILOT - BAZA PODATAKA NEPROIZVODNIH NEKRETNINA OGLEDNE TERMOELEKTRANE TE PLOMIN

Sredinom 1996. godine Institut za elektroprivredu i energetiku prezentirano je Hrvatskoj elektroprivredi II. fazu projekta "Aktivnosti na prikupljanju, sistematizaciji i razvoju sustava evidencije nekretnina HEP-a – Direkcije na proizvodnju – Pilot-baza podataka neproizvodnih nekretnina ogledne termoelektrane TE Plomin". Cilj ovog projekta je ostvarenje informacijskog sustava koji će omogućiti korisnicima dobivanje brzih i točnih informacija o svim najznačajnijim pitanjima vezanim uz neproizvodne nekretnine, tj. parcele i neproizvodne građevine u vlasništvu ili na korištenju elektroprivrede. Aktivnosti na projektu se odvijaju u tri faze: prikupljanje i sistematizacija raspoloživih podataka, razvoj pilot-baza podataka za termoelektranu i hidroelektranu, te razvoj informacijskog sustava. Prva faza – prikupljanja i sistematiziranja podataka, te dio druge faze – razvoj pilot-baza podataka koji se odnosi na termoelektrane su završeni.
Za temelj pilot-baza odabran je Microsoft-ov programski paket "Access". Grafičke prikaze u bazama činit će fotografije i zemljovidi u rasterskom formatu.
Na prezentaciji su prikazane mogućnosti dosad razvijene baze podataka ogledne termoelektrane TE Plomin. Prikazana su najvažnija ekranska sučelja i printani izvještaji.
Od ekranskih sučelja prikazani su:

- Izgled glavnog izbornika
- Organizacijska shema HEP-a – Direkcija za proizvodnju
- Osnovni podaci o sektorima i proizvodnim područjima
- Zemljovid sektora za termoelektrane
- Osnovni podaci o parcelama
- Osnovni podaci o građevinama
- Fotografije neproizvodnih objekata
- Zemljovidi neproizvodnih objekata.

Od printanih tipskih izvještaja prikazani su:

- Podaci o pojedinoj parceli
- Skupni podaci o parcelama
- Podaci o strukturi zemljišta po općinama (klasificirano)

---

[1] Vidjeti: Energija, god. 45(1996), br.4, str. 217
[2] Vidjeti: Energija, god. 45(1996), br.5, str. 266

- Skupni podaci o strukturi zemljišta
- Podaci o strukturi zemljišta po općinama (katastarski opisi)
- Podaci o pojedinoj građevini
- Skupni podaci o građevinama

Kao ogledna hidroelektrana služit će HE Varaždin. Nakon eventualnih dopuna s primjedbama korisnika, te verifikacije ove pilot-baze predstavljat će temelj za razvoj informacijskog sustava neproizvodnih nekretnina.

SBK

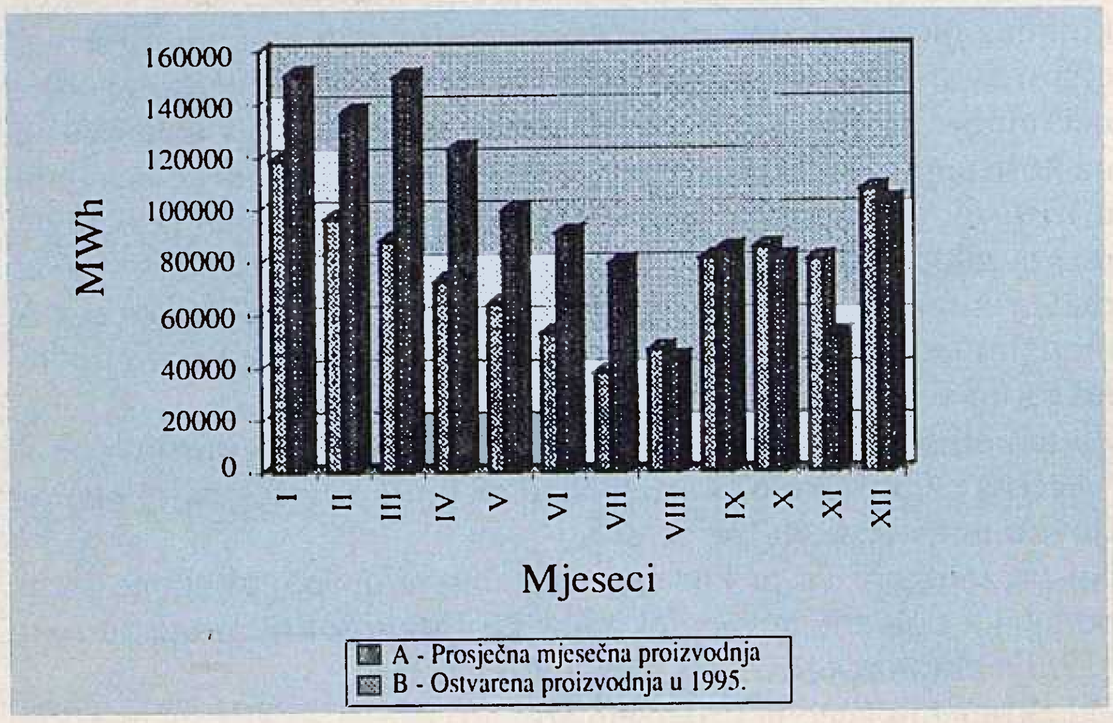
NAKON 30 GODINA RADA HE SENJ

Krajem studenog 1996. godine HE Senj je proslavila 30. godišnjicu rada. Krajem 1965. godine dovršena je izgradnja i hidroelektrana je počela sa proizvodnjom električne energije. Bio je to tada najveći elektroprivredni objekt u zemlji. Evo nekoliko osnovnih podataka o hidroelektrani:

Bruto pad	m	437
Konstruktivni pad turbine	m	410
Srednji energetski ekvivalent	kWh/m³	1,0
Snaga turbine	MW	72,5
Tip turbine i broj	kom	Francis, 3
Snaga generatora	MVA	80
Faktor snage	cosφ	0,90
Instalirana snaga elektrane	MW	216
Instalirani protok	m³/s	3x20
Brzina vrtnje agregata	min⁻¹	600
Maksimalna godišnja proizvodnja	GWh	1 147,7
Minimalna godišnja proizvodnja	GWh	577,7
Prosječna godišnja proizvodnja	GWh	932,5
– konstantna	GWh	193,7
– varijabilna	GWh	738,8

U tablici 1. prikazana je po mjesecima prosječna proizvodnja električne energije (red A), te ostvarena proizvodnja električne energije u 1995. godini (red B). Grafički prikaz dan je na donjem dijagramu.

Mjesečna proizvodnja električne energije u HE Senj



U okviru revitalizacije hidroelektrane Senj planirano je načiniti:

- zamijeniti odvodnike prenapona,
- revitalizirati uzbudne sustave generatora,
- zamijeniti kućni transformator,
- zamijeniti elektromotore rashladnih crpki sa motorima veće snage,
- zamijeniti privodne lopatice turbine 2,
- zamjeniti dizel agregat,
- zamijeniti aku-bateriju,
- zamjena telefonske centrale,
- ugraditi nove telekomunikacijske veze, te
- izgraditi upravnu zgradu.

Načinjena je studija "Analiza i rješenja sustava prenaponske zaštite postrojenja HE Senj". Analiza je pokazala da su odvodnici prenapona pri kraju životnog vijeka, te da ih sve treba zamijeniti suvremenijim metaloksidnim odvodnicima.

Najkritičniji dio opreme je sustav uzbude generatora na sva tri agregata. Također je potrebna i zamjena turbinskih kola, uzimajući u obzir povećan protok nakon revitalizacije. Tvorničkom kontrolom privodnih lopatica ustanovljena je njihova deformacija poradi hidrauličnih udara.

U strojarnici pogona HE Senj nalazi se kućni transformator snage 1 000 kVA. Budući da se radi i zamjena uzbudnog sustava generatora te ugrađuje električno kočenje, potrebno je taj transformator zamijeniti većim transformatorom snage 2 500 kVA.

Slično je i s aku-baterijom i ispravljačima. Zbog dotrajanosti i nedostatnog kapaciteta potrebno ih je zamijeniti. Predviđa se ugradnja olovnih hermetički zatvorenih baterija te ispravljača suvremenije izvedbe.

Uvodi se automatizacija postrojenja pa će se povezati optičkom vezom strojarnica s uklopnicom i zasunskom komorom Hrmotine.

Što se tiče izgradnje upravne zgrade, sadašnja upravna zgrada se ustupa gradu Senju. Na lokaciji Grabrova izgradit će se nova upravna zgrada.

U tijeku 1996. godini obavljen je veliki petogodišnji remont generatora 2, remont blok-tansformatora 80 MW, sanacija turbine 1, te zamjena sustava za istosmjerno napajanje. Revitalizacija će se nastaviti u 1997. godini ovisno o raspoloživim financijskim sredstvima.

SBK

HE OMBLA

Niz godina provodila su se istraživanja rijeke Omble kao podloga za izradu idejnog i glavnog projekta HE Ombla. Tijekom 1996. godine načinjen je idejni projekt, čija je recenzija završena u listopadu prošle godine. Nakon toga pristupit će se izradi glavnog projekta HE Ombla. Prema idejnom projektu HE Ombla je smještena 4,5 km sjeverozapadno od Dubrovnika, na kraju zaljeva Rijeke Dubrovačke. Recenziju su obavili inozemni i domaći stručnjaci. Stručni savjet za HE Ombla prihvatio je zaključke, koji se ovdje navode:

1. Provedena geotektonska istraživanja u fazi dovršetka idejnog projekta ukazuju na postojanje geotektonskih blokova eventualno različitih dinamičkih značajki, što može uvjetovati izmjenu lokacije strojarnice. Za razinu glavnog projekta potrebno je izvesti istražni potkop u osovini strojarnice i ispitati dinamičke značajke geoloških blokova koji su određeni rasjedima. Ne očekuje se značajnije izmještanje lokacije strojarnice.
2. Na temelju projektne dokumentacije, izvještaja izvjestitelja i stavova članova Stručnog savjeta, uočavaju se racionalnije rješenja za hidrotehničke objekte:
   2.1. Evakuacija velikih voda: preljev i temeljni ispust
   2.2. Vodna komora.

Tablica 1. MWh

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ukupno	
118 600	96 700	88 000	72 700	64 200	53 100	83 800	46 700	81 200	85 300	80 700	107 100	932 500	A
150 974	136 715	150 011	122 712	99 464	90 785	79 166	42 812	84 431	80 800	52 226	102 264	1 192 333	B

3. Dispozicija hidrotehničkih objekata i redoslijed izgradnje radova u podzemlju također uvjetuju analizu sukladno danim sugestijama izvjestitelja.
4. Spomenute radove pod točkom 2. i 3. treba obraditi na razini idejnog rješenja koje će nakon revizije biti utemeljenje za izgradnju glavnog projekta.
5. Kao dopunu idejnog projekta potrebno je izraditi numerički model ponašanja podzemne akumulacije u prirodnim i projektom definiranim uvjetima. Rezultati ovog modela će poslužiti pri izradi daljnjih faza projektne dokumentacije.
6. Provedbom radova definiranih točkom 4. Stručni savjet ocjenjuje da će troškovi izgradnje biti osjetno niži.

SBK

STUDIJA O VJETROELEKTRANAMA

Hrvatska elektroprivreda je naručila izradu studije "Studija o mogućnostima proizvodnje električne energije iz energije vjetra u Republici Hrvatskoj[3]. Studija je završena krajem prošle godine i recenzirana. Nastavljaju se daljnja istraživanja, a potom slijedi studija izvodljivosti za pojedine lokalitete i analiza uvjeta promjena potrošnje električne energije koje će nastupiti priključivanjem vjetroelektrana na mrežu. Iza toga će uslijediti izrada kataloga makrolokacija. U njemu će biti prikazano 32 najbolje mikrolokacije s potrebnim podacima.
Kao i drugdje u svijetu za početak gradnje vjetroelektrana potrebna je politička odluka i financijska potpora države, a tek onda se mogu javljati privatni investitori.

SBK

TS 35/10(20) kV LOŠINJ 2 PUŠTENA U POGON

Početkom studenog prošle godine puštena je u pogon TS 35/10(20) kV Lošinj 2. smještena na mjestu buduće TS 110/20 kV. U prvoj će fazi raditi s 35/10,5 kV i 10 kV naponom, sa izoliranim pogonom, a kasnije će prijeći na 20 kV naponski nivo i uzemljeni pogon preko maloomskog otpora. Postrojenje je izgrađeno sa 2 energetska transformatora 35/10,5(21) kV, snage 8 MVA, te unutarnjim visokonaponskim postrojenjem od dvoredno slobodno stojećih sklopnih blokova tipa BIP 38 i BIP 24 Končar.
Ova transformatorska stanica je sastavni dio tzv. otočne veze koja povezuje cjelokupno jadransko otočje, odnosno sjeverni i južni Jadran.

SBK

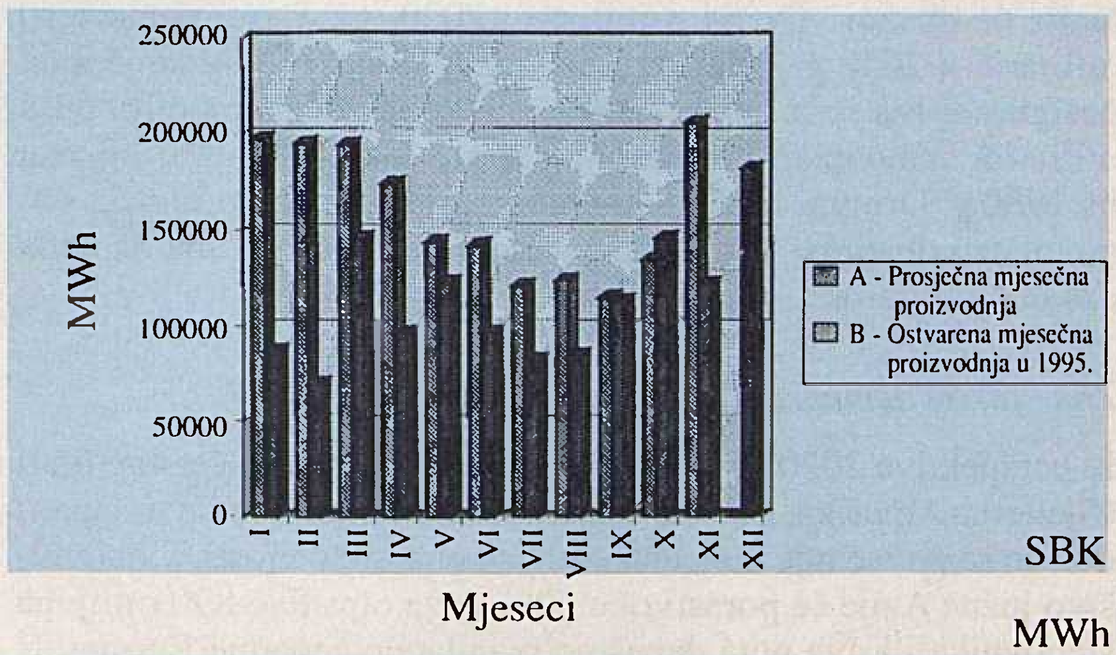
REVITALIZACIJA HE ZAKUČAC[4]

Od srpnja do listopada prošle godine izvršena je zamjena 220 kV dijela rasklopnog postrojenja. Ukupno je zamijenjeno 8 polja s kompletnom opremom, sabirničkim vodovima i sekundarnom opremom. Revitalizacija 110 kV dijela rasklopnog postrojenja nastavit će se u 1997. godini prema predviđenoj dinamici.
HE Zakučac puštena je u pogon prije 35 godina, 1961. godine. To je bila prva etapa kada je bio stavljen u pogon samo jedan dovodni tunel. Druga etapa kada je izgrađen drugi dovodni tunel u pogonu je od 1978. godine. Njezina izgradnja neposredni je nastavak realizacije energetskog korištenja Cetine nakon izgradnje HE Peruča. Izgradnji hidroelektrane prethodila je izgradnja brane Prančevići, visine 35 m, te je stvoren kompenzacioni bazen Prančevići dužine 5 km, s ukupnim sadržajem 6,8 hm^3. Strojarnica je podzemna, dok je rasklopno postrojenje 110 i 220 kV smješteno na vanjskom platou.
Glavne turbine su tipa Francis, snage 110,5 MW, uz protok od 50 m^3/s i konstruktivni pad turbine od 250,4 m u prvoj etapi. U drugoj etapi ugrađene su turbine istog tipa, ali s većim instaliranim protokom i snagom – 60 m^3/s, pri konstruktivnom padu turbine 250,4 m. Generatori (u prvoj etapi) su bili snage 120 MVA, generatorski napon 16 kV i cosφ=0,9, što daje snagu od 108 MW, odnosno snagu elektrane u prvoj etapi 216 MW. U drugoj etapi snaga ja generatora 150 MVA, generatorski napon 16 kV i cosφ=0,9. Ukupna snaga druge etape iznosi 260 MW (2x130 MW), odnosno ukupno snage elektrane 476 MW. Ugrađeno je 7 jednofaznih transformatora (za konačnu izgradnju) za transformaciju na 110 kV i isto toliko za transformaciju na 220 kV. U prvoj etapi snaga transformatora je bila 40 MVA, a u drugoj 50 MVA, Rasklopno postrojenje, smješteno na otvorenom, izgrađeno je s dvostrukim sabirnicama na 110 i 220 kV strani. S obzirom na potrebe napajanja energijom 110 i 220 kV mreže iz HE Zakučac povezana su oba sabirnička sustava transformacijom 110/220 kV pa su ugrađene tri jednofazne jedinice snage 33,3 MVA (100 MVA za trofaznu grupu):
Osnovni podaci hidroelektrane:

Bruto-padovi (maks/srednji/min)	m	270,0/268,0/261,1
Konstruktivni pad turbine	m	250,4
Srednji energetski ekvivalent	kWh/m^3	0,60
Snaga turbine – prva etapa	MW	110,5
– druga etapa	MW	138,3
Snaga generatora – prva etapa	MVA	120
– druga etapa	MVA	150
Faktor učina	cosφ	0,9
Instalirana snaga elektrane (2x108+2x130 MW)	MW	476
Instalirani protok – prva etapa	m^3/s	2x50
– druga etapa	m^3/s	2x60
– ukupno	m^3/s	220
Brzina vrtnje agregata – prva etapa	min^{-1}	300
– druga etapa	min^{-1}	330
Energija – Maksimalna godišnja	GWh	2 706,3
– Minimalna godišnja	GWh	1 145,2
– Prosječna godišnja	GWh	1 944,4
– konstantna	GWh	464,3
– varijabilna	GWh	1 480,1

U tablici 1. prikazana je po mjesecima prosječna mjesečna proizvodnja lektrične energije (red A), te ostvarena proizvodnja električne energije u 1995. godini (red B). Grafički prikaz dan je na donjem dijagramu.

Mjesečna proizvodnja (MWh)



SBK

[3] Vidjeti: Energija, god. 45(1996), br.5, str. 267
[4] Vidjeti: Energija, god. 45(1996), br. 2, str. 93, te br. 4, str. 218

Tablica 1.

MWh

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ukupno	
197 100	195 000	194 600	174 400	143 600	141 900	120 900	123 900	114 600	134 400	205 900	198 000	1 994 400	A
86 905	69 321	145 308	96 407	122 879	96 700	81 878	84 450	113 047	145 776	121 911	182 129	1 346 711	B

36. SAVJETOVANJE CIGRÈ - PARIZ 96.

U Parizu je od 25. do 30. kolovoza 1996. g. održano 36. jubilarno zasjedanje CIGRÈ koja slavi 75 godina svoga djelovanja. Na svečanom otvorenju savjetovanja generalni direktor EdF-a (francuske elektroprivrede) održao je predavanje koje radi njegove zanimljivosti i važnosti prenosimo u cjelini.

Francoise Ailleret, generalni direktor "Electricite de France":

UVOD

Gospodine predsjedniče, dame i gospodo,

Čast mi je što ste me pozvali da sudjelujem na otvorenju ovog 36. Savjetovanja CIGRE, to više, jer se radi o 75-godišnjici naše organizacije.
Stvorivši odmah iza prvog svjetsog rata znanstveno društvo koje je skupljalo inženjere iz 12 zemalja oko tehničkih problema visokog napona CIGRE se odmah definiralo kao mjesto razmišljanja preko granica. Time je odgovorila starom i uzvišenom idealu po kojem znanost i tehnika pridonose miru. Danas, s 80 zemalja članica, mi predstavljamo jedno od najinternacionalnijih znanstvenih društava koje je sposobno suočiti se i razumjeti probleme našeg svijeta u jednom zaista planetarnom pristupu.
Ja nisam, dakle, mogao naći bolju prigodu od ove da podsjetim na pitanje trajnog razvoja našeg planeta i da vam saopćim, s tim u svezi, neka uvjerenja koja mi leže na srcu.
Koji su predvidivi razvoji čovječanstva i njegovih energetskih potreba? Koju bi ulogu u tom razvoju trebala imati električna energija?
To su pitanja koja bi objasnio prije nego se vratim na sadašnjost i na zahtjeve s kojima se industrija treba suočiti kako bi našem svijetu osigurala trajan razvoj i to razvoj pun poštovanja spram budućih generacija.

1. PREDVIDIVI RAZVOJI ČOVJEČANSTVA

Moramo prvenstveno biti svjesni da će se čovječanstvo suočiti s porastom populacije i promjenom način života kakvu nije spoznalo nikad prije.

Izvanredni demografski rast

Svjetska populacija će se udvostručiti između 1980. i 2020. g.

Od procijenjenih 6 milijardi današnjih stanovnika svjetska populacija će dostići više od 8 milijardi 2020. g., a vjerojatno i 10 milijardi u 2050 g. s tim da je ovo posljednje predviđanje ipak nesigurno. Iza svih numeričkih apstrakcija već sama cifra od 8 milijardi stanovnika predstavlja skoro udvostručenje u odnosu na 1980 g. Drugim riječima trebalo je tri milijuna godina da stanovništvo dostigne 4 milijarde stanovnika, a 40 godina da doda druge 4 milijarde.

Zone jakog demografskog i ekonomskog razvoja

Iz perspektive 2020. g. populacija u nekim zonama će stagnirati (Sjeverna Amerika, Europa, Zajednica nezavisnih država, Japan) dok će se povećanje koncentrirati na zone budućnosti. Stanovništvo južne Azije će porasti oko 50% tj. za otprilike 890 milijuna stanovnika ili dva puta današnje populacije zapadne Europe. U jugoistočnoj Aziji (osim Japana) danas najnapučenijoj zoni povećat će se populacija za 800 milijuna duša. Što se tiče Podsaharske Afrike njezina će se populacija udvostručiti i prijeći s 585 milijuna na otprilike 1100 milijuna. Isto vrijedi za sjevernu Afriku i Bliski Istok čija će populacija s 320 prijeći na 540 milijuna stanovnika. Napomenimo da će Latinska Amerika čije je stanovništvo danas ravno onome zapadne Europe brojiti oko 700 milijuna stanovnika ili 45% više od Europe u tom razdoblju.
Ovaj razvoj prouzročit će spektakularni pomak centara ekonomske i industrijske gravitacije planete.

Razvoj megapolisa

U isto vrijeme urbana koncentracija će se ubrzati. San o gradovima koji okupljaju svoje stanovnike pomoću magije telekomunikacijskih mreža ostaje možda za prekosutra. No sutra, ljudi će se još više grupirati u gradovima i očekujemo razvitak megapolisa koji će okupljati desetke milijuna stanovnika.
Ovaj planetarni fenomen povlači nove potrebe u području opskrbe energijom, obradi otpadaka, gradskom prometu, kvaliteti življenja, zdravstvenim uvjetima i infrastrukturi. Naime ovi megapolisi ako ne budemo pazili, mogu postati mjesta ekstremnog zagađenja ili "ponori ljudske rase" prema J. J. Rouseau-u. Dosta je pogledati na velike ljudske koncentracije trećeg svijeta ili aglomeracije poput Pariza, Atene i drugih gradova da se vidi kako mi spontano ne krećemo prema idealnom modelu.
Istovremeno ne zaboravimo da će značajan dio čovječanstva živjeti u ruralnim zonama sa stanovništvom koje je raspršeno i čija će zadaća biti prehrana megapolisa.
Trebat će dakle riješiti vrlo različite probleme, s jedne strane odgovoriti na specifične potrebe koncentracije, a s druge strane prenijeti energiju u manje napučena područja.

Eksplozija (boom) energetskih potreba

Sve više energije za novi rast

Dok će u razvijenim zemljama porast potražnje energije biti sve skromniji kako se tržište približuje zrelosti, više od tri četvrtine porasta svjetskih potreba odnosit će se na zemlje brzog razvoja. U tim će naime područjima proizvodnja i potrošnja dobara po stanovniku, danas slaba prema zapadnim standardima, najviše porasti. Poznato je da pokretanje neke ekonomije, kao i svemirske rakete, traži mnogo više energije nego održavanje nego održavanje brzine kretanja.
Možemo se nadati da će nakon perioda intenzivnog razvoja ta društva slijediti primjer današnjih razvijenih zemalja, pad demografskog porasta i smanjenje energetske potrošnje za proizvodnju istog nivoa bogatstva. Ali prema najprihvatljivijim hipotetičkim scenarijima na Svjetskom energetskom savjetu potreba za energijom rast će do 2020 g. najmanje za 50% u odnosu na današnju potrošnju.
Više od polovice porasta svjetske potrošnje, 48,5% prema ovim hipotezama odnosit će se na potrebe Azije, slijedi Amerika (22%) uglavnom Latinska Amerika (18%) i zajedno Afrika i Bliski Istok (21,3%).

Iznad svih ekonomskih dimenzija, osnovne ljudske potrebe

Ove stope povećanja predstavljaju, u apsolutnoj vrijednosti, značajnu dodatnu potrošnju, koja ipak neće dozvoliti većini stanov-

ništva tih zemalja da postignu životni standard današnjih razvijenih zemalja. Stanovnici nekih svjetskih područja, kao podsaharske Afrike riskiraju da budu gubitnici na račun svjetskog progresa ako usporedimo njihov demografski rast s porastom potrošnje energije.
Pogledajmo današnja odstupanja. Potrošnja energije po glavi u najoskudnijim zemljama dostiže jedva desetinu od one u najrazvijenijim zemljama. Jedna osoba od pet u svijetu živi u apsolutnom siromaštvu. Jedno od troje djece je loše ishranjeno. Više od milijarde ljudi nema pitku vodu. Više od 3 milijarde ljudskih bića živi danas bez električne energije. U Sahelu više od 80% energetskih potreba pokriva se drvetom što pridonosi opustošenju. Suočeni smo s problemom koji nadilazi ekonomiju i koji se tiče dostojanstva čitavog čovječanstva.

Energija rasta

Energetski izvori zadovoljavajući za buduće generacije

Suprotno onome čega se bojao Rimski Klub krajem šezdesetih, dokazane rezerve fosilnog goriva su dostatne.
S potrošnjom identičnom današnjim opažanjima dokazane rezerve ugljena dostaju za 235 godina, nafte za 45 godina, prirodnog plina za 65, godina. Uran zadovoljava današnju i buduću potrošnju. Što se tiče obnovljivih izvora odnosno hidroenergije njen je potencijal golem. Buduća generacija, a možda i ona slijedeća raspolagat će dakle s potrebnim izvorima za svoj demografski i ekonomski rast.
Naravno, ograničenja transporta nisu zanemariva pa će broj rezervi smješten daleko od mjesta potrošnje biti za neko vrijeme teže iskoristiv. To vrijedi za hidroenergiju, ali također i za ugljen. Nafta, koju je najlakše trnsportirati, je energija kratkog života. Na kraju, ako promatramo rezerve, potrebe i ograničenja transporta očito je da će plin imati najveći porast među fosilnim gorivima tijekom nekoliko desetaka godina koje su pred nama.

Ali u drugoj polovici stoljeća, pitanje izvora i okoliša će se nametnuti u svoj oštrini

Dok će u prvom periodu regulacija cijene djelovati u korist plina, tijekom vremena situacija se može razviti naročito sa zaoštravanjem problema zagađenog okoliša na planetarnom nivou. Iza 2030 - 2040 g. rijetkost rezervi hidrokarbonata s niskom cijenom crpljenja mogla bi kompletno izmijeniti sliku. Trebat će sve više i više koristiti druge energije. Ugljena će svakako biti dosta, ali on neće moći podmiriti sve zahtjeve zbog već spomenutog ograničenja u transportu. Također i zbog razloga zagađenja koje će se postaviti u još oštrijoj formi nego danas nakon više desetina godina brzog rasta energetske potrošnje bazirane na fosilnom gorivu.
Treba se sjetiti da 75% emisije CO_2, odgovorne za efekt staklenika, dolazi od fosilnih goriva i da je emisija CO_2 u svijetu porasla za 50% u zadnjih 20 godina. Prirodni plin, nekad se zaboravlja, iako je manji zagađivač od nafte i ugljena, pridonosi također emisiji CO_2 i NOx. Danas industrijske zemlje emitiraju 10 t CO_2 po stanovniku godišnje. Za vrijeme pokretanja zemlje s jakim porastom će povećati svoju emisiju. Jasno je da to neće moći trajati beskonačno. Više nego ikad ekonomski razvoj planete poziva na planetarnu savjest radi očuvanja ekosustava.
Jasno je da će trebati slijediti i pojačati napore kontrole potrošnje energije za sve zemlje koje će dostići stupanj ekonomske zrelosti. Jasno je također da će se progresivno nametnuti šira pirmjena hidroenergije, nuklearne energije i novih energija. Morat ćemo biti spremni za ta vremena.

* * *

Nakon tog brzog pregleda situacije vidimo da čovječanstvo ulazi u fazu svoje povijesti koja može biti kritična u svakom pogledu. To je naime pitanje trajnog razvoja s kojim se suočavamo.

Hoće li 40 godina koje dolaze biti vrijeme pljačke planete bez presedana? Hoćemo li vidjeti regionalnu neravnotežu potenciranu u nekim područjima? Hoće li megapolisi postati mjesta ekstremnog, zagađenja? Hoće li ekološku cijenu rasta platiti generacija druge polovice 21. stoljeća?
Električna energija ne može pretendirati da odgovori na sva ta pitanja. No, ona može pomoći da se s budućim razvojem suočimo s maksimalnim izgledima na uspjeh.

2. ELEKTRIČNA ENERGIJA, ENERGETSKI VEKTOR BUDUĆNOSTI

Može se očekivati da će se veći dio potrošnje nove energije odnositi na električnu energiju koja nudi prednost jer se proizvodi iz raznih izvora primarne energije. Čista i elastična ona je energija budućnosti. Može se očekivati da će ona dati milijardama ljudi i žena promijenjen način života sa značajnim poboljšanjem uvjeta življenja. Ali porast u električnom sektoru će se uklopiti u trajni razvoj samo ako se ispune stanoviti uvjeti.

Energija prilagođena budućem razvoju

Energija za život grada

Za društvo koje postaje sve više urbano, elektrika može garantirati kvalitet okoliša, što ne može ni jedna druga energija. Ona u stvari nudi prednost dislokacije mjesta proizvodnje i mjesta potrošnje i to bez zagađenja na mjestu potrošnje. Mi koji danas trpimo posljedice korištenja termičkih motora i grijanja hidrokarburatorima u našim gradovima dobro vidimo da ona predstavlja rješenje budućnosti za život u gradu.
U budućim megapolisima pitanje transporta će se pojaviti u oštroj formi. Hoćemo li razvoj individualnih električnih vozila? U svakom slučaju što će se više povećavati gustoća gradske populacije to ćemo se više okrenuti javnom prometu. Taj ima prednost da koristi električnu energiju tim više što je iskoristivost elektromotora mnogo viša nego termičkog motora. Globalna energetska bilanca uzevši u obzir totalnu primarnu energiju potrošenu za finalnu uporabu, daje joj značajnu prednost. Tako na primjeru baziranom na preciznoj bilanci, tramvaj u Grenoblu troši dva puta manje primarne energije po putniku i kilometru, nego autobus s termičkim motorom u pariškoj regiji.

Energija za industrijski razvoj

Osim toga, gdje god postoji urbano društvo postoji i industrijska civilizacija. Nadalje, elektrika je u posljednjih 20 godina izvršila značajan prodor na industrijsko tržište s visokim performancama integrirana u informatički vođene procese. Veza slabe i jake struje je odlučni adut električne energije na tržištu. Osvrnuvši se na francuski primjer električna energija danas predstavlja polovinu, ukupne energetske potrošnje u industriji. Prije trideset godina taj udio je bio zanemariv.
Zbog svoje elastičnosti ona odgovara svim vrstama potreba, onih velike industrije, ali i onih malih poduzeća koja mogu nastati i razvijati se zahvaljujući njoj. Tako je u gradiću Khayelitska u Južnoj Africi bilo dovoljno da elektrika uđe u kuće pa da počnu raditi šivaći strojevi, da se otvore pogoni i da se pojavi ekonomska aktivnost i otvore radna mjesta.

Predviđanje visokog porasta potrošnje električne energije

Možemo biti sigurni da će primarna energija s izuzetkom nafte, koja će se sve više trošiti za specifične svrhe, biti sve više trošena u obliku električne energije. Da bismo se uvjerili treba samo pogledati predviđanja objavljena prošle godine na Svjetskom energetskom savjetu ili na sastanku "Nova elektrika 21" u organizaciji UNIPEDE u Parizu.

Kina npr. predviđa od sada do 2010. g. porast potrošnje električne energije za 70 do 80 milijardi kWh godišnje. Ova značajna brojka skriva ipak i velika regionalna odstupanja. Tako komisija za planiranje u provinciji Guadong predviđa porast svojih proizvodnih kapaciteta sa 10 GW na 70 GW između 1990. i 2010. g. što je stvarno značajno.
Ostali značajni primjeri; Turska predviđa povećanje potrošnje za 3,7 puta između 1990. i 2010.
Iako je riskantno odrediti preciznu brojku globalnog porasta potrošnje električne energije ovih nekoliko primjera svakako pokazuje koliko napora treba uložiti da se osiguraju proizvodna i prijenosna postrojenja.

Koja vrsta proizvodnje da se osigura budućnost?

Elektricitet se predstavlja kao sredstvo arbitraže među raznim izvorima primarne energije s brigom da se ne istroše planetarni resursi, da se sačuva prirodni okoliš i zdravlje stanovnika.

Vjerojatno povećano pribjegavanje plinu i ugljenu

U prvo vreijeme će niska cijena plina i njegova dobra raspoloživost ohrabriti izgradnju mnogih jedinica kombiniranog ciklusa. Tehnika je na visini, ograničenja okoliša slaba, vrijeme povratka investicija među najkraćim na tržištu. Osim toga te jedinice se mogu lagano standardizirati i odgovaraju potrebi decentralizirane proizvodnje manjih jedinica. Dakle ako je u prošlosti efekt veličine jedinice bio često odlučujući ubuduće će to biti rjeđi slučaj, jer će efekt serije imati prednost. U mnogim zemljama, uključujući i razvijene zemlje, prirodni plin ima velike izglede da značajno uđe u električni sektor.
Ugljen, koji je najizobilnije fosilno gorivo, ostat će ipak glavni izvor primarne energije u svijetu osobito u zemljama u razvoju. I on će ostati zadnje fosilno gorivo na raspoloženju kad sva ostala nestanu.

Ekološki rizik

Dok su perspektive izvjesne što se tiče zadovoljenja potreba, možemo bez poteškoća mjeriti utjecaj takvog razvoja na fenomen staklenika i zagađenja atmosfere.
U nekoj zemlji kao Kina u kojoj ugljen danas predstavlja tri četvrtine potrošnje primarne energije bilo bi nemoguće pokriti porast potrošnje električne energije bez značajnog ekološkog rizika. Razvoj tehnike "čistog goriva - ugljena" kao plinifikacija ili fluidizirani ležaj i njihov prijelaz na industrijski stadij s forsiranom standardizacijom su više nego ikad od kapitalne važnosti za ukupno čovječanstvo.

Nužno pribjegavanje obnovljivim energijama i nuklearnoj energiji

Zakon tržišta će znažno poticati razvoj proizvodnje na bazi plina i ugljena. Želimo li uravnotežiti te tendencije, a naročito se pripraviti za dalju budućnost kad ne bude plina, očito je, usprkos raširenim mišljenjima, da će nuklearna energija predstavljati najbolji izbor za okoliš. Ona predstavlja jednu od malobrojnih alternativa za masovnu proizvodnju električne energije bez emisije COZ, NOX i SOZ.
U tom je duhu Kina vrlo mudro planirala nuklearni program koji zadovoljava potrebe priobalnih područja najnaseljenijih i s najvećim manjkom energije.
Paralelno, već od danas treba razvijati tehnologiju za korištenje obnovljivih izvora energije. U svijetu postoje primjeri elektrifikacije ruralnih područja na bazi fotovoltnih ćelija. Energija vjetra počinje koristiti robusna i industrijska rješenja. Ali sunčeva energija i energija vjetra mogu zadovoljiti malu decentraliziranu proizvodnju. One su bez sumnje povoljne za udaljena ruralna područja, ali su daleko od toga da bi mogle odgovoriti širini zahtjeva.
Često se zaboravlja da je od svih obnovljivih energija na prvome mjestu hidroenergija čiji je potencijal u mnogim zemljama značajan. Kina i Indija su zainteresirane za golemi potencijal Himalaje. U južnoj Africi hidroelektrični potencijal se procjenjuje na 130000 MW od čega 45000 MW na rijeci Zaire. Ande predstavljaju za mnoge zemlje južne Amerike golem rezervoar energije. Ali i ovdje je potencijal daleko od stvarnih potreba kapitala, ograničenja okoliša, a nužnost izgradnje prijenosne mreže do mjesta potrošnje znatno otežava zadatak. Zato je tehnologija prijenosa električne energije drugi veliki izazov budućnosti.

Vitalne veze prijenosnih mreža

Ako postoji odgovarajući fenomen razvoja električne energije onda je to proširenje velikih prijenosnih mreža.

Zemlje u razvoju će morati proširiti svoje prijenosne mreže

Zemlje u razvoju su u procesu prelaska s regionalnih mreža na nacionalne i internacionalne interkonekcije: one su tamo gdje smo mi bili 1950. g. Razmak, znači, nije tako velik. Poznato nam je da EdF slavi ove godine 50 godišnjicu. Dozvolite da vas ovdje podsjetim da je jedan od razloga njena nastajanja bio razvoj mreže između hidroproizvodnje smještene na jugu Francuske i industrijske aktivnosti na sjeveru.
Jasno je da će u mnogim zemljama hidroizvori i izvori koji koriste ugljen, često prerađen na licu mjesta iz razloga transportnih poteškoća, tražiti napredne tehnologije za prijenos energije na velike udaljenosti.
Već danas je to vidljivo s dalekovodima povezanim na hidroelektranu Itaipu koji napajaju Brazil i Paragvaj ili onima koji polaze od postrojenja Žute Rijeke u Kini, odnosno ugljenokopa u Baiharu u Indiji.

Progres interkonekcije u svijetu

Taj pokret u internoj izgradnji je popraćen općim progresom interkonekcije što odgovara i volji električara za solidarnošću.
Neću Vas učiti da svaki elektroenergetski sustav ima interes da se poveže sa svojim susjednom zbog sigurnosti i ekonomije. Nije zanemarivo da u slučaju poremećaja možete dobiti pomoć, da možete znatno smanjiti investicije za vršnu proizvodnju i da možete u svakom trenutku koristiti elektranu s najmanjim troškovima proizvodnje.
Nedavni razvoj i projekti širom europskog sustava ilustriraju taj pokret. Zapadnoeuropska mreža UCPTE osnovana između 1950. i 1970. učinila je u 1995. veliki napredak vezavši se na CENTREL - zajedničku mrežu Poljske, Mađarske, Češke i Slovačke. Na sjeveru UCPTE-a "baltički prsten" je u fazi ostvarenja i trebao bi povezati sve nordijske zemlje. Ta mreža široko koristi podmorske kabele istosmjerne struje. Ona se veže na CENTREL preko Poljske i na UCPTE preko Njemačke putem "back-to-back" postrojenja.
Na jugu oko Mediterana sinkrona mreža ima tendenciju širenja. Veza od Španjolske do Grčke je osigurana na naponu 400 kV. Interkonekcija s Marokom pomorskim kabelom izmjenične struje preko Gibraltara je planirana. Napomenimo da već postoji 220 kV veza između Maroka i Libije i da je njeno proširenje predviđeno do Egipta. Interkonekcija Egipta i Sirije je planirana na 400 kV. Interkonekcija između UCPTE-a i Srednjeg Istoka preko Turske zatvorit će tu zamku. Izgradnja ovih interkonekcija traži ipak malo vremena, jer treba ispuniti stanoviti broj uvjeta.

Uvjeti za uspješno ostvarenje velikih mreža

Prvi uvjet, a vaše prisustvo ovdje to potvrđuje, je održavanje i jačanje tehničke suradnje u istoj mjeri kako se širi mreža.
Zaista, zbog ekonomskih i tehničkih razloga proširena mreža nije ništa drugo nego superponiranje regionalnih prijenosa i to proširenje napreduje korak po korak. Da svako takvo proširenje ne bi oslabilo cijeli sustav osnovno je uspostaviti regionalnu solidarnost tako da svatko s respektom prema sustavu kao cjelini bude odgovoran za tehničku kvalitetu razmjene sa susjedima. S

tog gledišta velike mreže budućnosti neće trebati toliko centralizirane administracije koliko autoadministracije u suradnji susjeda sa susjedom. Drugi uvjet uspjeha je kulturni i politički. Strukturna snaga mreže i njena simbolična svrha stvaraju od nje politički izazov. Ona predstavlja vezu mira između zemalja, što znači pomirljive diplomatske odnose.

***

Ovaj pregled o značenju električne energije u trajnom razvoju vodi do više zaključaka.
Prvi je da bi bilo kobno popustiti pred pogodnostima koje nudi plin i niski troškovi proizvodnje električne energije u kombiniranom ciklusu, a ne nastaviti stalna istraživanja i razvoj naročito na području nuklearne tehnologije, obnovljivih izvora i velepri-jenosa. Nemojmo žrtvovati sutrašnjicu za današnjicu ni prekosutrašnjicu za sutrašnjicu.
Drugi je kako je očito da potrebe neće biti zadovoljene bez transfera iz razvijenih zemalja prema zemljama u razvoju. Transfer kapitala u vidu direktnih investicija i međunarodne pomoći kroz transfer tehnologije znanja (iskustva). Uostalom, interes je industrije razvijenog svijeta da se usmjeri na tržište u ekspanziji.

3. VOĐENJE RAZVOJA

Svojstveno je svakoj zemlji da vodi svoj razvoj s punom odgovornošću, ali uloga industrije u najrazvijenijim zemljama je značajna, jer se financijska i tehnička sredstva, potrebna za progres čitavog čovječanstva, nalaze u njihovim rukama.

financijske i institucionalne nužde

Odgovor na nove potrebe u izgradnji i opremanju traži značajne investicije. To je očito osnovni ključ rasta.

Pitanje financiranja nije glavni problem

Naglasimo najprije da je ukupni trošak izgradnje sasvim podnošljiv za svjetsku privredu, jer prema tvrdnji eksperata Svjetskog Energetskog Savjeta (WEC) koji su razmatrali financijske potrebe rasta potrošnje energije zemalja u razvoju, godišnje financiranje potreba novih postrojenja na čitavom svijetu predstavlja otprilike 1% ukupnog kretanja kapitala godišnje.
Očito je, međutim, da obraćanje privatnom kapitalu neće biti dovoljno. Želi li se pomoći najsiromašnijim zemljama, naročito onima u Podsaharskoj Africi da krenu putem razvoja, možemo se nadati da će se specijalna financiranja prestati smanjivati, a da će svjetske institucije, ulaganja u elektrifikaciju najsiromašnijih zemalja, smatrati prioritetom.
Činjenica je da financijska sredstva postoje i da su realni problemi u organizaciji razvoja tj. u mobiliziranju tih sredstava. Takva organizacija principijelno predpostavlja mnogo jače otvaranje zemalja na koje se to odnosi.

Otvaranje zemalja u razvoju stranim investitorima

Dugo vremena je elektroprivreda promatrana kao strategijski nacionalni sektor, dakle neotuđiv. U tom pogledu je poznati Lenjinov aforizam "Komunizam", to je moć Sovjeta, plus elektrifikacija zemlje" karakterističan način mišljenja koji je prevladavao dugo vremena.
Međutim u većini zemalja u razvoju država je danas u nemogućnosti financiranja investicija potrebnih za razvoj. Treba priznati da je taj rast strategijska poluga mnogo snažnija nego posjedovanje 100% sredstava proizvodnje i prijenosa električne energije. Tako Argentina, Brazil pa i Kina, te mnogi drugi, otvaraju svoju elektroprivredu stranom kapitalu.
Taj pokret otvaranja ne znači odstupanje država, koje daleko od toga da puste djelovati "tržišne igre" moraju donijeti svoje specifikacije (tendere) kao prvi instrument kontrole energetske politike i ustanoviti transparentna pravila igre. One postaju mjesto regrutiranja znanja i koordinacije suradnje među raznim partnerima. One čuvaju svoju kompletnu ulogu regulacije i planiranja. I to je sreća, jer javno mnijenje igra nenadoknadivu ulogu u odluci da ti projekti udružuju domaću privredu i odgovaraju dugoročnim planovima razvoja.

Nužno ulaganje industrija razvijenih zemalja

Ići tamo gdje je rast

Na industrijalcima razvijenih zemalja je da odgovore na taj poziv i da pridonesu razvoju svjetske ekonomije kroz investiranje koje ne traži samo financijske izvore, već također, tehničke i ljudske resurse. Sve nas je više koji se počinjemo kretati u tom smjeru.
I to odgovara interesima naših poduzeća. Suočena s energetskim tržištem koje je postiglo zrelost u zemljama s manjim demografskim rastom i trajnim obvezama smanjenja potrošnje energije, ta poduzeća će pronaći perspektivu svoga rasta i mogućnosti očuvanja vlastitih znanja i unapređenja tehnologije, samo ako se usmjere na regije gdje se razvoj upravo događa.

Briga za trajni razvoj na razvijenim tržištima

Poduzeća razvijenih zemalja nemaju, u stvari, nikakav interes da se ograniče na njihova tržišta sa slabim ili negativnim rastom i sreću se tamo sa sve življom konkurencijom. Konkurencijom potaknutom svjetskim pokretom deregulacije kojom se Europa priključuje srećom, na razuman način.
Ta deregulacija ima pozitivne učinke, za početak pritiskom na cijene što koristi potrošačima.
Ali ona može imati mnogo nesigurnije učinke na sustav proizvodnje i prijenosa. Tako očekujemo razvoj nezavisnih proizvodnih jedinica, uglavnom plinskih elektrana na kombinirani ciklus, što će požuriti i zastarjelost starih elektrana. neki industrijalci bit će potaknuti kroz autoprodukciju, kroz lokalne organe, naročito kroz općinska i gradska poglavarstva da razviju zajednička proizvodna postrojenja (kogeneraciju). Sve bi moglo završiti velikim poratom potrošnje plina za proizvodnju električne energije u razvijenim zemljama. Za neke od njih takav razvoj bi se mogao provesti povećanom energetskom ovisnosti. Za sve i za svu planetu to bi bilo sudjelovanje bez istinske potrebe povećanja učinka staklenika i iskorištavanje ograničavajućih fosilnih izvora, što je protivno svim pristupima trajnog razvoja. Uostalom, bilo bi vrlo štetno da kratkoročni interesi proizvođače i prodavače električne energije potaknu da odobre jednostavan porast potrošnje dok je nužno više nego ikad, kao što smo vidjeli, da ga obuzdaju.
Jednom riječju, "zakon tržišta" ne smije ostaviti odgovorne totalno slijepima i oduzeti im svaku mogućnost dugoročnog razmišljanja.

Povoljna zakonska okosnica

Radi toga sam sretan da je Europska Unija znala organizirati otvaranje tržišta električne energije koje nije ni totalno ni anarhično.
Naravno, veliki potrošači će moći slobodno izabrati i svoje proizvođače diljem Europe. Naravno, svaki europski operator će biti slobodan da se udomi gdje mu to odgovara. Međutim, ova sloboda bit će podvrgnuta volji država.
One između ostalog zadržavaju slobodu da nametnu svojim operatorima zadaće od općeg ekonomskog interesa (koristim termin Rimskog dogovora). Tada one mogu izabrati svoju ekonomsku politiku i svoju politiku korištenja zemljišta. Te odredbe daju nam nadu da će politika kontrole potražnje energije biti zadržana, a arbitraža između raznih primarnih energija će favorizirati dugoročnu budućnost.
Prihvativši takav kompromis europske države su učinile uslugu trajnom razvoju.

Dugoročno tehnološko investiranje

Surađivati radi napretka

Ako je konkurencija, svojom prisilom stimuliranja, jedan od neopozivih faktora razvoja, ne zaboravimo da ona nije jedina. Potrebno joj je dodati kooperaciju, naročito tehnološku, koja nas danas ujedinjuje.
Tvrdo vjerujem da je odgovornost najindustrijaliziranijih zemalja da koriste najkompletniju tehnologiju i da izvrše njen transfer za korist svjetskog razvoja, kad za to dođe vrijeme. Tko drugi bi to inače učinio?
Evo zašto moramo ujediniti naše snage da potaknemo napore u studijama i razvoju vrhunske tehnologije.

Poboljšati tehniku proizvodnje

Naročito je potrebno, već sam spomenuio, razviti tehniku "čistog goriva" ugljena fluidiranim slojem ili plinifikacijom da odgovorimo najhitnijim potrebama i da se pokrenemo ka industrijskoj etapi baziranoj na naprednoj standardizaciji.
Moramo kultivirati i produbljivati naše gospodarenje nuklearnom energijom. Možemo još poboljšati njene performance, standardizirati proizvodnju, stupanj sigurnosti i ekonomsku efikasnost. Treba nastaviti istraživanja oko eliminacije ili neutraliziranja otpada na dugi period. Mnoge zemlje, uključujući Francusku, nastavljaju istraživanja u tom smjeru kao i na opciji supergeneratora.
Dugoročno pak, moramo naglašeno usmjeriti naše napore obnovljivim energijama.

Usavršiti vođenje sustava

Dencetralizirane proizvodnje ne smiju dovesti do toga da stavimo u pitanje velike mreže. Sjetimo se da ćemo iza 2030. trebati nuklearnu energiju, dakle interkonektivni sustav. Znam da će CIGRE u 1997. Održati simpozij u Tours-u o pitanju alternative centralizirane ili decentralizirane proizvodnje. On će biti u srcu aktualne problematike.
Moramo biti pametni da proširimo naše mreže. U Europi se radi o istinski integriranoj mreži Europske zajednice s manje uskih grla na granicama nego je to danas. Jer razvoj mreže, kad ujedinimo izvore, ide smjerom trajnog razvoja.
Prijenos električne energije mora dostići tehnološki progres koji će dozvoliti korištenje energetskih resursa za koje smo vidjeli da su često vrlo udaljeni od mjesta potrošnje. Trebat će npr. nastojati povećati napone na istosmjernom prijenosu. Ta tehnologija koja smanjuje gubitke energije, ali zahtijeva konvertorske stanice na svakom kraju voda je sada dokazana između Francuske i Engleske kroz deset godina, a u mreži NORDEL, oko Baltičkog mora, 6 podmorskih veza istosmjerne struje je u pogonu. Vidjet ćemo u budućnosti hoće li rješenja prijenosa električne energije preko tisuća kilometara biti u ultra visokom istosmjernom prijenosu (UHVDC) s naponom reda 1 000 kV, a snage više tisuća MW.

To nije neki iscrpljujući radni program. Radije nekoliko primjera tehnološke suradnje koju treba sprovesti u perspektivi razvoja. Ta je perspektiva isto tako stimulirajuća kao konkurentska borba s izvučenim noževima.

Vidi se da je u suprotnosti s pomodnim idejama, koje teže svemu malomu i lokalnom s ekskluzivnim usmjerenjem prema individui, mi u razvijenim zemljama moramo sačuvati duh kolektivnog interesa.

Sutrašnji problemi leže u: zdravstvu, prijenosu, urbanizmu i okolišu.

Zatim, ako izlazak iz planiranog svijeta, koji je postao ograničavajući, izgleda kao olakšanje, treba se podsjetiti da električna energija loše pristaje čistoj i tvrdoj konkurenciji. Znamo da kWh nije roba kao druga, on se ne da uskladištiti, on ne nosi zaštitni znak proizvođača. Radi cijena ne treba žrtvovati brigu za dalju budućnost. Jednom riječju, tržište ne može sve. Vođenje trajnog razvoja traži energetsku politiku suradnje.

Tko to ne vidi da industrija razvijenih zemalja, trajno suočena sa slabim prirastom, ima vlastiti interes da izađe iz zatvorenog dvorišta međusobnog rivalstva i ne shvaća da je njen razvoj usko vezan s njenom sposobnošću da pomogne razvitak ostatka svijeta i to perspektivno gledano s dobitkom?

4. ZAKLJUČAK

Na kraju ovog razmišljanja zaključak se nameće sam od sebe. Ulazimo u brzi i snažan razvoj. Bude li čovječanstvo razborito, njegov prvi veliki zadatak bi bio elektrifikacija planeta.

Najnapučenije zone su u punom razvoju dok su tržišta razvijenih zemalja postigla zrelost. One trebaju industrijalce, inženjere, investitore. Prema njima, dakle, razvijene zemlje mogu usmjeriti svoje napore.

Ovo se neće događati pustimo li se voditi "nevidljivom rukom" Adama Smith-a[1], rukom koja je po mom osjećaju više slijepa nego nevidljiva. Treba savjesti i volje, političke volje da usmjeravamo poduzetnike, a ne da ih pustimo ići svojim putem, volje da podržimo programe studija i razvoja i da djelujemo dugoročno, volje da tehnički surađujemo i da se industrijski udružujemo, čak i kad se radi o komercijalnoj konkurenciji. Sve više ćemo ići prema kooperaciji - konkurenciji i moje je uvjerenje da znanstvena društva kao CIGRE nisu nikad bila tako dobro prilagođena aktualnom svijetu.

Pod tim uvjetima ćemo osigurati trajni razvoj našega planeta. Naravno, jesmo za ekonomski i tehnički razvoj, ali poštujući vrijednosti bez kojih nema budućnosti, kao što su pravda, liga za pomoć najsiromašnijima, uvažavanje drugih, njihova okoliša i prava naše i njihove djece.

To je posao svakoga od nas. Na državama je da se dogovore i da bdiju nad općim interesima. Na poduzećima da investiraju u sebe ali i izvan sebe. Udružnjima kao CIGRE da pruže sve veće mjesto stručnjacima zemalja u razvoju kako bi njihovi problemi bili uvijek u žarištu njihovih razmišljanja i njihovog usmjerenja.

Inženjerima da pridonesu svojim profesionalizmom, da surađuju kako bi razradili materijalnu osnovu svjetskog napretka.
Znam čime ćete se vi baviti sljedećih dana i želim vam ugodan i plodan rad. Na našu korist i korist generacija koje dolaze.

Pripremio dr. Zorko Cvetković

***

[1] Škotski ekonomist (1723.-1790)

industrogradnja d.d.
PODUZEĆE ZA GRAĐENJE, PROJEKTIRANJE, KONZALTING, PROIZVODNJU, TRGOVINU, VANJSKO-TRGOVINSKO POSLOVANJE, UGOSTITELJSTVO I TURIZAM, ZAGREB

IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

FRANCUSKA IZGRADILA PLOVEĆU TVORNICU

Francuska naftna kompanija Elf Aquitaine izgradila je ploveću tvornicu koja crpi naftu i zemni plin iz naftnog polja Nkossa ispred zapadnoafričke obale i priprema ih za daljnji transport. Duljina platforme je 220 m, a korisna površina jednaka je površini dvaju nogometnih igrališta. Na platformi je smještena tvornica za preradu nafte i zemnog plina, elektrana i prostorije za smještaj 160 osoba. Postrojenje teško 110 000 t spojeno je kabelima i cjevovodima sa dvije platforme za bušenje. U sve uređaje je investirano gotovo 3 milijarde DEM.

Energie Spectrum, god. 11(1996), br. 7-8

Mrk

SOLARNA TERMOTEHNIKA NAPREDUJE

Nakon recesije solarne termotehnike uslijedio je brz razvoj od 30% godišnje. Stručnjaci smatraju da će se takav rast nastaviti i slijedećih godina. Pokazalo se da je tržište solarne termotehnike deset puta jače od tržišta solarnih elektrana. Solarna termotehnika je danas toliko uznapredovala da je moguće ljetnu sunčanu energiju akumulirati u debelo izoliranim vodenim spremnicima za potrebe grijanja zimi.

ETZ, god. 117(1996), br. 15-16

Mrk

USKORO MOŽDA PREMALO ELEKTROINŽENJERA U NJEMAČKOJ

Pod tim naslovom izašla je u časopisu Energija [god. 44(1995), br. 5-6] kratka vijest o upisivanju sve manje brucoša na elektrotehniku. Sad ponovo u časopisu ETZ nalazimo vijest pod naslovom "U 2000. godini više nema inženjerskog podmlatka". Profesor dr. ing. W. Rupprecht prisustvovao je kao stručni savjetnik na večernjem skupu za informiranje o izboru zvanja i u časopisu iznio svoje dojmove. Profesor konstatira da je sve vrvilo od interesanata za pravo, industrijski menadžment, bankovna i trgovačka zvanja. Vrlo je pak malo bilo zainteresiranih za prirodne nauke, za elektrotehniku baš niti jedan. Činjenica je, da interes za studij elektrotehnike stalno slabi, ali tako slabog interesa još nije bilo. Modernizacija studija elektrotehnike u njemačkoj je neophodna i treba se više orijentirati na internacionalne standarde. Savezno je ministarstvo u međuvremenu registriralo da Njemačka nije više za strance, kao zemlja za studiranje, atraktivna.

ETZ, god. 117(1996), br. 12

Mrk

ZELENO SVJETLO ZA „TRANSRAPID"

Njemačka savezna vlada prihvatila je potrebnu zakonsku regulativu i 1994. odlučila se za gradnju željesničke pruge Hamburg-Berlin. Tom bi prugom vozila viseća magnetska željeznica nazvana "transrapid". Takav tip željeznice postigao je 1993. na pokusnoj pruzi brzinu od 450 km na sat. Predviđa se da bi gradnja započela 1998., a stavljanje u pogon 2005. godine.

ETZ, god. 117 (1996), br. 15-16

Mrk

KONKURENCIJA U PROIZVODNJI ELEKTRIČNE ENERGIJE

Proizvodnja električne energije nije mnopol elektroprivrede. U dvanaest država EU 10,1 % električne energije proizvedeno je u industrijskim, rudničkim ili privatnim elektranama. To je bilo skoro 191 Twh od ukupno proizvedene električne energije od okruglo 1 890 tWh u tim zemljama (1994.). Najveći udio, od 20%, imale su industrijske i privatne elektrane u ukupnoj proizvodnji struje u Nizozemskoj. Zatim slijedi Italija s udjelom od 17 %, pa Njemačka sa 13 %.

Elektrizitätswirtschaft, god. 95(1996), br. 17-18

Mrk

EdF NAKON 50 GODINA DJELOVANJA

Francusko elektroprivredno poduzeće EdF (Electicité de France), jedno je od najvećih na svijetu, osnovano je zakonom 1946. godine, od mnogih lokalnih elektroprivrednih poduzeća. Danas nakon 50 godina djelovanja električnom energijom opskrbljuje 29,5 milijuna potrošača. Njegove elektrane proizvedu godišnje 444,2 TWh električne energije, od čega 81% iz nuklearnih elektrana, 15% iz hidroelektrana i 3% iz konvencionalnih termoelektrana. Ukupna instalirana snaga iznosi 99 000 MW, a godišnji promet poduzeća (1995.) 188,6 milijardi francuskih franaka. Rast nuklearnih elektrana bio je vrlo brz zahvaljujući težnji da Francuska što više smanji energetsku ovisnost o inozemstvu. Time je postala najveći izvoznik električne energije. EdF ima 117 000 uposlenih, od toga 20 000 inženjera i 60 000 kvalificiranih tehničara. Vrlo je opsežno međunarodno djelovanje te radne organizacije. Djeluje na polju investicija, vodoprivrede i zbrinjavanja otpada. U području prestrukturiranja elektroprivrede u srednjoj i istočnoj Europi EdF radi na poboljšanju nuklearne sigurnosti, modernizaciji opreme i povezivanju zapadnh i istočnih elektroenergetskih sustava.

Djelovanje EdF proteže se i na Afriku i Aziju, naročito na Kinu. Općenito se može reći da ima značajan utjecan na elektrifikaciju u svijetu, npr. u okviru svjetskog programa "Electricity for all".

Unutar poduzeća razvijena je velika i opširna istraživačko-znanstvena djelatnost.

Za takvu djelatnost uloženo je 1995. godine više od 3 milijarde franaka. Na polju istraživanja i razvoja radi 2 600 suradnika, a surađuje sa preko 100 instituta, sveučilišta i industrijskih poduzeća.

Glavni problemi istraživanja odnose se na nuklearnu energiju, električne mreže i primjenu električne energije. Obuhvaćeni su i problemi zaštite okoliša, koji stalno rastu.

U najnovije vrijeme radi se na razvoju elektromobila. Izgrađen je prototip vozila čije se baterije mogu brzo napuniti induktivnim putem.

Upravo su završeni eksperimenti sa korištenjem energije sunca i vjetra. Veliki istraživački centar "Les Renardieres" sagrađen je 1964. godine na površini od 90 ha, a danas upošljava 765 suradnika. glavna aktivnost ovog centra je istraživanje o ponašanju materijala u izvanrednim uvjetima, poboljšanje tehnike elektrana te prijenosnih i razdjelnih električnih mreža. Centar se bavi također fundamentalnim istraživanjima i razvojem uporabe električne energije bez štete za okoliš. Istražuje se noćno akumulaciono grijanje koje u Francuskoj koristi oko 6 milijuna kućanstava.

Laboratoriji u "Les Renardiers" raspolažu vrlo bogatom opremom, u mnogome jedinstvenom u Europi. Izgrađen je Faradejev kavez dimenzija 65 m x 65 m x 45 m i ispitni laboratorij za ekstremne klimatske uvjete u rasponu temperatura 60° C do +70° C,

uz mogućnost stvaranja velike vlažnosti i jakih sunčanih zraka. Moguće je ispitati kabele od 400 kV, duljine do 300 m.
Sva nastojanja EdF idu za tim da svojim istraživanjima omoguće učinkovitu i sigurnu opskrbu električnom energijom.

Elektrizitätswirtschaft, god. 95(1996), br. 17-18

Mrk

SMANJENJE EMISIJE UGLJIČNOG DIOKSIDA

Prema završnom dokumentu iz 1995. godine, međunarodne organizacije za pitanja promjene klime IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) zaključuje se da svjetska promjena klime nije najvjerojatnije posljedica prirodnih utjecaja već utjecaja čovjeka. Time je potvrđeno da je porast potrebe energije u svijetu glavni klimafaktor, a povećanje emisije ugljičnog dioksida pridonosi slabljenju ozonskog sloja, toliko važnog za život. Istraživanja i tehnološki razvoj osobito su značajni u pitanju promjene klime. Njemačka je osobito aktivna u nastojanjima da se snizi emisija CO_2. Savezna njemačka vlada postavila si je zadatak da se emisiju CO_2 snizi do 2005. godine. na 25% prema emisiji u godini 1990. Za energetska istraživanja i energetsku tehnologiju do godine 2000. predviđena su ukupna ulaganja, od okruglo, 4 milijarde DEM. time bi trebalo mobilizirati sve tehničke mogućnosti kako bi se izvršio spomenuti zadatak. Težište je ovog energetskog istražnog zadatka povećanje učinkovitosti proizvodnje električne energije, ušteda energije i povećanje proizvodnje u nuklearnim elektranama, koje već danas u Njemačkoj daju 30% električne energije. Za istraživanja u području obnovljive energije predviđeno je do 2000. godine oko 4000 milijuna DEM.

Elektrizitätsvirtschaft, god. 95(1996), br. 19

Mrk

ŠTEDNJA ENERGIJE RASHLADNIH I KLIMA UREĐAJA

Na poticaj Odbora za okoliš njemačke Savezne skupštine zaključeno je da se ispita koliki bi bio utjecaj na uštedu električne energije radoviti pregled i održavanje rashladnih klima uređaja. Uštedom bi se smanjio efekt staklenika, a poduzele bi se daljnje mjere za zaštitu ozonskog sloja.

Elektrizitätswirtschaft, god. 95(1996), br. 19

Mrk

NOVE SMJERNICE EU ZA ZAŠTITU OD RADIOAKTIVNOG ZRAČENJA

Ministarski savjet EU objavio je snjernice o zaštiti ljudi od ionizirajućeg zračenja, koje će zamijeniti takav dokument iz 1959. godine, revidiran godine 1984. Nove se smjernice temelje na preporukama br. 60 Međunarodne komisije za radiološku zaštitu (Commission on Radiological Protection). Granične vrijednosti za pučanstvo snizuju se na 1 mSv/a, a za djelatnike izložene zračenju na 20 mSv/a. U uputama se govori o mjerama zaštite kod povećane izloženosti iz prirodnih izvora (radon) i pri teškim nezgodama. Prema ugovoru Euratom članice EU imaju vrijeme od 3 godine da navedene smjernice ugrade u nacionalna pravila.

Elektrizitätswirtschaft, god, 95(1996), br. 19

Mrk

PREGRADNJA TROFAZNIH U ISTOSMJERNE DALEKOVODE VISOKOG NAPONA

Zbog sve većih poteškoća u pronalaženju trasa za dalekovode i povećanih potreba prijenosa električne energije, predlaže se pregradnja postojećih dvostrukih trofaznih vodova 400 kV u dvostruke bipolne vodove istosmjernog napona do ±600 kV. time bi se prijenosna snaga povećala 2,5 puta, a specifični se gubici raspolovljuju. Prilikom pregradnje stupovi i njihova konstrukcija ostali bi nepromijenjeni, a po mogućnosti bi se koristili i postojeći vodiči. Prema gruboj procjeni troškovi bi pregradnje iznosili oko trećinu troškova novogradnje. Takva razmatranja vrijede uz primjenu dosadašnjih propisa za mehanički dio dalekovoda. No, u najnovije vrijeme u Njemačkoj ovi su propisi postroženi, a prerađeni su i propisi o električnim i magnetskim utjecajima na okoliš, pa se troškovi pregradnje ne mogu do daljnjeg uspoređivati s dosada uobičajenim troškovima gradnje dalekovoda.

Elektrizitätswirtschaft, god. 95(1996), br. 19

Mrk

POTROŠAK ELEKTRIČNE ENERGIJE U INDUSTRIJI NJEMAČKE

U Njemačkoj je 1995. godine najveći potrošač električne energije bila kemijska industrija, sa potroškom od 59 TWh, što je za 3,5% više u usporedbi s prethodnom godinom. Taj je potrošak četvrtina ukupnog potroška njemačke industrije, koji je iznosio 226 TWh. Druga je po potrošku metalo-prerađivačka industrija sa 46 Gwh, a treća drvna i papirna industrija. Sve navedene industrije povećale su svoj potrošak u usporedbi s 1994. godinom, osim čeličana koje su od 26 TWh u 1994. pale na 23 TWh u 1995. godini.

Elektrizitätswirtschaft, god. 95(1996), br. 20

Mrk

ISKUSTVA IZ POGONA SUNČEVE I VJETROELEKTRANE

Proslavljena je petogodišnjica neprekidnog rada kombinirane sunčeve i vjetroelektrane na brdu Wendelsten u bavarskim Alpama, na visini od 1 837 m nad morem. Dobivena su bogata iskustva jer elektrana radi u teškim planinskim vremenskim uvjetima. Snaga kombinirane elektrane iznosi 65 kW, a od svojeg početka rada proizvela je 300 000 kWh električne energije. Pokazalo se, što je u prvom redu posljedica gradnje, da je ta energija vrlo skupa. Jedan kWh iz sunčeve elektrane stoji 8,30 DEM, a iz vjetroelektrane 3,0 DEM. Gradnju postrojenja pomogle su Savezna i Pokrajinska vlada svojim novčanim doprinosima.
Tijekom pogona se pokazalo da proizvodnja električne energije vrlo varira u ovisnosti o vremenskim prilikama. Mjesečna se proizvodnja u ekstremnim mjesecima mijenjala od 1 8000 kWh do 9 000 kWh, a kao srednju vrijednost može se uzeti proizvodnja od 4 000 kWh do 7 000 kWh. Promjene proizvodnje sunčeve elektrane su manje, pogon sigurniji s manje poteškoća, ali manjom ukupnom proizvodnjom od vjetroelektrane. Vjetar u Alpama nije jednoličan kao npr. na obali Sjevernog mora, a dodatnu poteškoću pravi i zaleđivanje. Nadopuna tih dviju elektrana veća je u ljetnom razdoblju nego zimi. Iz opisanog se petogodišnjeg pogona može zaključiti da se u posebnim uvjetima, uz značajan ulog financijskih sredstava, može koristiti proizvodnja električne energije iz kombinirane sunčeve i vjetroelektrane, ali one nisu toliko pouzdane kao kalsični izvori.

Elektrizitätswirtschaft, god. 95(1996), br. 209

Mrk

KOMBINIRANA SOLARNOTERMIČKA ELEKTRANA U INDIJI

U Indiji se planira izgradnja termoelektrane koja će raditi uz dodatak solarne energije. Elektrana bi se gradila uz inozemnu pomoć i potporu vlade u federalnoj državi Rajasthan, gdje su vrlo

dobre mogućnosti za korištenje sunčane energije. To bi bila prva takva kombinirana solarnotermička elektrana koja je građena nakon gradnje generacije solarnih termoelektrana u Kaliformiji [Vidi: Energija, god. 45(1996), br. 4]. Ovo bi bila kombinirana plinsko-parna elektrana s dodatnom solarnotermičkom proizvodnjom pare. Ukupna bi električna snaga iznosila između 135 MW i 190 MW. Pri tome bi solarnotermički dodatak iznosio 35 MW električne snage. Ovo će biti temeljna elektrana, gdje će 8 do 15% proizvedene električne energije proizvesti energija sunca. Projekt pokazuje da se energija sunca može razumno iskoristiti u određenim prilikama što daje povoljne mogućnosti za budućnost.

Elektrizitätswirtschaft, god. 95(1996), br. 21

Mrk

ČISTIJI ZRAK U ISTOČNOM DIJELU NJEMAČKE

Zrak u istočnom dijelu Njemačke zadnjih je godina mnogo čistiji. Od godine 1990. do 1996. smanjila se emisija sumpornog dioksida za više od 50%. Tri su glavna uzroka takvog smanjenja. U termoelektranama ugrađeni su filteri za pročišćavanje dimnih plinova. Mnoge pak termoelektrane, gdje takva ugradnja nije bila moguća, prestale su s radom. Osim toga, zbog sloma istočnonjemačke industrijeproizvodnja električne energije pala je u vremenu od 1990. do 1996. godine za 25%.

Eletrizitätswirtschaft, god. 95(1996), br. 22

Mrk

POBOLJŠANJE UČINKOVITOSTI TERMOELEKTRANA

Na području istočne Europe i bivšeg SSSR-a u pogonu je mnogo termoelektrana koje su zastarjele vremenski i tehnološki. Na savjetovanju u mađarskoj termoelektrani Dunamenti zapadni su stručnjaci iznijeli različite tehničke mogućnosti rekonstrukcije takvih elektrana i povećanja njihove efikasnosti.

Predložene su rekonstrukcije kotlova i turbina kao i modernizacija vođenja pogona. Elektrane mogu biti rekonstruirane da dođu na rzinu najnovijeg stanja tehnike i postignu gospodarski optimum. Proizvodnja električne energije može biti znatno povećana uz jednaki potrošak goriva, što ujedno znači smanjenje opterećenja atmosfere dimnim plinovima po proizvedenom kWh. Na takvim poboljšanjima veliki dio rada mogu obaviti domaća poduzeća uz pomoć inozemnih stručnjaka. Primjera takve suradnje već ima više. Njemačka tvrtka Siemens u uskoj suradnji tvornice turbine LMZ izvela je poboljšanje turbine u termoelektrani Matra (80 km od Budimpešte), proizvedene u spomenutoj tvornici.

U spomenutoj termoelektrani Dunamenti (snaga oko 1 830 MW) tvrtka Siemens je 1988. godine ugradila plinsku turbinu električne snage 150 MW, čiji ispušni plinovi griju parni kotao koji daje paru parnim turbinama i susjednoj regiji. Godine 1996. ugovorena je sa Siemensom i druga plinska turbina istog tipa, koja će također biti ugrađena u termoelektrani dunamenti i ići u pogon godine 1998.

Elektrizitätswirtschaft, god. 95(1996), br. 22

Mrk

SLOBODNO TRŽIŠTE STRUJE U SAD

Elektroprivreda SAD organizirana je kao pluralistička dobavna struktura i često vertikalno integriranih elektroprivrednih poduzeća, na ograničenim područjima dobave. Slična se organizacija susreće i u Europi. No, u SAD vlada jedinstveno mišljenje da se navedena struktura mora mijenjati u sustav slobodnog tržišta električnom energijom. U svezi s takvim stanovištem izdala je Federalna energetska komisija FERC (Federal Energy Regulatory Commission) dvije odredbe koje bi omogućile slobodan pristup prijenosnoj električnoj mreži i slobodno tržište u veleprodaji električne energije.

Za sada se još ne može procijeniti upotrebljivost novog modela i njegov utjecaj na elektroprivredu, no izgleda sigurno da će razvoj slobodnog tržišta u SAD imati jak odjek u europskim diskusijama o tom problemu.

Elektrizitätswirtschaft, god. 95(1996), br. 23

Mrk

VODOVI SREDNJEG I NISKOG NAPONA I EKOLOGIJA

Danas se pridaje sve veća važnost ekološkom utjecaju materijala primijenjenog u nekoj izvedbi. Kakav bi se materijal upotrijebio u konkretnom slučaju uz određenu kakvoću i funkciju, treba učiniti analizu njegovog ukupnog životnog ciklusa. Računati treba sa sirovinom, proizvodnjom i potrebnom energijom s pogledom na opterećenje zraka, vode i tla. Nadalje, treba uzeti u obzir ekološki utjecaj nakon ugradnje, uključujući i zbrinjavanje nakon isteka upotrebnog vremena.

Ekološka bilanca prema navedenim principima učinjena je za stupove električnih vodova srednjeg i niskog napona. Razmatrani su impregnirani okrugli drveni stupovi te betonski i cijevni čelični stupovi. Pri usporedbi oni su pokazali slične ekološke i ekonomske karakteristike. istraživanja su potvrdila prednost uporabe drvenih stupova u gradnji nadzemnih električnih vodova. Ukoliko iz bilo kojeg razloga uporaba drva nije moguća, iz ekoloških razloga prednost imaju betonski stupovi, a ekonomski su podjednaki čelični cijevni stupovi. Ovi posljednji imaju prednost kod velikih vučnih sila. Pri gradnji nadzemnih vodova treba uz ekologiju uzeti u obzir u druge utjecajne činioce koji mogu imati utjecaja na odabir materijala.

Elektrizitätswirtschaft, god. 95(1996), br. 23

Mrk

POUZDANOST VIŠETERMINALNOG ISTOSMJERNOG VISOKONAPONSKOG SUSTAVA

Liberalizacija i razvoj slobodnog tržišta električne energije nameću razmišljanje o gradnji superponirane istosmjerne visokonaponske mreže s više od dva terminala. Uvjet da se takva ideja ostvari je u prvom redu dovoljno velika raspoloživost i pouzdanost takvog postrojenja. Istosmjerni visokonaponski sustavi sa dva terminala već su u pogonu desetljećima i njihove su osobine dobro poznate, no o sustavima s više termina zna se vrlo malo. Prošireno je mišljenje da su višeterminalni istosmjerni sustavi komplicirani, teški u posluživanju, a time i manje pouzdani. Budući da su se višeterminalni sustavi razvili iz dvoterminalnih, mogu se s obzirom na raspoloživost i pouzdanost i međusobno uspoređivati. Koordinacijom planskih iskapčanja može se očekivati da raspoloživost bude podjednaka. U višeterminalnom sustavu mogu se odgovarajućim uređajima ostvariti različita uklopna stanja. Premoštenjem neke od stanica, zbog popravka ili izvršenja remonta, ostali dio postrojenja može nesmetano raditi. Dakle, višeterminalni istosmjerni sustav može biti jednako pouzdan kao i dvoterminalni, što pokazuju iskustva izgrađenog višeterminalnog prijenosa Hydro Quebec - New England.

Elektrizitätswirtschaft, god. 95(1996), br. 22

Mrk

KALIFORNIJSKI EKOLOŠKI ZAKON I ELEKTROMOBILI[1]

Vlada države Kalifornije (SAD) izdala je, zbog ekoloških razloga, uvođenje elektromobila (Electric Vehicl - Ev) u promet kao zakonsku obvezu. Od novih automobila 10% ih mora biti na električni pogon. Prvobitno je određeno da zakon stupa na snagu 1998. godine, ali je zatim propisan prijelazni rok, a puna zakonska obveza nastupit će tek 2003. godine. U prvo će se vrijeme koristiti postojeće akumulatorske baterije. One su doduše jeftine, ali imaju malu gustoću energije. Nije vjerojatno da bi takva vozila mogla ući u širu uporabu. vjeruje se, međutim, da će se do godine 1999. toliko razviti natrij-nikal-kloridne i litijske baterije da će se moći serijski proizvoditi. Njihova je energetska gustoća daleko veća u usporedbi s olovnim akumulatorima. američka je automobilska industrija na veliko isticala mane elektrovozila, ali kad se kalifornijska vlada nije pokolebala počela je intenzivno raditi na razvoju takvih automobila. To je naravno imalo odjeka kod automobilske industrije širom svijeta. Većinom su postojeći standardni tipovi pregrađivani na električni pogon. Tvrtka General Motors išla je, međutim, korak dalje i konstruirala posebno elektrovozilo Ev-1 i počela serijsku proizvodnju krajem 1996. Kao danas već atraktivni tipovi elektroautora mogu se spomenuti norveški PIVCO i francuski PEUGEOT 106. U Francuskoj vlada, EdF i industrija surađuju na uvođenju elektrovozila u prodaju. Nabava svakih kola subvencionirana je sa okruglo 17 000 FF. U bliskoj se budućnosti računa da će 10 % svih automobila u Francuskoj imati električni pogon.
U Japanu se planira da bi do godine 2000. u prometu bilo oko 200 000 elektrovozila.
U Njemačkoj još nije počela serijska proizvodnja takve vrste automobila. Niti od strane vlade, a niti od strane industrije nije to pitanje dovoljno potaknuto, no izvoz će i Njemačku prisiliti da intenzivnije radi na razvoju elektroauta. Naravno da će i ekološke potrebe u zemlji tražiti vozila koja ne onečišćuju zrak.

Elektrizitätswirtschaft, god. 95(1996), br. 23

Mrk

KORIŠTENJE GEOTERMALNE ENERGIJE

U svijetu se danas provodi niz ispitivanja o mogućnostima korištenja geotermalne energije. jedno takvo istraživanje proveo je Socomine (Project Europeen d'Extraction de la Chaleur des Rocher Profondes) u Francuskoj u regiji Soultz-sous-Forêts. Ovo istraživanje se provodilo u okviru europskog programa istraživanja dubinske geotermalne energije Centrilift (European Deep Geothermal Energy Research Programme Centrilift). Kako se u podzemlju ovog područja nalaze velike količine toplinske energije, ispitivana je mogućnost njenog korištenja. Suhe vrele stijene (HRD) su korištene za zagrijavanje vode, koja se zatim može koristiti za razne namjene kao i za proizvodnju električne energije.

Istraživanje je provedeno na dvjema bušotinama dubine 3883 m, na razmaku od 450 m, što je dosad najveća postignuta udaljenost u svijetu. Da bi se iskoristila toplinska energija vrelih stijena u dubini zemlje, kao rezervoar su se koristile pukotine u masi stjena, uzduž kojih nije bilo pomicanja, te geološke pukotine koje povezuju obje bušotine. Jedna bušotina je služila za injektiranje hladne vode, a druga za izlaz vrele vode, koja je zagrijana prolazom kroz vrele strijene. Početno ispitivanje je provedeno 1993. godine injektiranjem 51 1/sek u jednu bušotinu. Na izlaznoj bušotini efektom hidrostatskog tlaka prema gore moglo se dobiti 8-9 1/sek vrele vode sa izvornom temperaturom od 125° C. Proizvodnja 15-16 1/sek bi se mogla postići s injektiranjem iste količine u drugu bušotinu. Da bi se proizvela veća količina vrele vode potrebno je bilo postaviti na dno bušotine električnu visokotemperaturnu uronjivu crpku (ESP), koja je crpla vrelu vodu prema gore. Za provedbu glavnog testa korišten je Centrilift-ov ESP sustav sa promjenljivom brzinom pokretanja i odgovarajući test modul.
Nakon stabilizacije bušotine, postavljeni cilj od 20 1/sek vrele vode (stvarno 23,3 1/sek) postignut je pri frekvenciji od 78 Hz pogonskog motora električne crpke.
Tempeatura izlazne vrele vode je bila 135° C s tendencijom porasta. Proizvedena energija je bila reda 8-9 MW.
Koordinaciju HDR istraživačkog i razvojnog projekta od 1992. godine je preuzeo Core Team uz podršku europske asocijacije The European Hot Dry Rocks Association (EHDRA). Core Team se sastoji od starijih znanstvenika i inženjera iz Francuske, Njemačke i Velike Britanije. ENHRA ima 13 znanstvenih partnera i znanstvenika angažiranih iz Francuske, Njemačke, Velike Britanije, Italije, Švicarske i Švedske. Ovaj europski program je dio Četvrtog okvirnog programa za istraživanje i tehnološki razvoj Europske unihe (1994-1998.).
Dugoročni cilj je legalizacija koncepta eksploatacije vrelih suhih stijena (HDR). Iako današnja geotermalna industrija koristi vrele podzemne naslage poroznih stijena ili prirodne tekuće zone za proizvodnju energije, ovo istraživanje predstavlja jedan mali dio u usporedbi sa golemom količinom energije pohranjene u zemljinoj kori. Značajno je i zbog toga što pokazuje potencijal prirodnih energetskih izvora koji će se moći koristiti u budućnosti. Vjeruje se da će slična istraživanja pokazati mogućnost velikih dugoročnih koristi, pogotovo ako se uzme u obzir utjecaj i zaštita okoliša.

Centrilift ESP System in Record-breaking Hot Dry Rock Test, Centrilift Press Release, 1996.

SBK

KOJA CIJENA VLASTITE PROIZVODNJE?

Napojna mreža i privatna proizvodnja električne energije

Tko kao privatnik proizvodi električnu energiju on smanjuje troškove koji otpadaju na uzimanje iz javne mreže. Ako se proizvodi više nego što je potrebno, tu energiju bez odobrenja nadležnih nije dozvoljeno nikom (npr. susjedima ili stanarima stambenog bloka) prodavati, jer bi u tom slučaju postupili kao što rade poduzeća za opskrbu električnom energijom.
Tako ostaje samo davanje u javnu mrežu. Snažan impuls je dao program "1000 krovova" njemačke savezne vlade solarnim proizvođačima električne energije. Od prvotno zamišljenih 1000 krovova do sada je realizirano 2250 postrojenja. Za buduće privatne investitore koji bi struju proizvodili fotoćelijama bit će važno koju dobit donosi ta proizvodnja.
Prema njemačkom zakonu distributivna poduzeća su dužna preuzeti tu struju i za nju dati naknadu. O visini te naknade spore se dvije grupe: na jednoj strani privatni proizvođači struje, udruženja zaštite okoliša i graditelji postrojenja, a na drugoj strani elektrodistributivna poduzeća. Između njih su gradska poduzeća za opskrbu električnom energijom, koja istu preuzimaju od distribucije, a s druge strane rado bi htjeli potpomoći inicijative pojedinih građana.
Pod zakon o opskrbi električnom energijom koji vrijedi od 1991. godine potpadaju svi proizvođači struje-sunce, vjetar, voda i biomasa. Njima su poduzeća za opskrbljivanje električnom energijom donedavno plaćala cijenu od 16,57 Pf/kWh. Kod ostalih regenerativnih energija kao što je plin iz deponija i taložnica je 13,81 Pf/kWh, a kada postrojenje premaši granicu 500 kW samo 11,97 Pf/kWh. Kod zakona o opskrbi električnom energijom radi se o subvenciji na teret potrošača.
Cijene međutim zavise i o drugim uvjetima (vremenu u godini, danu, stalnosti napajanja isl.), pa katkada mogu biti manje atraktivne. Radi toga postoje i druge inicijative, tako npr. da se zakonski bonificiraju sva postrojenja koja povezuju snagu i toplinu

[1] O elektromobilima i pripadnim baterijama dosta je pisano u ovoj rubrici,kao npr. Energija 1994, br. 5, 1995. br. 1, 2, 5/6, 1996. br. 2

s električnom energijom do 5000 kW, ali to još nije sazrelo. Ima ideja da se u cilju promicanja vjetrenjača uvede "Windpfennig" (Pfenig za vjetar), koji bi opteretio sve potrošače svih saveznih republika. To predlažu iz Schleswig- Holstein-a. Međutim to bi moglo uskoro izazvati traženje uvođenja pfeniga za vodu.
Magistrat grada Aachen-a pokušao je probiti tabu bonifikacije napajanja, što je izglasao pokrivanje troškova struje od sunca sa 2 DM/kWh i struje iz vjetra sa 0,30 DM/kWh, ograničeno do ukupne snage 1000 kW. To je išlo na odobrenje, ali je odbijeno. Posebno su na otpor naišle solarne elektrane s obzirom na vrlo visoku cijenu proizvedenog kWh.
Slične su inicijative za pokrivanje troškova bile i u drugim krajevima Njemačke. U međuvremenu po zakonu o opreuzimanju električne energije od strane distributivnih poduzeća subvencioniraju se potrošači sa okruglo 50 milijuna DM. Tako je proizvodnja električne energije iz obnovljivih izvora posljednjih godina u rastu, ali se to razvija polagano, jer visoki troškovi obnovljivih energija predstavljaju odlučujuću zapreku za njihovo širenje.

Siemens Standpunkt, 7. godište, svibanj 1994, 3/94.

E. H.

HIDROELEKTRANA KARKAMIS (TURSKA)

Hidroelektrana Karkamis na rijeci Eufratu, 5 km uzvodno od granice sa Sirijom, u Anadoliji, proizvodit će prosječno 650 GWh godišnje, a predviđena je kao isključivo energetsko postrojenje. To je najnizvodnije postrojenje lanca elektrana u okviru velikog programa razvoja poljoprivrede u južnoj Anadoliji. Elektrana će ujedno omogućiti jednakomjernije ispuštanje vode u Siriju. Karamis je prije svega od velikog značaja za opskrbu električnom energijom Turske i za razvoj njene privrede. Do 2000. godine bi se potrebe energije Turske trebale gotovo udvostručiti. Po dimenzijama HE Karkamis je usporediva sa HE Freudenau na Dunavu, ali ima veći broj *ispusnih organa*. Ukupna snaga je 193 MW. Ovaj zajednički projekt austrijskih i turskih poduzeća stajat će preko dvije milijarde ATS. Bit će ugrađeno šest cijevnih proizvodnih jedinica s generatorima po 34,8 MVA, tri glavna transformatora i dva transformatora vlastite potrošnje kao i sva ostala oprema (rasklopna postrojenja niskog, srednjeg i visokog napona, zaštita, uzbuda, tehnika vođenja, kranovi i ostala postrojenja). S obzirom na veličinu postrojenja predviđeno vrijeme gradnje je vrlo kratko, samo četiri godine.

Elin News, 18 siječanj 1996.

E. H.

ENERGIJA IZ MALOG PADA

El Hoyo, na rijeci Esla, u provinciji Zamora u Španjolskoj, spada u niz hidroelektrana koje su na rijekama u velikim ravnicama sa malim padom. Stoga su za proizvodnju el. energije potrebne znatne količine vode, odnosno potrebne su velike turbine i s tim građevine velikih dimenzija. Pri maloj proizvodnji energije rentabilnost postrojenja postavlja velike zahtjeve graditeljima elektrane. Velike godišnje varijacije vodnih količina rijeke dodatno negativno utječu na ekonomičnost.
Stoga investicije za takvu elektranu moraju biti što je moguće niže. Istovremeno, a u tom je poseban izazov, ne smije biti zanemarena kvaliteta i pogonska sigurnost opreme, jer ispadi proizvodnje utječu na rentabilnost. Da bi pogonski troškovi mogli biti niski, postrojenje mora bez posebnih zahvata samostalno raditi.
Stoga je za El Hoyo razrađen i realiziran odgovarajući koncept (Sulzer Hydro). Nova elektrana je građena uz korištenje infrastrukture stare ustave, ali je dimenzionirana za znatno veću količinu vode. Uz bruto pad 3,63 m nova dozvoljena količina vode iznosi 105 m^3/s.
Na osnovi navedenih podataka razrađene su studije izvodljivosti pa je izbor pao na dvije, po veličini jednake, takozvane Semi-Kaplan turbine. Te kompakt-Kaplan turbine imaju fiksno privodno kolo i regulacione lopatice rotora. Pri manjim količinama vode u pogonu će biti samo jedna turbina s odgovarajuće visokim stupnjem korisnosti.
Postrojenje se sastoji iz jednog vodozahvata, jednog dovodnog kanala s ulaznom komorom, strojarnice i trafo-postrojenja. Od vodozahvata na rijeci Esla voda se dovodi kanalom dužine 723 m preko ulazne komore s rešetkom i strojem za čišćenje u strojarnicu, gdje pokreće obadvije turbine, promjera rotora 3,5 m. Brzina vrtnje turbina je 85°/ min, koja se prenosnim mehanizmom povećava na brzinu vrtnje generatora 600 o/min. Svaka turbina ima snagu 1800 kW, dok je prividna snaga generatora po 2150 kVA, napon im je 6kV, koji se u obližnjem trafopostrojenju povisuje na 45 kV.
Postrojenje El Hoyo je točno po planu nakon 18 mjeseci bilo na mreži, što je bitno za ekonomičnost, a pogotovo što predviđena ulaganja nisu bila prekoračena. Ukupne investicije su iznosile 7,1 milijuna SFr. Investicije po instaliranom kW iznose 2100 SFr. Uz godišnju proizvodnju od 13,6 milijuna kWh investicija će biti amortizirana za 4,3 godine.
I u postrojenju El Hoyo mogla je biti ostvarena ravnoteža između ekonomičnosti i pogonske pouzdanosti, i to usprkos malog pada i velikih razlika dotoka vode, tako da su očekivanja u potpunosti ispunjena.

Technical Review Sulzer, 3/1996.

E. H.

MODERNA HIDROELEKTRANA UZ STARU USTAVU

Lucern gradi novu elektranu samo pet minuta hoda daleko od poznatog Keplller-ovog mosta. U neposrednoj blizini je jedno od najstarijih hidrauličkih postrojenja u Europi još u funkciji, takozvana iglasta ustava. Od 175 drvenih stupova - igala - već prema razini vode više ili manje ih se vadi, da bi vodostaj Veierwaldstätter-skog jezera bio konstantan. Još 1178. godine pomoću tada još neregulirane ustave dovođena je voda do mlinova u gradu. 1888. godine je bilo izgrađeno malo postojenje sa tri Jonval turbine, koje su prvo korištene za mehaničku, a od 1926. godine za električnu energiju. 1977. godine postrojenje je stavljeno van uporabe iz razloga sigurnosti.
Od 1998. godine opet će se proizvoditi električna energija, i to pomoću dviju proizvodnih jedinica, cijevnih turbina sa stožastim zupčanikom, s rotorima turbina promjera 2,6 m. One će koristiti mali pad s maksimalno 2,1 m i proizvoditi godišnje 4,3 GWh električne energije. Dodatni radovi su minimalni radi što boljeg uklapanja u povijesni okoliš. Buka će, u skladu sa stambenom zonom, biti odgovarajuće mala.

Technical Review Sulzer, 3/1996.

E. H.

industrogradnja d.d.
PODUZEĆE ZA GRAĐENJE, PROJEKTIRANJE, KONZALTING, PROIZVODNJU, TRGOVINU, VANJSKO-TRGOVINSKO POSLOVANJE, UGOSTITELJSTVO I TURIZAM, ZAGREB

ELKA

UTEMELJENA 1927. god.

PROIZVODNI PROGRAM

- ENERGETSKI KABELI
- SAVITLJIVI I INSTALACIJSKI VODOVI I KABELI IZOLIRANI TERMOPLASTIMA
- SAVITLJIVI I INSTALACIJSKI VODOVI I KABELI IZOLIRANI ELASTOMERIMA
- BRODSKI KABELI
- KABELI I KONEKTORI ZA AERODROMSKE INSTALACIJE
- TELEKOMUNIKACIJSKI KABELI
- SIGNALNO-UPRAVLJAČKI, MJERNI I KABELI ZA INFORMATIČKE MREŽE
- RUDARSKI KABELI
- KABELI ZA ZAVARIVANJE
- SPECIJALNI VODOVI I KABELI
- KONFEKCIONIRANI KABELI I VODOVI
- LAKIRANA ŽICA
- ALUMINIJSKA, ALU-ČELIČNA I UŽAD OD ALUMINIJSKIH LEGURA
- ZAŠTITNA UŽAD SA SVJETLOVODNIM NITIMA (OPGW)
- ČELIČNA UŽAD I PRIVEZICE ZA DIZALICE, BRODOVE I DRUGE NAMJENE
- IZOLACIJSKI MATERIJALI

Planeta Zemlja...

Čovjek...

Kabeli...

ELKA d.d.
Tvornica električnih kabela
Žitnjak bb, 10 000 ZAGREB
TEL: 01/ 233 22 00
FAX: 01/22 38 98

ELKA
TVORNICA ELEKTRIČNIH KABELA

70 GODINA ISKUSTVA ■ TRADICIJA I KVALITETA UJEDINJENA U JEDNOM IMENU

POGON I: ELKA-METALNA UŽARIJA, BIOGRADSKA BB, 23 000 ZADAR; TEL.: ++385 (023) 43 69 22; FAX: ++385 (023) 44 16 72

POGON II: ELKA-MIKROKABEL, TUGONICA BB, 49 247 ZLATAR BISTRICA; TEL.: ++385 (049) 48 14 22; FAX: ++385 (049) 46 11 39

PARAMETARSKA ANALIZA IMPULSNIH ZNAČAJKI SLOŽENIH UZEMLJIVAČA

Dr. sc. Srđan Žutobradić — prof. dr. sc. Zijad Haznadar, Zagreb

UDK 621.316.992:621.3.053
IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

Ponašanje uzemljivača elektroenergetskih postrojenja prilikom odvođenja struja groma potrebno je poznavati kod analize prenaponske zaštite postrojenja, te elektromagnetske kompatibilnosti (EMC). Zato su u ovom članku prikazani rezultati proračuna impulsnih karakteristika složenih uzemljivača. Utjecajne veličine variraju u realno očekivanim granicama.

Ključne riječi: impulsne značajke uzemljivača, parametarska analiza, složeni uzemljivači.

1. UVOD

Uzemljivači elektroenergtskih postrojenja imaju dvojaku funkciju:

- odvode u zemlju struje dozemnih kvarova, te struje uvjetovane atmosferskim prenaponima
- omogućavaju formiranje "referentnog" (jednakog) potencijala, što je važno sa stanovništva priključka elektroničkih uređaja.

Lokalne razlike potencijala na uzemljivaču mogu dovesti do neispravnog rada elektroničke opreme, odnosno do oštećenja sekundarnih kabela. U stvarnim uvjetima, takva situacija nastupa samo kod odvođenja impulsnih struja u zemlju. S obzirom da je elektronička tehnologija sve zastupljenja u elektroenergetskim postrojenjima, proučavanju impulsnih značajki uzemljivača trebat će posvetiti više pozornosti.

Pri odvođenju struja groma u zemlju uzemljivač treba drugačije promatrati nego pri odvođenju stroja industrijske frekvencije (50/60 Hz). Razlog je u impulsnom karakteru struje groma. Zbog toga dolazi do izražaja utjecaj uzdužnog induktiviteta uzemljivača (naročito na terenima bolje vodljivosti), te poprečnog kapaciteta elemenata uzemljivača (na terenima loše vodljivosti). Osim toga, pri odvođenju velikih struja groma dolazi do ionizacije tla u okolišu uzemljivača, usljied čega se formira vodljiva zona oko elemenata uzemljivača, pa se smanjuje njegova impedancija.

Osnovna veličina koja karakterizira uzemljivač pri odvođenju struje groma u zemlju jest impulsna impedencija z, koja je funkcija vremena. Za potrebe praktičnih proračuna obično se definira tzv. konvencionalna impedancija uzemljenja:

$$Z = \frac{V_{max}}{i_{max}} \qquad (1)$$

Odnos naedene impedancije i stacionarnog otpora uzemljenja definira se kao impulsni koeficijent:

$$\alpha = \frac{Z}{R} \qquad (2)$$

Impulsni koeficijent može poprimiti veoma različite vrijednosti (veće ili manje od 1), ovisno o geometrijskim značajkama uzemljivača, vrsti tla, te karakteristikama struje groma (trajanju čela strujnog vala i amplitudi). Prema tom, impulsna impedancija uzemljivača razlikuje se u većoj ili manjoj mjeri od otpora uzemljivača pri odvođenju struja industrijske frekvencije.

U ranijim radovima (/1/, /2/) opisan je matematički model za proračun impulsnih značajki uzemljivača, koji će se koristiti i u ovom radu. Osnovne postavke modela jesu:

- Modeliranje struje groma kao sume konačnog broja sinusnih i kosinusnih članova (uz primjenu Fourierovog integralnog teorema)
- Rastavljanje složenih uzemlivača na tanke pravocrtne elemente kružnog presjeka
- Modeliranje pravocrtnih elemenata na koje se rastavlja uzemljivač pomoću ekvivalentnih π-shema
- Proračun uzemljivača za svaku frekvenciju, pomoću uobičajenih metoda za analizu elektroenergetskih mreža
- Uvažavanje frekvencijske ovisnosti parametara ekvivalentnih π-shema (/4/)

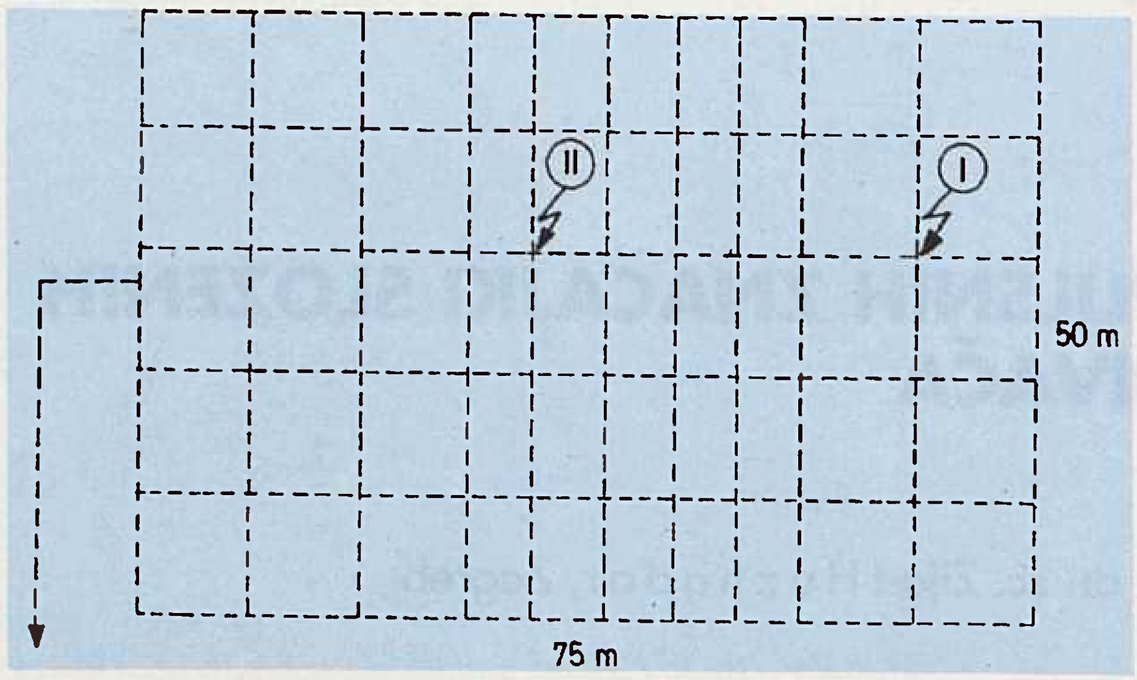
Njegova je prednost što omogućava analizu uzemljivača složenijih konfiguracija, koji se koriste kod postrojenja 110/10(20) kV.

2. ULAZNI PARAMETRI

Parametarska analiza impulsnih značajki uzemljivača izvršena je za konfiguraciju prikazanu na sl. 1. Prikazani uzemljivač je tipičan za izvangradske transformatorske stanice 110/10(20) kV, koje se koriste u elektroenergetskoj mreži Hrvatske elektroprivrede. Te stanice izvode se sa jednostrukim sabirnicama 110 kV, te sa dva vodna polja i dva transformatorska polja 110 kV. U njih se obično ugrađuju dva transformatora, nazivne snage do 20 MVA.

Specifični otpor tla variran je u širokim granicama:

$\rho = 50\ \Omega m$ (tlo vrlo dobre vodljivosti)
$\rho = 100\ \Omega m$ (tlo dobre vodljivosti)
$\rho = 500\ \Omega m$ (tlo umjereno loše vodljivosti)



Slika 1. Uzemljivač TS 110/10(20) kV

ρ = 1000 Ωm (tlo loše vodljivosti)
ρ = 5000 Ωm (tlo vrlo loše vodljivosti)

Treba napomenuti da su u Hrvatskoj prisutni tereni svih navedenih vodljivosti.

Ulazna struja u uzemljivač u velikoj mjeri uvjetuje impulsne značajke uzemljivača. Glede oblika impulsne struje mogu se definirati dva karakteristična slučaja (/1/):

- *Strmi* strujni impuls, koji se opisuje dvostrukom eksponencijalnom funkcijom sa trajanjem čela/hrpta **1.8/30 µsek**. Takav strujni impuls (struja) groma pojavljuje se najviše u 5% slučajeva.
- *Prosječni* strujni impuls, koji se opisuje dvostrukom eksponencijalnom funkcijom sa trajanjem čela/hrpta **5.5/70 µsek**. Takav strujni impuls (struja) groma, odnosno impuls sa još dužim parametrima pojavljuje se najviše u 50% slučajeva.

Veličina ulazne struje u sustav uzemljenja ovisi o lokaciji atmosferskog pražnjenja. Moguće su dvije bitno različite situacije:

- Udar groma u ulazni portal TS 110/10(20) kV, na koji su postavljeni gromobranski šiljci. U tom slučaju, najveći dio struje groma ulazi u uzemljivač postrojenja. Taj slučaj smatra se kritičnim, iako je relativno rijedak. Lokacija ulaznog portala označena je na sl. 1, sa I.
- Udar groma u zaštitne vodiče priključenih nadzemnih voda 110 kV, osim u neposrednoj blizini ulaznog portala. Ukoliko dođe do povratnog preskoka na fazne vodiče, pojavit će se prenaponi koji će se širiti do susjednih TS 110/10(20) kV, te će kroz odvodnike prenapona u 110 kV postrojenjima prijeći u zemlju. Struje koje se preko odvodnika odvode u zemlju relativno su niske; no njihova pojava češća je nego u prethodnom slučaju. Lokacija jednog sloga odvodnika prenapona 110 kV označena je na sl. 1, sa II.

2.1. Udar groma u ulazni portal

Prilikom određivanja vjerojatnosti udara groma u ulazni portal, odnosno u zaštitne vodiče između portala i prvih susjednih stupova nadzemnih vodova 110 kV, polazi se od empirijske formule:

$$N_L = 1.12 \cdot T_d^{1.25} \cdot H^{0.6} \cdot X \cdot 10^{-3} \qquad (3)$$

gdje su:

N_L – broj udara gromova u izloženi vod (/god.)
T_d – broj grmljavinskih dana (/god.)
H – visina izloženog voda (m)
X – dužina izloženog voda (km)

U konkretnom slučaju, navedeni parametri poprimaju slijedeće vrijednosti:

T_d = 20-40 grmljavinskih dana godišnje
H = 30 m (visina zaštitnog vodiča iznad tla)
X = 150 m (zbroj udaljenosti između lijevog i desnog susjednog stupa, te portala)

Uvažavajući gornje vrijednosti dobiva se veličina N_L:

$$N_L = \mathbf{0.054 - 0.13\ (udara/god.)}$$

Drugim riječima, očekuje se jedan udar groma u portal, odnosno u zaštitne vodiče neposredno uz portal svakih 8-18 godina. To je vrlo nepovoljna situacija.
Vjerojatnost udara groma sa amplitudom većom od vrijednosti I_m može se odrediti pomoću formule:

$$p(I \geq I_m) = \frac{1}{1 + (I_m / 31)^{2.6}} \qquad (4)$$

Pomoću gornje formule može se pokazati da će 95% udara gromova rezultirati strujama većim od 10 kA; 75% udara gromova rezultirat će strujama većim od 20 kA; a 52% gromova rezultira strujama većim od 30 kA, itd. Prema tome, sa sigurnošću se može reći da će prilikom udara groma u portal ulazna struja u uzemljivač biti veća od:

$$I = 10 \text{ kA}$$

U mnogim slučajevima ta struja će biti i višestruko veća.

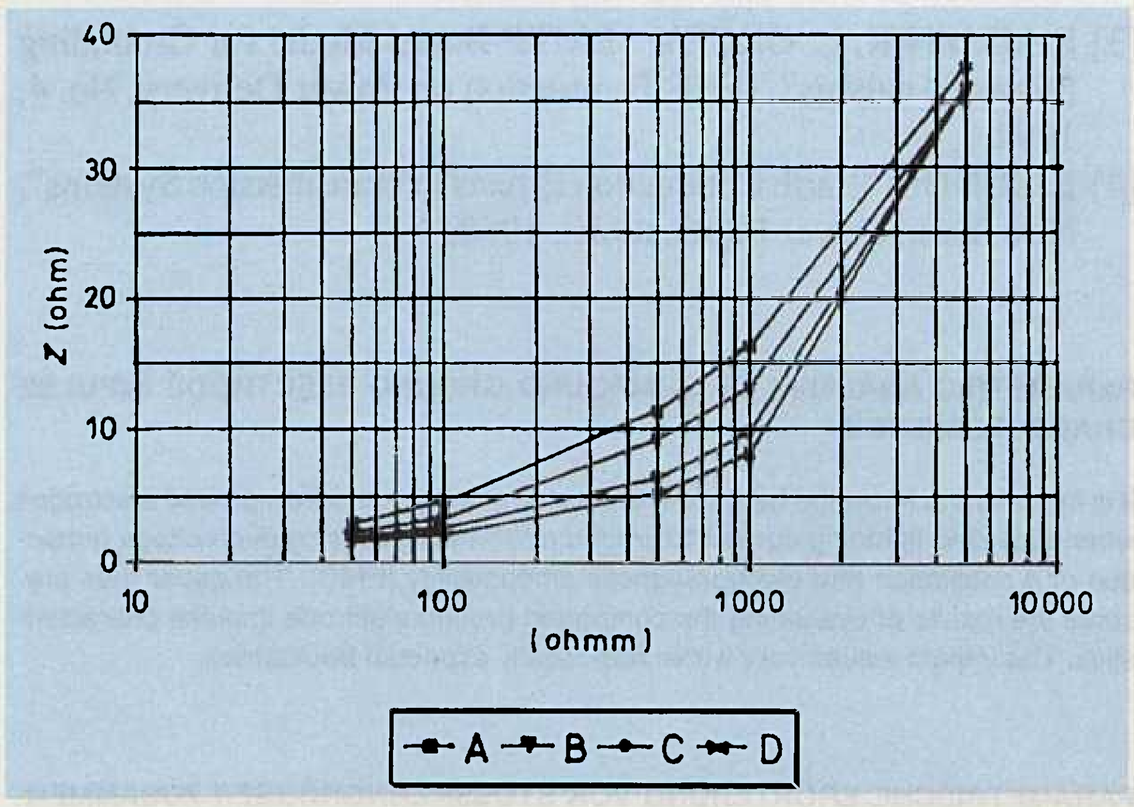
2.2. Udar groma u vod 110 kV, dalje od ulaznog portala

Udar gromova u priključene vodove 110 kV u pravilu će završiti na njihovim zaštitnim vodičima. Ovisno o veličini impulsnih impedancija uzemljivača stupova, te značajkama stuje groma može doći do povratnog preskoka na neki od faznih vodiča, uslijed čega nastaje prenapon koji se širi po vodu do susjednih TS 110/10(20) kV. U transformatorskim stanicama prenaponi se odvode u zemlju preko odvodnika prenapona. Te struje su u pravilu relativno niske, jer su ograničene valnom impedancijom voda (< 2 kA). No, vjerojatnost njihove pojave je veća u odnosu na struje uvjetovane izravnim udarima groma u ulazni portal. Ta vjerojatnost ovisi o više veličina, kao što su: dužina priključenih vodova 110 kV, vrijednosti impulsnih impedancija uzemljivača stupova, godišnjem broju grmljavinskih dana.

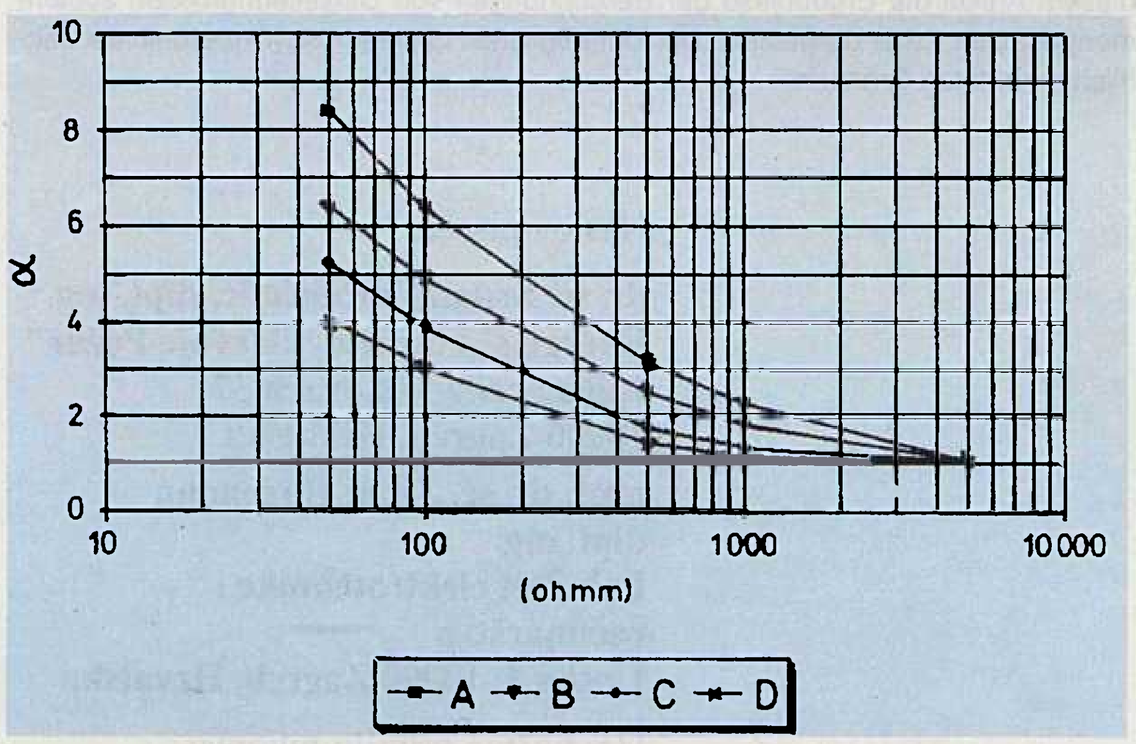
3. REZULTATI PRORAČUNA IMPULSNIH ZNAČAJKI UZEMLJIVAČA

Rezultati proračuna impulsnih impedancija uzemljivača (Z), te impulsnih koeficijenata (α) prikazani su na sl. 2 i 3. Specifični otpor tla variran je u granicama 50-5000 Ωm. Izvršene su četiri serije proračuna sa slijedećim ulaznim parametrima:

A – impulsna struja oblika 1.8/30 µsek., ulazni čvor I (portal)
B – impulsna struja oblika 1.8/30 µsek., ulazni čvor II (odvodnik prenapona)
C – impulsna struja oblika 5.5/70 µsek., ulazni čvor I (portal)



Slika 2. Impulsne impedancije



Slika 3. Impulsni koeficijenti

D – impulsna struja oblika 5.5./70 μsek., ulazni čvor II (odvodnik prenapona)

Analizom dobivenih rezultata sa sl. 2, a naročito sl. 3 dolazi se do slijedećih zaključaka:

- Impulsne impedancije velikih uzemljivača višestruko su veće od stacionarnih otpora, na terenima dobre vodljivosti tla. Tek na terenima visokog specifičnog otpora tla te razlike se smanjuju, odnosno nestaju.
- Impulsne impedancije uzemljivača na terenima dobre vodljivosti tla ovise o lokaciji ulaznog čvora, u koji ulazi impulsne struja.
- Na terenima dobre vodljivosti tla, impulsne impedancije uzemljivača su značajno veće u slučaju pojave strme impulsne struje (1.8/30 μsek.)

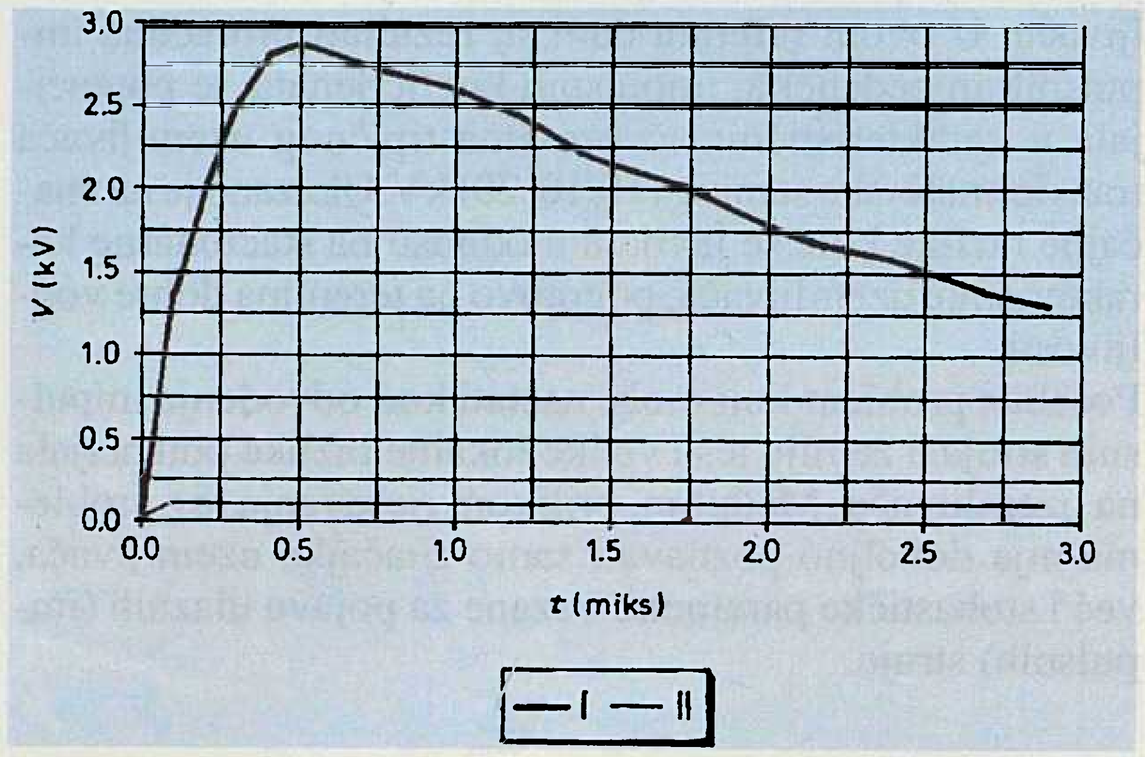
Također je istražen utjecaj ugradnje vertikalnih sondi na veličinu impulsnih impedancija uzemljivača. Taj utjecaj je relativno skroman – na terenu specifičnog otpora tla $\rho =$ 50 Ωm, uz ulaznu struju oblika 1.8/30 μsek. ugradnja sondi rezultira smanjivanjem impulsne impedancije od 22%. U svim drugim slučajevima smanjivanjeimpulsne impedancije je ispod 20%. Na područjima visokog specifičnog otpora tla ($\rho \geq 500$ Ωm) utjecaj sondi je praktički zanemariv.

Na sl. 4 i 5 prikazani su potencijali uzemljivača na mjestu spoja ulaznog portala s uzemljivačem (čvor I), te čvoru II (spoj odvodnika prenapona na uzemljivač). Pretpostavljena je kombinacija ulaznih parametara "A", uz amplitudu ulazne struje u iznosu od:

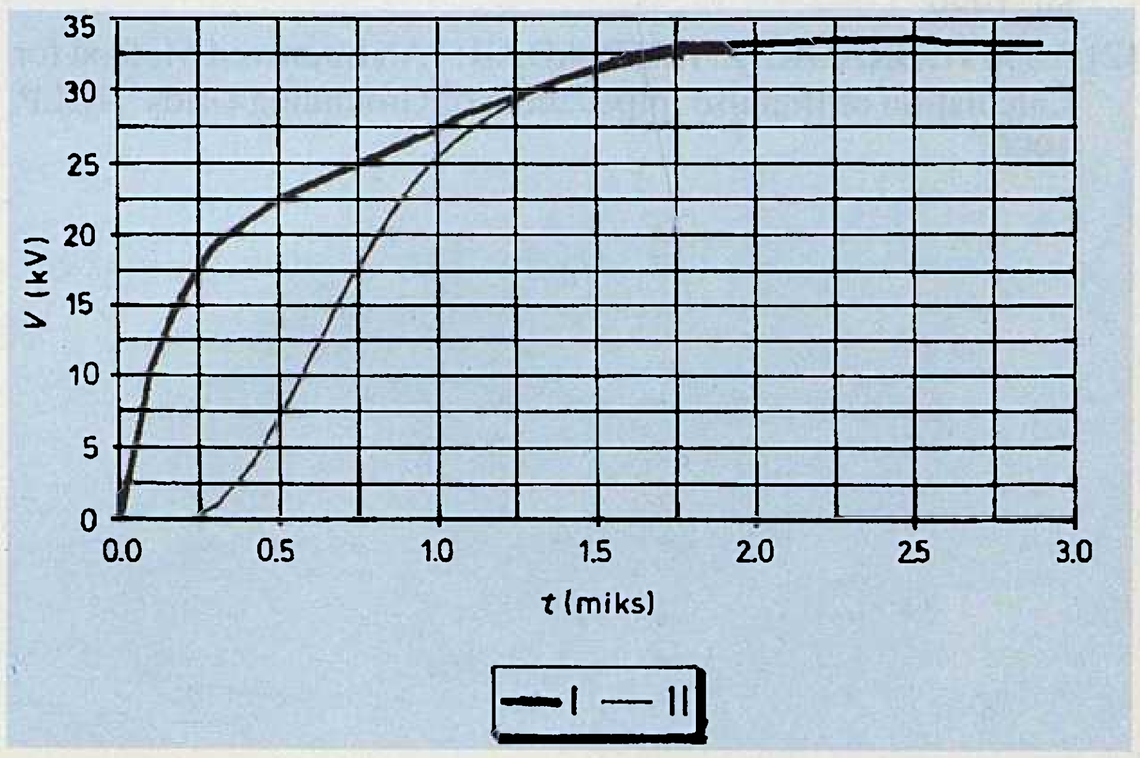
$$I_m = 1 \text{ kA}$$

Dakako, za ovaj slučaj (udar groma u ulazni portal) očekuju se znatno veće amplitude ulazne struje. Prema tome, vrijednosti sa sl. 4 i 5 treba preračunati na stvarne očekivane vrijednosti, množeći ih faktorom I/I_m.

Specifični otpor tla zadan je sa dvije ekstremne vrijednosti: 50 Ωm, te 5000 Ωm.



Slika 4. Impulsni naponi (specifični otpor tla 50 Ωm)



Slika 5. Impulsni naponi (specifični otpor tla 5000 Ωm)

Kao što vidi na navedenim slikama, lokalne razlike potencijala na uzemljivaču mogu poprimiti značajne iznose, i to:

- Kod uzemljivača ukupnog u tlo vrlo dobre vodljivosti (50 Ωm) razlika potencijala čvora I i II iznosi oko 2.8 kV/(za 1 kA ulazne struje)
- Kod uzemljivača ukupnog u tlo vrlo loše vodljivosti (5000 Ωm) razlika potencijala čvorova I i II iznosi oko 15 kV /(za 1 kA ulazne struje)

Relativne razlike potencijala su puno veće kod uzemljivača ukopnog u dobro vodljivom tlu. Potencijal udaljenog čvora (II) praktički je potpuno prigušen, u promatranom vremenskom razdoblju. Međutim, apsolutne razlike po-

tencijala su znatno veće kod uzemljivača ukopanog u loše vodljivom tlu, zbog puno veće konvencionalne impedancije uzemljenja. U stvarnim uvjetima, prilikom udara groma u ulazni portal kroz uzemljivač će se odvesti u zemlju struje od 10 kA i veće. Tada se mogu očekivati lokalne razlike potencijala između 28 i 150 kV, pa i veće.

4. ZAKLJUČCI

Kod rješavanja problema elektromagnetske kompatibilnosti, te prenaponske zaštite elektroenergetskih postrojenja potrebno je poznavati impulsne značajke složenih uzemljivača. U ovom referatu dani su rezultati proračuna impulsnih impedancija, impulsnih koeficijenata, te potencijala u karakterističnim čvorovima tipičnog uzemljivača transformatorske stanice 110/10(20) kV. Ukazano je na značajne razlike koje se javljaju u odnosu na stacionarne karakteristike uzemljivača, pogotovo na terenima dobre vodljivosti.

Poseban problem koji može nastati kod odvođenja impulsnih struja u zemlju jesu velike lokalne razlike potencijala na uzemljivaču. Međutim, prilikom rješavanja tog problema nije dovoljno poznavati samo značajke uzemljivača, već i stohastičke parametre vezane za pojavu ulaznih (impulsnih) struja.

LITERATURA

[1] S. ŽUTOBRADIĆ: "Doprinos istraživanju impulsnih karakteristika uzemljivača", doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 1989.

[2] S. ŽUTOBRADIĆ, Z. HAZNADAR: "An Improved Method for Calculation of Impulse Impedances of Grounding Grids", ICLP, 1990.

[3] F. MENTER, L. GRČEV: "EMTP-Based Model for Grounding System Analysis", IEEE Transaction on Power Delivery, No. 4, 1994.

[4] E. SUNDE: "Earth Conduction Effects in Transmission Systems", New York, Dover Publications, 1968.

PARAMETRIC ANALYSIS OF COMPOUND GROUND ELECTRODE IMPULSE CHARACTERISTICS

It is important to know the behaviour of electric energy substation ground electrodes when providing lightning current to ground and when analysing overvoltage protection of a substation and electromagnetic cmopatibility (EMC). The paper thus presents the results of evaluating the compound ground electrode impulse characteristics. The impact values vary within realistically expected boundaries.

PARAMETRISCHE ERÖRTERUNG VON STOSSKENNGRÖSSEN ZUSAMMENGESETZTER ERDER

Bei der Erörterung des Überspannungsschutzes und der elektromagnetischen Verträglichkeit der Anlagen ist es notwendig das Verhalten von Erdern der Stromversorgungsanlagen bei der Abführung von Blitzströmen zu kennen. Deswegen sind in diesem Artikel die Ergebnisse der Berechnungen von Stosskenngrössen zusammengesetzter Erder dargestellt. Die Einflußgrößen bewegen sich innerhalb der sachlich erwarteten Grenzen.

Naslov pisaca:

dr. sc. Srđan Žutobradić, dipl. ing.
Energetski institut "Hrvoje Požar"
Ulica grada Vukovara 37
10000 Zagreb, Hrvatska

prof. dr. sc. Zijad Haznadar, dipl. ing.
Fakultet elektrotehnike i računarstva
Unska 3, 10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1996 – 11 – 29

SIGURNOST KOD PRIMJENE PRIVREMENIH ELEKTRIČNIH INSTALACIJA NA GRADILIŠTIMA

Egon Mileusnić, Zagreb

UDK 692.6:621.311
PREGLEDNI ČLANAK

Električne instalacije na gradilištima izložene su teškim uvjetima, kao što su mogućnosti mehaničkih i kemijskih oštećenja, vodi i lošim klimatskim uvjetima. To uvjetuje strože kriterije pri izboru opreme i zaštitne mjere od udara električne struje. Članak razrađuje ove povećane zahtjeve za električne uređaje i postrojenja i daje neke osnovne upute za ispravno održavanje postrojenja.

Ključne riječi: električne instalacije, gradilište, siguran pogon.

UVOD

Gradilište je težak pogon. Svi primjenjeni tehnički uređaji, a posebno električna oprema i strojevi u velikoj mjeri izloženi su oštećenjima. Razne vrste oštećenja mogu biti uzrokovane padovima, udarcima, vodom i lošim vremenskim uvjetima, kao što su: izloženost suncu, hladnoći i toplini.

Vrlo velika pogreška može proizaći iz činjenice da su električne instalacije i uređaji na gradilištu privremeno. To uzrokuje pojavu loših provizornih rješenja, a time i povećane opasnosti. Pod pojmom privremenosti električnih instalacija na gradilištu podrazumijeva se vremenski ograničeno i kraće zadržavanje električnih instalacija i uređaja na jednom mjestu. Ti isti uređaji, zajedno s električnom instalacijom, nakon završnog rada na jednom mjestu, moraju i nadalje biti sposobni obavljati rad na nekom drugom mjestu. Prema tome električna oprema zajedno s električnom instalacijom mora biti dimenzionirana i odabrana za jedan trajan pogon, teške uvjete, ali s povremenom promjenom mjesta rada i privremenim zadržavanjem na tom mjestu.

S obzirom na teške uvjete okoliša i mjesta rada, postavljaju se, također, i stroži zahtjevi u pogledu zaštite od električnog udara. Zbog toga oprema, instalacije kao i mjere zaštite moraju biti u skladu sa zahtjevima posebnih normi.

MJESTO I NAČIN NAPAJANJA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM

Gradilišta se napajaju električnom energijom iz posebnih, u tu svrhu određenih mjesta napajanja.

Pod mjestom napajanja podrazumijevamo dodirno mjesto između izvora električne energije, npr. javne distribucijske mreže, i posebne električne mreže na gradilištu. Tako pod mjestom napajanja smatramo glavni priključni ormarić do kojeg dovodimo električnu energiju dobivenu iz nekog izvora, a zatim je razvodimo po gradilištu iz tog priključnog ormarića.

Na gradilištima se susrećemo sa slijedećim izvorima napajanja električnom energijom:

– iz javne distribucijske mreže niskog napona
– iz javne distribucijske mreže visokog napona
– iz industrijskih električnih mreža
– iz vlastitih posebnih agregata.

Svaki od ovih načina napajanja traži poštivanje određenih zahtjeva kako bi se momogućio siguran pogon.

Nije dozvoljen priključak instalacije gradilišta na instalacije stambenih i industrijskih objekata bez prethodne provjere ispravnosti zaštite od indirektnog dodira u tim mrežama i bez posebnog priključnog ormarića.

UTJECAJ OKOLINE NA IZBOR OPREME

Osim ako nije drugačije utvrđeno, električna oprema za gradilišta mora udovoljiti slijedećim minimalnim uvjetima vanjskih utjecaja okoline:

– temperatura okoline: -5, +40° C		oznaka AA 4
– prisustvo vode: štrcanje		oznaka AD 4
– prisustvo stranih čvrstih tijela: čestice >1 mm		oznaka AE 3
– mehančka naprezanja: velike jačine		oznaka AG 3
– vibracije: srednje jačine		oznaka AH 2
– osposobljenost osoba:	neobaviješteni	oznaka BA 1
	obaviješteni	oznaka BA 4
	podučeni, stručni	oznaka BA 5
– otpor ljudskog tijela: mali		oznaka BB 2
– dodir osoba s potencijalom zemlje: čest		oznaka BC 3
	trajan	oznaka BC 4

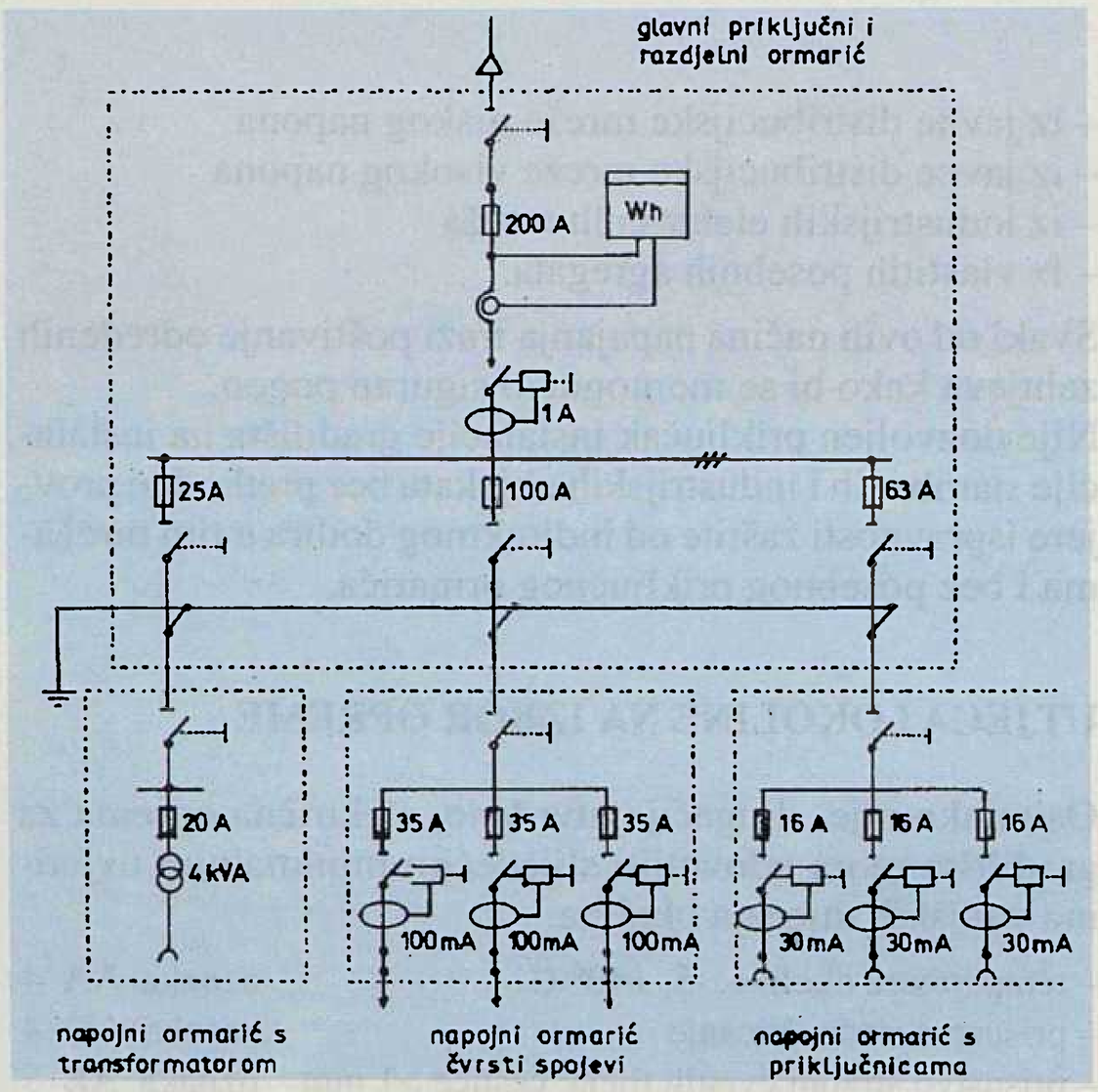
PRIKLJUČNI I RAZDJELNI ORMARIĆI

Priključak i razdioba električnih vodova na gradilišta izvodi se obvezatno iz posebnih ormarića. Susrećemo slijedeće vrste ormarića:

– priključni i mjerni ormarić gradilišta
– glavni razdjelni ormarić
– razdjelni rasklopni ormarić gradilišta,
– napojni ormarić s transformatorom za električno razdvajanje,
– krajnji napojni ormarić.

Danas se ovakovi ormarići proizvode industrijski za nazivne struje od 25 do 630 A, a za nazivne napone do 1000 V.
Priključni i razdjelni ormarići mogu biti iz izolacijskog materijala ili iz metala. Preporuča se korištenje ormarića iz izolacijskog materijala. Ovi ormarići moraju biti mehanički zaštićeni i to najmanje sa zaštitom IP 43, što znači da su zaštićeni od ulaska sitnih čestica većih od 1 mm, i od kiše pod kutem od 60°.
Priključni i razdjelni ormarići treba da sadrže:

– zaštitni uređaj od nadstruja (protiv preopterećenja i kratkog spoja)
– zaštitni uređaj za zaštitu od indirektnog dodira (previsoki napon dodira)
– uređaj za rastavljanje kojim se omogućava rad u beznaponskom stanju
– spojna mjesta za fiksni spoj vodova ili priključnice
– uređaj za hitno isklapanje u slučaju opasnosti kod strojeva gdje je takav uređaj neophodan.



Slika 1. Shema električne instalacije manjeg gradilišta

Na slici 1 prikazana je jednopolna shema napaanja gradilišta. Spojevi svih vodova i zaštitnih vodiča trebaju biti s obuhvatnim ili sličnim stazeljkama. Spojni vijci moraju biti najmanje M-8 i osigurani od odvrtanja s pernim ili sličnim podložnim pločicama.

ZAŠTITA OD DIREKTNOG DODIRA

S obzirom na otežane uvjete zaštita od direktnog dodira izvodi se:
– izoliranjem i
– zaštitom s kućištem ili pregradama,

a u skladu s normom HRN N.B2.741. Električne instalacije niskog napona. Zaštita od električnog udara. (1989).

Zaštita s preprekama i udaljavanjem u pravilu se ne koristi na gradilištima.
Kao što je već rečeno priključni i razdjelni ormarići trebaju imati zaštitu kućištem IP 43, dok ostala učvršćena oprema te priključni pribor (utikači i spojnice) trebaju imati zaštitu najmanje IP 44.

ZAŠTITA OD INDIREKTNOG DODIRA

Na gradilištima se smiju koristiti TT, TN-C/S i IT sustavi, što prvenstveno ovisi o sustavu primijenjenom u električnoj mreži iz koje se napaja gradilište. Ako gradilište ima vlastiti izvor energije (transformator, agregat), onda će u većini slučajeva biti najprikladnij TT sustav.
Sustav IT se izuzetno rijetko koristi i to onda ako neki uređaji, kao npr. crpke za vodu ili ventilatori zahtijevaju neprekidno napajanje i u slučaju zemljospoja u mreži.
Zbog prisustva vode, relativno malog otpora čovječjeg tijela i čestog dodira čovjeka s potencijalom zemlje na gradilištima trajno dopušteni napon dodira iznosi 25 V izmjenične ili 60 V istosmjerne struje. Ako se očekuju veći iznosi napona dodira, onda njihovo trajanje ne smije iznositi više nego što suprikazane vrijednosti u tablici 1.

Tablica 1. Najdulje dopušteno vrijeme trajanja napona dodira

Najdulje dopušteno vrijeme isklapanja (sek.)	Najviši očekivani napon dodira (V)	
	Normalni uvjeti	Loši uvjeti
> 5	50	25
5	50	25
2	56	27
0.8	68	35
0,4	105	54
0,2	210	100
0,1	350	160

Za stabilno položene strojeve koji se napajaju preko fiksno položenih kabela (ne preko priključnica) zaštita od indirektnog dodira može se ostvariti s:

– automatskim isključivanjem napajanja s nadstrujnim zaštitnim uređajima.

Trošila koja se napajaju preko priključnica štite se od indirektnog dodira s:

– zaštitnim uređajima diferencijalne struje s nazivom diferencijalnom strujom $I_{\Delta n} = 30$ mA,
– električnim odvajanjem, pri čemu svaka priključnica mora imati zaseban transformator,
– napajanjem s posebno malim sigurnosnim naponom SELV, i
– uporabom opreme klase II koja je pogodna za ručne prijenosne alate, ali pri tome treba uzimati u obzir činjenicu da ovi alati nemaju uvijek odgovarajuću zaštitu od prskajuće vode (IP X4).

Ako se koriste TN ili IT sustavi, a zaštita se ostvaruje automatskim isključivanjem napajanja, najviša dopuštena vremena isklapanja prikazana su u tablici 2 u ovisnosti o nazivnim naponima.
S obzirom na sve navedene loše uvjete koji vladaju na gradilištu preporuča se izvađanje zaštite od indirektnog dodira u cijeloj mreži gradilišta sa zaštitnim uređajima diferencijalne struje. Na slici 1 prikazan je takav slučaj. Kod primjene zaštitnih uređaja diferencijalne struje neophod-

Tablica 2. Najviša dopuštena vremena isklapanja

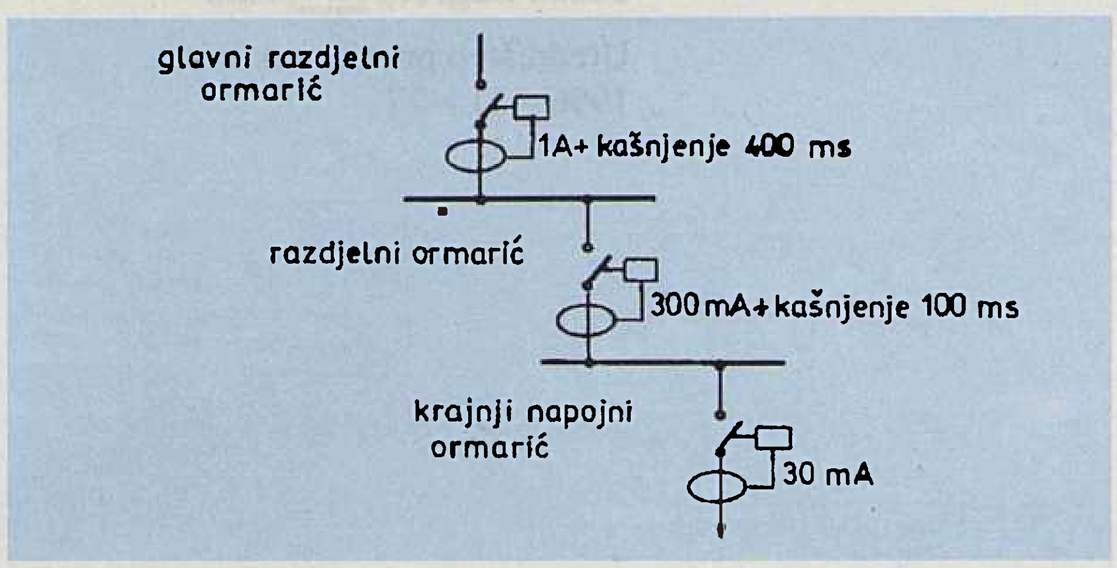
	TN – sustav	IT – sustav		
Nazivni fazni napon	Vrijeme isklapanja	Nazivni mrežni napon	Vrijeme isklapanja s	
U_0 V	s	U_0/U V	s neutralnim vodičem	bez neutralnog vodiča
120	0,35	120-240*	0,4	1
230	0,2	230/400	0,2	0,5
277	0,2	277/480	0,2	0,5
400	0,05	400/690	0,06	0,2
580	0,02	580/1.000	0,02	0,08

* Jednofazni sustav sa tri vodiča.

no je osigurati strujni i vremenski selektivitet s izborom različitih nazivnih diferencijalnih struja i različitih vremena isključivanja.
Obično se vremena isključivanja razvrstavaju u tri razine:

- na glavnoj priključnoj ploči koristi se uređaj s vremenom isključenja od 0,4 s i nazivne diferencijalne struje $I_{\Delta n} = 1$ A,
- u razvodne ormariće ugrađuju se uređaji s vremenom isključenja od 100 ms i nazivne diferencijalne struje $I_{\Delta n} = 300$ ms,
- u krajnje ormariće ugrađuju se uređaji bez vremenskog zatezanja i nazivne diferencijalne struje $I_{\Delta n} = 30$ mA. (Vidi sliku 2.)

Za radne i ostale prostorije gradilišta (kancelarije, garderobe, restorani, spavaonice, toalete i sl.) važe opći zahtjevi dani u normama iz područja instalacija niskog napona u zgradama.



Slika 2. Selektivitet zaštitnih uređaja diferencijalne struje

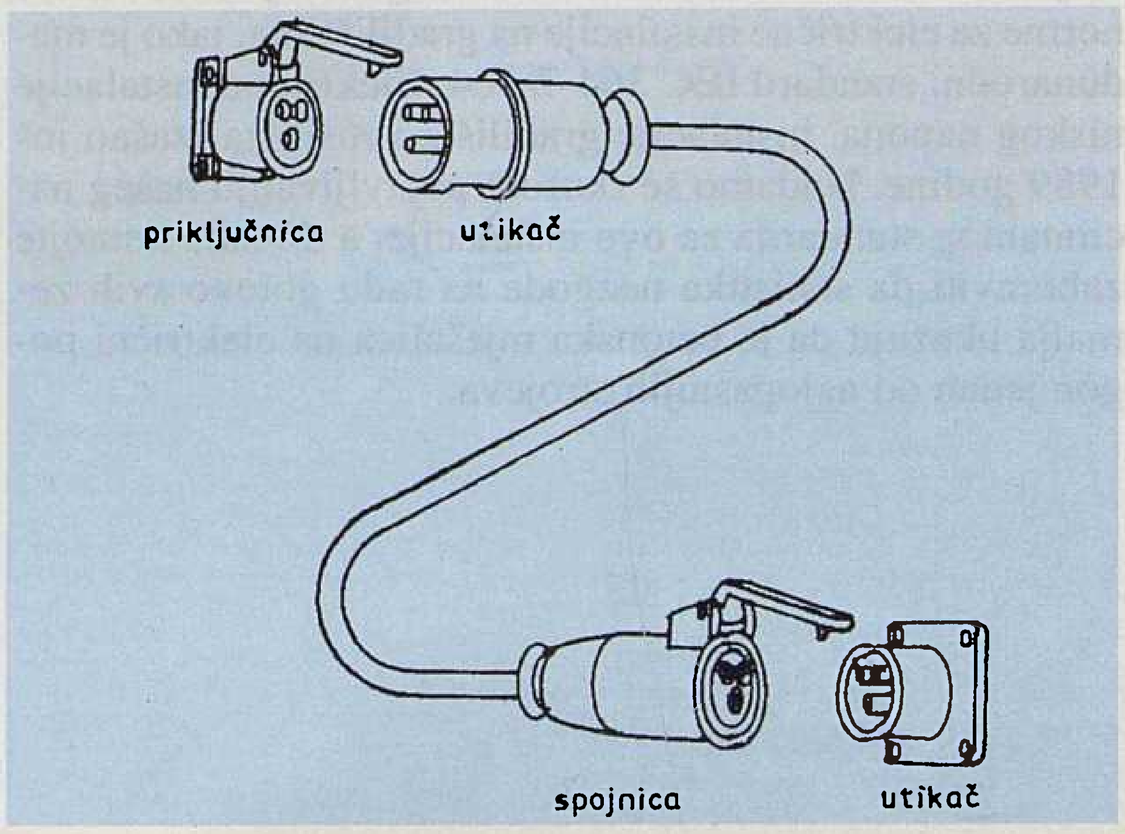
VODOVI

Za sigurnost rada na gradilištima vrlo je značajan pravilan izbor vodova. Oni moraju biti otporni na srednje jako mehaničko naprezanje te otporni na ulja i masti i dovoljno fleksibilni.
Za pomične vodove najbolje će odgovarati jaki, gumom i neoprenom izolirani vodovi tipa GN/J. Vanjski plašt je izrađen od neoprena koji je otporan na vremenske nepogode i odlikuje se velikom mehaničkom otpornošću.
Kada se zahtijevaju savitljivi kabeli, onda se koriste jaki rudnički kabeli, gumom izolirani s neoprenskim plaštem tipa Gn 50.
Za električne prenosive alate i svjetiljke treba primjenjivati srednje jake, gumom izolirane vodove tipa GG/J. Polivinilom izolirani vodovi, kao što su PP/J, nisu podesni za gradilišta jer je polivinil otporan samo u suhim prostorima i na srednjim temperaturama.

Kod polaganja vodova moramo paziti da ih ne polažemo preko komunikacija i da ih ne zatrpavamo zemljom. Električni razvod se mora tako položiti da nema mehaničkih naprezanja na spojevima vodiča.

PRIKLJUČNI PRIBOR

Priključni pribor mora odgovarati IEC normama. Utikači i priključnice su okruglog oblika, izrađene od tvrdog izolacijskog materijala ili gume, te moraju na sebi imati oznaku da su otporne na mehanička naprezaja (znak čekić).
Utikači i priključnice su načinjene s ogrlicom, zaštićene od prskajuće vode i u vodo-tijesnoj izvedbi, a stupanj zaštite je najmanje IP 44.
Broj polova može biti 2L+PE, 3L+PE, 3L+N+PE. Kontakti priključnog pribora su kružno raspoređeni. Kontakt zaštitnog vodiča ima veći promjer od faznih vodiča. Priključnica ima žlijeb, a utikač izdanak radi sprječavanja okretanja priključaka i time i zamjene vodiča. Na slici 3 prikazan je takav priključni pribor.
Produžni kabeli moraju biti namotani na vrtivi kolut.



Slika 3. Priključni pribor

NADZOR I ODRŽAVANJE ELEKTRIČNIH INSTALACIJA

Vlasnik električnih strojeva i instalacija dužan je osigurati trajan nadzor i kvalitetno održavanje električnog postrojenja i uređaja. Radovi na izvođenju i održavanju smiju se povjeriti samo stručno osposobljenim radnicima elektrostruke. Za ispravno održavanje i nadzor mora biti imenovan odgovorni voditelj postrojenja.
Prije puštanja u pogon električne instalacije mora se obaviti tzv. "inicijalno" ispitivanje kompletne električne instalacije, koje se sastoji od vizualnog pregleda, odredjenjih provjeravanja i mjerenja. Nakon uspješnog ispitivanja potrebno je izraditi odgovarajući ispitnu ispravu.
Za uspješno održavanje instalacija treba se pridržavati slijedećih uputa:

- vizualni pregled ispravnosti opreme i instalacije treba obavljati po mogućnosti dnevno, ali najmanje jednom tjedno
- prenosiva trošila treba kontrolirati svaki dan prije korištenja

– provjeriti ispravnost zaštitnih uređaja diferencijalne struje i prekidača pritiskom na ispitno tipkalo
– obaviti provjeru stanja zaštitnih vodiča
– pregledati savitljive vodove i njihov spoj s aparatima, i
– stanje zaštitnih uređaja.

Oštećene uređaje staviti izvan uporabe do izvršenja popravaka i onemogućti njihovo stavljanje u pogon.
Primijećene nedostatke i kvarove, pogotovo one koji su opasni za ljude i postrojenja, odmah otkloniti.
Sigurnosne, zaštitne i kontrolne uređaje ne stavljati izvan uporabe, ne premještati ih niti isklapati bez suglasnosti odgovornog voditelja postrojenja.
Natpisne pločice, znakovi zabrane, upozornja i upute moraju biti ispisane čitko i postavljene na uočljivim mjestima.

ZAKLJUČAK

Nažalost, kod nas se ne posvećuje dovoljna pozornost privremenim instalacijama na gradilištima. Tome pogoduje i činjenica da mi za sada nemamo odgovarajuće hrvatske norme za električne instalacije na gradilištima, iako je međunarodni standard IEC 364-7-704. Električne instalacije niskog napona. instalacije gradilišta i rušilišta izašao još 1989 godine. Nadamo se skorom pojavljivanju našeg nacionalnog standarda za ove instalacije, a do tada nemojte zaboraviti da statistike nezgoda na radu gotovo svih zemalja ukazuju da je betonska mješalica na električni pogon jedan od najopasnijih strojeva.

LITERATURA

[1] IEC 364-7-704 Električne instalacije niskog napona. instalacije gradilišta i rušilišta. 1989.
[2] HRN N. B2.741 Električne instalacije niskog napona. Zaštita od električnog udara. 1989.
[3] Pravilnik o tehničkim normativima za električne instalacije niskog napona. Službeni list br. 53/88.
[4] E. MILEUSNIĆ: "Ispitivanje električnih instalacija niskog napona", izdanje ZIRS - Zagreb 1996.

SECURITY WHEN APPLYING TEMPORARY ELECTRICAL INSTALLATIONS ON SITES

Electrical installations on sites are exposed to difficult conditions, as there are possibilities of mechanical and chemical damages, water und unfavourable climate conditions, creating a need for more severe criteria when choosing the equipment and protection measures from electric energy strike. The paper works out these increased demands on electrical appliances and facilities and it also gives basic instructions for their right maintenance.

DIE SICHERHEITSVORKEHRUNGEN BEI DER ANWENDUNG VORLÄUFIGER ELEKTRISCHER INSTALATIONEN AN BAUSTELLEN

Elektrische Instalationen an Baustellen sind schweren Bedingungen, z.B. möglichen mechanischen und chemischen Beschädigungen, schlechten klimatischen Umständen und dem Wasser, ausgesetzt. Das macht strengere Sicherheitsforderungen in der Auswahl der Ausrüstung und in den Schutzmaßnahmen gegen Stromstoß notwendig. Das Artikel setzt sich mit diesen erhöhten Forderungen auf elektrische Einrichtungen und Anlagen auseinander und gibt einige Grundanweisungen für die regelrechte Instandahaltung von Anlagen.

Naslov pisca:

Egon Mileusnić, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda
Ulica grada Vukovara 37
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1996 – 11 – 27

UTJECAJI GSM MOBILNIH TELEFONA NA RAD SRČANIH ELEKTROSTIMULATORA (PACEMAKERA)

Mr. sc. Dubravko S a b o l i ć, Zagreb

UDK 614.825:621.3
PREGLEDNI ČLANAK

Rad prikazuje mehanizme ometanja električnih stimulatora srca od strane GSM mobilnih telefona, te daje kratak osvrt na ostale probleme elektromagnetske kompatibilnosti vezane za ovu vrstu telekomunikacijske opreme. Dane su sigurnosne preporuke za bolesnike ovisne o ugrađenim srčanim elektrostimulatorima, kao i za ostale korisnike GSM aparata.

Ključne riječi: GSM, srčani elektrostimulator, elektromagnetska kompatibilnost, mjere sigurnosti.

UVOD

U 1996. godini u našoj je zemlji uvedena nova telekomunikacijska usluga u javnoj pokretnoj mreži: sustav mobilne telefonije GSM u mreži komercijalnog naziva CRONET. Riječ je o sustavu s digitalnim načinom prijenosa informacija, koji omogućuje bolje iskorištenje radiofrekvencijskog spektra i poboljšanje usluge u smislu kvalitete i pokrivanja terena. S obzirom na veliko potencijalno tržište koje traži ovu vrstu usluge i za osobne i za poslovne potrebe, razumljiva je zabrinutost javnosti za moguće štetne posljedice po korisnike, premda treba reći i da je ona djelomice prenapuhana nizom loših novinskih članaka i radiotelevizijskih emisija nekompetentnih i neinformiranih novinara.

U Europi usvojen sustav GSM (Groupe Speciale Mobile, francuski naziv stručne grupe Europskog komiteta za poštu i telefoniju CEPT, koja je dobila zadatak normiranja novog sustava mobilne telefonije) radi u frekvencijskom području oko 900 MHz pulsnom emisijom, uz organizaciju pristupa podjelom vremena TDMA (Time Division Multiple Access), sa 8 korisničkih kanala po radiofrekventnom nosiocu. Njegov pandan DCS 1800, s potpuno jednakom shemom emitiranja, radi u području 1800 MHz, a kod nas se još ne koristi. Sjevernoamerički sustav ADC, te japanski JDC, rade na sličnim principima i u sličnim opsezima frekvencija kao i GSM. Svi oni čine tzv. drugu generaciju sustava pokretne telefonije. U pogledu bioloških efekata ovih ouređaja, razlika prema starijim analognim sustavima je u tome što aparati druge generacije zrače u prosjeku manjim vršnim snagama radi nove koncepcije organizacije mreže baznih stanica u male ćelije, te istodobno emitiranja u pulsevima (GSM koristi samo 1/8 ukupnog vremena razgovora), zbog čega je vremenski prosjek snage 8 puta manji od zračne vrijednosti. Prema tome bi valjalo očekivati općenito manje izražene biološke efekte u odnosu na analogne sustave s kontinuiranom emisijom i organizacijom zemaljske mreže u velike ćelije. Međutim, priroda TDMA emisije donijela je jedan novi skup utjecaja na različite elektroničke uređaje. Riječ je, dakle, o pitanjima elektromagnetske kompatibilnosti. U grupi biomedicinskih učinaka ovih tehnologija proučavaju se utjecaji TDMA mobilnih telefona na biomedicinsku elektroničku opremu. Članak koji slijedi pozabavit će se ponajprije smetnjama u radu implantiranih srčanih elektrostimulatora koje uzrokuju GSM telefoni, i koje su doista znanstveno opažene i istraživanje. Dat će se prikaz razloga i načina ometanja, te kratak osvrt na ostalu srodnu problematiku, a s ciljem da se barem donekle popuni potpuna praznina o ovoj mnogima zanimljivoj tematici u literaturi na hrvatskom jeziku. Pritom će biti korišteni nalazi najnovijih istraživanja iz tog područja.

1. ZAŠTO GSM OMETA SRČANE STIMULATORE?

1.1. Odašiljanje s mobilne stanice

Način na koji mobilna stanica GSM-a emitira elektromagnetsku energiju osnovni je uzrok ometanja biomedicinske opreme, koju inače karakterizira rad u pojasu do najviše par stotina Hz, i potpuno je imuna na kontinuirano zračene smetnje na 900 MHz. Detaljan opis djelovanja sustava može se pronaći u [1]. Ovdje će se dati samo osnovni naglasci vezani za rad odašiljača pokretnog telefona, bitni za razumijevanje problematike.

Govorni napon koji nastaje u mikrofonu pretvara se PCM postupkom u digitalni oblik, zatim prolazi dug put restriktivnog kodiranja, da bi na kraju postigao digitalnu struju od samo 22.8 kb/s po kanalu, uz otprilike polovični sadržaj sigurnosnih bitova nastalih konvolucijskim kodiranjem. To znači da je primijenjen velik stupanj kompresije digitalnih podtaka, jer početna PCM pretvorba daje 8000 uzoraka od po 13 bita u svakoj sekundi, dakle 104 kb/s. Nakon zaštitnog kodiranja slijedi tzv. interleving postupak zaštite, zatim šifriranje informacije i konačno, formatiranje bursta. Burst je konačan slijed od 156 + 1/4 bita koji traje 577 μs, i njime se direktno modulira odašiljač. GSM norme definiraju nekoliko standardnih vremenskih intervala, počevši od 0.9 μs za trajanje 1/4 bita, pa do 3 h 28 min 53.760 s za kriptografski hiperokvir. Temeljni vremenski interval u kojemu se prospaja veza mobilne i fik-

sne stanice odašiljanjem spomenutog bursta zove se vremenski prorez (time slot), i traje rečenih 577 μs. Osam takvih proreza čini okvir (frame), koji je prema tome dugačak 4.62 ms. Za to se vrijeme izreda osam različitih korisnika promatranog radiokanala, i to tako da svaki od njih ima na raspolaganju isti prorez koji se ponavlja svakih 4.62 ms, dakle oko 217 puta u sekundi. Drugim riječima, repeticiona frekvencija okvira je približno 217 Hz. Okvir čini prirodnu jedinicu TDMA ciklusa, i kao takav bi načelno bio dostatan za organizaciju vremenskog multipleksa na svakom radijskom nosiocu. Unatoč tome, GSM specificira složeniji algoritam vremenskog preklapanja u multiokvire, superokvire i kriptografske hiperokvire. S obzirom da TDMA primijenjena u ovom sustavu daje korisniku 1/8 ukupnog vremena, konačna brzina bita u toku trajanja bursta je 270.833 kb/s, što usrednjeno na cijeli tijek veze iznosi 8 puta manje: 33.8 kb/s. Za radijski modulator bitan je, naravno, onaj prvi podatak, jer on određuje širinu pojasa na izlazu odašiljača. Mobilna stanica odašilje negdje u području od 890 do 915 MHz, a prima na 45 MHz višoj frekvenciji. GSM propisuje pojasnu širinu od 200 kHz, što znači da modulacija mora imati spektralnu korisnost od 1.35 b/s/Hz. Upotrebljava se varijanta postupka MSK (Minimum Shift Keying) nazvana GMSK (Gaussian MSK) s 3 dB - odrezom osnovnopojasnoga filtra na 81.25 kHz. Detalje ovih postupaka može se vidjeti u [2]. Najbitnije je pogledati spektralni sadržaj u okolini frekvencije nosioca. Usporedba spektara MSK i GMSK postupaka nalazi se na slici 1. S obzirom da se radi o frekventnim modulacijama, spektar sadrži bogate bočne komponente, koje su ipak u GMSK značajno potisnute filtriranjem modulacionog signala. Radi toga ovaj postupak na izlazu odašiljača daje konstantnu amplitudu.

Izlazne snage mobilnih stanica GSM-a i DCS-a 1800 razvrstane su u pet standardiziranih klasa navedenih u tablici 1, gdje se snage odnose na vrijeme emitiranja (577 μs svakih 4.62 ms), a prosječne snage su očito 8 puta manje. Isto tako, ove snage mobilna stanica odašilje samo kada se nalazi u krajnje nepovoljnom položaju prema baznoj, i ona mora imati mogućnost redukcije signala u 15 koraka po 2 dB na osnovi naredbe kontrolera baznih stanica. U stvarnosti, dakle, mobilni telefon zračni n x 2 dB manje od maksimalne snage, gdje mu broj n preko signalizacije propisuje kontroler temeljem mjerenja jakosti prijemnog polja na mjestu bazne stanice, kao i (eventualno) temeljem administrativnog ograničenja. Primjerice, kod nas niti jedan GSM telefon ne može zračiti snagom iznad 2 W, jer mu to mrežni operator (HPT) ograničuje na spomenuti način.

Tablica 1. Klase nominalne snage zračenja mobilnih stanica GSM i DCS 1800 sustava

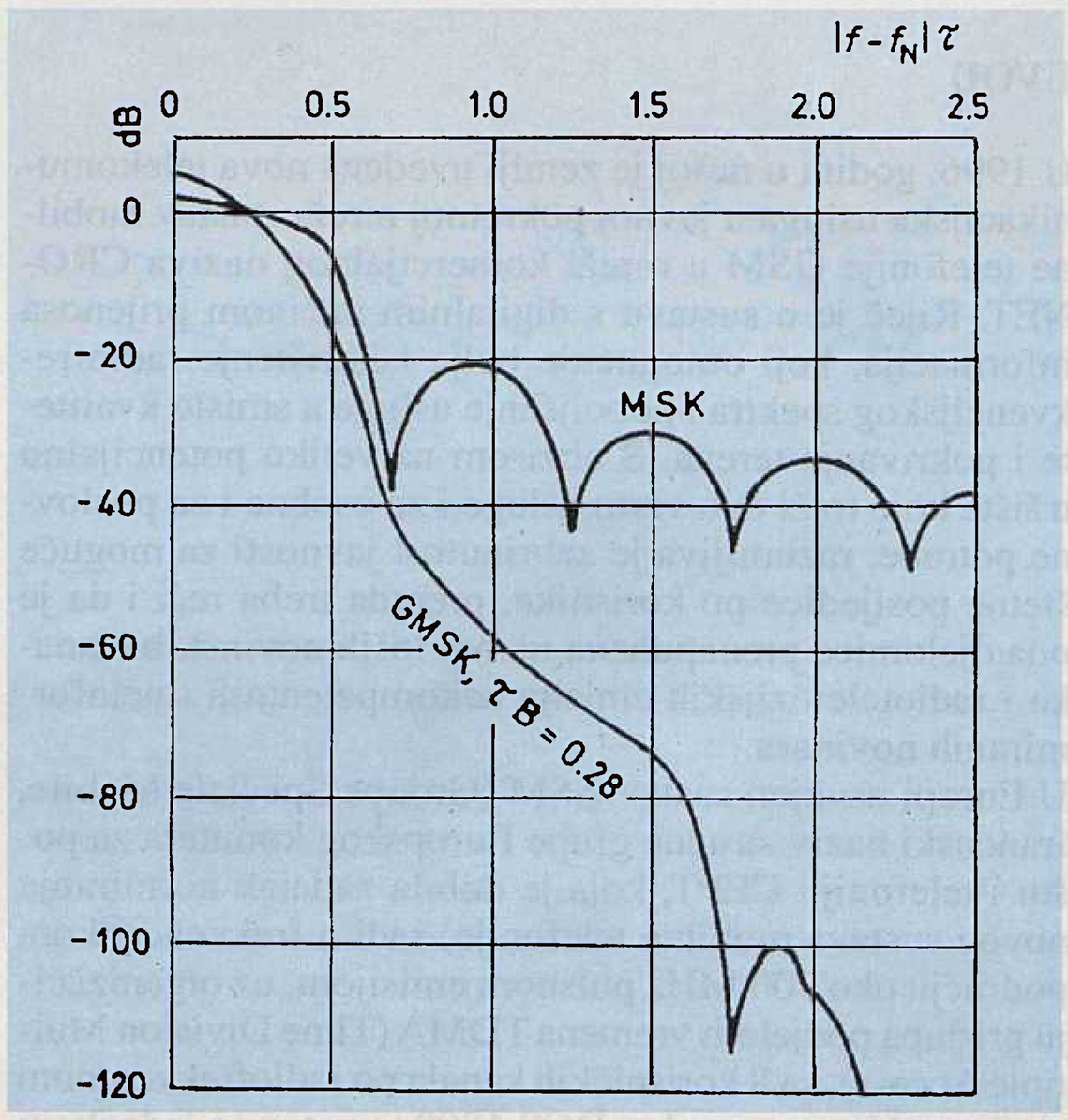
Klasa	Vrsta stanica	Snaga (W)
1	u vozilima i prenosive GSM sve DCS 1800	20 1
2	u vozilima i prenosive GSM sve DCS 1800	8 0.25
3	ručne GSM	5
4	ručne GSM	2
5	ručne GSM	0.8

1.2. Nelinearna konverzija pulsno emitiranog radiofrekventnog signala

Spektar GMSK signala prikazan slikom 1 odnosi se na kontinuiranu emisiju. Međutim, radi TDMA, zračenje su ustvari događa u pulsevima, kojih je u svakoj sekundi 217. Odnos signala i ukupne periode pritom je $T/T_{uk} = 1/8$. Ovojnica GMSK moduliranog signala je pravokutnog oblika, i može se razviti u Fourierov red:

$$u(t) = \frac{U}{8} + \frac{U}{4}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\sin\, n\pi/8}{n\pi/8}\cos(n\frac{2\pi}{T_{uk}}t) \qquad (1)$$

Vidi se da su harmonici ovakvog napona raspoređeni na udaljenosti $1/T_{uk}$ = cca. 217 Hz, a iščezavaju na svakom višekratniku od $1/T$ = 1733.1 Hz. Spektar ovojnice je dakle prilično "gust". Njome se amplitudno modulira GMSK signal, čiji je sadržaj suviše kompliciran da bi se mogao izraziti u jednostavnoj formi. Ipak, može se ustvrditi da će se, u odnosu na sliku 1, u konačnom spektru pojaviti izražene komponente razmaknute za 217 Hz, i to mnogo njih. Radi jednostavnosti, usredotočimo se na promatranje samo dvije susjedne od svih njih.



Slika 1. Spektralni sadržaj MSK I GMSK signala; τ = 3.6 μs

Elektromagnetsko polje odaslano s antene telefona pobuđuje u tkivu i implantiranim uređajima napone i struje, koje dospijevaju na nelinearne karakteristike sklopovlja pacemakera. Treba pogledati kako će se dvije bliske frekventne komponente u radiofrekventnom signalu ponašati na njima. Neka one dospiju zajedno na nelinearni elektronički element i neka imaju iste amplitude. Takav se signal može prikazati izrazom:

$$u(t) = U(\cos w_1 t + \cos w_2 t) \qquad (2)$$

Nelinearnost drugog reda manifestirat će se ovako:

$$u^2(t) = U^2\left[\frac{1}{2}(1+\cos 2\omega_1 t) + \frac{1}{2}(1+\cos 2\omega_2 t) + \cos(\omega_1+\omega_2)t + \cos(\omega_1-\omega_2)t\right] \qquad (3)$$

Ako je ulazni signal toliko velik da do izražaja dolazi i nelinearnost trećega reda, imamo još i ove komponente:

$$u^3(t) = U^3\left\{\frac{1}{4}(\cos 3\omega_1 t + 3\cos\omega_1 t + \cos\omega_2 t + \right.$$

$$+\frac{3}{2}\left[\cos\omega_1 t + \cos\omega_2 t + \frac{1}{2}\cos(2\omega_1 - \omega_2)t + \right. \quad (4)$$

$$\left.\left.\frac{1}{2}\cos(2\omega_2 - \omega_1)t + \frac{1}{2}\cos(2\omega_1 + \omega_2)t + \frac{1}{2}\cos(2\omega_2 + \omega_1)t\right]\right\}$$

Računanje sa n komponenti i uzimanje u obzir m-tog reda nelinearnosti generira tablicu 2. U radiokomunikacijama obično se neugodnima smatraju nelinearnosti neparnog reda, jer one proizvode signale po frekvenciji bliske pojasu ulaznih, koje onda mogu neželjeno upadati u kanale. U ovom slučaju, međutim, glavni problem uzrokuju nelinearnosti parnog reda. Iz tablice 2 vidi se da one vrše demodulaciju radiofrekventnog signala u tom smislu da proizvode istosmjerne i niskofrekventne spektralne sastojke, koji kod neparnih nelinearnosti nisu prisutni. U (3) možemo tako uočiti po amplitudi jednake istosmjernu i niskofrekventnu (ω_1-ω_2) komponentu. Dvostruke frekvencije i suma $\omega_1+\omega_2$ padaju u područje 1800 MHz, i sa stanovišta utjecaja na medicinsku opemu nisu zanimvljive. Realni nelinearni elementi imaju i parne i neparne nelinearnosti u strujno-naponskim karakteristikama.

Tablica 2. Nelinearno miješanje frekvencija signala složenoga spektra

m	**rel. ampl.** prema m-tom članu nelin. karakteristike	rezultirajuće frekvencije
1	1	$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \ldots\ldots \omega_n$
2	1/2	$2\omega_1, 2\omega_2, 2\omega_3, \ldots\ldots 2\omega_n$
	1	$\omega_1\pm\omega_2, \omega_1\pm\omega_3, \ldots \omega_1\pm\omega_n; \omega_2\pm\omega_3, \omega_2\pm\omega_4, \ldots \omega_2\pm\omega_n$ itd.
3	(1.5 n-0.75)	$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \ldots\ldots \omega_n$
	1/4	$3\omega_1, 3\omega_2, 3\omega_3, \ldots 3\omega_n$
	3/4	$2\omega_1\pm\omega_2, 2\omega_1\pm\omega_3, \ldots 2\omega_1\pm\omega_n; 2\omega_2\pm\omega_1, 2\omega_2\pm\omega_3, \ldots 2\omega_2\pm\omega_n$ itd.
	3/2	$\omega_1\pm\omega_2\pm\omega_3, \omega_1\pm\omega_2\pm_4, \ldots \omega_1\pm\omega_2\pm\omega_n; \omega_1\pm\omega_3\pm\omega_4$ itd.
4	(1.5 n-1)	$2\omega_1, 2\omega_2, 2\omega_3, \ldots\ldots 2\omega_n$
	1/8	$4\omega_1, 4\omega_2, 4\omega_3, \ldots\ldots 4\omega_n$
	9/2	$\omega_1\pm\omega_2 \ldots \omega_1\pm\omega_n; \omega_2\pm\omega_3 \ldots \omega_2\pm\omega_n$ itd.
	3/4	$2\omega_1\pm2\omega_2, \ldots 2\omega_1\pm2\omega_n; 2\omega_2\pm2\omega_3, \ldots 2\omega_2\pm2\omega_n$ itd.
	1/2	$2\omega_1\pm\omega_2\pm\omega_3, \ldots 2\omega_1\pm\omega_2\pm\omega_n; 2\omega_1\pm\omega_3\pm\omega_4, \ldots 2\omega_1\pm\omega_3\pm\omega_n$ itd.
	3	$\omega_1\pm\omega_2\pm\omega_3\pm\omega_4, \ldots\ldots \omega_1\pm\omega_2\pm\omega_3\pm\omega_n$ itd.

Da bi se pokušalo približiti radu veličine amplitude signala, koja de facto određuje stupanj nelinearnosti koji se manifestira, promotrit će se diodna nelinearnost. Uz zanemarenje serijskog otpora, strujno-naponska ovisnost diode izražena je jednadžbom:

$$I = I_0\left(\exp\frac{U}{U_T} - 1\right) \quad (5)$$

U_T je temperaturni napon (kT/e) i iznosi 25.2 mV na 393 K, odnosno 26.7 mV na 310 K (tjelesna temepratura). Razvijemo li eksponencijalnu funkciju u Taylorov red oko $U = 0$, i odbacimo li članove reda višega od m, imamo:

$$I^* \approx I \approx I_0\sum_{i=0}^{m}\frac{u^i}{i!} \quad (6)$$

Veličina u jednaka je U/U_T. Da bismo pri nekoj njenoj vrijednosti odredili stupanj nelinearnosti karakteristike, trebamo definirati relativno odstupanje kao:

$$\Delta = \frac{I - I^*}{I} = 1 - \frac{\sum_{i=0}^{m}\frac{u^i}{i!}}{\exp u - 1} \quad (7)$$

Parametar Δ određuje se donekle proizvoljno, ovisno o tome koliku smo mjeru nelinearnosti spremni zanemariti. Ako je to 1%, mora biti $\Delta < 0.01$, a ako je 10%, onda je $\Delta < 0.1$. Transcedentna jednadžba mora se rješavati numerički. Tako je i sastavljena tablica 3, koja daje maksimalne dozvoljene amplitude ulaznog napona idealne diode, a da njena nelinearnost ne prijeđe red m, i to za dva različita dopustiva odstupanja, te uz sobnu i tjelesnu temperaturu. Teško je zapravo ovakvo razmatranje dovesti u bilo kakvu eksplicitnu vezu s realnošću problema smetanja pacemakera. Ipak, može se uočiti da amplituda upadnog signala na poluvodičku diodu, kao najjednostavniji reprezent nelinearnih elemenata i sklopova, a ne mora biti baš prevelika (reda 100 mV), a da je se dovede već u režim rada sa izraženih prvih sedam stupnjeva nelinearnosti, što svakako potvrđuje očekivanja o pojavi čitavog jednog pojasa niskih frekvencija nastalih ispravljanjem složenog signala GSM mobilnog telefona, od kojih će se najviše isticati 217 Hz i 8.33 Hz.

Tablica 3. Nelinearnost idealne poluvodičke diode oko ishodišta u-i karakteristike

red nelinearnosti m	$\Delta = 1\%$		$\Delta = 10\%$	
	u [mV] (T = 293 K)	u [mV] (T = 310 K)	u [mV] (T = 293 K)	u [mV] (T = 310 K)
1	0.504	0.534	5.216	5.527
2	6.376	6.755	21.95	23.26
3	16.81	17.81	40.47	42.88
4	29.36	31.11	59.32	62.85
5	43.02	45.48	78.35	83.01
6	32.21	60.82	97.47	103.3
7	72.37	76.68	116.9	123.9

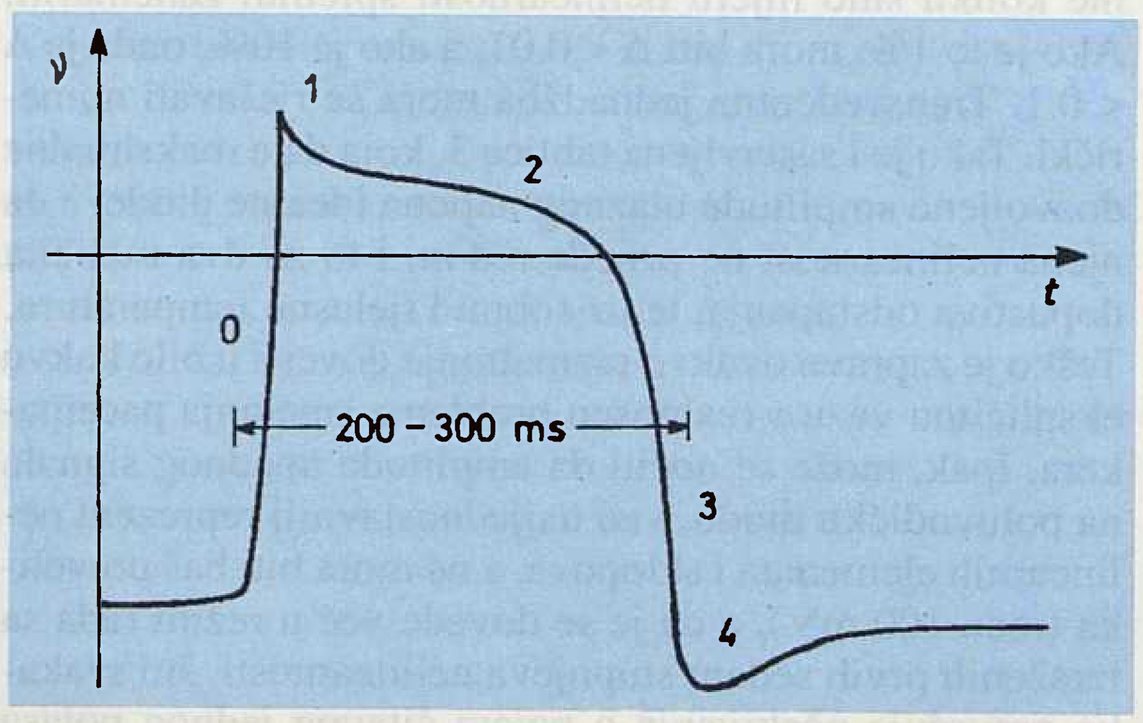
2. KAKO GSM OMETA SRČANE STIMULATORE?

2.1. Rad srca i srčani naponi

Da bi se razumjelo način rada srčanih elektrostimulatora i razloge smetanja njihovih funkcija od strane niskofrekventnih komponenti koje nastaju nelinearnom konverzijom signala odašiljača GSM telefona, potrebno je ukratko opisati nastanak i izgled srčanih napona.

Svatko zna da je srce pretežno mišićni organ sastavljen od dvije veće nakupine stanica: atrija ili pretklijetki (lijeve i desne), te ventrikula ili klijetki (također lijeve i desne). Pregled osnova rada srca s dobrim ilustracijama može se naći u [3], a detaljnije u [4]. Stanice srčanog mišića imaju sasvim posebne osobine u pogledu akcionih potencijala koje proizvode. Koncentracije glavnih vrsta iona unutar i izvan membrane gotovo su iste kao u nervih stanica [1], [4]. Nasuprot tome, postoje regije nazvane "umetnutim di-

skovima" smještene između miokardijalnih stanica, preko kojih se prenose električni signali. Mirujući potencijali iznose za atrijalne stanice -70 mV, a za ventrikularne -90 mV. Akcioni naponi membrana raznih miokardijalnih stanica se malo razlikuju, ali suštinski uvijek slijede isti oblik, prikazan na slici 2. Primjetno je vrlo dugačko trajanje pulsa zahvaljujući platou u fazi 2. Kada bi se gledao duži niz impulsa, odnos signal/pauza bio bi otprilike 1:1. Faze 1 do 4 nisu danas do kraja shvaćene, a nije sigurno ni da natrijeva vodljivost sasvim objašnjava fazu 0, kao u neurona. Za detalje se valja obratiti na maloprije navedenu literaturu.

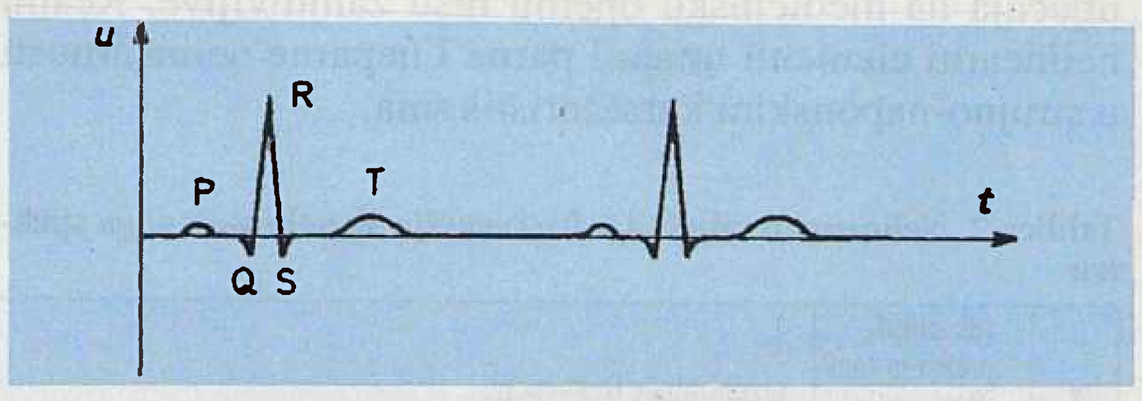


Slika 2. Akcioni potencijal srčanih stanica

Sinoatrijalni čvor (SA node) je nakupina specijaliziranih mišićnih stanica na desnoj pretklijetki. Na njemu nastaje prvi udar vala depolarizacije spontanim procesom što nalikuje radu svojevrsnog astabilnog multivibratora. Ritam otkucaja reguliraju vegetativni živci. Spontano generiranje srčanog ritma dokazano je pokusima: izvađeno životinjsko srce potopljeno u fiziološku otopinu nastavlja kucanje. Mehanizam djelovanja ovih stanica razjašnjen je prije tridesetak godina modelom natrijeve i kalijeve vodljivosti s povećanom propusnom moći membrana stanica SA čvora.

Val depolarizacije nastao na SA čvoru širi se obima atrijima, i to preko umetnutih diskova između stanica, ali i mreže vlakana za brzo vođenje pulsa, tako da se val proširi čitavim atrijem u prvih 40 ms procesa. Mišićje atrija je odijeljeno od ventrikularnog slojem fibroznog (električni neaktivnog) tkiva, preko kojega impulsi ne mogu propagirati. Električni kontakt pretklijetki čini nešto neuronskog tkiva nazvanog atrioventrikularnim čvorom (AV node). Prijenos signala preko njega je dosta spor i zadržava proces čitavih 100 ms prije no što depolarizacija ozbiljno zahvati tkivo klijetki. Depolarizacijski val napreduje ventrikulima vrlo brzo posredstvom specijaliziranih mišićnih stanica s njihove unutarnje strane, koje čine lijevi i desni Hissov sno i Purkinjeova vlakna. AV čvor spontano bi proizvodio ritam od nekih pedesetak otkucaja u minuti, kada ne bi bio okidan većom brzinom od strane SA čvora podložnog vegetativnoj regulaciji frekvencije. U nekim bolesnim stanjima mogu i druge stanice osim SA čvora prooscilirati radi sniženog praga uzbude, pa se javlja fibrilacija klijetki, koja je vrlo teška komplikacija i često završava fatalno.

Vektor električne aktivnosti cijelog srca nastaje superpozicijom napona poteklih od svih srčanih stanica u promatranom trenutku. On je uvijek usmjeren u pravcu širenja depolarizacijskog vala, čij je tok maločas ugrubo opisan. Vremenski gledano, atrijalna repolarizacija poklapa se s ventrikularnom depolarizacijom koja daje mnogo jači signal, potpuno je njime maskirajući. Srčani naponi mjere se elektrokardiografom (EKG), pomoću tri glavne (Goldbergerove) elektrode i šest prekardijalnih. Detalji su vrlo plastično prikazani u [3]. Ono što svatko od nas pamti kao "normalni EKG" ilustrirano je približno slikom 3. a u stvarnosti se dobija na tri lijeve prekardijalne elektrode V4, V5 i V6, te na Goldbergerovom odvodu desne ruke aVR (istina, u obratnom polaritetu). Taj prikaz je od esencijalne važnosti za shvaćanje problema vezanih uz rad stimulatora srca, pa ga valja upamtiti. Značenje standardnih slovima označenih faza je slijedeće: P faza odnosi se na atrijalnu depolarizaciju. Kompleks QRS nastaje djelovanjem depolarizacije ventrikula i repolarizacije atrija, koja spušta rubove šiljka na blago negativne vrijednosti u točkama Q i S. Konačno, T faza posljedica je repolarizacije ventrikula. P faza traje tipično 200 ms s amplitudom od 0.3 mV (mjereno EKG-om). QRS traje oko 90 ms, s amplitudom R šiljka od 0.5-3 mV i spustom Q i S točaka od nekih -0.3 mV. T val izdiže se oko 0.4 mV iznad ništice, a traje tipično 300 ms. Pauza između S i T vala traje približno 100 ms.



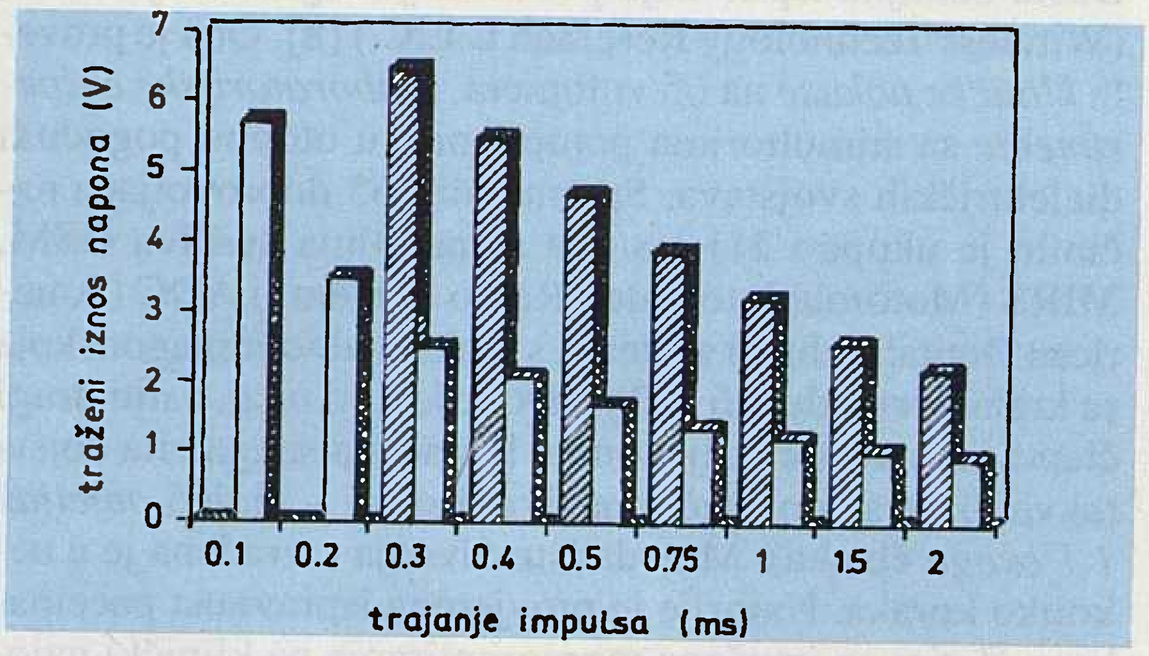
Slika 3. Tipičan izgled srčanih napona (EKG)

2.2. Načela rada srčanih stimulatora i mehanizmi ometanja

Elektrostimulator srca (pacemaker) je uređaj koji se najčešće implantira u organizam i daje pobudni napon za ventrikularnu depolarizaciju u slučaju AV-bloka ili tahikardijskih aritmija. Prvi stimulatori bili su građeni kao obični astabilni multivibratori male potrošnje, čija se frekvencija ugađala samo kod kirurškog zahvata ugradnje. Oni su danas potpuno izvan uporabe radi opasnih situacija koje se događaju kada se pojavi prirodni srčani ritam. Ako puls iz elektrostimulatora padne u interval između S zupca i platoa T vala (tzv. vulnerabilni interval), može doći do fibrilacije klijetki. Sa stanovišta elektromagnetske kompatibilnosti, a ova *asinkrona* vrsta sklopa najimunija je na vanjske smetnje.

Da bi se riješio problem desinkronizacije umjetnog i eventualnog prirodnog ritma, riješeni su sklopovi koji rade samo *na zahtjev* (on demand). Asinkroni tip takvih uređaja također sadrži astabil, čiji se rad međutim može zaustaviti pojavom naturalnog srčanog ritma. On u principu treba imati i u srce upuštenu treću, sezorsku elektrodu, koja osjeća pojavu R vala, što izaziva dovođenje negativnog prednapona bazi jednog od tranzistora u oscilatoru, čime njegov rad prestaje. Zapravo, u najvećem broju izvedbi ne postoji posebna elektroda za ventrikularno senziranje, već u toku pauze signala pacemakera njegova aktivna elektroda prihvaća biološke napone srca koji se pojačavaju i vrednuju. Pojavom QRS kompleksa (velika amplituda) koči se

rad oscilatora. Takav tip rada naziva se *inhibirajućim asinkronim*. Inhibirajući napon privodi se preko pogodne vremenske konstante, tako da se odmah po izostanku R zupca on automatski uklanja, i oscilator opet proradi.
Sinkroni način rada također traži mjerenje napona ventrikularne depolarizacije. U slučaju kada srce ne radi spontano, ova vrsta pacemakera daje nekakav konstantan ritam. Kada se pojavi prirodni puls, frekvencija multivibratora se navlači naprirodnu u tom smislu da puls stimulatora ne kasni više od 30 ms za R zupcem, čime on sigurno nastupa prije vulnerabilnog perioda.
Ako postoji val depolarizacije pretklijetki P, a bolesniku je u defektu provodljivost do ili preko AV čvora, mora se izvršiti *senziranje P vala* trećom elektrodom smještenom u desni atrij. Obično se pojačanim P valom okida monostabil s tipičnim kašnjejem od 200 do 300 ms, koji proizvodi stimulirajući impuls za elektrodu smještenu u desnoj klijetki. Na taj se način pacemaker sinkronizira na val depolarizacije pretklijetki, i također se efikasno izbjegava vulnerabilni interval.
Ovi osnovni tipovi stimulatora danas se često izvode u programabilnoj verziji. Oni su pogodni jer omogućuju laku promjenu parametara rada bez ikakve drastične (kirurške) intrevencije. Programabilni pacemakeri nemaju svojstvo adaptivnog namještanja frekvencije, jakosti i trajanja pulsa, već se daju lako korigirati u toku rada. Primjer izvedbe [3] je sa ugrađenim reed relejem, koji se pogoni magnetskim poljem proizvedenim u jednostavnoj zavojnici prislonjenoj na tijelo uz ugrađeni stimulator. Broj unešenih impulsa logikom se dekodira i prevodi u konkretnu akciju sklopovlja. Ovi uređaji imaju i riješeno pitanje smetnje gradske mreže (50 i 60 Hz), ali nisu imuni na parazitne napone drugih frekvencija. Treba još spomenuti i pacemakere s regulacijom parametara prema fizičkoj aktivnosti, odnosno potrebama organizma za krvlju, koji sadrže mjerna osjetila neelektričnih veličina, poput mehaničkih pomaka, pH, kisika u krvi, itd.
Poteškoće vezane za ometanje pacemakera od strane mobilnih aparata ne proizlaze iz toga što bi istosmjerne i niskofrekventne komponente nastale ispravljanjem na parnim nelinearnostima ometale toliko sam rad uređaja (oscilatora), koliko one mogu izazvati pogrešno senziarnje srčanih napona. Najimuniji na smetnje su svakako asinkroni uređaji, ali oni se, kao što je rečeno, više ne koriste. Kod inhibirajućih sklopova je moguće da signal smetnje odglumi QRS kompleks, radi čega će se oscilacije privremeno zaustaviti. U tom smislu *posebno neugodno djelovanje* imaju komponente u pojasu od 0.5-2 Hz uslijed toga što mogu izazvati periodičke inhibicije rada, dakle zastoj koji traje više od jednog otkucaja. Naravno, i nešto više frekventne komponente u stanju su prouzročiti sličan kvar. Kod sinkronih pacemakera moguće je povremena kriva sinkronizacija radi pojave lažnih R valova, ali se čini da to nije od kardinalne važnosti. S obzirom da se frekvencija astabila povlači za R fazom s nekim kašnjenjem, impulsi poželjno trebaju biti kraći, a snažniji, kako bi sigurno završili prije vulnerabilnog perioda. Opasnost koja se krije kod ventrikularno sinkroniziranih stimulatora jest upravo u tome da lažni zakašnjeli R zubac uzrokuje generiranje pulsa u ranjivoj fazi, ali u tom slučaju signal mora biti zaista jak kako ga ne bi maskirao pravi prethodni R impuls. Ovakva vrsta utjecaja mogla bi u nepovoljnom slučaju proizvesti fibrilaciju, ali u dostupnoj literaturi nema izvještaja o tome. Problematiku ove vrste moguće je rješavati i sklopovski, npr. zabranom akcije na osnovi dva bliska uzastopna impulsa. Konačno, kod programabilnih sklopova postoji vjerojatnost da će impulsne smetnje izazvati preprogramiranje parametara rada (frekvencija, trajanje i jakost stimulusa) što može prouzročiti ozbiljne zdravstvene implikacije.
Jakost stimulusa pacemakera daje se klasičnom *vremensko-intenzitetnom* krivuljom [3], [4], koja pokazuje da se isti efekt može postići kraćim, a jačim impulsom, odnosno dužim, a slabijim, s tim da postoji apsolutna donja granica jakosti stimulusa ispod koje pobuda ne može nastupiti. Za električne stimulatore u pravilu se jakost impulsa izražava naponom, jer je naponski izvor u uvjetima ograničenog baterijskog napajanja mnogo lakše izvesti od strujnog. Slika 4 prikazuje ove ovisnosti.



Slika 4. Histogram ovisnosti traženog pobudnog napona impulsa o njegovu trajanju za unipolarnu elektrodu. Popunjeni stupci odnose se na 95% populacije, a prazni na 50%

Još jedan detalj je uočen u istraživanjima pacemakera kao dosta važan. Elektrode kojima se vrši pobuda srčanog mišića mogu biti izvedene u unipolarnoj ili bipolarnoj varijanti. Kod unipolarne verzije samo je jedna elektroda upuštena u klijetku, dok ulogu povratog voda igra veća metalna površina na kućištu uređaja, koja je u dobrom kontaktu s okolnim tkivom. Bipolarna verzija ima sondu načinjenu u nekoj vrsti koaksijalne forme koja uvodi oba pola izvora impulsa u klijetku. Na samom su završetku polovi razmaknuti nekoliko centimetara. Kod unipolarne konstrukcije za očekivati je veće utjecaje smetajućih polja uslijed otvorenosti sustava sonde, za razliku od bipolarne oklopljene verzije.

3. STANJE ISTRAŽIVANJA UTJECAJA MOBILNIH TELEFONA NA RAD SRČANIH ELEKTROSTIMULATORA

Poznavajući srčanu aktivnost i rad različitih vrsta kardijalnih elektrostimulatora, možemo očekivati da će neke vrste biti više, a neke manje podložne elektromagnetskim utjecajima. Do danas je već objavljen jedan značajan broj članaka u vezi s tim, ali se ipak stječe dojam da je ova specifična problematika zaokupila relativno mali broj istraživača. Rezultati koji će ovdje biti prezentirani potječu iz najnovije literature [5], [6], [7], [8].
Istraživanja ove vrste provode uglavnom liječnici, te multidisciplinarni timovi. Cilj je približiti se realnom redu veličine rizika po zdravlje pacijenata s implantiranim stimu-

latorima, te predložiti na osnovu toga znanja mjere za borbu protiv njega i metode provedbe tih mjera. Izvode se ispitivanja *in vitro i in vivo*, dakle laboratorijski testovi stolnog tipa i s umjetnim modelima organa (fantomima), odnosno pokusi s dobrovoljcima koji nisu suviše teški bolesnici, bezuvjetno ovisni o pacemakeru. Nastoji se utvrditi o kojim varijablama treba voditi računa pri utvrđivanju utjecaja i njihovih zdravstvenih posljedica. Za te je varijable potrebno utvrditi pragove utjecaja.

Utvrđeno je da analogni aparati srčanim elektrostimulatorima smetaju malo ili nikako, dok digitalni pokazuju znatno veću i dobro uočljivu učestalost ometanja. Europski istraživači, prirodno, listom su se odlučili za proučavanje interferencija produciranih od TDMA telefona, specijalno GSM tipa. Za kontrolu ponekad služe uređaji nekog od analognih sustava u uporabi.

Dosta ozbiljna ispitivanja poduzela je organizacija WTR (Wireless Technology Reserach L.L.C.) [8]. Ona je provela *kliničke pokuse* na 65 volontera, i *laboratorijske eksperimente* sa stimultorima potopljenim u otopini pogodnih dielektričkih svojstava. Spomenutih 65 dobrovoljaca načinilo je ukupno 211 testova s aparatima sustava GSM, MIRS (Motorola Integrated Radio System) i ADC (American Digital Cellular system), s maksimalnom snagom koja se kretala između 0.6 i 3 W. (Doduše, niti ovaj, a niti drugi članci, ne navode izrijekom je li zračena snaga bila doista takva, ili je samo riječ o nazivnoj snazi – vidjeti *odjeljak 1.1 ovoga* članka). Metoda istraživanja razrađena je u nekoliko koraka. Najprije je provjerena ispravnost pacemakera. Zatim su izvršena reprogramiranja na klinički najosjetljivije postave A i V kanala, ovisno o vrsti stimulatora. Primjenjivana je permanentna EKG kontrola. Test telefoni bili su držani u normalnoj poziciji (slušalica na uhu), a zatim blizu pacemakera. Ako je problem bio uočen, on je zabilježen kao izazvani kvar samo ako se uspio ponoviti još jednom pod istim uvjetima. Bilježeni su položaji i udaljenosti antena za pragove nastupanja utjecaja. Tako se došlo do rezultata, od kojih su glavni sabrai u tablici 4.

Tablica 4. Kliničko ispitivanje utjecaja mobilnih TDMA stanica na rad implantiranih srčanih stimulatora

Vrsta utjecaja	Broj testova u kojima je uočen	Relativna frekvencija [%]
inhibicija stimulatora	25	11.9
sinkronizacija na lažni P val	17	8.1
ispad iz sinkronizma	15	7.1
aktiviranje sigurnosti V stimulacije	5	2.4

Sa zdravstvenog stajališta, inhibicija i sinkronizacija na lažni P val imaju najveći značaj, dočim preostali uočeni efekti nisu toliko bitni. Uočeno je, što je normalno da su dublje usađeni pacemakeri manje osjetljivi na smetnje. Smještaj stimulatora u tijelu najčešće se vrši na dva načina: ili u prostoru ispod desne ključne kosti, ili u abdomenu. Prvi slučaj je pri normalnom radu, ako osoba drži telefon u ruci, svakako opasniji.

Laboratorijska istraživanja provedena su s pacemakerima potopljenim u neku vrstu jednostavnog fantoma, također uz permanentno EKG motrenje. Celularni telefoni približeni su stimulatoru. Antene su bile rotirane u koracima od po 15 °C, a vertikalna pozicija mijenjala se za po 1 cm. Bilježene su krajnje točke udaljenosti kod kojih su opaženi efekti, iz čega se zaključilo da najniži prag, dakle najveću osjetljivost, pokazuje, suglasno očekivanjima, efekt sinkronizacije na lažni P val. Slijede ga inhibicija, zatim desinkronizacija, i na kraju aktiviranje sigurnosnog ventrikularnog stimuliranja. Udaljenosti na kojima su zamjećivani pragovi efekata bile su 0.8-12.9 cm, sa srednjom udaljenošću od 3.9 cm i standardnom devijacijom od 3.3 cm. Efekti koji bi potrajali i nakon uklanjanja smetajućeg telefona, uključujući tu i trajna preprogramiranja, *nisu zapaženi ni jednom.*

Što se tiče orijentacije odašiljačke antene, primijećeno je da ona igra dosta veliku ulogu. Objašnjenje se nalazi u činjenici da je uređaj elektrostimulatora smješten u epoksidno kućište koje ima otvore za ulaz vodova. Oni se pojavljuju kao efikasan put za unos elektromagnetske energije, ako je vektor magnetskog polja vala podesno usmjeren. Čini se da taj efekt ima važnu ulogu, jer prema rezultatima neovisnog istraživanja iz [6], učinci se pojavljuju prije ako je mobilni telefon postavljen blizu *tijela* stimulatora, a ne blizu njegovih izlaznih vodova.

Zanimljiv rezultat WTR-ovih istraživanja tiče se sklopovske realizacije kardijalnih elektrostimulatora. Uvidjelo se da kod nekih proizvođača dio opreme je, a dio nije imun na smetnje od mobilnih telefona. Naprotiv, kod jednog proizvođača se pokazalo da su svi ispitivani uređaji otporni. Analizom je utvrđeno da je zajednički nazivnik koji veže njegove proizvode prisustvo mikrovalnog filtra na ulaznim vodovima, čime je radio signal u znatnoj mjeri spriječen u prodoru prema sklopovlju.

Silny [7] je proveo ispitivanja 13 raznih stimultora u laboratoriju "na stolu" i u fantomskom modelu trupa odraslog čovjeka, uz smještaj koji odgovara stvarno implantiranom uređaju. Najvažniji laboratorijski rezultat je nastao priključivanjem RF generatora moduliranog pravokutnim signalom od 2 Hz direktno na elektrode pacemakera. Amplituda reda veličine od sao 100 mV takvoga signala bila je dovoljna da izazove inhibiciju i desinkronizaciju. Pokusi s fantomom su pokazali da su efekti kod unipolarnih uređaja ometanih GSM aparatom snage 2 W mogući na udaljenosti manjim od 20 cm. Glavno težište istraživanja upravo je na povećanoj osjetljivosti unipolarnih pacemakera, koje prefeiraju europski liječnici, te na štetnosti komponente od 2 Hz, koju generira GSM telefon.

Sažet pregled još nekoliko istraživanja provedenih na ovom području dan je u tablici 5 prema [5].

4. SMIJE LI SE TELEFONIRATI IZ AVIONA?

Kategorički – ne! Ovaj će se odjeljak ukratko dotaknuti toga i drugih problema elektromagnetske kompatibilnosti proizašlih iz široke javne uporabe pokretnih telefona druge generacije. Problem je suštinski u tome što su mnogi elektronski aparati iz područja zrakoplovstva, medicinske tehnike, široke potrošnje, itd. konstruirani prije pojave TDMA mobilnih aparata, pa često puta nisu baš dobro konstruktivno zaštićeni protiv njihovh specifičnih utjecaja. To ne znači da su GSM i ostali slični sustavi loši ili pogubni, već samo da treba pričekati prolazak prijelaznog razdoblja kroz koje će proizvođači poraditi na poboljšanju izoliranja svojih produkata od utjecaja vanjskih mikrovalnih

Tablica 5. Glavni rezultati nekih istraživanja utjecaja mobilnih telefona na srčane elektrostimulatore. Napomena: oznaka DTX označuje diskontinuiranu emisiju

Autori	Tip studije	Broj stimulatora u pokusu	Odašiljanje	Snaga (W)	Rezultati
Strandberg	in vitro				Nema EMI u fantomu, jedino uočena izvan njega
Inrich	in vitro	231	C, D, E	mreža	EMI uočena na ukupno 106 stimulatora
Naegli	in vivo	39		2 i 8	EMI uočena na 18 pacemakera
Grimm	in vivo	30	D mreža	2.5	Inhibicija uočena na 2 stimulatora
Barbaro	in vivo	101	GSM	2	26 slučajeva EMI
CSELT	in vitro (fantom)		Stimulator GSM sistema s DTX-om	< 200 V/m	Nema inhibicije
	in vitro (zrak)			40V/m 75V/m	Inhibicija unipol. modela Inhibicija bipol. modela
Eicher	in vivo	39	GSM (normalno i sa DTX-om)	2	Interferencija u 7 stimulatora
Joyner	in vivo	10	Stimulator GSM-a	< 25	Nisu uočeni štetni učinci
Carillo	in vivo	59	analog. i digital.	< 8	Interferencija u neposredoj blizini
Hayes	in vivo	30	2 analogna	0.6, 8	Nema utjecaja
			dig. ručna 1 dig. prenosivi	0.6 3	Mnogi oblici utjecaja u mnogim stimulatorima

polja, pogotovu onih pulsno emitiranih. U međuvremenu je potrebno *korisnike* mobilnih telefona podučiti jednostavnim pravilima ponašanja, koja nije teško usvojiti, i koja će omogućiti koegzistenciju ovih novih uređaja s postojećima.

Poučeni negativnim iskustvima i indicijama, proizvođači GSM opreme listom u uputama korisnicima ustvrđuju da njihovi uređaji mogu izazvati elektromagnetske smetnje, te zabranjuju ili ne preporučuju uporabu tih aparata u određenim situacijama, kako bi u prvom redu zaštitili sebe u eventualnim sporovima. U [9] se vidi na što sve Siemens apelira kod svojih kupaca:

a) *Vrlo strogo* se zabranjuje bilo kakva uporaba GSM telefona:
   - u avionu
   - blizu eksplozivnih tekućina i plinova i objekata s njima (npr. benzinske crpke)
   - prilikom rada s eksplozivima.

b) Skreće se pozornost na moguće smetnje radija, televizije, računala i druge elektroničke opreme.

c) Upozorava se na mogućnost ometanja biomedicinske opreme, posebno srčanih stimulatora i slušnih aparata. Zahtijeva se izbjegavanje uporabe GSM aparata unutar zdravstvenih ustanova radi mogućnosti ometanja dijagnostičke ili bilo koje druge opreme.

d) Ne preporuča se korištenje ručne stanice unutar automobila, čija karoserija se ponaša kao rezonator i dovodi po povećanja jakosti polja unutar vozila. Za to služe uređaji s vanjskom antenom. Zahtijeva se korištenje "hands free" moda (sa zvučnikom umjesto slušalice) pri vožnji, kako bi obje ruke mogle biti slobodne za upravljanje vozilom.

5. ZAKLJUČAK

Postoje ozbiljne znanstveno utvrđene indicije da GSM telefoni mogu uzrokovati smetnje u radu srčanih elektrostimulatora (pacemakera) i druge medicinske opreme, kao i ostalih elektronskih uređaja. Zasada su negativni utjecaji opsežni i demonstrirani samo kada je promatrani biomedicinski uređaj bio u neposrednoj blizini mobilnog telefona, a apsolutna gornja granica uočenih djelovanja kreće se oko 2 m za svu opremu, te na nekih 20 cm za pacemakere. Trajni učinci, preostali po uklanjanju telefona od ometanog uređaja, nisu do sada uopće opaženi. Stoga se savjetuje bolesnicima ovisnim o stimulatorima da GSM mobilne telefone koriste oprezno, izbjegavajući opasne situacije poput prinošenja aparata blizu pacemakera ili npr. nošenja uključenog (stand by) telefona u unutrašnjem džepu sakoa. Ostalima se preporuča da ove aparate koriste prema uputama proizvođača, i da se svakako rukovode načelima pažnje i tolerancije prema drugim osobama i okolišu. Posebno je potrebno izbjegavati korištenje mobilnih stanica u avionima, unutar medicinskih ustanova i u neposrednoj blizini bolesnika s ugrađenim elektroničkim medicinskim pomagalima. Uz ove mjere samodisciplineranja, uporaba GSM i sličnih telefona je praktički za sve bezopasna.

LITERATURA

[1] D. SABOLIĆ, "Neki biomedicinski učinci uređaja mobilne telefonije druge generacije", magistarski rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, 1996.

[2] B. MODLIC, I. MODLIC, "Modulacije i modulatori", Školska knjiga, Zagreb 1995.

[3] A. ŠANTIĆ, "Biomedicinska elektronika", Školska knjiga, Zagreb 1995.
[4] A. C. GUYTON, "Udžbenik medicinske filologije", prijevod, Medicinska knjiga, Zagreb 1963.
[5] D. L. Hayes, "State of the Science in Wireless Instrument Pacemaker and Defibrillator Interference", State of the Science Colloquium, University La Sapienza of Rome, Faculty of Electronic Engineering, Rome Nov. 1995.
[6] V. BARBARO et al., "In vitro and in vivo Observation of Digital/Analog Cellular Phone Interference With Cardiac Pacemakers", State fo the Scinece Coloqium, University La Sapienza of Rome, Faculty of Electronic Engineering, Rome Nov. 1995.
[7] J. SILNY, "Interference of Cardiac Pacemakers in the Near Field of Portable Digital Transmitters", State of the Science Colloquium, University La Sapienza of Rome, Faculty of Electronic Engineering, Rome Nov. 1995.
[8] Wireless Technology Research L.L.C, "Unlocking the Secrets of Heart Stopping Phone Calls", State of the Science Colloquium, University La Spienza of Rome, Faculty of Electronic Engineering, Rome Nov. 1995.
[9] "S3 plus Bedienungseinleitung" (poglavlje Sicherheitsregeln), Siemens AG Mobiltelefone, Munchen 1994.

THE INFLUENCE OF GSM MOBILE TELEPHONES ON HEART PACEMAKER OPERATION

The paper presents the mechanism of the electric pacemaker distrurbances caused by GSM mobile telephones and it also gives a short review on other problems of electromagnetic cmopatibility connected with this kind of televommunication appliances. Security instructions for patients depending on built-in heart pacemakers as well as for other GSM users are also given.

DIE EINFLÜSSE DER GLOBALSYSTEM-MOBILTELEFONE AUF DAS RICHTIGE ARBEITEN VON HERZSCHRITTMASCHERN

In dieser Arbeit ist die Art und Weise der Störungen der Globalsystem-Mobiltelefone auf Herzschrittmacher dargestellt sowie ein kleiner Rückblick auf die übrigen Fragen derer gegenseitigen elektromagnetischen Verträg-lichkeit mit der Fernmeldeausrüstung dieses Bereiches gemacht. Gegeben sind einerseits die Sichrheits-Ratschläge für herzschrittmacherabhängige kranke Personen, und andererseits Anweisungen für übrige Benutzer von Globalsystem-Mobiltelefonen.

Naslov pisca:

mr. sc. Dubravko Sabolić, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda
Prijenosno područje Zagreb
Ulica grada Vukovara 37
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1996 – 11 – 27

POPRAVAK DV 400 kV ERNESTINOVO—TUMBRI RADOM POD NAPONOM

József Meixner, OVIT, Mađarska — Marijan Kalea, HEP, Hrvatska

UDK 621.315.1.005
STRUČNI ČLANAK

Tijekom rata 1991/92. godine brojni elektroenergetski objekti Hrvatske elektroprivrede oštećeni su ratnim razaranjima. Dalekovod 400 kV Ernestinovo-Tumbri, također oštećen, koristi se od 1992. godine neprekidno kao jedini vod za opskrbu Slavonije električnom energijom pri naponu 220 kV. Time je onemogućeno njegovo dugotrajnije stavljanje izvan pogona radi popravka i održavanja, te se ratnim oštećenjima postupno pridodaju i oštećenja iz redovitog pogona (primjericej proboji izolatorskih članaka), a početna oštećenja vodiča nastala ratnim razaranjima postupno se pogoršavaju djelovanjem topline, korozije i atmosferilija. Stoga je bilo nužno ostvariti popravak kritičnih oštećenja radovima pod naponom. Kako Hrvatska elektroprivreda nije opremljena i osposobljena za takav rad, angažirano je mađarsko poduzeće OVIT da to učini. Ovaj članak je prikaz tog pothvata, prvog rada pod naponom u prijenosnoj mreži Hrvatske elektroprivrede.

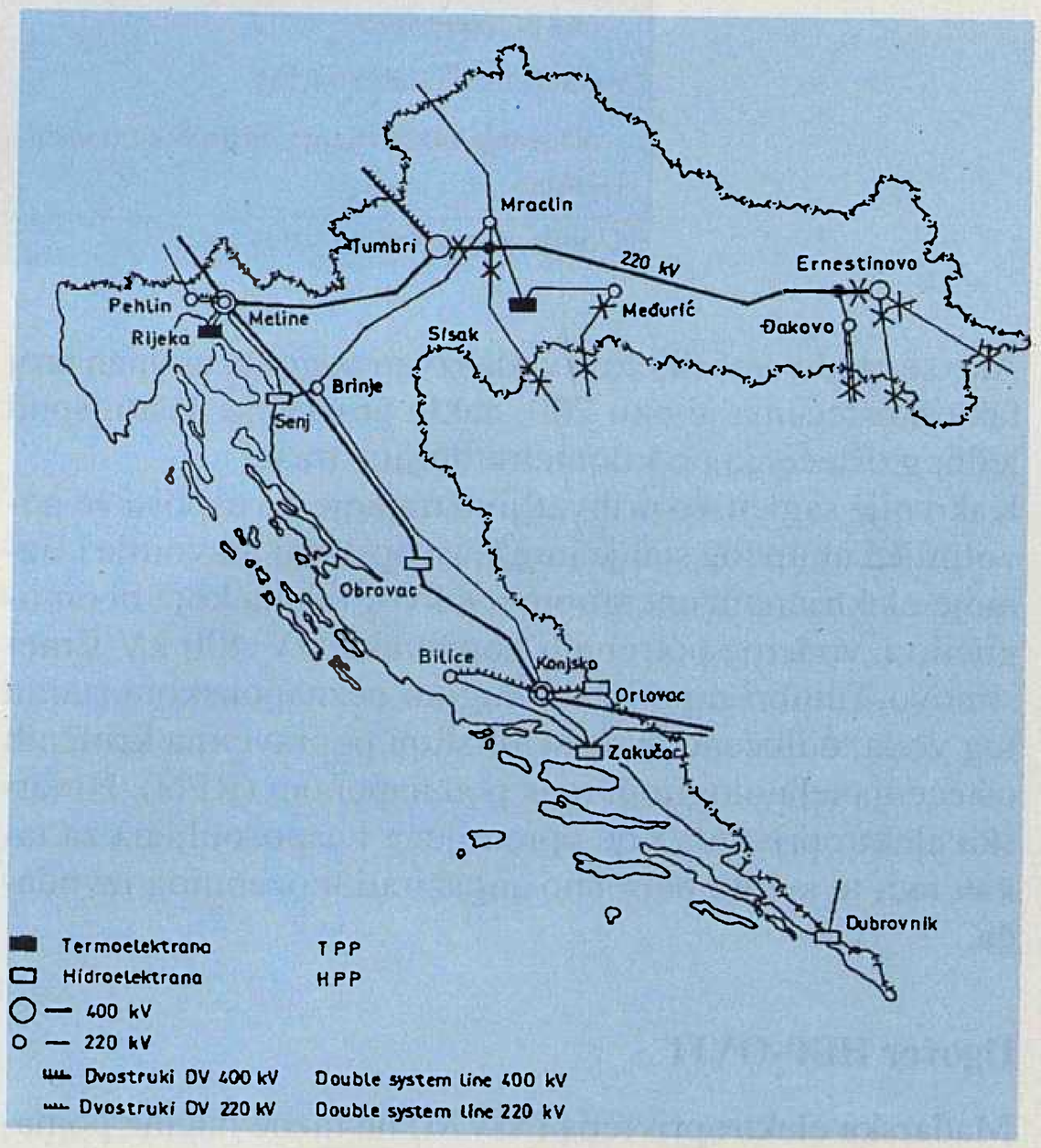
Ključne riječi: rad pod naponom, dalekovod visokog napona, prijenosna mreža.

UVOD

Dalekovod 400 kV Ernestinovo-Tumbri pušten je u pogon 1978. godine. Izveden je s faznim vodičima u snopu 2xA1/Č 490/65 mm² i s dva zaštitna užeta AWg 126,1 mm². Duljina trase je 233 km. Sadrži 606 stupova tipa "Ipsilon", te je prosječni raspon 385 metara. Najčešće visine nosnih stupova, od tla do prečke, su 24,60 i 27,60 metara. Izolatorski lanci sadrže, u nosnom lancu s normalnom izolacijskom razinom, 17 staklenih izolatorskih članaka tipa U 160 PS.

Tijekom ratnih razaranja 1991/92. godine, DV 400 kV Ernestinovo-Tumbri korišten je od početka 1992. do proljeća 1992. godine privremeno pod naponom 110 kV za opskrbu Slavonije, a od ljeta 1992. godine pod naponom 220 kV. Da bi se omogućio takav napon, izveden je privremeni priključak tog voda na TS 220/110 kV Mraclin i prekinut njegov spoj u TS 400/110 kV Tumbri. Na slavonskoj strani voda – gdje je razoren njegov spoj prema potpuno razorenoj TS 400/110 kV Ernestinovo, izgrađena je privremena transformacija 220/110 kV, 150 MVA i priključena na taj vod – kao odvojak bez prekidača u svibnju 1992. godine. Od kolovoza 1992. godine, na taj vod priključena je i TS 220/110 kV Đakovo, 2x150 MVA, izgrađenim privremenim vodom 220 kV na drvenim stupovima u duljini od 12 km i korištenjem dionice postojećeg voda 110 kV na betonskim stupovima s donekle pojačanom izolacijom u duljini oko 8 km.

Takvo je i sadašnje stanje tog voda, krajem 1996. godine. Duljina trase DV 400 kV u korištenju pod 220 kV je oko 215 km. Uz privremene dionice duge 20 km, vod je ukupno dug oko 235 km. Najveće njegovo ostvareno opterećenje bilo je nešto više od 200 MW/100 Mvar. Položaj voda u prijenosnoj mreži Hrvatske prikazan je na slici 1.



Slika 1. Mreža 400 i 220 kV Hrvatske 1996. godine

STANJE VODA PRIJE POTHVATA

Vod 400 kV Ernestinovo-Tumbri nije popravljen od ratnih razaranja, jer nužnost njegova neprekidnog korištenja naprosto to nije omogućila. Jedini zahvati, koji su učinjeni početkom 1992. godine, bili su popravci razorenih stupova na trasi oko Požege, bez kojih popravaka vod ne bi uopće mogao biti u pogonu.

U razdoblju od 1992-1995. godine, redovitim obilascima voda osigurano je praćenje stanja voda. Izvještaji o pregledima ukazivali su postupno na stanoviti porast broja oštećenih izolatorskih članaka, u mjeri u kojoj je to očekivano za višegodinji pogon bez održavanja. Također, vrlo vjerojatno, početna oštećenja vodiča nastala ratnim razaranjima postupno su se pogoršavala djelovanjem topline, korozije i atmosferilija.

Stanje oštećenja, na 215 km dugom dijelu trase voda 400 kV u korištenju pod 220 kV, sagledano u proljeće 1996. godine, prikazano je tablicom 1. Istaknimo da je to stanje utvrđeno pregledom elemenata voda s tla – kasnije će se pokazati da takvim načinom nije bilo moguće ustanoviti sva oštećenja vodiča; jedan dio takvih oštećenja ostao je prikriven.

Tablica 1. Oštećenja DV 400 kV Ernestinovo-Tumbri, Dionica duljine 215 km u pogonu pod 220 kV

	stanje: travanj 1996.
– izolatorski lanci s 2 ili 3 oštećena članka	
· na nosnim stupovima	5 komada
· na zateznim stupovima	10 komada
– izolatorski lanci s jednim oštećenim člankom:	
· na nosnim stupovima	55 komada
· na zateznim stupovima	28 komad
· na prepletu faza	1 komad
– oštećenja faznih vodiča*	59 mjesta
– oštećenja/olabavljenja odstojnika vodiča u snopu	4 komada
Ukupno	162

* Utvrđeno pregledom s tla

Ako se obuhvate i dijelovi voda izvan pogona, ukupan broj takvih oštećenja je oko 200, dakle prosječno nešto ispod jednog oštećenja po kilometru duljine trase!

Kako nije sagledivo prihvatljivo trajanje do uspostave povoljnijeg ukupnog stanja mreže za opskrbu Slavonije i Baranje električnom energijom – takvog stanja koje bi omogućilo izvođenje potrebnih popravaka DV 400 kV Ernestinovo-Tumbri u potrebno dugom beznaponskom stanju tog voda, odlučeno je da se pristupi popravcima kritičnih oštećenja tehnologijom rada pod naponom (RPN). Hrvatska elektroprivreda nije opremljena i osposobljena za takav rad, te je bilo potrebno angažirati inozemnog izvođača.

Ugovor HEP-OVIT

Mađarska elektroprivreda (MVM) na razne načine pomagala je Hrvatskoj elektroprivredi (HEP) tijekom i nakon rata 1991/92. godine. Zaključen je i ugovor o međusobnoj suradnji HEP-MVM, koji – među ostalim – predviđa mađarsku mogućnost da pristupi radovima od poduzeća Országos Villamostávvezeték (OVIT), za izvođenje prioritetnih popravaka na DV 400 kV Ernestovo-Tumbri, tehnologijom rada pod naponom.[1]

Izrađen je upit za ponudu radova: zamjene neispravnih izolatorskih članaka te popravka oštećenih faznih vodiča i odstojnika. Utvrđen je ažurni izvještaj o količinama i lokacijama takvih oštećenja na tom vodu. Također, kompletirani su opći podaci o vodu i trasi, te crteži i konstrukcijski podaci o spojnoj i ovjesnoj opremi, izolatorskim lancima, geometriji stupova i pojedinim dijelovima konstrukcije, osobito glave stupova. Dodani su podaci o mreži i načinu njezinog korištenja, koji su od značaja za primjenu radova pod naponom: način uzemljenja nultočke, podaci o zaštiti od prenapona u krajnjim postrojenjima promatranog voda, parametri zaštite tog voda i automatskog ponovnog uklopa.

Ponuda je zatražena u dvije varijante: (a) poprvak svih utvrđenih oštećenja vodiča, odstojnika i izolatorskih lanaca u kojima je oštećeno više od jednog članka i (b) uključen popravak i onih izolatorskih lanaca u kojima je oštećen samo jedan članak. Uz konstrukcijski napon voda 400 kV, a pogonski napon 220 kV, oštećenja dopunski obuhvaćena u varijanti (b) su dakako manje kritična od onih u varijanti (a).

Prije izrade ponude, OVIT je uputio stručnjake za rad pod naponom, radi zajedničkog pregleda i potvrđivanja detalja iz dokumentacije, te radi neposrednog uvida karakterističnih dijelova trase i karakterističnih oštećenja na terenu.

OVIT je utvrdio da tehnologija i oprema za rad koju imaju u korištenju (usklađene s konstrukcijskim i geometrijskim prilikama na mađarskim vodovima) ne omogućuje zamjenu izolatora u zateznim lancima, nego samo u nosnim lancima pri pogonskom naponu 220 kV. Da je pogonski napon 400 kV, postojećom tehnologijom ne bi bilo moguće izvođenje radova na srednjoj fazi nosnih stupova "Ipsilon". Popravak faznih vodiča i odstojnika, radom pod na-

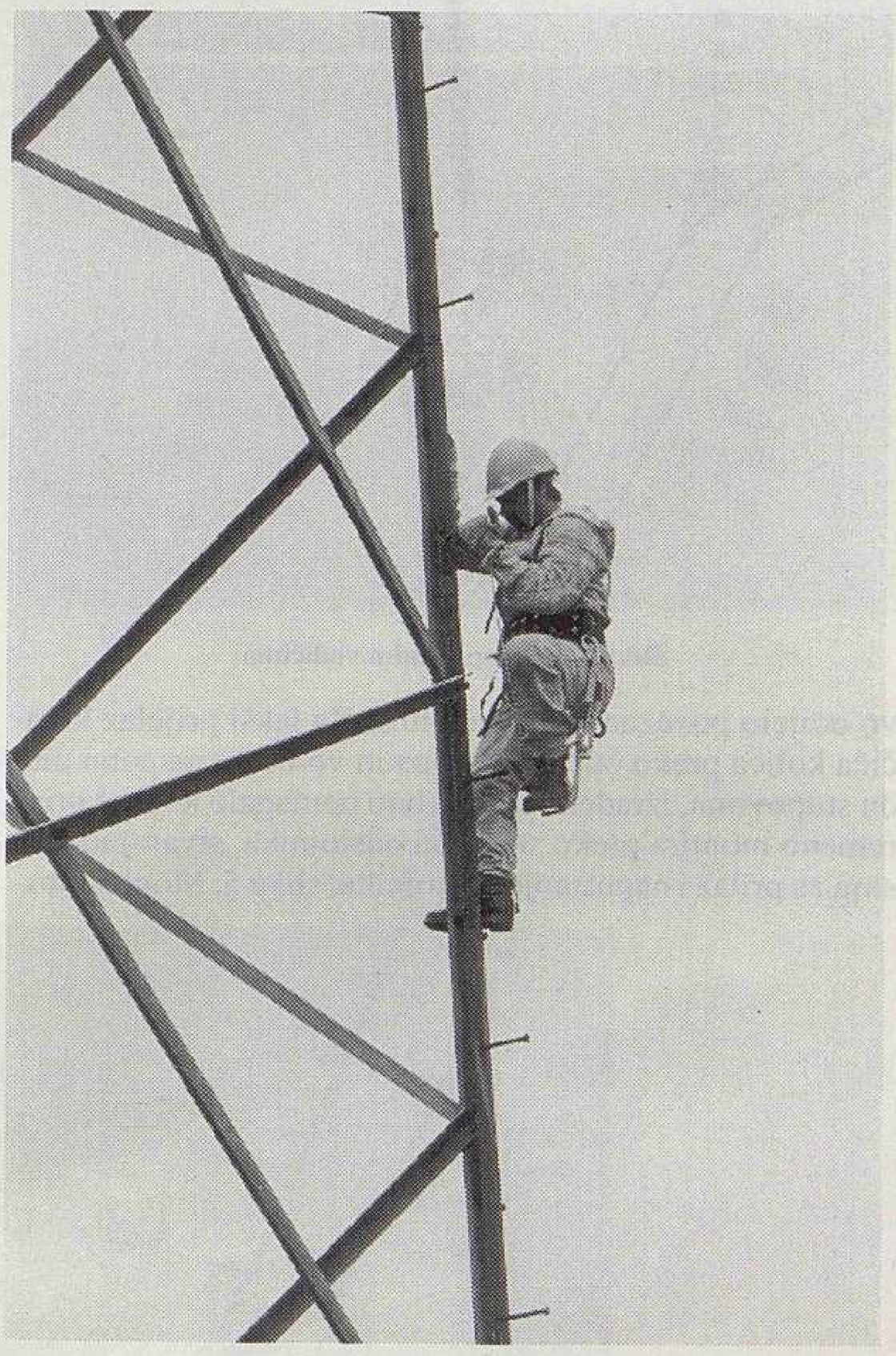
[1] OVIT je nacionalna kompanija za prijenosnu mrežu, u ugovornom odnosu s MVM od 1993. godine. Mreža 220 kV i višeg napona u nadležnosti je OVIT-a: vođenje pogona (uklopničari i drugo pogonsko osoblje) i održavanje mreže (trafostanice, dalekovodi, zaštita, telekomunikacije). DIspečarsko upravljanje je u nadležnosti MVM. OVIT izvodi projektiranje i građenje novih dalekovoda i trafostanica. U Mađarskoj nema konkurentnog izvođača za takve radove. Radove pod naponom izvodi Divizija za izgradnju (koja ima oko 800 radnika od ukupno oko 1400 u OVIT-u). S radovima pod naponom na vodovima visokog napona počelo se 1980. godine. OVIT ima danas vlastiti razvoj tehnologije i proizvodnju potrebne opreme za rad. Raspoloživo je oko 20 osposobljenih i opremljenih radnika za RPN, tako da se mogu formirati 2 istodobne ekipe od po 10 radnika. Kada nisu zngažirani na RPN, rade konvencionalne poslove izgradnje i održavanja dalekovoda. OVIT nastupa izgradnjom i radovima u inozemstvu; reference su iz Turske, Grčke, Njemačke i bliskoistočnih zemalja.

HEP je elektroprivredna kompanija koja obuhvaća proizvodnju, upravljanje i prijenos, te distribuciju električne energije u Hrvatskoj. Mreža 110 kV i višeg napona u nadležnosti je Direkcije za upravljanje i prijenos: dispečarsko upravljanje i vođenje pogona, te održavanje mreže. Direkcija ne izvodi projektiranje i građenje objekata prijenosne mreže. Direkcija za prijenos i upravljanje ima oko 1200 radnika, a pogon i održavanje mreže odvija se u četiri prijenosna područja: Opatija, Osijek, Split i Zagreb. Prijenosna mreža sastoji se iz 4700 km vodova 110 kV, 1200 km vodova, 220 kV, 900 km vodova 400 kV, te 97 trafostanica 110 kV, 7 trafostanica 220 kV i 4 trafostanice 400 kV (1996).

ponom moguć je samo u onim rasponima u kojima je neoštećeno zaštitno uže, iz sigurnosnih razloga.
OVIT je izrazio svoju spremnost da potpuno okonča svoje već razmotreno tehnološko rješenje za zamjenu članaka i na zateznim lancima, te da to rješenje atestira, ukoliko HEP to zatraži. Za to bi trebalo oko tri mjeseca rada.
Zaključeno je da se u ovom trenutku obuhvati zamjena oštećenih izolatora u nosnim izolatorskim lancima.
Ponuda je obuhvatila uporabu tehnologije, ukupno 8 stručnih ljudi, opreme i alata za rad, te transportnih sredstava za izvođenje radova, uključujući troškove smještaja, prehrane i prijevoza na terenu, te osiguranja radnika OVIT-a od nezgode.
Obveza je HEP-a osiguranje 5 polukvalificiranih radnika za radove i pomaganje isključivo na tlu, jedne tehnički kvalificirane osobe koja poznaje trasu i prilike na trasi, koja je ovlaštena za neposredne odluke na mjestu rada, te za komunikaciju s dispečerom. Također, HEP treba osigurati mađarsko/hrvatskog prevoditelja, te prijevoz, smještaj i prehranu svojih radnika. HEP je trebao utvrditi način pružanja hitne i opće zdravstvene pomoći mađarskim radnicima za vrijeme njihova boravka u Hrvatskoj.
Kako predviđena tehnologija rada zahtijeva isključivo materijal za popravak (zamjenski izolatorski članci, popravne kompresijske spojnice ili spirale za popravak, zamjenski odstojnici) kakav se primjenjuje pri popravku konvencionalnim načinom – radom u beznaponskom stanju – to je osiguranje tog materijala i njegova doprema na radilište također razumljiva obveza HEP-a.
Prihvaćena je ponuda za izvođenje popravka izolatorskih lanaca s oštećenih više od jednog članka na nosnim stupovima, te popravka svih oštećenja faznih vodiča i oštećenih ili olabavljenih odstojnika, prema količinama iz tablice 1. Predviđeno je ukupno trajanje radova od pet tjedana, s 5 radnih dana u tjednu i radom između 7 i 19 sati, uključujući vrijeme prijevoza i jednosatne stanke za ručak.
Takav opseg prihvaćen je stoga što ga je bilo realnije rokovno svladati (dodani obuhvat izolatorskih lanaca s jednim oštećenim člankom udvostručio bi planirano trajanje pothvata), a relativno više pridonose povećanju pogonske sigurnosti. Prihvat i realizacija takva opsega posla povećalo bi spoznaje HEP-a o osobitostima i učinkovitosti takvog rada, te bi se u nekom slijedećem navratu mogao obnoviti takav pothvat na preostalim mjestima, kako nosnih lanaca s oštećenim samo jednim člankom – tako i zateznih lanaca.
Zaključen je ugovor HEP-OVIT početkom lipnja 1996. godine, uz prethodno odobrenje Ministarstva finacija za zaključenje ugovora, ishođena dozvola za privremeni uvoz radne opreme i vozila OVIT-a u Hrvatsku, te otvoren akreditiv na ugovoreni iznos u mađarskoj banci. O radovima obaviješten je Elektroenergetski inspektorat i Inspektorat rada.

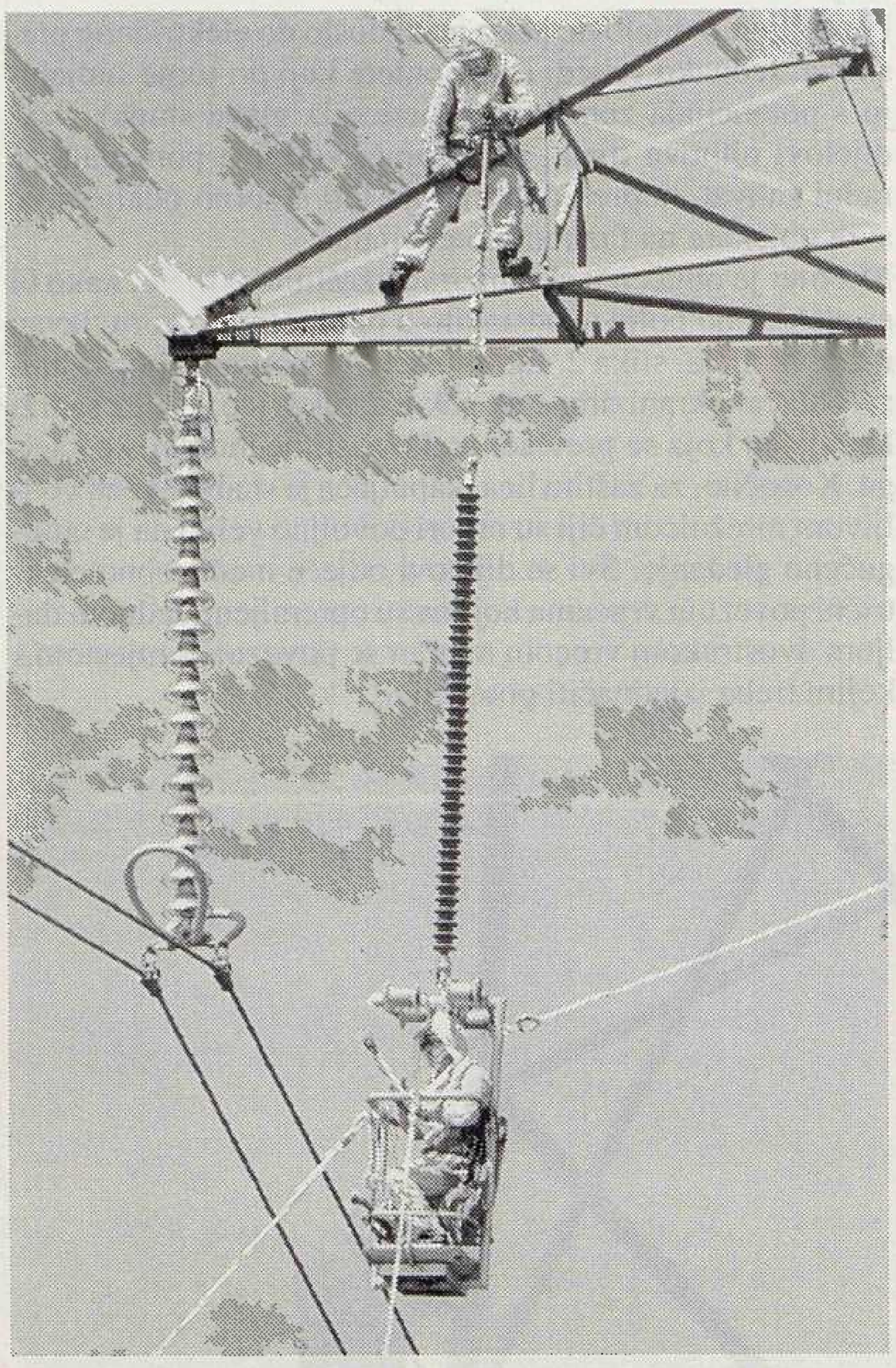
TEHNOLOGIJA RADA POD NAPONOM OVIT-a

Radna metoda koju primjenjuje OVIT na vodovima najvišeg napona (u Mađarskoj: 220 do 750 kilovolta) je rad na potencijalu. Monter, prilikom zahvata na mjestu neposrednog rada nalazi se na električnom potencijalu tog mjesta koje je pri pogonskom naponu u odnosu na uzemljenje dijelova. Za vrijeme rada presudno je neprekidno održanje sigurnosne udaljenosti između tijela montera s alatom i uzemljenih dijelova, kako ne bi došlo do električnog preskoka. Jednako vrijedi i za montere koji pri tome sudjeluju s potencijala zemlje (primjerice iz glave stupa) – svi dijelovi njihova tijela, uključujući vodljiva pomagala za radni zahvat, neprekidno moraju biti sigurno udaljeni od svih objekata na faznom potencijalu.
Mjonter je obučen u ekranizirano zaštitno odijelo, kako bi se električno polje uspostavilo u okolnom prostoru, izvan njegova tijela, slika 2. Ekranizacija je potpuna: pored bluze i hlača, ekranizirane su sokne i rukavice. Bluza sadrži kapuljaču koja se prevlači preko zaštitne monterske kacige. Konačno, za zaštitu lica, kapuljača je snabdjevena vodljivom mrežnicom čiji su otvori dovoljno veliki da je omogućeno gledanje. Svi se dijelovi odjeće međusobno električni povezuju vrpcama kojima su opremljeni. Jednom duljom dvostrukom vrpcom monter se povezuje s mjestom s kojim treba izjednačiti potencijal.



Slika 2. Ekranizirano zaštitno odijelo

Ekipa OVIT-a koristi za pristup mjestu rada monterska kolica ovješena pomoću štapnog izolatora na privremeno učvršćeni potporanj na gredu stupa. Kolica se zakrenu u položaj uz trup stupa, povlačenjem izolacijskih užadi, monter uđe u kolica i onda se na način ljuljačke, užadima s tla privuče vodiču pod naponom slika 3.
Do mjesta rada u rasponu između stupova, kolica se po faznom vodiču prevlače izolacijskim užetom s tla, slika 4. Jedan od četiri kotačića kolica je električki vodljiv, što osigurava isti potencijal kolica s faznim vodičem, a montero-

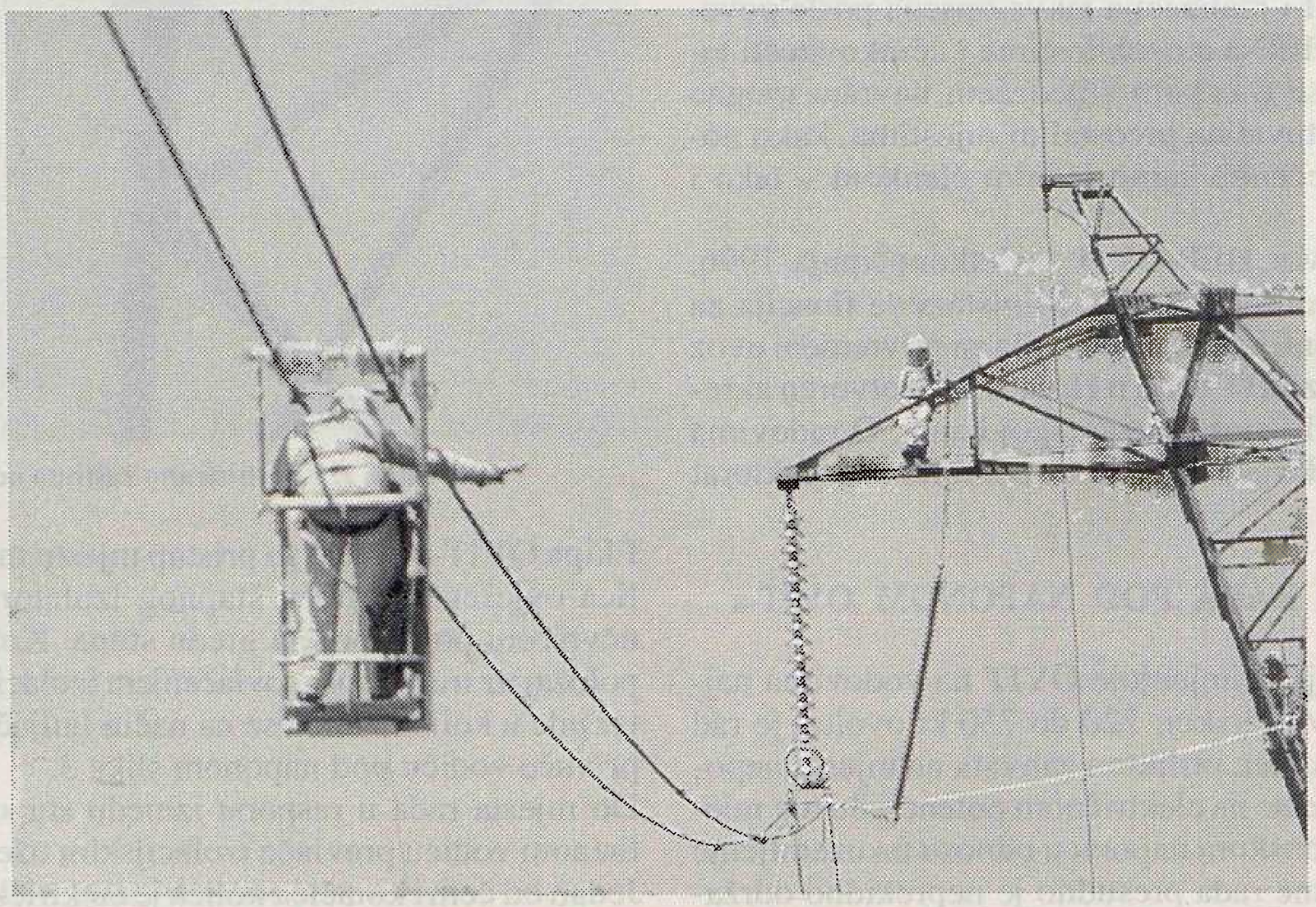


Slika 3. Pristup faznim vodičima

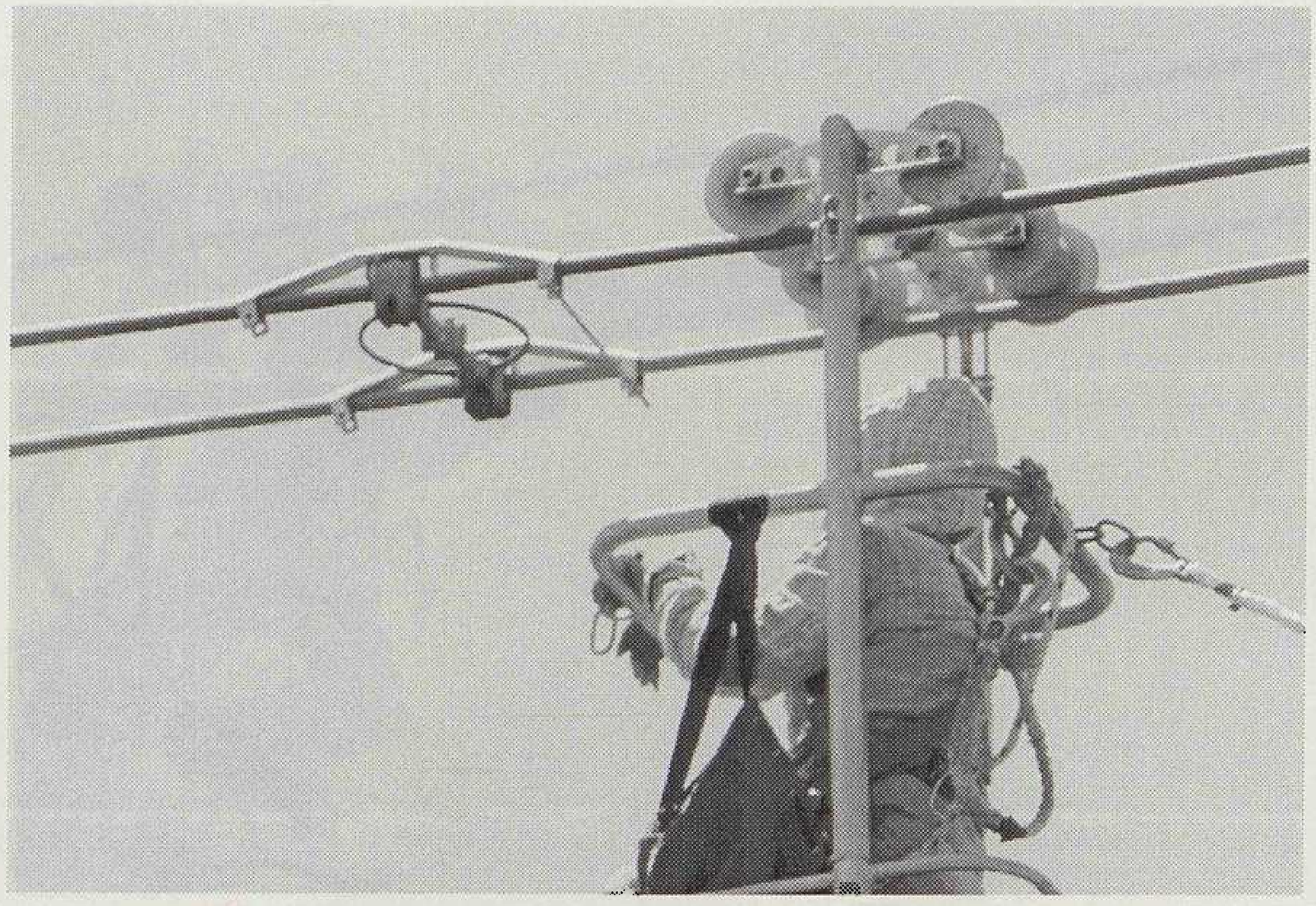
vo odijelo povezano je s kolicima. Za lakši prijelaz kotačića kolica preko odstojnika faznih vodiča u rasponu među stupovima, izrađeno je posebno pomagalo koje se privremeno montira preko stezaljki odstojnika, stvarajući kosinu za prilaz i napuštanje odstojnika, slika 5. Monter, dospjevši do mjesta oštećenja faznog vodiča, najprije to mjesto pripremi za popravak odsijecanjem stršećih vrhova oštećenih žica i oblikovanjem oštećene zone ponovno u cilindrični oblik, drvenim čekićem. Veća oštećenja se konačno saniraju kompresijskom spojnicom i ručnom prešom (slika 6), a manja oštećenja popravnom spiralom (slika 7). Napuštanje mjesta rada odvija se obrnutim redom od pristupa. Jednakim načinom izvodi se popravak odstojnika.

Pristup montera radi zamjene oštećenog izolatorskog članka u nosnom lancu odvija se isto na opisani način, korištenjem monterskih kolica ovješenih na štapni izolator. Da se omogući oslobađanje oštećenog lanca, paralelno njemu postavlja se privremeni nosni štapni izolator. Taj izolator ovješten je vijčanom dizalicom na gredu stupa, te se fazni vodiči mogu tom dizalicom privući gredi stupa i oštećeni lanac time mehanički osloboditi. Prije toga on se obuhvati, sa strane njegova ovješenja, izolacijskom nosivom trakom koja je uvučena u pužnu dizalicu postavljenu pored ovjesišta lanca. Lanac se oslobodi na mjestu njegova ovješenja (zahvatom montera na potencijalu stupa) i na mjestu ovješenja fazog vodiča (zahvatom drugog montera koji je na potencijalu vodiča). Pužnom dizalicom se oštećeni lanac spušta dovoljno nisko do montera u monterski, kolicima na faznom potencijalu i on obavi zamjenu neispravnih članaka, slika 8. Popravljen lanac podiže se do njegova ovjesišta i nastavak zahvata odvija se obrnutim redom od početka.

Zahvati radi popravka vodiča ili odstojnika, te radi zamjene neispravnog članka u nosnom izolatorskom lancu odvijaju se uz istodobni angažman trojice montera u ekraniziranim zaštitnim odijelima u glavi stupa, od kojih jedan odlazi na mjesto koje je na faznom potencijalu. Ostali monteri sudjeluju podrškom s tla. Svi su neposredno predvođeni odgovornim rukovoditeljem radova, koji ima crvenu kacigu i nalazi se na tlu. Samo njegove naredbe se izvršavaju. On je bio sudionik prethodog obilaska radilišta radi pripreme tehničke dokumentacije za rad.
Sigurnost rada postiže se električnom i mehaničkom čvrstoćom svih pomagala, osobito štapnog izolatora za ovjes



Slika 4. Kretanje duž faznih vodiča



Slika 5. Pomagalo za prijelaz odstojnika

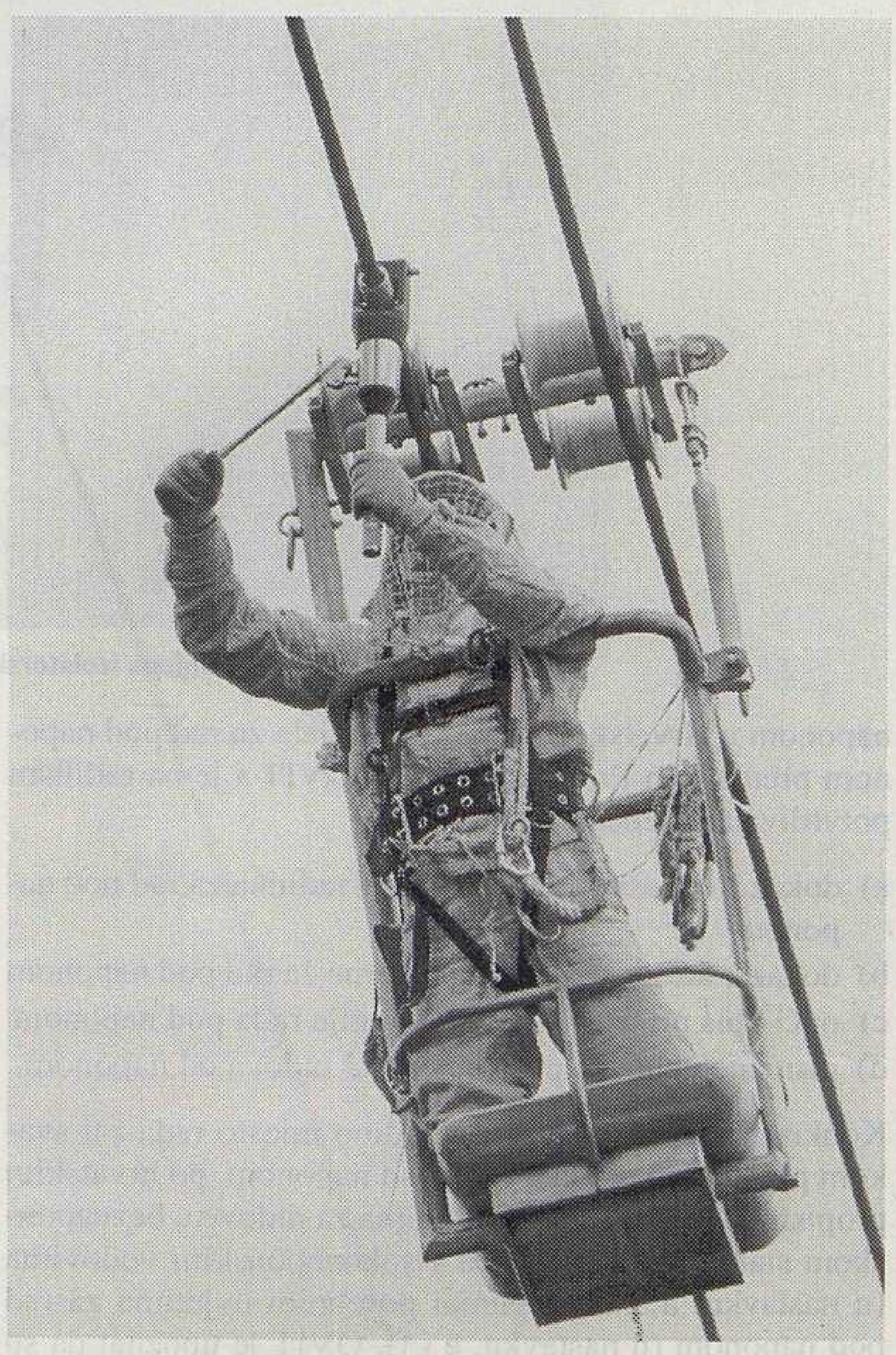
monterskih kolica i za privremeni ovjes faznih vodiča, te izolacijske užadi. Prije izlaska na svako novo radilište, ponovno se ispituje čvrstoća tih pomagala i potvrđuje atestom. Svakodnevna kontola provodi se vizualnim pregledom. Izolacijska čvrstoća uzdržava se čistoćom, suhoćom i – po potrebi – silikoniziranjem. Izolacijski elementi dimenzionirani su tako da imaju dovoljnu čvrstoću i na kiši, kako bi bili sigurni i u slučaju iznenadne pojave kiše u tijeku radnog zahvata.

S druge strane, sigurnost je uvjetovana postojanjem sigurnosne udaljenosti između tijela montera s pomagalima, u svim krajnjim, radnim i prijelaznim položajima. To zahtijeva da se geometrija stupa pažljivo ispita, izabere način pristupa, način pojedinog radnog zahvata i način napuštanja mjesta rada, te donese odluka o mogućnosti pojedinog zahvata na pojedinim mjestima. U toj fazi pripreme radova utvrđuju se i detalji konstrukcije stupa, lanaca i zavješenja vodiča te se – po potrebi – pojedina pomagala za rad adaptiraju u pogledu ukupne duljine (dodaju se ili izuzimaju pojedini segmenti) ili načina njihova pričvršćenja na konstrukciju stupa i vodič (izborom odgovarajućih elemenata). Sigurnosna udaljenost je funkcija pogonskog napona i očekivanih sklopnih prenapona pri isklopu (jer će uklop za vrijeme radnog zahvata biti zabranjen, kao i rad za vrijeme grmljavine), te izabranog faktora sigurnosti. Sigurnosna udaljenost koju zahtijeva OVIT na vodu pod pogonskim naponom 400 kV je 2,7 m, a na vodu pod pogonskim naponom 220 kV je 1,6 m (faza-zemlja).

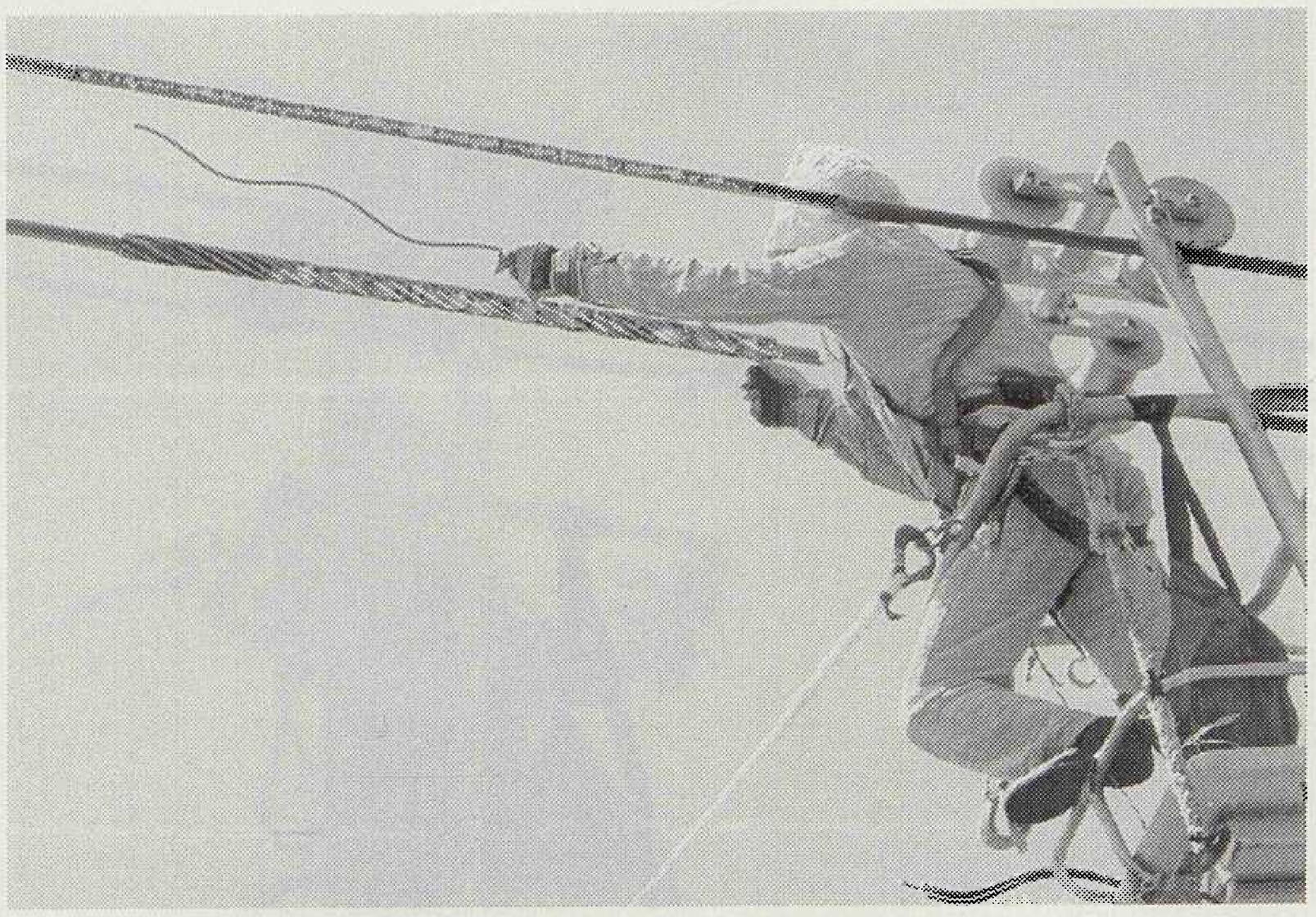
Za svako pojedino mjesto rada izrađuje se pripremna tehnička dokumentacija u kojoj su opisane sve okolnosti rada i način kako će se on obaviti. Tijekom izvođenja rada vodi se radni dnevnik u koji se detaljno upisuje nađeno stanje, izvršeni zahvati i utrošeni resursi za rad. Dakako, u dnevnu dokumentaciju pripada i dozvola dispečera za rad, izdana nakon što su u mreži osigurani pogonski uvjeti za rad. Nakon dnevnog završetka rada, radna ekipa okuplja se oko odgovornog rukovoditelja radova radi kratkog kritičkog osvrta na odvijanje radnih zahvata u proteklom danu i najave neposrednih zadaća za slijedeći dan.

UVJETI ZA IZVOĐENJE RADOVA POD NAPONOM

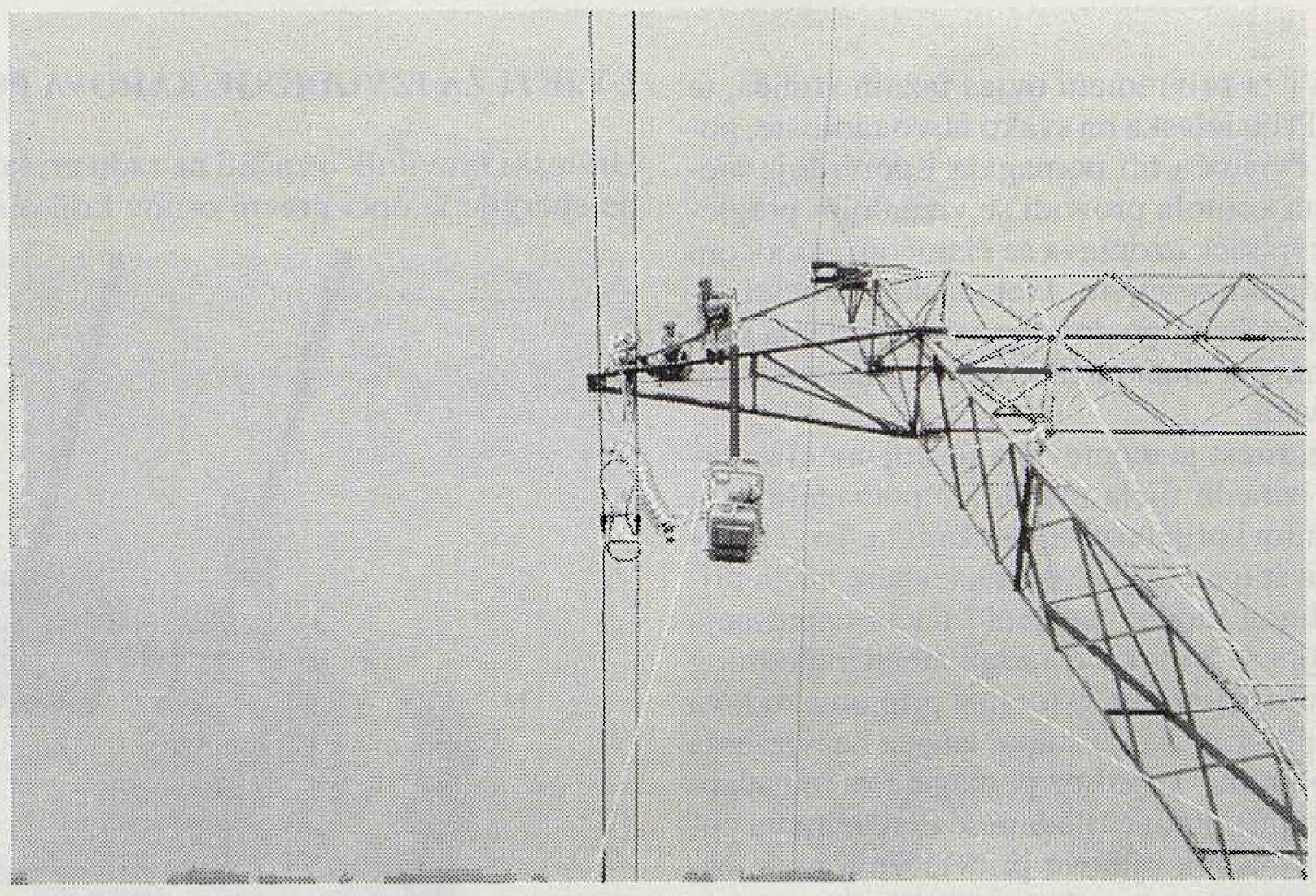
Hrvatski Pravilnik o zaštiti na radu pri korištenju električne energije je opći pravni osnov koji omogućuje rad pod



Slika 6. Popravak vodiča kompresijskom spojnicom



Slika 7. Popravak vodiča popravnom spiralom



Slika 8. Zamjena izolatorskog članka u nosnom lancu

naponom u Hrvatskoj. Ispunjenje uvjeta za rad pod naponom prema tom Pravilniku, ekipa OVIT-a je na radilištu potvrđivala slijedećim ispravama:

a) dokaz o osposobljenosti svakog radnika za rad pod naponom
b) dokaz o atestiranju alata i opreme za rad pod naponom
c) opći opis primijenjene tehnologije rada pod naponom
d) pismene uputa za potrebne vrste radova od naponom.

Konkretni uvjeti za svako pojedino mjesto rada i u svakom pojedinom navratu rada pod naponom, po hrvatskim propisima, jednaki su tim uvjetima za radove u beznaponskom stanju na nadzemnim visokonaponskim vodovima (u nastavku: a...d), dopunjei posebnim uvjetima za rad pod naponom (u nastavku. e i f). OVIT je upoznat da su radovi zabranjeni:

a) pri nevremenu s atmosferskim pražnjenjima
b) pri vjetru brzine iznad 60 km/h
c) pri temperaturi nižoj od -18 °C ili višoj od +35 °C u hladu
d) pri jakoj kiši, magli i snijegu, prema odluci odgovornog rukovoditelja radova
e) ako na mjestu rada električna iskra može izazvati požar ili eksploziju
f) ako su ugroženi životi i zdravlje radnika jer se iz bilo kojeg razloga radne operacije ne mogu obaviti na propisani način.

Prema hrvatskim propisima o zaštiti na radu na mjestima s posebnim uvjetima rada, za sve radnike OVIT-a podneseno je važeće uvjerenje o zdravstvenoj sposobnosti za rad, za koju sposobnost su mađarski zahtjevi stroži od onih za rad na nadzemnim visokonaponskim vodovima.

Izabrana OVIT-ova tehnologija rada dopušta rad pod naponom ako su osigurani slijedeći pogonski uvjeti na promatranom vodu:

a) distantna zaštita u prvom stupnju prekriva 100% duljine voda bez vremenskog zatezanja isklopa
b) blokiran automatski ponovni uklop
c) nije dopušten uklop bez odobrenja odgovornog rukovoditelja rada, ako za vrijeme rada pod naponom dođe do ispada ili isklopa voda na kojem se radi
d) relativna vlažnost zraka na početku rada ne veća od 85%.

Ako na radilište dođe obavijest o ispadu ili isklopu voda, radnici napuštaju mjesto rada i odlaze na potencijal zemlje (ne nužno na tlo) i tada se daje odobrenje za uklop. Nakon primanja dispečerove obavijesti o uklopu, te da su i dalje ispunjeni potrebni pogonski uvjeti u mreži, može se nastaviti s radovima.
Nakon završetka dnevnog posla, odgovorni rukovoditelj radova obavještava o tome dispečara, koji može odlučiti da stavi u funkciju automatski ponovni uklop i postavi režim zaštite drugačije od potrebnog za RPN.
Kako je angažiran izvođač izvan HEP-a, na radilištu je stalno bila tehnička osoba za nadzor iz HEP-a, odgovorna za komunikacije radne ekipe s dispečarom te za operativne dogovore i odluke na mjestu rada u zajednici s OVIT-ovim odgovornim rukovoditeljem radova.

PRIPREME ZA IZVOĐENJE RADOVA

Pripreme su vremenski postavljene tako da se radovi mogu odviti prije nastupa ljetnog grmljavinskog razdoblja.
Osiguran je sav potreban materijal za popravak. Očišćena je trasa od šipražja na svim mjestima radova, te osigurano da se može obaviti hitna sječa ako se lokalno utvrdi da je to potrebno. Pored odgovarajućeg prostora u okolini stupova, to je osobito važno ispod mjesta svih približavanja tlu, onih vodiča na kojima će se raditi, kako raslinje na tim mjestima ne bi umanjivalo sigurnosnu udaljenost. Dakako, nužna je i potpuna prohodnost u rasponima stupova među kojima su oštećenja koja treba popraviti.
U razdoblju prije početka izvođenja radova, odgovarajući radnici HEP-a i OVIT-a obišli su mjesta rada u potpunosti, radi utvrđivanja pristupa i detaljnih okolnosti na svakom mjestu, te izrade kontrolne prethodne tehničke radne dokumentacije koja će se koristiti za svako pojedino mjesto rada.

IZVRŠENJE RADOVA

Radovi su se odvijali najprije na osječkom području, a nastavili na zagrebačkom području. Sukladno ugovoru, radovi su otpočeli 28. lipnja 1996. godine i trajali do konca srpnja 1996. godine. Trajali su, dakle, mjesec dana, u kojem je razdoblju ostvareno 20 radnih dana, zbog planiranih neradnih dana i iznenadno neradnih zbog kiše. Popravci koji su pri tome učinjeni prikazani su tablicom 2, u koloni osnovni ugovor.

Tijekom radova o osnovnom ugovoru opaženo je više kritičnih oštećenja nego li je ugovorom bilo specificirano. Takva oštećenja su također popravljena, te je time ugovoreni opseg popravaka ostvaren dospjevši do približno 1/2 duljine trase dalekovoda, gledajući od Osijeka prema Zagrebu, te je preostala polovina dalekovoda, iscrpljenjem spomenutog ugovora, ostala bez popravaka kritičnih oštećenja.
Prilikom pripremanja radova, utvrđivanje oštećenja je obavljeno vizualnim pregledom dalekozorom s tla, – jer dalekovod nije mogao biti isključivan iz pogona, te je jedan broj oštećenja ostao nevidljiv. Ta oštećenja otkrivena su prilikom izvođenja radova popravaka pod naponom, jer se monter tada nalazio u neposrednom kontaktu i u blizini oštećenih dijelova.

Stoga su dopunskim ugovorom predviđeni radovi u 50 postotnom vrijednosnom opsegu osnovnog ugovora, jer su tako omeđivale financijsko-pravne okolnosti. Očekivalo se da će to omogućiti popravak preostalog dijela dalekovoda, kako bi se dalekovod cijelom duljinom doveo u ujednačeno stanje ispravnosti. Količine, predviđene dopunskim ugovorom prikazane su u tablici 2, u koloni dopunski ugovor. Dopunski ugovor ostvaren je u razdoblju od 21. listopada do 6. studenog 1996. godine, u 15 radnih dana. Međutim, nije ostvaren veliki napredak duž trese: ovdje je bilo raspona u kojima je utvrđen dvostruko veći baroj stvarnih oštećenja od utvrđenih pregledom s tla. To je bilo u području s iznimno žestokim ratnim razaranjima, s prosječno dva oštećenja faznih vodiča u svakom rasponu.
Tako se s popravcima doprlo do 335. stupa; na vodu koji ima ukupo 606 stupova, te je nastavak radova predviđen za povoljno vremensko razdoblje u 1997. godini.

OSTVARENI UČINCI

Na svladanom dijelu trase, obavljen je popravak svih mjesta oštećenja faznih vodiča te je vod u tom pogledu doveden u mehanički pouzdano stanje i spriječena je daljnja destrukcija tih mjesta oštećenja. Pri tome, važno je istaknuti, da je pristupom vodičima pod naponom utvrđeno i oko 50% prikrivenih mjesta oštećenja i obavljena njihova sanacija, što nije otkriveno pregledom s tla. Popravljeni su i oni nosni izolatorski lanci kojima je izolacija bila jače oštećena; preostalo je da se to učini i na zateznim izolatorskim lancima.

Tablica 2. Popravci DV 400 kV Ernestinovo-Tumbri – Tehnologijom rada pod naponom

stanje: studeni 1996.

Vrsta zahvata	Osn. ugovor	Dop. ugovor
Popravak izol. lanca s 1 ošteć. člankom	1	–
Popravak izol. lanca s 2 ošteć. članka	4	–
Popravak faznog vodiča kompres. spojnicom	20	23
Popravak faznog vodiča poprav. spiralom	30	12
Popravak odstojnika	5	–
Ukupno	69	35

Tablica 3. Trajanje popravka oštećenja vodiča (minute)

Faza rada	RPN	RBN
Obostrani isklop voda i uzemljenje u TS	–	15
Utvrđivanje beznap. stanja i uzmeljenje na mjestu rada	–	15
Postavljanje kolica i pristup mjestu rada	45	30
Popravak vodiča spojnicom za popravak	30	30
Napuštanje mjesta rada i uklanjanje kolica	45	30
Odzemljenje na mjestu rada	–	15
Odzemljenje voda u TS i obostrani uklop	–	15
Ukupno	120	150

RPN – ostvarene prosječne vrijednosti prilikom radova pod naponom na DV 400 kV Ernestinovo-Tumbri

RBN – procijenjeno za radove u beznaponskom stanju

Sve to obavljeno je bez manevara u mreži, bez smanjenja sigurnosti mreže, bez povećanja gubitaka u mreži ili izvanrednog angažmana elektrana, te bez ijednog neisporučenog kilovatsata ili kakva drugog izvanrednog događaja. Također, bez čekanja ekipe na isklop i uzemljenje voda, bez opterećenja ekipe odobrenim trajanjem isključenja ili prijetećim atmosferskim prilikama (kada su one bile neprihvatljive, rad je prekidan ili nije niti započinjan).
Iskazati to ekonomskim mjerilima nije jednostavno i bilo bi opterećeno brojnim pretpostavkama – time nedovoljno vjerodostojno. Ilustrirajmo učinkovitost takva rada samo usporedbom vremena potrebnog za popravak faznog vodiča tehnologijom rada pod naponom (RPN) i konvencionalnom tehnologijom, u beznaponskom stanju (RBN).Taj je zahvat izabran za usporedbu jer je čino pretežiti dio ukupnog ostvarenog posla, tablica 3. Pripomenimo da bi se pristup mjestu rada na faznim vodičima u rasponu između stupova, pri radu u beznaponskom stanju, također obavio postavljenjem monterskih kolica na fazne vodiče i prevlačenjem kolica do potrebnog mjesta pomoću užeta s tla.
Možda neočekivano: rad u beznaponskom stanju trajao bi dulje od popravka izvedenog tehnologijom rada pod naponom. Tablica 3 ujedno prikazuje operacije koje naprosto ne postoje prilikom izvođenja RPN, a nezaobilazne su pri radovima u beznaponskom stanju.

ZAKLJUČAK

Popravkom kritičnih oštećenja nastalih ratnim razaranjem 1991/92. godine na DV 400 kV Ernestinovo-Tumbri, koji vod je od tada u pogonu pod naponom 220 kV, ostvaren je prvi put rad pod naponom u prijenosnoj mreži Hrvatske elektroprivrede. Radove su izveli radnici mađarskog poduzeća OVIT uz podršku s tla pomoćnih radnika HEP-a.
Ostvarena je prosječna učinkovitost od oko 3 popravka u jednom radnom danu. Pretežito su to bili popravci oštećenih faznih vodiča, a u manjem broju popravci nosnih izolatorskih lanaca s dva oštećena članka ili popravci odstojnika vodiča u faznom snopu.
Ostvareno je povećanje mehaničke pouzdanosti voda, otkrivene su i otklonjene prikrivene greške, te spriječena dalja destrukcija mjesta oštećenja vodiča na tom vodu u radijalnom korištenju. Sve bez ijednog prekida opskrbe, bez ijedne ozljede na radu i bilo kakva izvanrednog događaja.
Predstoji popravak faznih vodiča i zamjena oštećenih izolatorskih članaka u nosnim lancima na preostalom dijelu trase, primijenjenim načinom, te popravak oštećenih zateznih izolatorskih lanaca na cijeloj trasi, prilagođenjem postojeće OVIT-ove tehnologije i opreme za rad uvjetima na vodu 400 kV Ernestinovo-Tumbri, uz postojeći pogonski napon od 220 kV.

LIVE WORKING ON 400 kV TRANSMISSION LINE ERNESTINOVO-TUMBRI REPAIR

During the war in 1991 and 1991 numerous electric energy facilities owned by the Croatian National Electricity were damaged in war operations. The 400 kV transmission line Ernestinovo-Tumbri, also damaged, has been used continuously since 1992 as the only line for Slavonia electric energy supply under 220 kV voltage. This situation made longer non-operation state caused by repair and maintenance impossible, so war damages have been increased by everyday operation damages for instance breakdowns of insulator parts. Primary conductor damages caused by war are gradually getting worse because of heat, corrosion and atmospheric influences. Therefore it was necessary to realise the critical damages repair working live. The Croatian National Electricity is not equipped and qualified for that work, so the Hungarian enterprise OVIT has been engaged to realise this task. This paper is a review of that undertaking, the first live working in the transmission network of the Croatian National Electricity.

DIE REPARATUR UNTER SPANNUNG DER 400 kV FERNLEITUNG ERNESTINOVO - TUMBRI

Zahlreiche Stromversorgungsanlagen Kroatiens sind durch Kriegszerstörungen im Laufe des Krieges 1991/1992 beschädigt worden. Die 400 kV - Fernleitung Ernestinovo - Tumbri, ebenfalls beschädigt, dient seit 1992 unter Spannung von 220 kV als die einzige Leitung für die Stromversorgung Slawoniens. Nicht nur wegen Reparatur und Instandhaltung, sondern auch wegen der Beschädigungen im Normalbetrieb (z.B. Durchbrüche and den Isolatoren-kettengliedern), sowie wegen der immer häufiger vorkommenden Verbreitung der Kriegsschäden durch Wärme, Korrosion und Niederschläge, war eine Ausserbetriebstellung von längerer Dauer nicht zu vermeiden. Dadurch war die Einführung der Arbeiten unter Spannung wegen der Beseitigung kritischer Beschädigungen unentbehrlich. Da Kroatien für solche Unterfangen nicht ausgerüstet ist, hat man das ungarischen Unternehmen OVIT angeheuert. Dieses Artikel stellt dieses Unterfangen, als die erste Arbeit unter Spannung im Versorgungsnetz kroatiens, dar.

Naslov pisaca:

József Meixner
Országos Villamostávvezeték Rt.
Körvasútsor 105
H-1158 Budapest, Pf. 83
Mađarska

Marijan Kalea
Hrvatska elektroprivreda
Šet. kard. F. Šepera 1a
31000 Osijek, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1996 – 12 – 5

NEKI ASPEKTI RADA POD NAPONOM U VISOKONAPONSKIM MREŽAMA

Marijan Kalea, Osijek

UDK 621.316.1
STRUČNI ČLANAK

Prikazuju se važniji opći, tehnički, sigurnosni, ekonomski, socijalni i organizacijski aspekti rada pod naponom, prvenstveno ako se primjenjuje na visokonaponskim prijenosnim mrežama.

Ključne riječi: rad pod naponom, prijenosna mreža.

1. UVOD

Rad pod naponom (RPN) je izvođenje kontrole, održavanja, popravaka, zamjena, rekonstrukcija ili dogradnje elektroenergetskih mreža – vodova i postrojenja – bez prekida njihova pogona.[1]

U SAD i Kanadi primjenom RPN počelo se ranije, a u SSSR tijekom Drugog svjetskog rata. U europskim elektroprivredama, primjena RPN počinje pedesetih-šezdesetih godina. Počevši 1992. godine, svake se druge godine održava međunarodna konferencija o radu pod naponom, gdje se prikazuje postignuto stanje i putevi daljnjeg napretka. Praktički: u mnogim zemljama se svi rutinski zahvati na vodovima visokog napona mogu izvoditi ili izvode na takav način, a uporno raste obuhvat radova tim načinom i u visokonaponskim rasklopnim postrojenjima. Analogna tome su i ostvarenja na niskonaponskim i srednjonaponskim mrežama. Pojedinačnim primjerima pokazuju se ostvarenja koja potvrđuju da je moguće zapravo svaku zadaću u mreži – ako je tako potrebno – izvesti radom pod naponom.

Na početku istaknimo: oprema dalekovoda i postrojenja, za primjenu današnje tehnologije RPN, ne traži nikakve prethodne preinake. Doduše, u stanovitoj mjeri, mreža mora biti ujednačena – građena i održavana na tehnički kulturan način; inače se ne mogu primijeniti ujednačeni postupci, alati, radna i zaštitna oprema, te obuka radnika. Ako je potrebno, tehnologija RPN prilagođava se prilikama u mreži – a ne obrnuto. Nakon višegodišnjeg iskustva u primjeni, naravno, nastaju spoznaje i o takvom opremanju i izvedbi mreže da je podobnija za primjenu RPN, te je to razumno uvažavati.

Zbog svestranog i egzaktnog utvrđivanja opasnosti kojima su izloženi radnici prilikom izvođenja RPN, te izbora i dimenzioniranja mjera za njihovo svladavanje, radom pod naponom ostvaruje se veća sigurnost na radu u odnosu na rad konvencionalnim načinom.

Rad pod naponom je, dakle, raspoloživa mogućnost za kvantitativno i kvalitativno povećanje iskorištenja postojećih materijalnih i kadrovskih resursa u elektroprivredi, uz povećanje sigurnosti opskrbe električnom energijom. Time – prema iskustvu – značajno pridonosi ugledu elektroprivrede u javnosti.

Rad pod naponom treba gledati kao jednu mogućost održavanja bez prekida ili smanjenja sigurnosti opskrbe električnom energijom. Druga je mogućnost privremeno premoštavanje (koje se opet može izvesti radovima pod naponom) i izdvajanje iz pogona elementa mreže na kojem se onda radi u beznaponskom stanju ili takvo izdvajanje uz prethodno osiguranu opskrbu iz pokretnog agregata (što je primjenjivo u niskonaponskoj i donekle u srednjonaponskoj mreži). Sam rad pod naponom konvencionalno izvode neposredno elektromonteri, a u razvoju je i ostvaruje se početna primjena daljinskih manipulatora pa i robota za rad pod naponom.

2. SVOJSTVA RADA POD NAPONOM NA VISOKONAPONSKIM MREŽAMA

Podsjetimo, radovi u beznaponskom stanju na visokonaponskim mrežama obvezno se izvode uz neizostavnu primjenu pet pravila sigurnosti:

(1) isključiti
(2) osigurati od uključenja
(3) provjeriti beznaponsko stanje
(4) uzemljiti
(5) ograditi i označiti.

Radovi pod naponom na visokonaponskim mrežama u odnosu na radove uz isključenje i uzemljenje (radovi u beznaponskom stanju) imaju niz prednosti:

- neprekinuta opskrba električnom energijom u radijalno povezanim dijelovima mreže
- povećanje tekuće sigurnosti elektroenergetskog sustava jer za vrijeme radova nije isključen element mreže na kome se radi
- smanjenje gubitaka djelatne energije u mreži, jer se ne mijenja optimalno uklopno stanje mreže

[1] Rad pod naponom (RPN), live working (LiW, engl., ponekad: HLW hot-line-work, LIM live-maintenance, LLW live-line-working, LWT live-marking tehnik), Arbeiten unter Spannung (AuS, njem.), travaux sous tension (TST, franc.), lavoro sotto tensione (LST, tal.), feszültség alatti munkavégzés (FAM, mađ.), trabajos en tension (TET, španj.), rabot pod naprjaženiem (РПН, rus.)

– smanjenje deficita jalove energije u sustavu jer vodovi ostaju u pogonu
– povećanje iskorištenja ekonomičnijih elektrana u sustavu, jer za vrijeme radova nije onemogućivan/reduciran njihov angažman
– smanjenje angažmana neekonomičnih elektrana
– za vrijeme radova ostaje normalni pogonski režim: normalne naponske prilike, mogućnosti prijenosa, vozni red elektrana
– izbjegavaju se brojne pogonske manipulacije u mreži radi pripreme radova i nakon završetka radova – smanjenje trošenja sklopnih aparata i izlaganja mreže unutarnjim prenaponima
– ne odgađa se izvršenje kritično potrebnih radova u mreži čekanjem povoljnijih energetskih prilika
– jednostavnija procedura dispečerskog usklađivanja i odobravanja radova
– smanjuje se trajanje pripremno-završnih radova: izostaju radovi isključenja i uzemljenja (odnosno izemljenja i uključenja), kod dalekovoda – na njegove obje strane
– temeljito prostudirane, precizno formulirane i rigorozno primjenjivane mjere zaštite na radu smanjuju broj nezgoda na radu električnim udarom (geslo: "bolje raditi siguran da je objekt rada pod naponom, nego vjerovati da je isključen") – radne metode su tako određene dapružaju sigurnost prema najvišem pogonskom naponu i prenaponima u mreži
– širok angažman raznovrsnih stručnjaka na pripremi, uvođenju i razvijanju radova pod naponom vodi općem osuvremenjivanju organizacije, metoda i opreme za rad, radnih procedura i obuke, te njihovom ujednačavanju na širokom području
– rad se planira u normalno radno vrijeme (ne prekovremeno, neradnim danom i noću), a njegovo izvršenje ne odvija se pod pritiskom odobrenog početka i završetka, humaniji rad
– izostaje potreba obavještavanja potrošača i usklađivanja s njima
– primjena isključivo odobrene opreme za rad i njezina stalna kontrola
– povećanje radne osposobljenosti radnika i njezino trajno obnavljanje i provjeravanje, veća i pouzdana tehnička kultura
– bolji međuljudski odnosi u ekipama
– bolje iskorištenje radnog vremena
– mogućost sporije dogradnje prijenosne mreže
– porast ugleda elektroprivrede u javnosti.

Rad pod naponom dovodi, dakle, do povećanja sigurnosti, ekonomičnosti i kakvoće opskrbe električnom energijom, uz povećanje sigurnosti, kakvoće rada i učinkovitosti, te boljih uvjeta rada radnika zaposlenih na održavanju i intervencijama u visokonaponskim mrežama.
Uvođenje radova pod naponom uvjetovano je ulaganjima u:
– stručna sagledavanja i odluke
– stvaranje pravne infrastrukture
– izbor tehnologije i izradu tehnoloških uputstava
– opremanje radnim i zaštitnim sredstvima za RPN
– obuku kadrova za RPN
– eventualne preinake u mreži koje bi zahtijevale osobite vrste RPN
– trajno obnavljanje i kontroliranje obučenosti radnika i ispravnosti sredstava za RPN.

Zemlje koje primjenjuju RPN na visokonaponskim mrežama očito su nabrojane koristi (pojedine teško ili nemoguće novčano iskazive) ocijenile većim od (daleko jednostavnije iskazivih) ulaganja u RPN.

3. RAZVOJ OBUHVATA RADOVIMA POD NAPONOM

Vrlo sustavno i obuhvatno provedena anketa UNIPEDE iz 1984. godine [15], iznosi pregled tadašnjeg stanja RPN u obuhvaćenih 14 europskih zemalja. Tada je primjena RPN u niskonaponskim mrežama bila uobičajena u 12 obuhvaćenih zemalja, u srednjonaponskim mrežama uobičajeno u 7 zemalja, djelomice u 5 zemalja, a u visokonaponskim mrežama u 3 zemlje uobičajeno (Francuska, Španjolska, Mađarska) i djelomice u 6 zemalja (Njemačka, Danska, Velika Britanija, Italija, Norveška i Švedska). Smjer razvoja primjene RPN je pretežito od niskog napona, preko srednjeg, prema visokom naponu. Premda postoji i obrnuti primjer (Norveška) ili pragmatični primjer Italije, koja je tada bez obuhvata srednjeg napona, jer je tu primjena RPN najsloženija: opasnost velika – konstrukcijski razmaci mali!
U tih 14 zemalja bilo je tada preko 70000 radnika obučenih za RPN na niskonaponskim mrežama, skoro 4000 radnika za srednji napon i oko 400 radnika za visoki napon. Predvodila je Francuska: 22000 (niski napon), 1100 (srednji napon) i 200 (visoki napon).
Početkom ovog desetljeća u Francuskoj je taj broj udvostručen: ukupno oko 50000 elektromontera (20000 u EDF i 30000 izvan EDF) bilo je obučenih za rad na niskom naponu, oko 1500 za rad na srednjem naponu i oko 500 za rad na visokom naponu – petina svih fancuskih elektromontera. Poljska 1992. godine ima 180 radnika obučenih za RPN u mreži 220 do 750 kV (12000 km), a Španjolska 1995. godine ima 250 takvih radnika za mrežu 220 do 400 kV (17000 km); [21] i [22].
Uspostavio se uglavnom ujednačen skup tipičnih zahvata koji se izvode radom pod naponom. Pregled tih zahvata na visokonaponskim mrežama iznesen je u tablici 1.

Tablica 1. Tipični zahvati koji se izvode radovima pod naponom u visokonaponskim mrežama

Zahvat	Dalekovodi	Postrojenja
– zamjena izolatora	X	X
– zamjena stezaljki i armature	X	X
– zamjena prigušivača i odstojnika	X	X
– popravak vodiča i zaštitnog užeta	X	X
– čišćenje i/ili pranje izolacije	X	X
– premazivanje izolacije	X	X
– montaža dodatnog zavješenja	X	X
– montaža pojačane izolacije	X	
– održavanje aparata		X
– popravak aparata		X
– zamjena aparata		X
– dogradnja i priključak novih elemenata	X	X
– dolijevanje izolacijskog ulja		X
– uklanjanje stranih predmeta	X	X
– zamjena konstrukcijskih elemenata	X	X
– zaštita od korozije u III. zoni	X	X
– kontrola stanja elemenata u III. zoni	X	X

Opaska: III. zona je ona u koju nije dopušten pristup konvencionalnim načinom bez isključenja i uzemljenja.

Najčešće, početak primjene RPN je samo na dalekovodima, jer su uvjeti za rad u visokonaponskim postrojenjima složeniji. U početnoj etapi primjene u mrežama visokog napona obuhvat je manji (zamjena članaka nosnih i zateznih izolatorskih lanaca, nosnih i zateznih stezaljki, te prigušivača vibracija i odstojnika), da bi se obuhvat postupno širio, u skladu s (ponegdje i specifično naglašenim) potrebama.

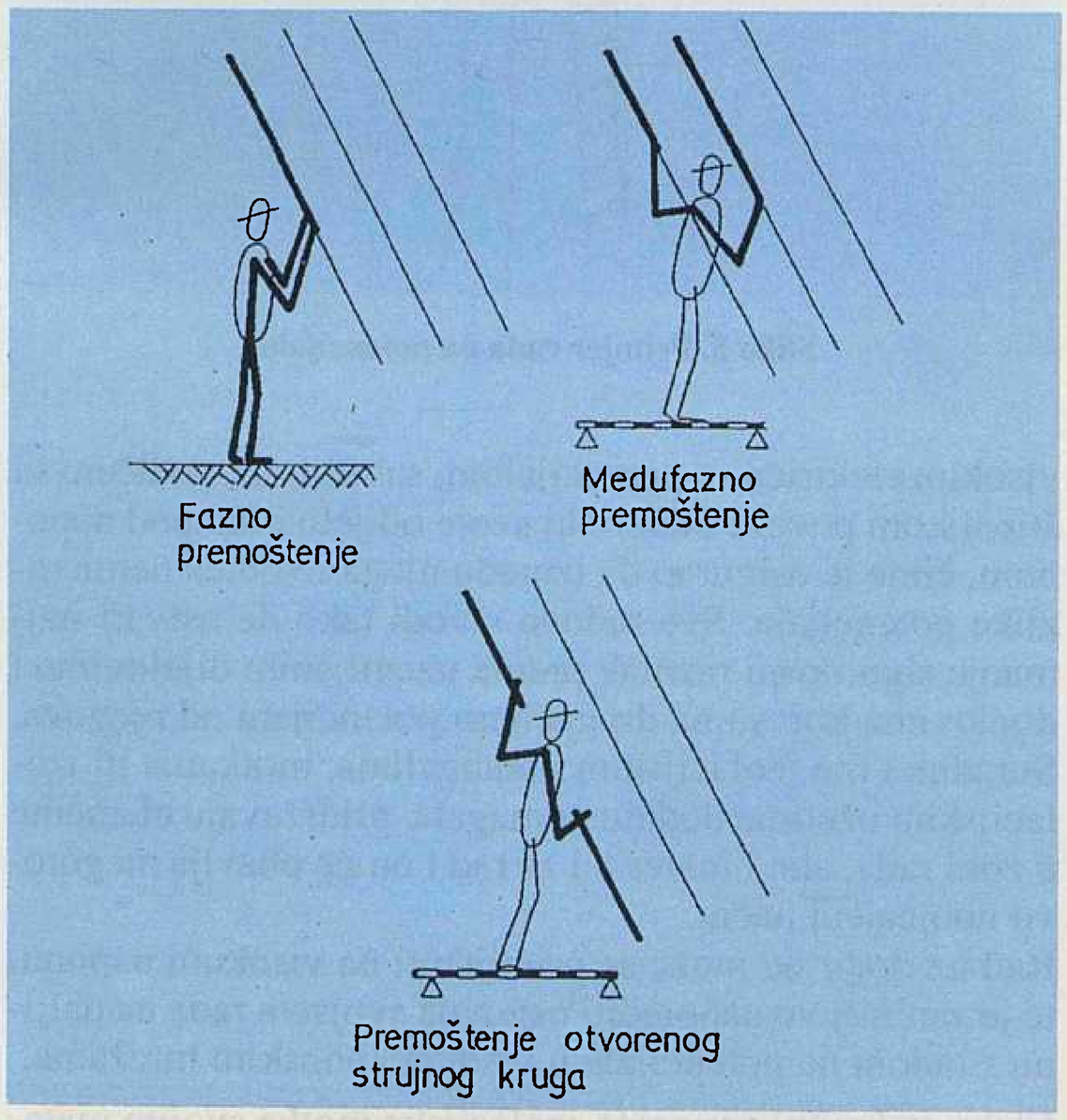
Uvjetovano intenzitetom svekolikih zagađenja suvremenog doba ili zemljopisno-klimatski uvjetovanih (posolica, prašina), ponegdje se najprije krenulo u čišćenje i/ili pranje izolacije pod naponom: suhim četkanjem, pranjem vodom (vidi sliku 9) ili tretmanom mlazom projektila (zrna kukuruza, orahove ili lješnjakove ljuske).

Za ostvareni razmah RPN u visokonaponskim mrežama odlučna su zatečena svojstva mreže i ciljevi koji se namjeravaju postići. U tom pogledu, karakteristične su prilike u Francuskoj i Njemačkoj. Francuzi su, utemeljujući svoj golemi program nuklearnih elektrana početkom sedamdesetih, utvrdili potrebu velike dogradnje prijenosne mreže kako bi se osigurala njezina raspoloživost kakvu zahtijeva ekonomično korištenje nuklearnih elektrana. Prihvatljivijim, utvrdili su ulaganja u posvemašnji razvoj RPN kako bi manje izgrađenom mrežom osigurali njezinu povoljnu raspoloživost. Nijemci tradicionalno grade višesustavne prijenosne vodove (uobičajeno četverosustavne), te zastoj jednog voda na trasi ne znači izostanak prijenosa na toj trasi. Time RPN na visokom naponu u Njemačkoj nije toliko urgentan.

Posljednjih godina, najveći zamah RPN u Europi ostvaruje se u Francuskoj, Italiji, Španjolskoj i Portugalu, sudeći prema širini i učestalosti referiranja u [21] i [22].

4. METODE RADOVA POD NAPONOM

Osnovni električni rizici kojima su izloženi radnici, radeći na trofaznom električnom sustavu niskog, srednjeg i visokog napona, bez prekida pogona su (slika 1):



Slika 1. Osnovni rizici pri radu pod naponom

– premoštenje faznog napona, tijelom (ili dijelovima tijela) između faze i zemlje
– premoštenje međufaznog napona, tijelom između dvije faze
– premoštenje prekinutog strujnog kruga, tijelom između razdvojenih dijelova.

Dopunski rizik pri radovima na niskom naponu je nehotično izazivanje električnog luka pred licem montera na mjestu rada, a pri radovima na vrlo visokom naponu dugotrajnije zadržavanje radnika u zonama jakog električnog polja.

Mjere protiv tih rizika primjerene su njihovoj fizikalnoj osnovi. Fazno premoštenje sprečava se dodavanjem izolacije između ruku i mjesta rada pod naponom (rukavice, izolirani alat ili izolacijske motke) ili dodavanjem izolacije između tijela i zemlje (čizme, izolacijska obloga, izolacijske ljestve, izolacijska radna košara na vozilu-hidrauličnoj dizalici ili na izolator ovješena monterska košara-sjedalica). Međufazno premoštenje sprečava se izolacijskim ograđivanjem dijelova u zoni rada. Pri radu pod visokim naponom najčešća mjera sprečavanja faznog i međufaznog premoštenja je održavanje dovoljnog zračnog razmaka između radnikova tijela i dijelova pod različitim potencijalom od potencijala tijela – pri pristupu, tijekom radnih zahvata i napuštanju mjesta rada.

Premoštenje tijelom, nehotično ili radi radova prekinutog strujnog kruga, sprečava se time da se izvede dopunsko privremeno premoštenje koje obuhvaća prostor širi od radnoga, odnosno onoga u kojem se može dogoditi nehotični prekid.

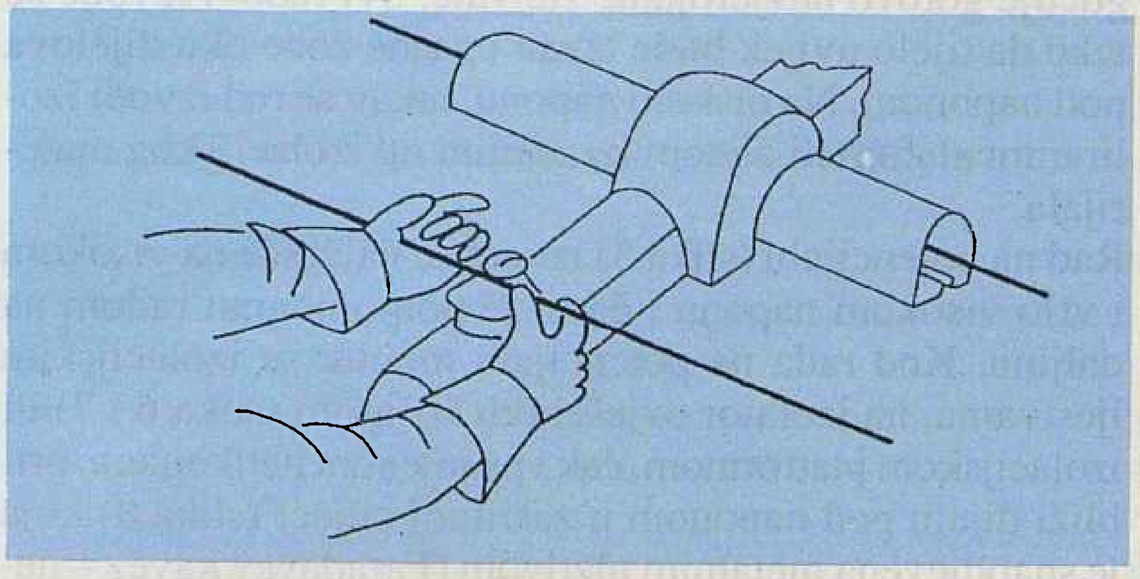
Izazivanje električnog luka sprečava se umetanjem izolacijskih pregrada u neposrednoj blizini dijelova na kojima se radi, kako bi se onemogućio njihov nehotični spoj alatom. Dopunski, ponegdje je obvezna primjena zaštitnih naočala.

Djelovanje električnog polja na organizam sprečava se primjenom ekraniziranog zaštitnog radnog odijela.

Prema tehničko-tehnološkom rješenju koje je primijenjeno za zaštitu od osnovnih rizika, razvijene su tri metode rada pod naponom:

– rad uz dodir *(rubber glove working, work in direct contact)*
– rad na daljinu *(hot stick working, work at a distance)*
– rad na potencijalu *(bare hand working, work at a potential)*.

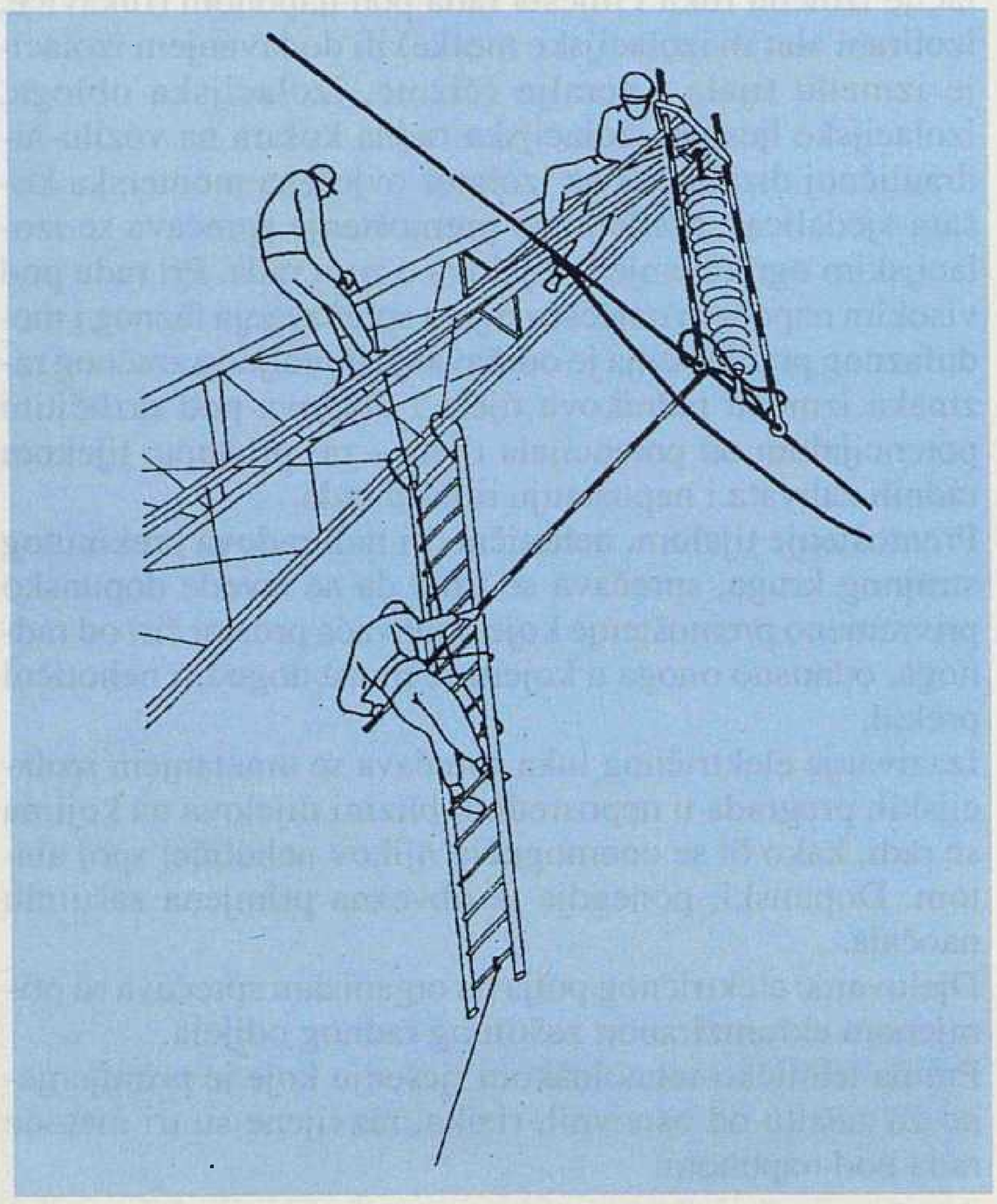
Prva metoda primjenjuje se samo na niskom i srednjem naponu, druga se može koristiti na svim naponskim razinama, a treća uglavnom na visokom i donekle na srednjem naponu. U pojedinom zahvatu mogu se te metode primijeniti samostalno ili kombinirano.



Slika 2. Rad uz dodir

Rad uz dodir (rad u blizini) izvodi se uz primjenu zaštitnih rukavica i zaštitnih gumenih rukava, na niskom naponu (slika 2) i – dodatno – izolacijskih ljestvi ili radne košare ako se radi na srednjenaponskom vodu ili postrojenju.

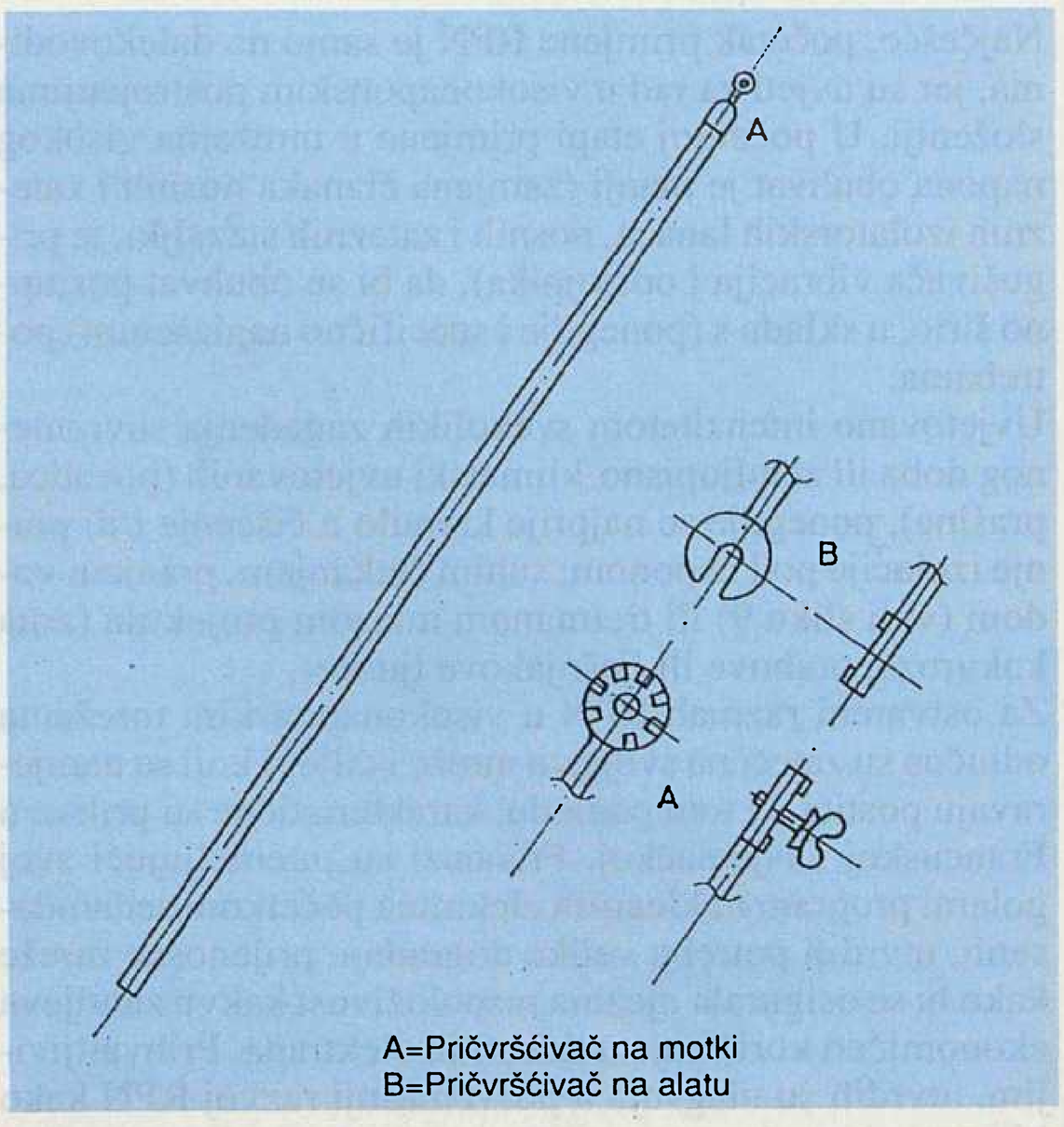
Za vrijeme rada dijelovi pod naponom se diraju (ali izolacijskim rukavicama). Priprema mjesta rada je opsežna, obično traži privremeno izolacijsko oklapanje svih uzemljenih mjesta i mjesta pod naponom faza na kojima se ne radi, te privremeno premoštavanje mjesta rada izoliranim spojnim vodičem. Za te svrhe potreban je velik broj prilagođenih izolacijskih pomagala, koja moraju odgovarati dimenzijama opreme, moraju biti ispitana i pažljivo održavana, a prije uporabe kontrolirana.



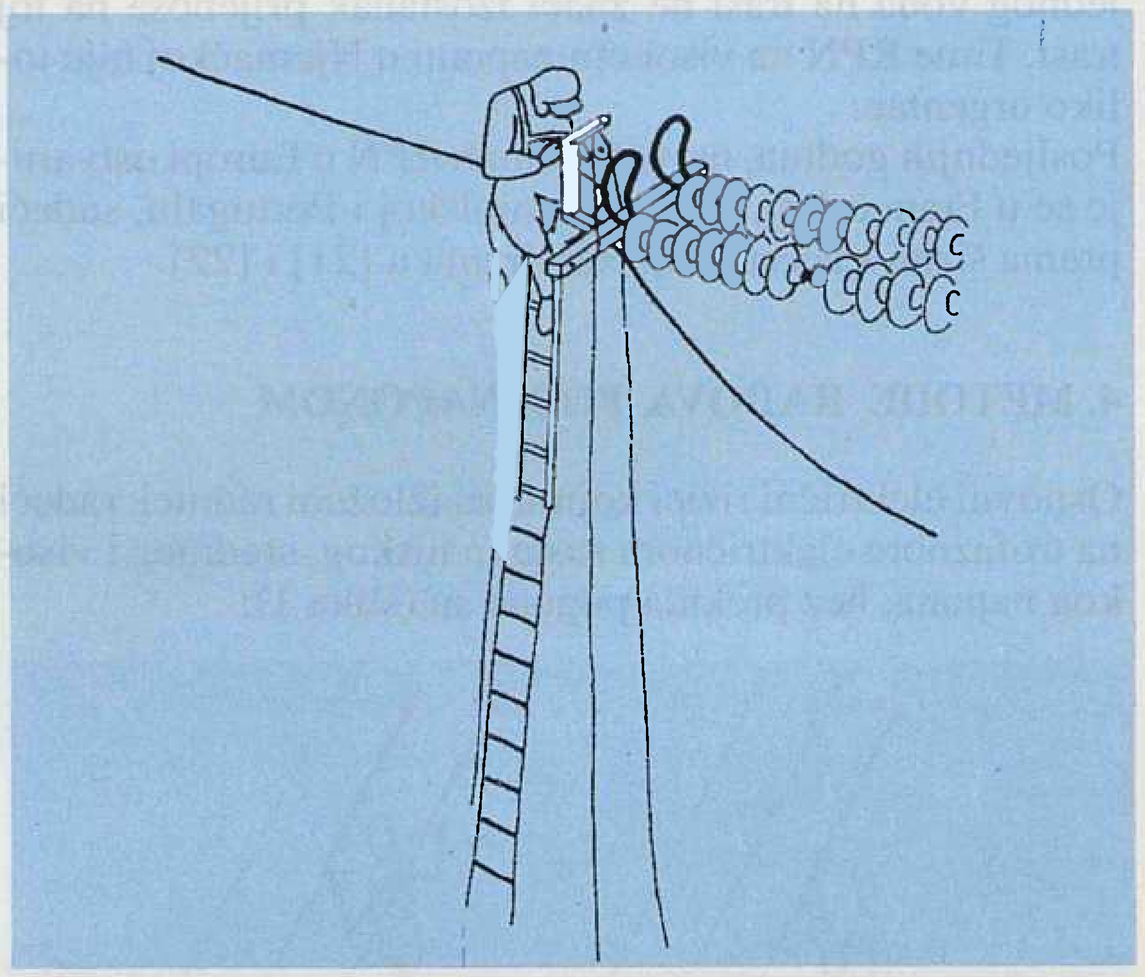
Slika 3. Rad na razmaku

Rad na daljinu (slika 3) izvodi se izolacijskim motkama, iz sintetskog materijala, poput onih kakve se inače koriste za rukovanje u visokonaponskim postrojenjima. Za rad pod naponom te su izolacijske motke vrlo krute i na vrhu snabdjevene nizom alatki široke mogućnosti izbora (od kuka, pridržívača, kliješta, ključeva, četki – do pila, ampermetara, itd., slika 4). Spremnost i izvježbanost montera omogućuje gotovo nevjerojatne zahvate. Svi radovi izvode se tako da tijelo uvijek bude izvan opasne zone oko dijelova pod naponom. Na niskom naponu, takav se rad izvodi izoliranim alatom ili alatom izrađenim od izolacijskog materijala.

Rad na potencijalu (slika 5) izvodi se najčešće na visokom i vrlo visokom naponu i često je potpomognut radom na daljinu. Kod rada na potencijalu monter se izolacijskim ljestvama, na izolator ovješenom košarom (slika 6 i 7) ili izolacijskom platformom, čak i primjenom helikoptera, približi dijelu pod naponom u zaštitnoj odjeći (slika 8) koja je snabdjevena metalnim pletivom (Faradayev kavez – nema električnog polja u njemu). Kad je došao do dijela pod



Slika 4. Izolacijska motka za rad na razmaku

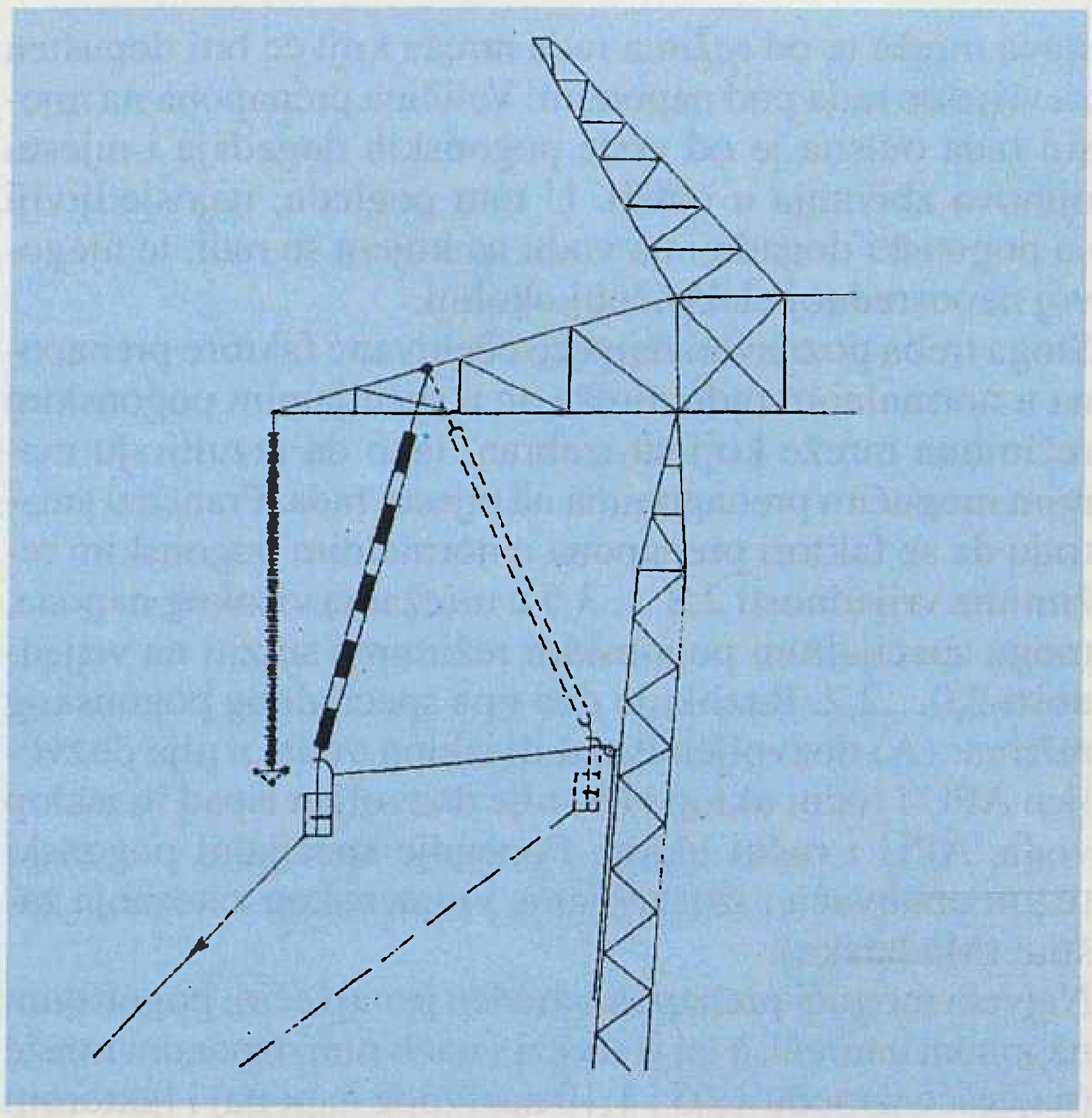


Slika 5. Primjer rada na potencijalu

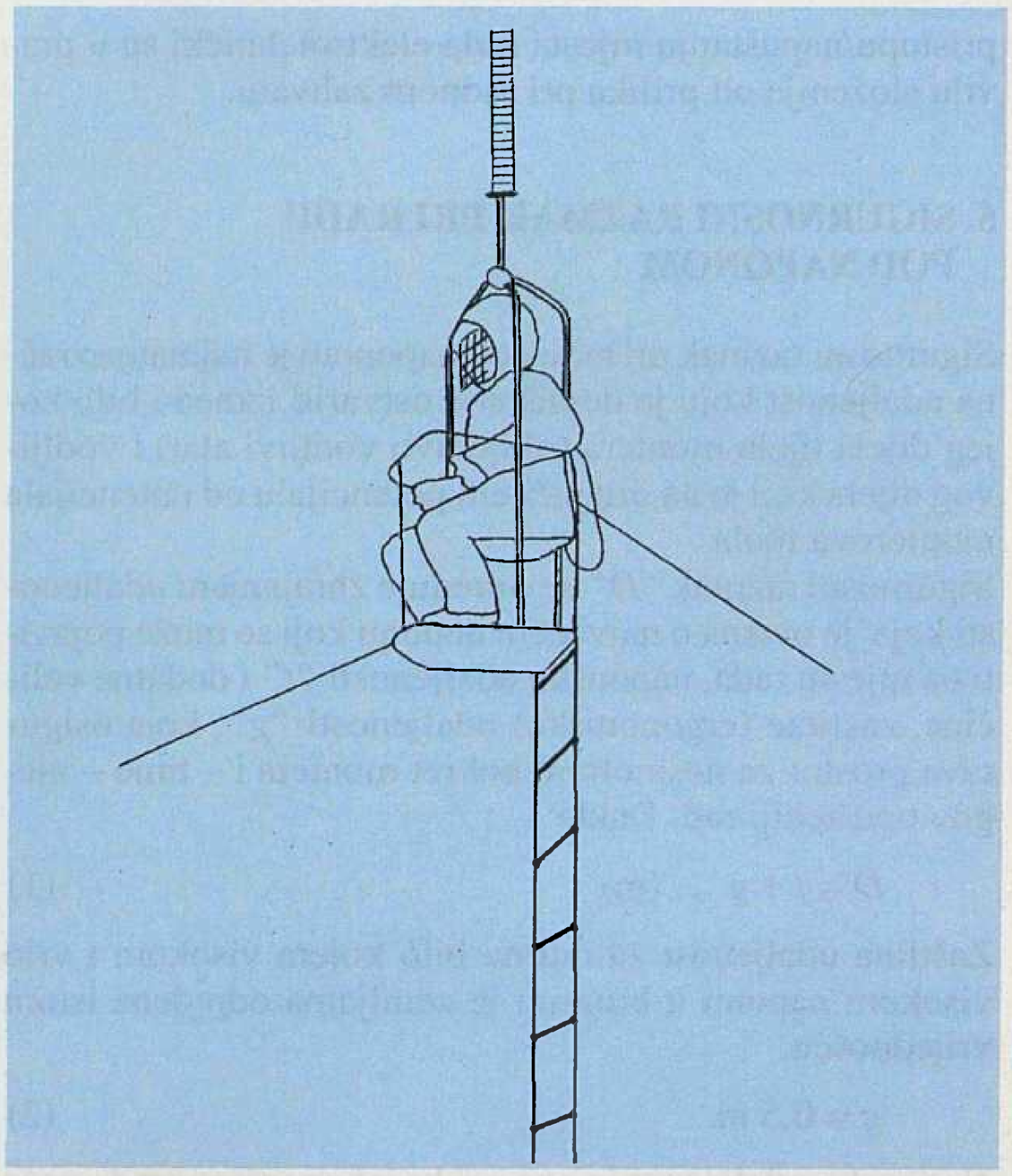
visokim električnim potencijalom, savitljivim vodičem sa štipaljkom poveže električki svoje odijelo i dio pod naponom, čime je osigurao da između njega i vodiča nema razlike potencijala. Sve radove izvodi tako da ostvari najmanje sigurnosni razmak prema uzemljenim dijelovima i dijelovima koji su na drugačijem potencijalu od njegova. Suradnici mu izolacijskim pomagalima, motkama ili izolacijskim užetima dodaju pomagala, pridržavaju elemente u zoni rada, alat i materijal za rad i on ga obavlja na gotovo uobičajeni način.

Rad uz dodir ne može se primijeniti na visokom naponu, te je zanimljivo usporediti osnovna svojstva rada na daljinu s radom na potencijalu u visokonaponskim mrežama.

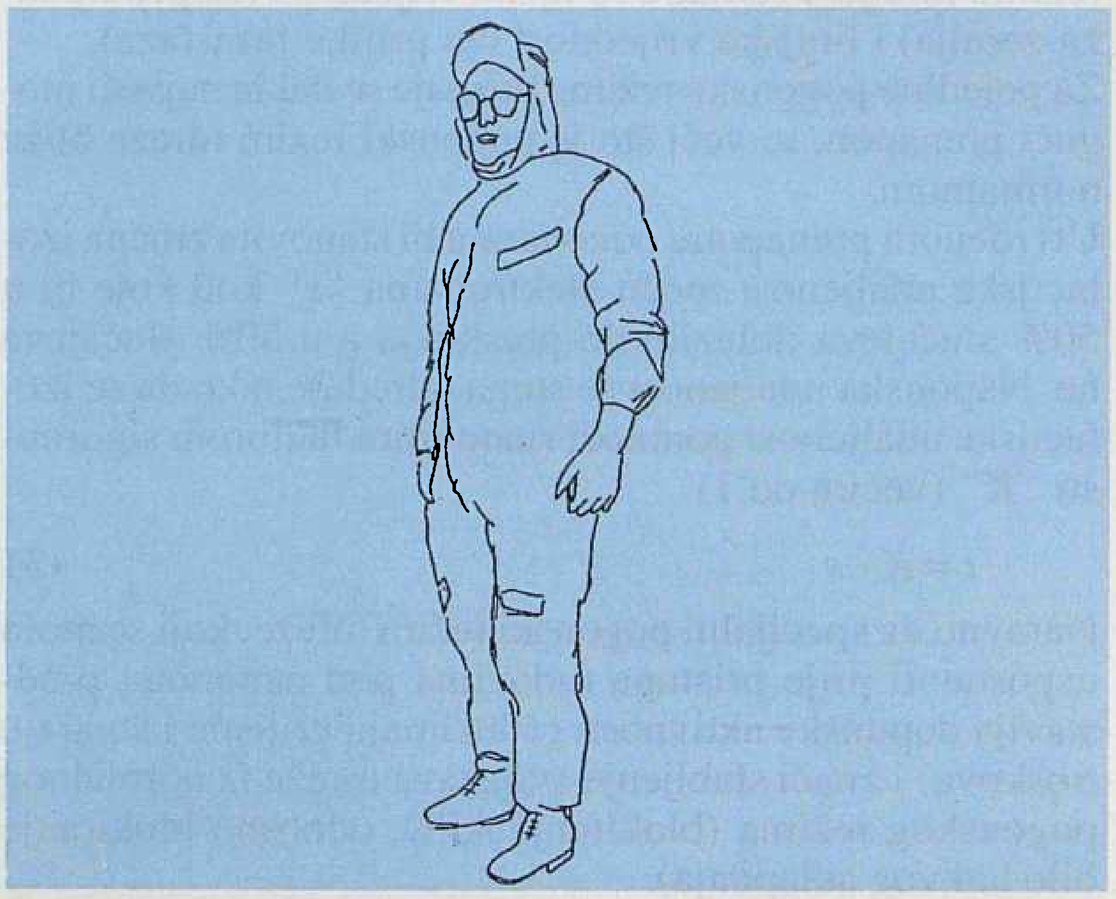
Elektrotehnički govoreći, izolacijske motke svojim materijalom, duljinom i trenutnim stanjem (ovlaženost, čisto-



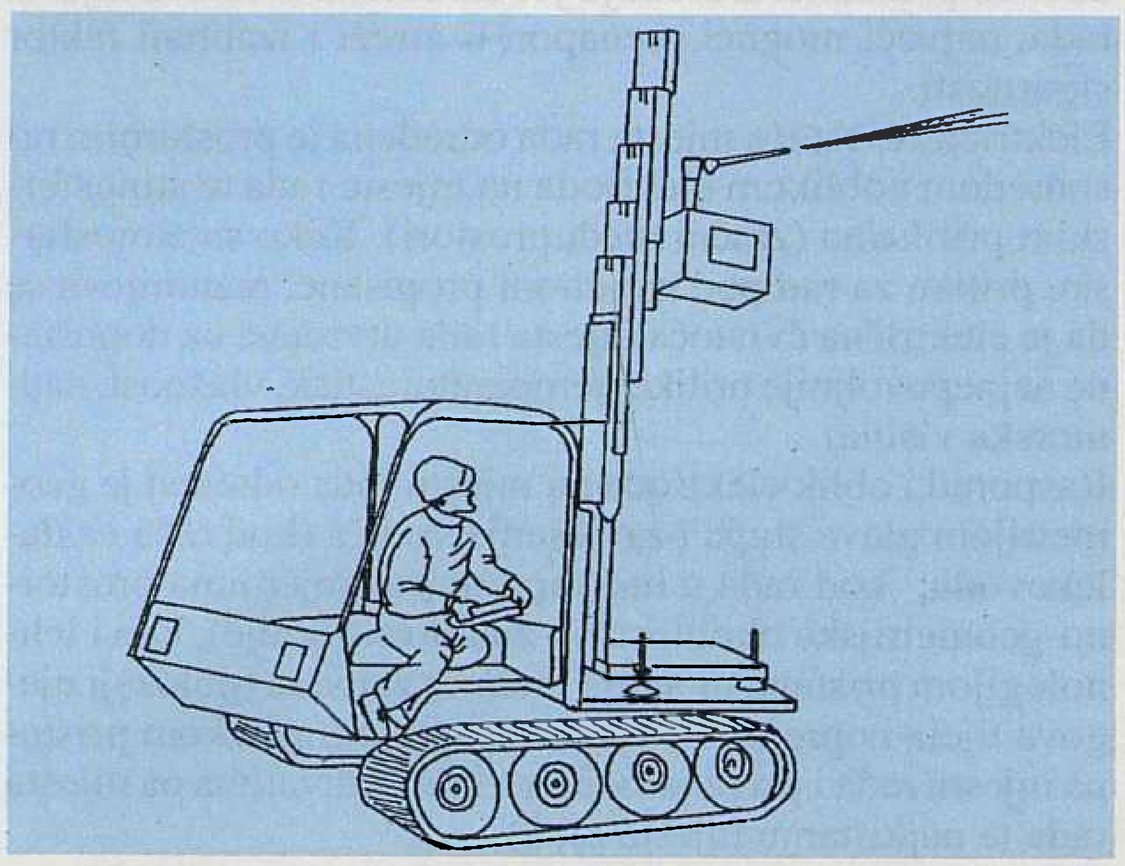
Slika 6. Pristup monterskom košarom na način ljuljačke



Slika 7. Monter u ruskoj zaštitnoj opremi u monterskoj košari



Slika 8. Monter u francuskoj opremi za rad na potencijalu



Slika 9. Upravljiva prskalica na transporteru za pranje izolacije pod naponom

ća) osiguravaju montera od naponskog rizika pri radu na daljinu. Radi ugodnijeg rukovanja, nastoji ih se izvesti što kraće – uz razuman, ali ne prevelik faktor sigurnosti. Pri radu na potencijalu osiguranje montera od naponskog rizika provodi se izolacijskom užadi, ljestvama, izolacijskim sjedalicama i hidrauličnim korpama. Tu se može ostvariti veća rezerva u duljini, te su izolacijski komadi manje osjetljivi na konstrukcijski izbor materijala i trenutno stanje površine.

Pri radu na potencijalu primjenjuje se, za sam radni zahvat, konvencionalni alat normalne izvedbe, konvencionalni materijal za popravak i konvencionalne radne metode, uz stanovite osobitosti. Rad na daljinu traži velik asortiman specijaliziranog alata i pomagala, te naglašenu vještinu i uvježbanost radnika. Također, veće dimenzijske tolerancije kod montaže, te okolnosti nastale starenjem ili korozijom, rješavaju se kod rada na potencijalu na konvencionalni način, a takve okolnosti mogu posve onemogućiti rad na daljinu.

Praktično, na visokom naponu nastoje se iskoristiti dobra svojstva obiju metoda ili primijeniti samo onu koja za određeni zahvat jedino dolazi u obzir. Na donjem području visokog napona (110 kV) uglavnom se mora primijeniti rad na daljinu, jer nema dovoljno prostora slobodnog za monterovo tijelo. Na vrlo visokom naponu (npr. 750 kV) taj problem ne postoji te bi se mogao primjenjivati samo rad na potencijalu, premda je uobičajenija kombinacija rada na potencijalu (neposredni radni zahvat) i na daljinu (podrška tom zahvatu). Time je napon 110 kV zapravo najneugodniji za primjenu RPN: primjena se izolacijskih motki ne može mimoići, a takve su duljine da je s njima znatno teže rukovati, u odnosu prema rukovanju kraćim motkama na srednjem naponu.

Pri radu na potencijalu uočavaju se dvije karakteristične faze cjelovitog radnog zahvata: pristup/napuštanje mjesta rada i izvođenje radnog zahvata na mjestu rada. Prilike pri

pristupu/napuštanju mjesta rada elektrotehnički su u pravilu složenije od prilika pri radnom zahvatu.

5. SIGURNOSNI RAZMAK PRI RADU POD NAPONOM

Sigurnosni razmak pri radu pod naponom je najmanja zračna udaljenost koju je dopušteno ostvariti između bilo kojeg dijela tijela montera (uključivo vodljivi alat) i vodljivog dijela koji je na drugačijem potencijalu od potencijala monterova tijela.
Sigurnosni razmak *"D"* se određuje zbrajanjem udaljenosti koja je ovisna o najvećem naponu koji se može pojaviti na mjestu rada, naponske udaljenosti *"t"* i dodatne veličine, zaštitne (ergonomske) udaljenosti *"g"*, koja osigurava prostor za nesmotreni pokret montera i – time – njegov opušteniji rad. Dakle:

$$D = t + g \ \ldots \ (\mathrm{m}) \qquad (1)$$

Zaštitna udaljenost za rad na bilo kojem visokom i vrlo visokom naponu u brojnim je zemljama određena istom vrijednošću:

$$g = 0{,}5 \ \mathrm{m} \qquad (2)$$

Naponska udaljenost je ona pri kojoj na mjestu rada neće doći do preskoka. Određuju je: električna čvrstoća mjesta rada, najveći mogući prenapon u mreži i izabrani faktor sigurnosti.
Električna čvrstoća mjesta rada određena je prostornim rasporedom i oblikom elektroda na mjestu rada te atmosferskim prilikama (zračni međuprostori). Kako su atmosferske prilike za rad pod naponom propisane, razumijeva se da je električna čvrstoća mjesta rada utvrđena uz dopuštene najnepovoljnije prilike (temperatura, tlak, vlažnost, nadmorska visina).
Raspored i oblik elektroda na mjestu rada određen je geometrijom glave stupa i zavješenja vodiča (kod rada na dalekovodu; kod rada u rasklopnim postrojenjima prostorno-geometrijske okolnosti su znatno složenije), kao i tehnologijom pristupa montera i radnih zahvata (položaji njegova tijela i opreme za rad pod naponom prilikom pristupa mjestu rada i pri pojedinim radnim zahvatima na mjestu rada te napuštanju mjesta rada).
Stoga treba poznavati ovisnost preskočnog napona 50-postotne vjerojatnosti i udaljenosti među elektrodama za pojedine tipične slučajeve glava stupova, zavješenja vodiča i moguće tehnologije pristupa mjestu rada i samog rada pod naponom.
Ta se ovisnost provjerava na dopušteni broj neispravnih izolatorskih članaka i njihov položaj u izolatorskom lancu. Utjecaj neispravnih izolatorskih članaka ovisan je i od zagađenja izolacije.
Ovisno o nabrojanim parametrima, poznaje se funkcija ovisnosti preskočnog napona i udaljenosti među elektrodama "*s*". Načelno, ostvarive su radne metode pri kojima je električna čvrstoća mjesta rada uz postojeću geometriju elemenata mreže veća i metode pri kojima je ona manja.
Najveći mogući prenapon u mreži ograničava se na sklopni (unutarnji) prenapon jer je zabranjen rad ako postoji atmosfersko pražnjenje. Stoga veličina atmosferskog (vanjskog) prenapona nije mjerodavna za izbor sigurnosnog razmaka.
Sklopni prenaponi ovisni su od elektrodinamičkih svojstava mreže te od režima rada mreže koji će biti dopušten za vrijeme rada pod naponom. Veličina prenapona na mjestu rada ovisna je od vrste pogonskih događaja i mjestu njihova zbivanja u mreži. U tom pogledu, najosjetljiviji su pogonski događaji na vodu na kojem se radi, te njegovoj neposrednoj električnoj okolini.
Stoga treba poznavati najveće očekivane faktore prenapona u normalnom radu mreže, te u specijalnim pogonskim režimima mreže koji su izabrani tako da rezultiraju manjim mogućim prenaponima na mjestu rada. Francuzi smatraju da se faktori prenapona u normalnim pogonskim režimima vrijednosti 2,8 ... 3,5 u mrežama visokog napona, mogu specijalnim pogonskim režimima sniziti na vrijednosti 2,0...2,2. Razlikuju dva tipa specijalnog pogonskog režima: (A) dozvoljen ispad ili isklop voda, a nije dozvoljen APU i ručni uklop i (B) nije dozvoljen ispad ili isklop voda, APU i ručni uklop. Ponegdje specijalni pogonski režim obuhvaća i izostavljanje vremenskog zatezanja zaštite (Mađarska).
Najveći mogući prenapon određen je najvećim pogonskim naponom u mreži, a taj je u vezi s nazivnim naponom mreže (najčešće između 1,05 i 1,10 nazivnog napona) i faktorom prenapona, ovisnim – kako je rečeno – o uspostavljenom režimu mreže. Promatra se fazna vrijednost (za prilike faza-zemlja) i linijska vrijednost (za prilike faza-faza).
Za pojedine pogonske režime poznaje se dakle najveći mogući prenapon, to veći što je pogonski režim mreže bliže normalnom.
Utvrđenom prenaponu odgovarala bi stanovita zračna izolacijska udaljenost među elektrodama *"s"* kod koje bi u 50% slučajeva dolazilo do preskoka, a u 50% slučajeva ne. Naponska udaljenost se stoga određuje tako da se izolacijska udaljenost pomnoži stanovitim faktorom sigurnosti *"K"* (većim od 1)

$$t = K \cdot s \qquad (3)$$

Naravno da specijalni pogonski režim mreže, koji se mora uspostaviti prije pristupa radovima pod naponom, predstavlja dopunske aktivnosti (oduzimaju vrijeme i stvaraju troškove) i znači slabljenje svojstava mreže iz normalnog pogonskog režima (blokiranje APU, odnosno blokiranje bilo kakvog sklapanja).
Stoga se traži kompromis između sadržaja i dosega specijalnog pogonskog režima (samo na vodu na kojem se radi ili na vodovima u stanovitoj električnoj blizini) i minimalne naponske udaljenosti koja bi iz toga proizlazila. Složenije pripreme i oslabljenja svojstava mreže omogućuju manju naponsku udaljenost (lakše je raditi pod naponom, osobito metodom na razmaku). Normalni pogonski režim traži veću naponsku udaljenost, ali ne traži pripreme i mreža je neokrnjenih svojstava.
Francuzi su relaciju (3), za praktičnu uporabu pri radovima pod naponom sveli na formulu:

$$t = 0{,}005 \ U\mathrm{n} \ (\mathrm{kV}) \ \ldots \ \mathrm{m} \qquad (4)$$

gdje se nazivni napon mreže uvrštava u kilovoltima, a rezultat, zaokružen u desetinke, dobiva u metrima.
Time bi za naše nazivne napone mreža proizlazila naponska i zaštitna udaljenost, te sigurnosni razmak:

Un (kV)	t (m)	g (m)	D (m)
110	0,6	0,5	1,1
220	1,1	0,5	1,6
400	2,0	0,5	2,5

Tako određen razmak predstavlja minimalnu dopuštenu udaljenost faza-zemlja uz uvjet da je u mreži uspostavljen specijalni pogonski režim i da se radi o dalekovodima. U drugim okolnostima, mora se računati složenije i – načelno – naponske udaljenosti bit će veće od onih prema (4).

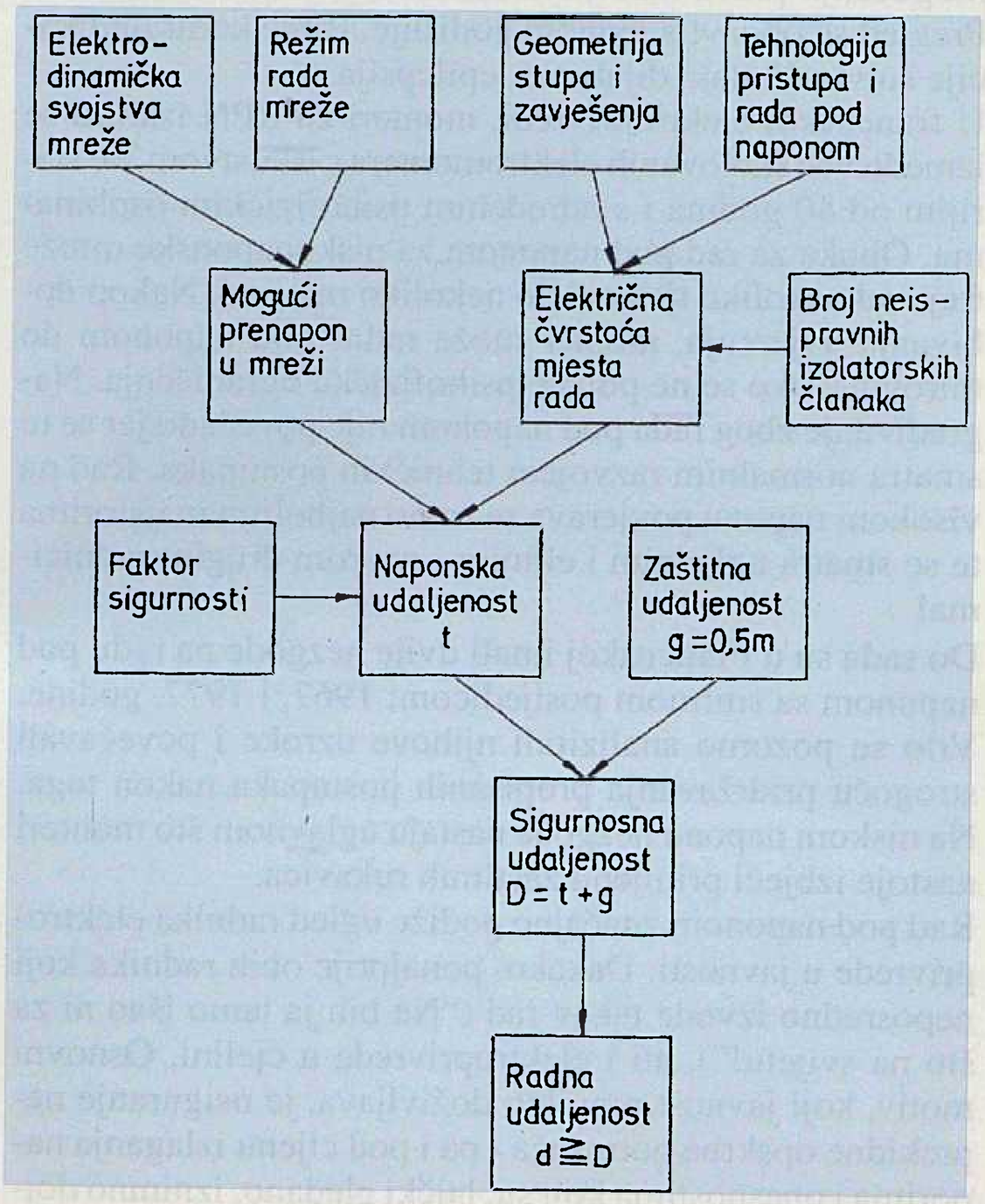
Prostorna zona oko najisturenijih vodljivih dijelova koja je zahvaćena naponskom udaljenošću predstavlja zabranjenu zonu u koju se ne smije prodrijeti tijelom (uključivši vodljivi alat) kada je tijelo montera na drugom potencijalu. Rad treba organizirati tako da je radni razmak *"d"* veći ili jednak sigurnosnom

$$d \geq D \qquad (5)$$

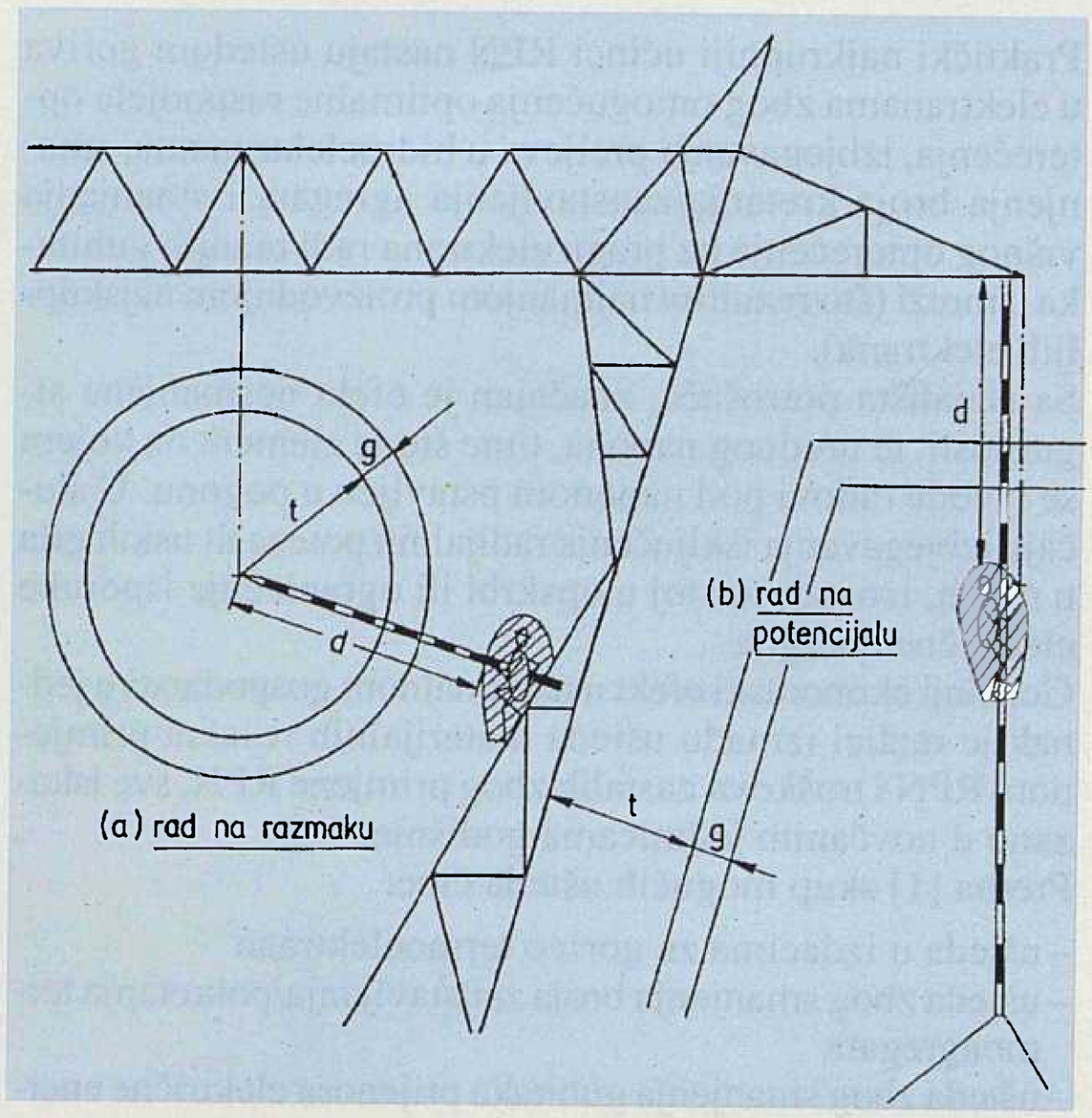
Tada, do zabranjene zone postoji još i zaštitna zona širine *"g"*.

U presjeku dvije zabranjene zone različitih potencijala ne smije se naći tijelo montera prilikom pristupa mjestu rada. Stoga pomagala za pristup i način pristupa treba tome podrediti.

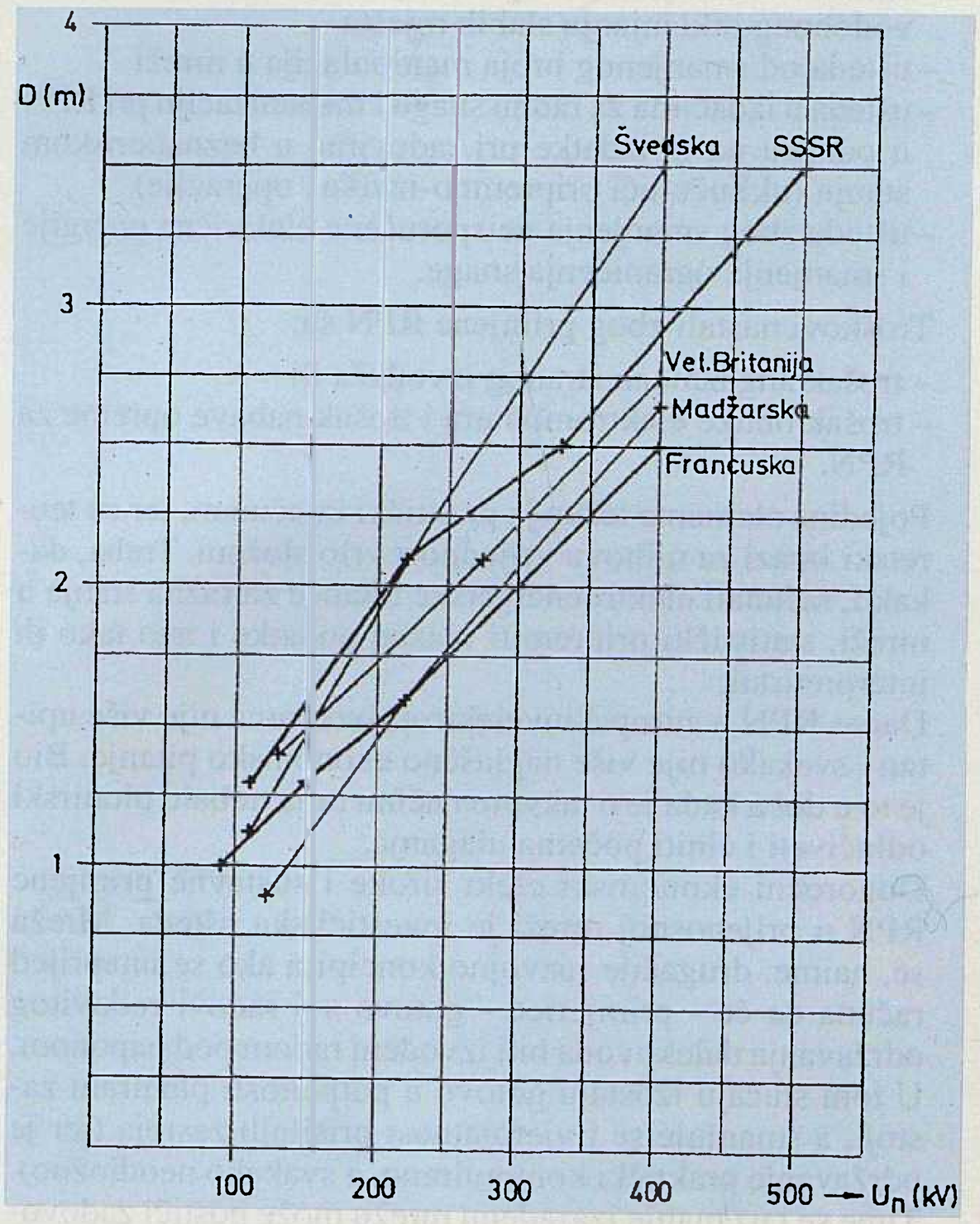
Preskočni napon na stanovitoj konfiguraciji elektroda i faktor prenapona pri stanovitim prilikama u mreži, veličine su koje nije jednostavno utvrditi niti moguće egzaktno računati. Oni koji imaju samostalni razvoj u području RPN izjavljuju da su ih utvrdili smišljenim prožimanjem proračuna i eksperimentalnih provjera u mreži i laboratoriju (slike 10, 11 i 12).



Slika 10. Određivanje sigurnosnog razmaka za rad pod naponom



Slika 11. Sigurnosni razmaci na mjestu rada pod naponom



Slika 12. Vrijednosti sigurnosnih razmaka za rad pod naponom u nekim zemljama

6. EKONOMIJA RADA POD NAPONOM

Poteškoće oko utvrđivanja ekonomske opravdanosti primjene rada pod naponom u prijenosnoj mreži proizlaze iz toga što je novčanu vrijednost (inače nespornih) učinaka teško (ili čak nemoguće) iskazati, što njihovo ostvarenje prožima elektroenergetski sustav najširem obuhvatu (pored prijenosa: elektrane, distribuciju i potrošače električne energije), a troškovi primjene RPN (angažman stranog izvođača ili vlastita oprema i obuka) evidentni su i primarno locirani isključivo u prijenosnu djelatnost.

Praktički najkrupniji učinci RPN nastaju uštedom goriva u elektranama zbog omogućenja optimalne raspodjele opterećenja, izbjegavanja preljeva u hidroelektranama, smanjenja broja kretanja/zaustavljanja agregata i smanjenja vršnog opterećenja na pragu elektrana radi manjih gubitaka u mreži (što rezultira najmanjom proizvodnjom najskupljih elektrana).
Sa stajališta potrošača, značajan je efekt nesmanjene sigurnosti, te urednog napona, time što je element na kojem se izvode radovi pod naponom ostavljen u pogonu. U slučaju izbjegavanja isključenja radijalnih poteza ili uskih grla u mreži, izostaje zastoj u opskrbi ili ograničenje isporuke električne energije.
Godišnji ekonomski efekt u nacionalnom gospodarstvu jednak je razlici između ušteda materijalnih resursa primjenom RPN i troškova nastalih zbog primjene RPN, sve iskazano u novčanim jedinicama godišnje.
Prema [1] skup mogućih ušteda čine:

- ušteda u izdacima za gorivo termoelektrana
- ušteda zbog smanjenja broja zaustavljanja/pokretanja termoagregata
- ušteda zbog smanjenja gubitaka prijenosa električne energije
- ušteda od smanjenog broja zastoja dalekovoda zbog pravodobnog otklanjanja slabih mjesta
- ušteda od smanjenog broja manipulacija u mreži
- ušteda u izdacima za radnu snagu i mehanizaciju pri RPN u odnosu na te izdatke pri radovima u beznaponskom stanju (uključujući pripremno-izvršne operacije)
- ušteda zbog smanjenja neisporučene električne energije i smanjenja ograničenja snage.

Troškovi nastali zbog primjene RPN su:

- trošak angažmana stranog izvođača ili
- trošak obuke elektromontera i trošak nabave opreme za RPN.

Pojedine elemente teško je praktički izračunati, jer su teoretski izrazi za njihovu vrijednost vrlo složeni. Treba, dakako, računati elektroenergetske bilance za razna stanja u mreži, statistički pripremiti ulazne podatke i isto tako ih interpretirati.
Danas RPN u europskim elektroprivredama nije više upitan i svakako nije više naglašeno ekonomsko pitanje. Bio je to u doba kada je o takvom načinu rada trebalo pionirski odlučivati i činiti početna ulaganja.
Dugoročni ekonomski efekt široke i sustavne primjene RPN u prijenosnoj mreži je investicijska ušteda. Mreža se, naime, drugačije razvojno koncipira ako se unaprijed računa da će - primjerice - gotovo svi radovi redovitog održavanja dalekovoda biti izvođeni radom pod naponom. U tom slučaju izostaju gotovo u potpunosti planirani zastoji, a smanjuje se i vjerojatnost prisilnih zastoja (jer je održavanje praktički kontinuirano, a svakako neodložno). Time se i uz manje izgrađenu mrežu može postići zadovoljavajuća sigurnost opskrbe - prihvatljivo mala vjerojatnost neisporučene energije.

7. SOCIJALNA PITANJA UZ RPN

Važnom polugom koja treba snažno podržati poželjni razmah primjene radova pod naponom je socijalni moment. Neodgovarajuće riješena socijalna pitanja mogu biti glavna poteškoća ubrzanijem prodoru RPN.

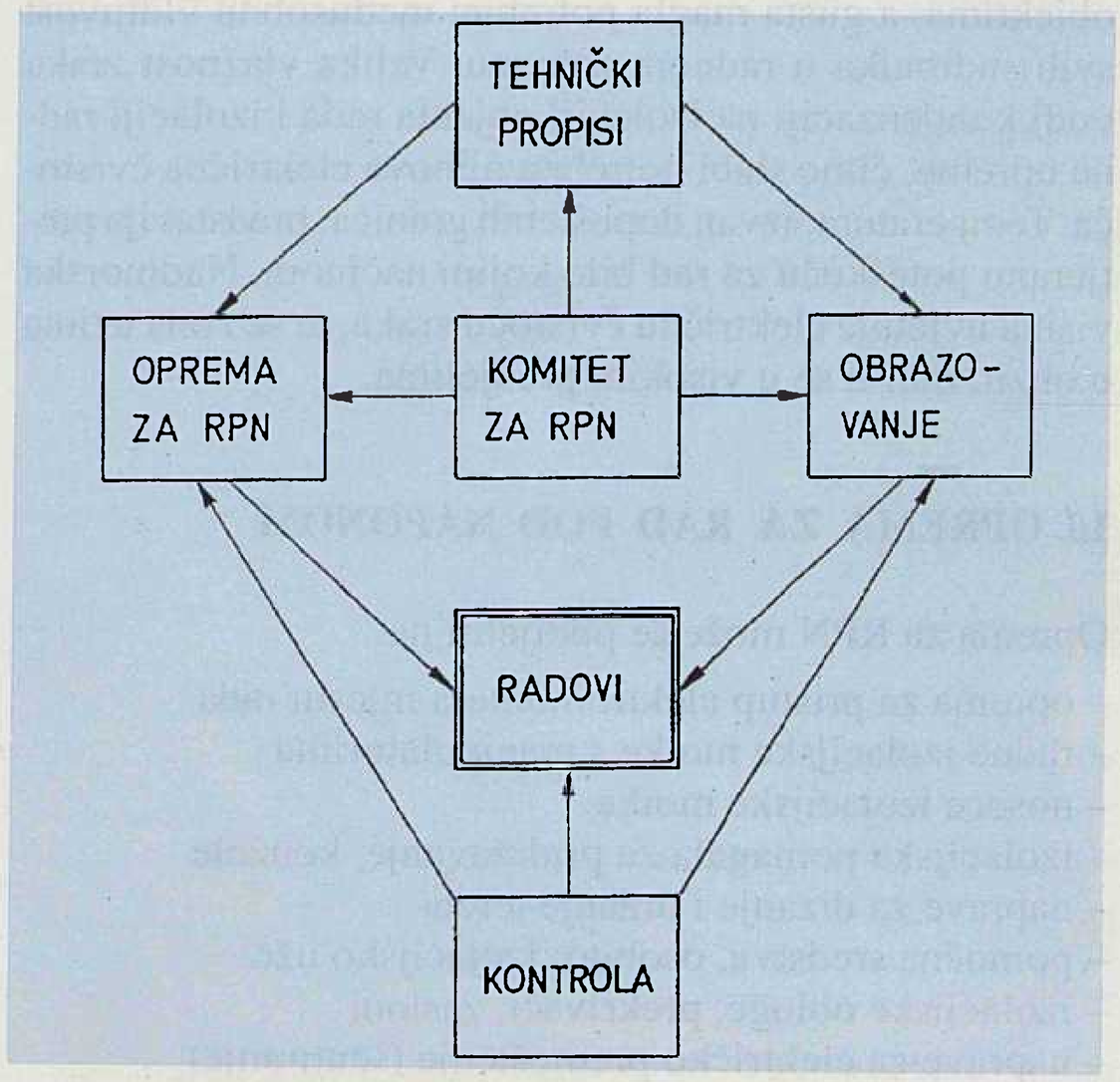
Tehničke i organizacijske pretpostavke treba učiniti takvim da se RPN doživljava normalnim i svakodnevnim, ničim iznimnim. Sigurnijim i time čak prihvatljivijim od rada u beznaponskom stanju. Takav odnos realno je ostvaren primjerice u SAD, Francuskoj, Mađarskoj i mnogim drugim zemljama - dakle, to je realno ostvarivo i ostvareno.
Povećanom plaćom i drugim beneficijama ne može se ostvariti poželjni odnos radnika prema RPN, već je nužno razvijanje spoznaje o općoj i konkretnoj koristi takva rada, osjećaja pripadnosti onima koji više znaju i bolje umiju i time imaju veći ugled.
U bivšem Sovjetskom Savezu dobivao se dodatak na plaću, ali stupnjevano: najviše monter koji radi na potencijalu, manje onaj koji ga podržava sa stupa, a najmanje onaj koji sudjeluje u ekipi, ali radeći na tlu. Nema novčanog poticanja da se posao obavi što brže. Postojao je beneficirani radni staž: onaj tko je radio cijeli radni vijek u ekipi za RPN išao je 5 godina ranije u mirovinu. No, to, a i nagrađivanje, nije ujednačeno u svim energetskim rajonima, a u najnovije vrijeme će se to još više razlikovati radi povećane samostalnosti poduzeća, u odnosu na ranije prilike.
U Mađarskoj je ranije bila plaća elektromontera koji sudjeluju u RPN veća od odgovarajućih elektromontera koji tako ne rade, ali je to danas napušteno. Zdravstveni zahtjevi su znatno stroži, u odnosu na relativno blage prema konvencionalnim elektromonterima, i to dovodi do onemogućenja prava na RPN već obučenih elektromontera. Pregled se obnavlja jednom godišnje. Bitne kontraindikacije su visoki tlak, dijabetes, epilepsija.
U francuskoj elektroprivredi, monteri za RPN izabiru se između već školovanih elektromontera s iskustvom, ne starijim od 40 godina i s određenim psihofizičkim osobinama. Obuka za rad pod naponom za niskonaponske mreže traje od nekoliko tjedana do nekoliko mjeseci. Nakon dobivanja uvjerenja, monter može raditi pod naponom do mirovine, ako se ne pojave psihofizička ograničenja. Nagrađivanje zbog rada pod naponom nije povećano jer se to smatra normalnim razvojem tehničkih postupaka. Rad na visokom naponu povjerava se samo najboljim majstorima te se smatra uglednim i elitnim - uzorom drugim radnicima!
Do sada su u Francuskoj imali dvije nezgode na radu pod naponom sa smrtnom posljedicom: 1967. i 1977. godine. Vrlo su pozorno analizirali njihove uzroke i povećavali strogoću pridržavanja propisanih postupaka nakon toga. Na niskom naponu nezgode nastaju uglavnom što monteri nastoje izbjeći primjenu zaštitnih rukavica.
Rad pod naponom značajno podiže ugled radnika elektroprivrede u javnosti. Dakako, ponajprije onih radnika koji neposredno izvode takav rad ("Ne bih ja tamo išao ni za što na svijetu!"), ali i elektroprivrede u cjelini. Osnovni motiv, koji javnost pravilno doživljava, je osiguranje neprekidne opskrbe potrošača - pa i pod cijenu izlaganja naporima i opasnostima koji su, laički gledano, iznimno dojmljivi.

8. GLOBALNA ORGANIZACIJA RADA POD NAPONOM

Globalna organizacija rada pod naponom sastoji se u osiguranju:

– propisa o radu pod naponom
– opreme za rad pod naponom
– obuke radnika za rad pod naponom
– tijela odgovornog za uređenje i kontrolu prethodna tri područja rada pod naponom.

Pokažimo, francuskim primjerom, uzorno postavljenu globalnu organizaciju RPN (slika 13).



Slika 13. Organizacija radova pod naponom u Francuskoj

Organizacija primjene RPN u Francuskoj provedena je tako da je pri EDF formiran Komitet za RPN koji razmatra i utvrđuje uvjete za izvođenje RPN, metode RPN i opremu za izvođenje RPN. Također određuje kvalitativna i funkcionalna ispitivanja opreme za RPN i daje dozvole za opremu te utvrđuje program obuke radnika. Postoje odjeli za istraživačke radove, za eksperimentalne radove, za proizvodnju opreme, za obuku radnika, te za izdavanje uputstava za RPN.
Kontrola provođenja propisa na radilištima, korištenja ispravne opreme i sigurnosti radnih zahvata obavlja se normalnom hijerarhijom rukovođenja u EDF, te nenajavljenom povremenom kontrolom radnika EDF, nadležnih za zaštitu na radu. Elektroenergetska inspekcija nadležna je i za nadzor RPN; inače je organizirana u okviru EDF, a ne kao dio državnog aparata.
Za donošenje propisa u području RPN ovlašten je jedino Komitet za RPN. Njegovim usvajanjem oni imaju rang nacionalnih tehničkih propisa. Struktura francuskih propisa o radovima pod naponom:

– opći uvjeti za izvođenje radova pod naponom
– uvjeti za izvođenje radova pod naponom za pojedine razine napona (za visoki napon: odvojeno za vodove i za postrojenja)
– tehnički opisi s eventualno pridodanim uputama o načinu korištenja pojedine opreme za RPN.

Opći uvjeti za izvođenje radova pod naponom sadrže:

– definicije i terminologiju (klasifikacija postrojenja, klasifikacija izvršilaca, dokumentacija o radovima, atmosferski uvjeti, minimalni razmaci)
– opća pravila rada (hijerarhija, obrazovanje, metode rada, zaštita na radu, oprema za RPN, uvjeti za izvođenje radova)
– izvođenje radova (kvalifikacija radnika, primjena pojedinih metoda rada, primjena opreme za RPN, procedura odvijanja rada).

Tehnički opis opreme za RPN sadrži:

– naziv i osnovni opis
– crtež (fotografija) i tumačenje
– tehničke karakteristike
– objekti mreže na kojima se oprema primjenjuje
– metode RPN pri kojima se primjenjuje
– postupak izdavanja potvrde za upotrebu
– način kontrole pri korištenju
– održavanje
– popravak
– skladištenje i transport
– način funkcioniranja
– ograničenja pri korištenju
– precizne upute o načinu korištenja s eventualnim crtežima u raznim prilikama i varijantama korištenja.

Kao što se vidi, u Francuskoj je prihvaćena konstrukcija propisa iz oblasti RPN orijentiranih opremom za rad, a ne orijentiranih radnim operacijama (kako je u nekim zemljama, gdje postoje upute za sigurno i ispravno izvođenje pojedinih zahvata i korištenja potrebne opreme pri tome). Francuzi smatraju da njihov pristup omogućuje:

– zainteresiraniji i kreativan pristup ekipa radovima, jer osim sigurnog i ispravnog korištenja opreme - način izvođenja rada im nije propisan, te ga - nakon obuke - usavršavaju i čine manje napornim, efikasnijim i produktivnijim
– lakšu primjenu u mrežama s nedovoljno unificiranim elementima
– kombiniranje kod složenih i netipičnih zahvata
– smanjen opseg dokumentacije.

Obuka elektromontera je dugotrajnija, a stručni zahtjevi pred njima su veći (u odnosu na propise orijentirane radnim operacijama). Ipak, trećina zemalja prema [5] odlučila se za takav pristup, a u [2] iznosi se da je zapravo najprikladnije za većinu zahvata koristiti taj pristup, a samo za neke osobite zahvate kombinaciju obadva pristupa.

9. UVJETI ZA IZVOĐENJE RADA POD NAPONOM

Uvjeti za izvođenje RPN su opći i pojedinačni, Općim uvjetima se takva aktivnost situira tako da je uopće moguće bavljenje njome, a ispunjenje pojedinačnih uvjeta omogućava primjenu takva načina rada u svakom pojedinom navratu. Opće uvjete čini skup znanstveno-stručnih, pravnih, organizacijskih, tehničkih, tehnoloških, kadrovskih i financijskih mjera, koje treba poduzeti da bi na nekom području došlo do primjene RPN. Razumljivo: kompletiranje općih uvjeta znači i utemeljenu formulaciju pojedinačnih uvjeta za RPN.
Moraju se sagledati i kvantificirati izvori opasnosti, mjere za njihovu pouzdanu neutralizaciju pri izabranim tehnološkim rješenjima za RPN, te sagledati i kvantificirati uvjete pod kojima se takve opasnosti i izabrane mjere ostvaruju, izabrati i dimenzionirati odgovarajuću opremu za zaštitu i rad, te izabrati i obučiti radnike. Oprema i obučeni

radnici mogu biti unajmljeni sa strane ili osigurani vlastitim ulaganjima.
Znanstveno-stručnim radom sagledavaju se električna naprezanja koja se javljaju u mrežama u kojima se namjerava izvoditi RPN: najviši pogonski naponi i unutarnji prenaponi - računski, uz barem minimalne eksperimentalne potvrde, u normalnim mrežnim prilikama i izabranim specijalnim pogonskim režimima. Za tipične konstrukcije elemenata mreže (primjerice: glave primijenjenih stupova visokonaponskih nadzemnih vodova) ustanoviti treba dielektričnu čvrstoću za konfiguracije elektroda kakve bi nastajale pojedinim tehnološkim varijantama namjeravanog izvođenja RPN. Time bi se stvorila utemeljena osnova za kvantifikaciju sigurnosnih razmaka u mrežama pojedinih nazivnih napona.
Također, treba utvrditi konstrukcijsko-montažne okolnosti koje eventualno otežavaju, specifično usmjeravaju ili čak onemogućuju određene zahvate pojedinom tehnologijom RPN. Osobito je potrebno unaprijed uočiti one prilike u kojima su poteškoće prisutne i pri radu konvencionalnim načinom (npr. poteškoće sa sustavno prevelikim tolerancijama pojedinih elemenata, korodiranošću, zapuštenošću).
To bi rezultiralo izborom tehnologije RPN za pojedine radne zahvate, izborom tome odgovarajuće radne i zaštitne opreme, potrebnom obučenošću i zdravstvenom spremnošću radnika, te parametrima mreže i okoline koji trebaju biti ispunjeni da je konkretni radni zahvat dopušten, odnosno okolnostima u kojima je zabranjen.
Pojedinačne uvjete za izvođenje pojedinog zahvata u mreži primjenom RPN čini izvršenje organizacijskih priprema, priprema potrebnog pogonskog režima mreže, tekuće psihofizičko stanje i osobna opremljenost montera za rad, tekuće stanje pomagala za rad, zatečeno stanje mjesta neposrednog izvođenja zahvata i njegove okoline, te meteorološke prilike prije početka rada i sagledivi trend njihove promjene. Ako oni nisu ispunjeni na propisani način (utvrđen općim uvjetima RPN), ne može se pristupiti radu ili se on mora prekinuti.

Mrežne prilike, relevantne za primjenu RPN, najčešće određuju:

– podešenje zaštite
– režim APU
– dopuštena sklapanja,

svakako objekta na kojem se namjerava raditi pod naponom, a ponekad i objekata u stanovitoj električnoj okolini u mreži. Time su ograničene moguće vrijednosti unutarnjih prenapona, one pri kojima su određeni sigurnosni razmaci u zraku i električna čvrstoća izolacije radne opreme.
Meteorološke prilike, relevantne za RPN, određuju osobito:

– pojava blijeska munje ili zvuka grmljavine
– značajnije pojave kiše, snijega, leda, inja ili slane
– gusta magla
– jači vjetar
– velika relativna vlažnost zraka
– preniska ili previsoka temperatura.

Pojava nekih od tih okolnosti izričito zabranjuje RPN (npr. grmljavina), neke su ograničene u istoj mjeri kao i pri radu u beznaponskom stanju (npr. temperatura), a odnos prema svim okolnostima u pravilu se uređuje tako da je odgovornom rukovoditelju radova prepušteno da donese odluku o zabrani rada i ako nisu dostignuti rubno dopušteni parametri. Često nije dopušten rad u sumrak i noću (npr. u bivšem SSSR).
Zabrana RPN pri grmljavini onemogućuje izlaganje nekontrolirano visokim vanjskim prenaponima. Padaline, zaleđenost i prejak vjetar fizički otežavaju rad na vanjskim objektima, a gusta magla potrebnu međusobnu vidljivost svih sudionika u radnom zahvatu. Velika vlažnost zraka vodi kondenzaciji na izolaciji objekta rada i izolaciji radne opreme, čime slabi potrebna njihova električna čvrstoća. Temperatura, izvan dopuštenih granica, predstavlja pretjeranu poteškoću za rad bilo kojim načinom. Nadmorska visina uvjetuje električnu čvrstoću zraka, te se i ona uzima u obzir, radi li se u visokim predjelima.

10. OPREMA ZA RAD POD NAPONOM

Oprema za RPN može se podijeliti na:

– oprema za pristup elektromontera mjestu rada
– radne izolacijske motke s manipulatorima
– noseće izolacijske motke
– izolacijska pomagala za pridržavanje, konzole
– naprave za dizanje i držanje tereta
– pomoćna sredstva, osobito: izolacijsko uže
– izolacijske obloge, prekrivači, zasloni
– naprave za električko premoštenje (šentiranje)
– osobna zaštitna sredstva.

Uz to valja zamišljati potrebu korištenja specijalizirane mehanizacije: vozila, dizalica, helikoptera - kakva se i inače koristi za podršku rada pri održavanju prijenosne mreže. Najprije se ta mehanizacija koristi u svom zatečenom obliku, a s vremenom se izvode na njoj takve modifikacije i dopune, te zahtijevaju takvi njeni parametri da udovoljava stanovitim osobitim potrebama pri korištenju u pojedinim osobitim zahvatima radova pod naponom.
Međunarodni elektrotehnički komitet IEC od 1975. godine ima Tehnički komitet TC78, koji je započeo svoje aktivnosti pod nazivom Oprema za rad pod naponom, no danas mu je djelovanje šire i djeluje pod nazivom Rad pod naponom (Live working - Travaux sous tension). Prema [22], do konca 1995. godine izdano je ukupno 20 publikacija IEC iz tog područja, a još 25 je u različitim stadijima dovršenosti. Početni je IEC 743 (1983, dodatak 1995): Alati i oprema za rad pod naponom, terminologija. Manji broj tih IEC publikacija prevedeno je i svojedobno usvojeno kao JUS.
Vrativši se primjeru EDF, tamo je organiziran Departman SERECT, kojem je sjedište u Mulhouseu. SERECT je sekcija za istraživanje, studij, eksperimentiranje, uvođenje metoda i alata, te kontrolu i ispitivanje Komiteta za rad pod naponom EDF i jedina je ovlaštena ustanova za te aktivnosti u Francuskoj.
U toj ustanovi se obavlja:

– istraživanje, izrada i ispitivanje prototipa opreme za RPN, te modifikacija postojeće opreme za RPN i načina korištenja - vodeći računa o ergonomiji, sigurnosti i produktivnosti pri korištenju; definiranje električkih i mehaničkih parametara

- izrada prijedloga tehničkih uputstava o uvjetima za izvođenje radova, tehničkih opisa i uputa o načinu korištenja opreme za RPN - tako da budu primjenjiva, usklađena s drugim propisima i shvatljiva elektromonterima
- nabava opreme za RPN - takve da odgovara propisanim zahtjevima, da je raspoloživa u potrebnim količinama i da je što povoljnije cijene (srednjonaponska i visokonaponska oprema dobavlja se centralizirano za cijeli EDF) - i periodička kontrola opreme, popravci, prikupljanje iskustava korisnika
- promocija postojećih i modificiranih načina rada, nove i modificirane opreme za RPN, sredstava za pristup montera i transport opreme na mjesto rada, te samopokretnih pomagala
- izrada studija opravdanosti uvođenja RPN za francuske i inozemne naručitelje.

Zanimljiv je postupak označavanja ispravnosti opreme za RPN. Čim rukovoditelj ekipe ustanovi moguću neispravnost pojedinog komada, na taj se komad lijepi odgovarajuća uočljiva naljepnica. U SERECT-u se taj komad opreme ispita i popravi ili uništi. Svaki ispravni komad opreme, nakon periodičkog ispitivanja ili povodom popravka, dobiva vidljivu naljepnicu SERECT-a, čime je odobrena njegova upotreba do naredne periodičke kontrole ili na terenu uočene neispravnosti.
Osim mehaničkih kvarova, čija pojava i otklanjanje mogu biti raznovrsni, najbrojniji i tipični su kvarovi: oštećenje površine izolacijskih motki i drugog izolacijskog pribora.
U aranžmanu oko masovnije kupovine opreme za RPN, očito bi bio koristan uvjet kupca da prodavač prihvati odgovarajuću instituciju iz zemlje kupca za periodička ispitivanja, te isporuči tehnologiju i obveže se za snabdijevanje materijalom za tipične popravke (ponajprije oštećenih izolacijskih površina).

11. OBUKA ZA RAD POD NAPONOM

Za svaki osobiti rad, tako i rad pod naponom, mora biti osigurano: pravno/tehnološka osnova - oprema za rad - obučeni i ovlašteni radnici. Pri tome, obuka za rad mora se temeljiti na općoj pravnoj regulativi, izabranim tehnološkim rješenjima i opremom za taj rad. Njezina je konkretizacija posljednja, ali neizbježna, u procesu čije zaokruženje omogućuje samostalan rad pod naponom.
Bavljenje obukom za RPN je zahtijevna aktivnost u ukupnom ostvarenju samostalnog izvođenja RPN. To može potvrditi primjer Francuske, gdje se obuka za rad pod naponom provodi u ukupno 8 centara za obuku koje je uspostavio EDF. Pri tome se u svim centrima provodi obuka za rad na niskom naponu, u nekima i za rad na srednjem naponu, a u Centru za obuku Ottmarsheim za rad na niskom, srednjem i visokom (odnosno, po francuskom razvrstavanju: visokom i vrlo visokom) naponu.
Osnovni podaci Centra za obuku EDF (početkom devedesetih) u Ottmarsheimu su:

- 81 zaposlenih
- 1800 polaznika raznovrsne obuke godišnje
- 83 tipa obuke
- 7200 m^2 objekata
- 12 km DV 63-400 kV (razni tipovi stupova, izolatorskih lanaca i rješenja vodiča u snopu)
- 13 km DV 20 kV
- 7 km vodova 225-380 V
- jedna TS 225/63 kV
- šest TS 63/20 kV
- 16 raznih TS s.n./n.n.

U tom centru obavljaju se raznovrsna profesionalna obučavanja za potrebe EDF (pored obuke za RPN), prvenstveno elektromontera, ali i drugih struka (tehničkih, ekonomskih, općih). Centar je počeo s radom 1964. godine, odmah i za RPN. Godine 1969. daje prve obuke za rad na 20 kV, a od 1980. godine izvodi se obučavanje i za visoki napon.
Obuka za rad na dalekovodima pri visokom i vrlo visokom naponu, dakle za rad pri naponima 63 do 400 kV, metodom na razmaku i potencijalu traje 11 tjedana. Grupa za obuku treba obuhvaćati 5 do 6 izvršnih elektromontera, dva do tri vodeća elektromontera i jednog elektroinženjera.
U centru Ottmarsheim obučavaju se za rad pod naponom i elektromonteri iz Francuske koji nisu zaposleni u EDF, nego kod korisnika električne energije ili izvođača elektro-radova, te ekipe iz više europskih, sjeveroafričkih i azijskih zemalja. Godine 1990. u tom centru je završeno obučavanje prve dvije hrvatske ekipe: za rad na niskom naponu i za rad na srednjem naponu.
Odvijanje nastave teče svakodnevno po shemi: (a) detaljno upoznavanje sa zadatkom, tumačenje i razumijevanje svih faza izvođenja; (b) izvršenje zadatka prema uputstvima i izrađenoj pripremnoj dokumentaciji na način kao u pogonu (objekt rada pri obuci je pod naponom, iznimno za rad na visokom naponu neke se operacije prethodno uvježbavaju u beznaponskom stanju); (c) obvezno: rasprava o obavljenom zadatku nakon izvršenja, zapažanja sudionika, komentar sudionika i instruktora. Ekipa se pri školskom zahvatu formira tako da je jedan učenik "rukovoditelj" ekipe, ostali učenici su "izvršni članovi" ekipe - a instruktor nadzire cjelokupni rad.
Kanadska elektroprivredna kompanija, "Ontario Hydro"u posljednje vrijeme je u Europi prisutna prijenosom svoje tehnologije RPN i organizacijom obuke za RPN: u Republici Irskoj za radove u mreži do nazivnog napona 110 kV i u Mađarskoj, za primjenu radova uz dodir na niskonaponskim i srednjonaponskim mrežama; [21] i [22].

12. STANJE U HRVATSKOJ

Opća pravna osnova za primjenu RPN u Hrvatskoj postoji; to je slog propisa iz područja zaštite na radu, osobito o zaštiti na radu pri korištenju električne energije, te pravilnik HEP-a o sigurnosti pri radu na elektroenergetskim objektima.
Prema Zakonu o zaštiti na radu (NN 19/1983), radnik mora biti osposobljen da rad obavlja bez ugrožavanja svog života i zdravlja, te života i zdravlja drugih, To se mora učiniti prema utvrđenom opsegu i vrstama opasnosti, teoretskim i praktičnim obučavanjem, dokumentirano. Može se odrediti obveza povremene provjere znanja.
Također, moraju se odrediti psihofizičke sposobnosti, zdravstveno i psihičko stanje, koje omogućuje obavljanje rakvih radova i to se mora potvrđivati periodičnim zdravstvenim pregledima.
Radna i zaštitna sredstva moraju biti izrađena prema pravilima zaštite na radu, moraju se periodički ispitivati, mo-

ra se utvrđivati njihova ispravnost prije korištenja, te koristiti samo na propisani način. Nabava i ispitivanje tih sredstava moraju se temeljiti na hrvatskoj ili odgovarajućoj inozemnoj normi, a atest o tome mora osigurati prodavač, odnosno proizvođač.

Pri Državnom zavodu za normizaciju i mjeriteljstvo trebalo bi osnovati tijelo za RPN; koje bi pripremalo izdavanje normi i davalo mišljenje o usklađenosti radnih i zaštitnih sredstava s hrvatskim ili odgovarajućim inozemnim normama.

Hrvatski Pravilnik o zaštiti na radu pri korištenju električne energije (NN 9/1987) dopušta RPN uz uvjete:

– stručna osposobljenost radnika
– postojanje radne i zaštitne opreme
– izabran sistem RPN i utvrđen radni postupak
– postojanje pismenih uputa za svaku vrstu rada.

Isti Pravilnik zabranjuje RPN, ako:

– električna iskra može izazvati požar ili eksploziju
– nisu ispunjeni određeni meteorološki uvjeti (jednaki kao za rad u beznaponskom stanju na otvorenom prostoru)
– iz bilo kojih razloga radove nije moguće izvesti na propisan način.

Prema Pravilima i mjerama sigurnosti pri radu na elektroenergetskim objektima HEP (od 31. 8. 1992.) dopušta se RPN samo prema uredbama koje su odobrene od Komisije za rad pod naponom HEP-a, koju imenuje generalni direktor i čija su ovlaštenja uređena Pravilnikom o zaštiti na radu HEP-a.

Takvo pravno uređenje omogućuje u Hrvatskoj angažman stranog izvođača za RPN, odnosno vlastito postupno uvođenje materijalne i kadrovske spremnosti za takav rad. U obadva slučaja: prema učincima koji se time žele ostvariti.

Dodajmo da je u nas, neposredno pred rat 1991/92. godine, dovršeno početno opremanje Nastavno-obrazovnog centra za rad pod naponom u Velikoj kod Požege, čime je bilo moguće postupno obučavanje hrvatskih ekipa elektromontera pomoću instruktora obučenih u Francuskoj, za rad na niskom i srednjem naponu. Rat je započete aktivnosti prekinuo.

13. ZAKLJUČAK

Iz prikazanog stanja u svijetu, fizičkog stanja i oblika hrvatske prijenosne mreže, te pravnog stanja, proizlazi da postoji osnova za rad pod naponom na prijenosnoj mreži Hrvatske elektroprivrede. Longitudinalna topologija hrvatske prijenosne mreže s uglavnom jednostrukim vodovima, naglašeno je privlačna za primjenu RPN. To dopunski potenciraju brojni sektori mreže radijalno vezani za sustav, takvi nastali ratnim razaranjima 1991/92. godine ili uspostavom državnog teritorija manjim od teritorija unutar kojeg se u prethodnom razdoblju formirala prijenosna mreža.

Razmatranjem relevantnih i primjerenih tuđih iskustava, te naših prilika i potreba, trebalo bi stvoriti argumentiranu osnovu za odlučivanje o potrebama i mogućnostima angažiranja stranih izvođača za rad pod naponom, a nedvojben konačni ishod je da će u budućnosti biti uvedeno vlastito izvođenje RPN u našoj prijenosnoj mreži, u mjeri kao i prosječno drugdje uz izbor prioriteta:

– samo na dalekovodima ili (istovremeno) dalekovodima i rasklopnim postrojenjima
– samo na jednoj naponskoj razini ili (istovremeno) svim naponskim stepenicama 110-220-400 kV
– užem ili širem obuhvatu radnih zahvata za početnu primjenu RPN
– samo jednoj metodi (osnovni rad na potencijalu uz dopunske radove na razmaku, u funkciji osnovnog rada) ili (istovremeno i ravnopravno) rad na potencijalu i rad na razmaku.

Također, tijekom takvih razmatranja i odlučivanja, valjalo bi identificirati koje okolnosti u mreži otežavaju, specifično uvjetuju ili čak onemogućavaju one radne zahvate koje se utemeljeno utvrdilo prevladavajućim za primjenu RPN. Zaključimo recentnim francuskim gledanjem: Rad pod naponom? - Naravno! Radi neprekidne opskrbe električnom energijom i radi povoljnijih uvjeta rada elektromontera.

LITERATURA

[1] I. G. BARG, S. V. POLEVOJ: "Remont vazdušnjih linij elektroperedači pod naprjaženiem". Energoatomizdat - Moskva, 1989.
[2] F. L. KOGAN: "Sojuztehenergo: Radovi pod visokim naponom na dalekovodima u SSSR-u", Izlaganje u ZJE, Beograd 18.XII. 1989.
[3] Dr. B. CSIKOS: "Kontinualan pogon i popravak pod naponom dalekovoda najvećeg napona", prijevod s mađarskog, članak iz Elektrotechnika - Budimpešta 8/1984, str. 249-266.
[4] Live working all over the world, Electricite de France - Paris, 1989.
[5] C. ATLANI, EDF: "Radovi pod naponom na v.n. i s.n. mrežama u Francuskoj", bilješke s predavanja u Zagrebu, 17. IV. 1989.
[6] RPN - projekt istraživanja i uvođenja rada pod naponom u elektroenergetski sistem ZEOH, Institut za elektroprivredu - Zagreb, 1989.
[7] Izvještaj sa studijskog putovanja u SAD ključnih tehničkih kadrova jugoslavenske elektroprivrede. ZJE - Beograd, 1979.
[8] Live line work, priručnik za rad na glavi v.n. i s.n. stupa. Commonwealth Edison Company - Chicago, izdanje 1976.
[9] K. OŽEGOVIĆ: "Rad pod naponom - opis osnovnih metoda i potreba", Elektroprenos - Split, 1962.
[10] K. OŽEGOVIĆ: "Iz Demokratske Republike Njemačke - o radu pod visokim naponom", list Elektroprenos - Beograd, br. 73/travanj 1976.
[11] M. KALEA: "Rad pod naponom u francuskoj elektroprivredi", list Elektroprenos - Beograd, br. 158/travanj 1983.
[12] Arbeiten unter Spannung, DEDASZ - Pecs i STEWEAG - Graz, seminar u Grazu, studeni 1989.
[13] Elektrizitätswirtschaft br. 2/1980, Fachheft "Arbeiten unter Spannung" (tematski posvećen radu pod naponom u n.n. mreži)
[14] I. G. BARG, V. I. EDELJMAN: "Vozdušne linii elektroperedači", Energoatomizdat - Moskva, 1985.
[15] Anketa Live working experts group. UNIPEDE, lipanj 1984.
[16] D. G. KOLKER, I. O. PISARENKO, S. V. POLEVOJ: "Eksperimentalno određivanje preskočnih karakteristika izolacijskih međuprostora elektroprijenosnih vodova 220-750 kV pri radu pod naponom" (prijevod s ruskog, 1990)
[17] I. G. BARG, O. PISARENKO, S. V. POLEVOJ: "Utvrđivanje sigurnosnih razmaka pri remontu pod naponom nadzemnih vodova 220-1150 kV" (prijevod s ruskog, 1990)
[18] S. V. KOROBANOV, M. D. STOLJAROV: "Suvremene metode i sredstva zaštite radnika koji rade na postrojenjima vrlo visokog napona, od djelovanja električnog polja" (prijevod s ruskog, 1990)

[19] M. KALEA: "Francusko iskustvo o radu pod naponom na visokonaponskim mrežama", Elektroprivreda - Beograd 11-12/ 1990.
[20] M. KALEA: "Sovjetsko iskustvo o radu pod naponom na visokonaponskim mrežama", Elektroprivreda - Beograd 11-12/ 1991.
[21] ICoLIM'94 - Druga međunarodna konferencija o radu pod naponom, Zbornik referata, Mulhouse, 1994.
[22] ICoLIM'96 - Treća međunarodna konferencija o radu pod naponom, Zbornik referata, Venecija, 1996.

SOME ASPECTS OF LIVE WORKING IN HIGH-VOLTAGE NETWORKS

Some important global, technical, security, economy, social and organisational aspects of live working are presented, especially if applied on high-voltage transmission networks.

MANCHE UMSTÄNDE BEZÜGLICH DER ARBEITEN UNTER SPANNUNG IN DEN HOCHSPANNUNGSNETZEN

Dargestellt sind wichtigere allgemeine, technische, wirtschaftliche, soziale, Organisations- und Sicherheits - Umstände bezüglich der Arbeiten unter Spannung, vor allem wenn auf Übertragungsnetze unter Hochspannung angewandt.

Naslov pisca:

Marijan Kalea, dipl. inž.
Hrvatska elektroprivreda
Direkcija za upravljanje i prijenos
Prijenosno područje Osijek
Šetalište kard. F. Šepera 1a
31000 Osijek, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1996 – 12 – 05

DALEKOVOD d.d.

DALEKOVOD DANAS

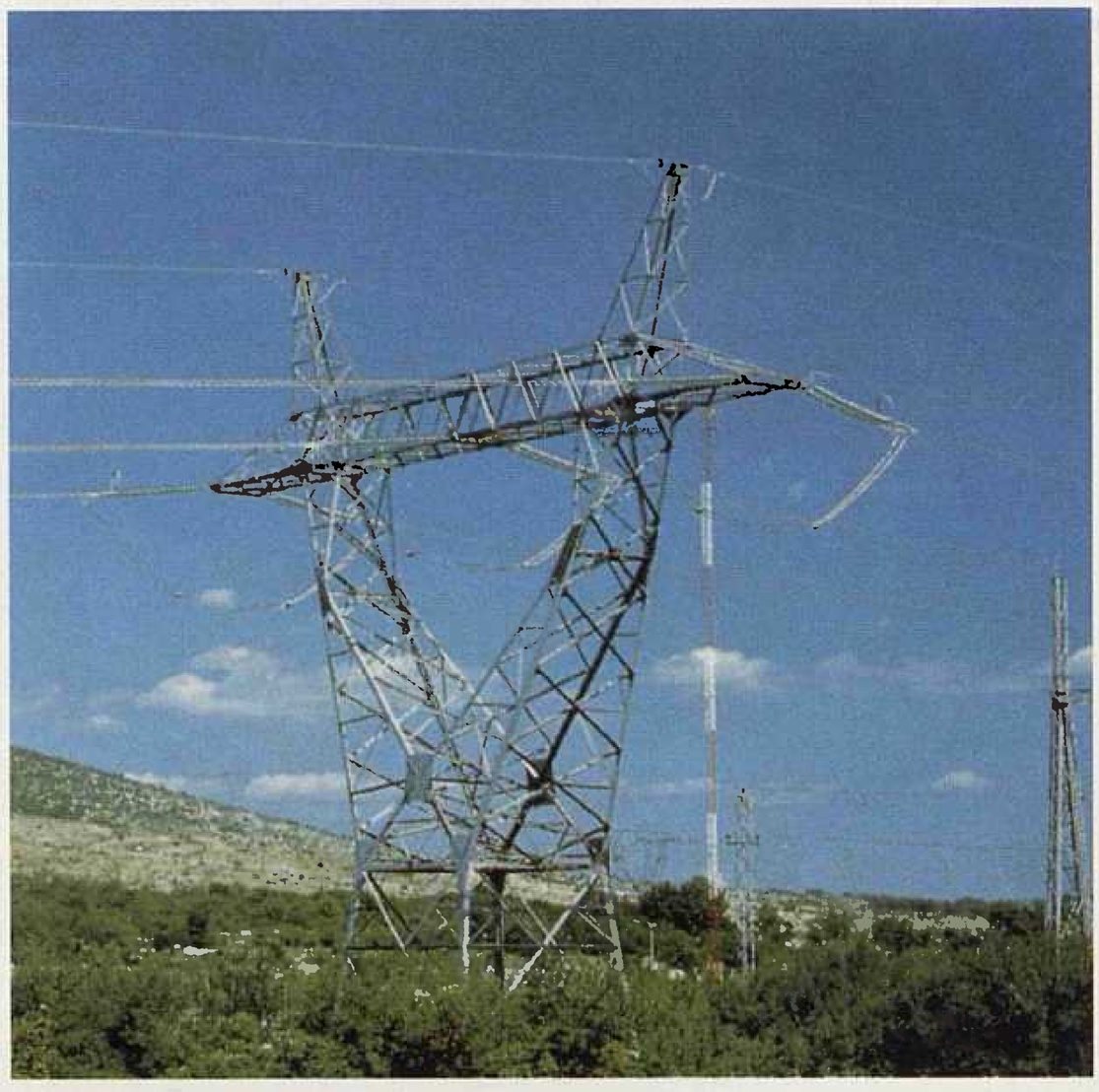
DALEKOVOD je dioničko društvo za inženjering, proizvodnju i gradnju. Za potrebe svog poslovanja utemeljio je:
— Tvrtku DALCOM sa sjedištem u FREILASSINGU — Njemačka
— Tvrtku DALEN sa sjedištem u LJUBLJANI — Slovenija
DALCOM i DALEN rade samostalno, ali s ograničenom odgovornošću.

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.



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 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 L019H (1/94)

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 L019I (1/94)

PRANJE IZOLATORA POD NAPONOM

Stjepan Guć - Jadranko Radovanović, Split

UDK 621.315.62
STRUČNI ČLANAK

Dan je kratak opis uređaja za pranje izolatora pod naponom, engleske tvrtke A. B. CHANCE, te način pranja.

Ključne riječi: posolica, pranje izolatora, uvjeti sigurnosti.

1. UVOD

Znatne naslage onečišćenja mogu dovesti do električnog preskoka, te kao posljedica toga i prekida napajanja električnom energijom. Naglasak koji se u svijetu sve više daje na pouzdanost sustava nameće potrebu usvajanja svih preventivnih mjera da bi se smanjili mogući ispadi iz pogona.
Među raznim mjerama koje se danas primjenjuju je i pranje izolatora pod naponom.
Danas je najraširenija način pranja izolatora mlazom vode. Najčešće se koriste četiri metode pranja izolatora pod naponom, koje se razlikuju po tipu usvojenog rasporeda mlaznica, i to:

– prenosive ručno upravljane mlaznice
– mlaznice montirane na vrtolet
– daljinski upravljane mlaznice, često robotizirane
– mlaznice za fiksno špricanje.

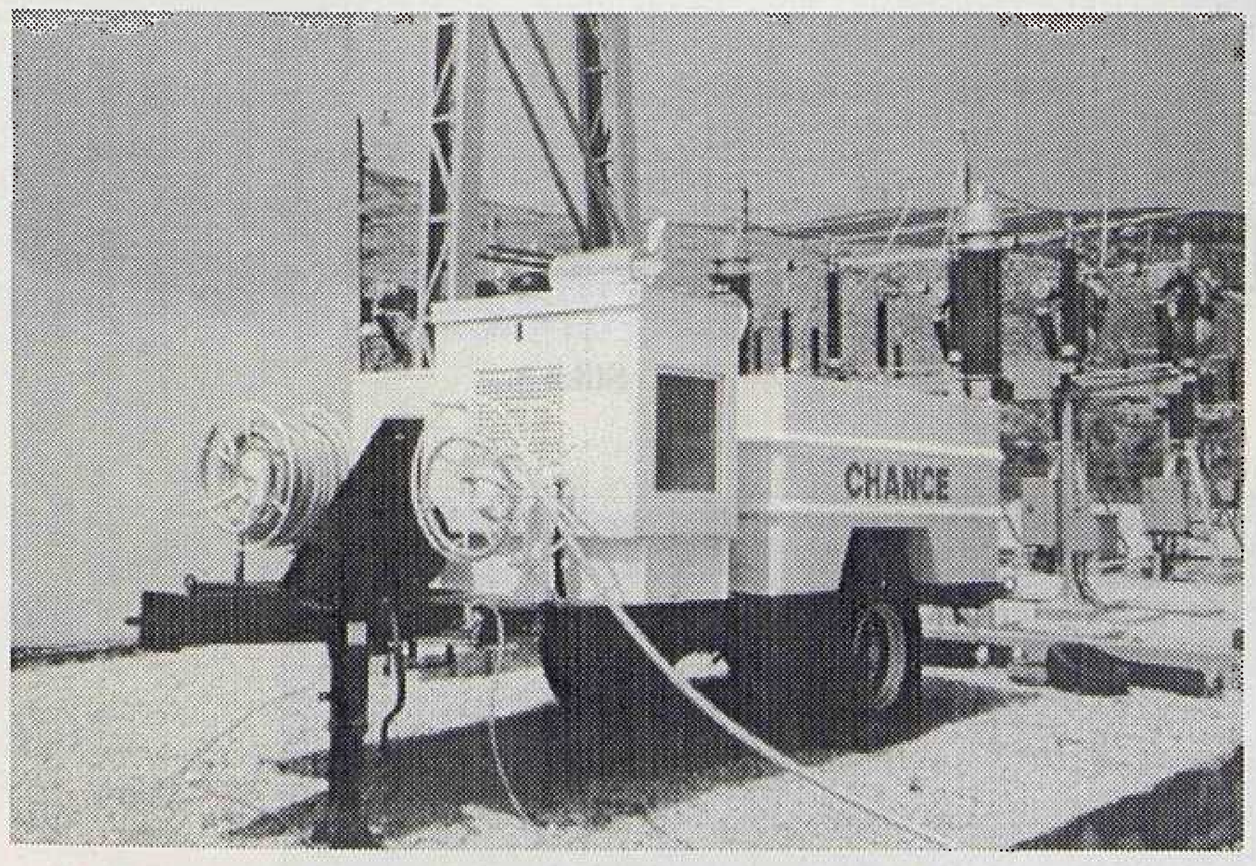
Odabrana je varijanta "prenosivih ručno upravljanih mlaznica", koju koriste za to obučeni radnici na zemlji ili na potencijalu zemlje na udaljenosti od izolatora kako to traže uvjeti sigurnosti.
Tvrtka CHANCE izrađuje tri vrste ovakvih uređaja:

– uređaj za pranje montiran na kamion sa košarom i teleskopom visine do 40 m
– uređaj za pranje montiran na platformi za pranje izolatora sa skele
– uređaj za pranje montiran na prikolicu.

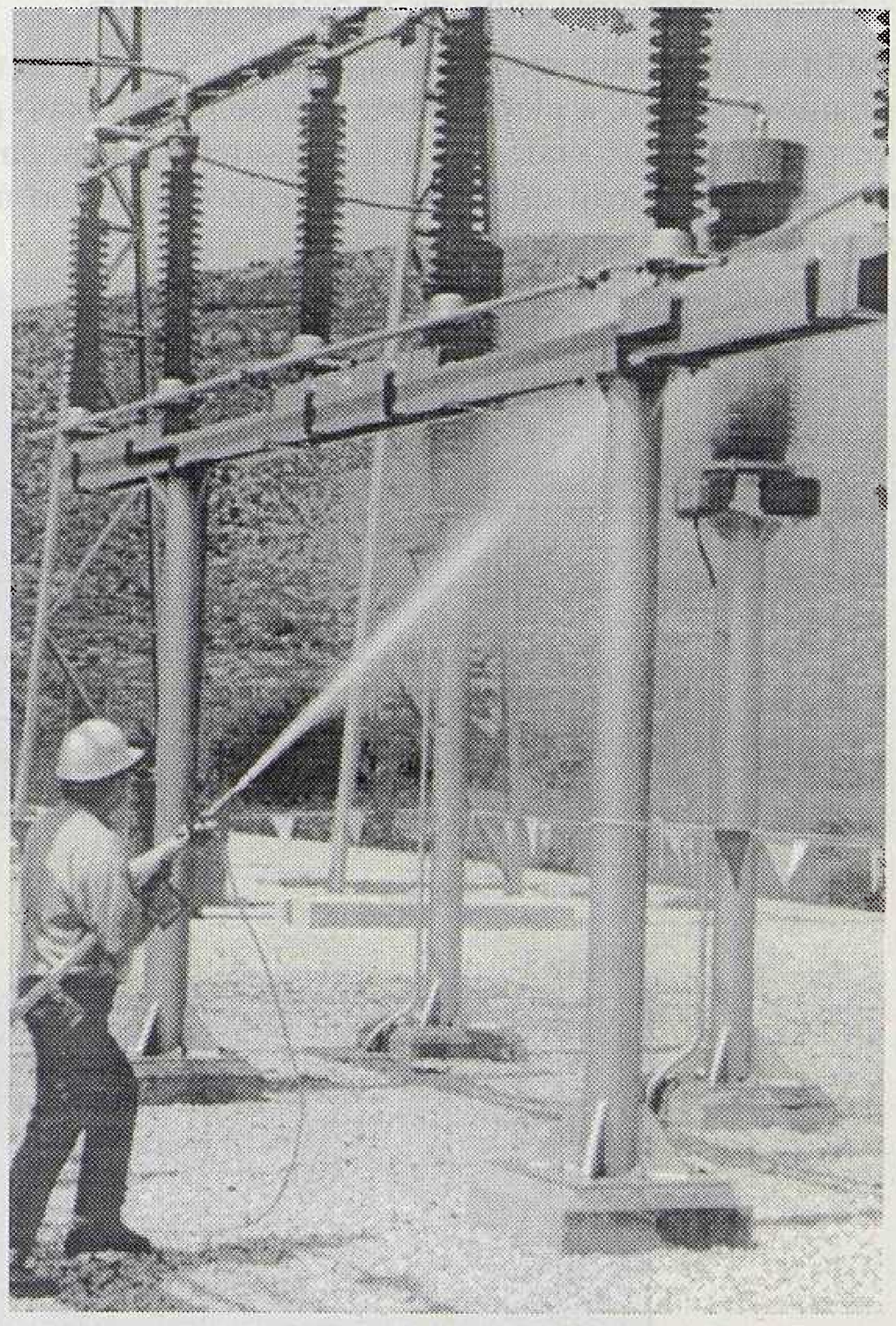
2. UREĐAJ ZA PRANJE IZOLATORA POD NAPONOM

HEP je kupio uređaj za pranje pod naponom montiran na prikolicu, čiji su glavni dijelovi:

– spremnik vode (6000 l)
– motor
– 2 koloturnika s cijevima dugim 45 m



Slika 1a.



Slika 1b.

– monitor za stalno mjerenje vodljivosti vode
– sustav automatike za održavanje potrebnih parametara sustava za pranje.

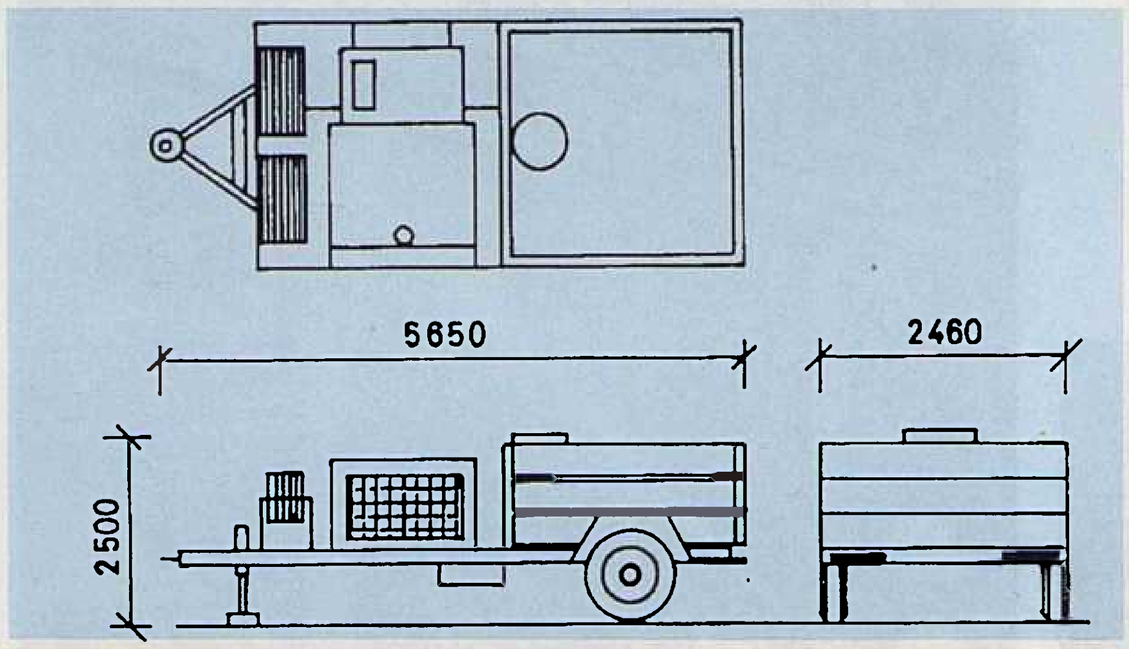
Sastavni dio uređaja su i dvije mlaznice (pištolj - top), pribor za uzemljenje mlaznica i uređaja, te prijenosni uređaj za kontrolu vodljivosti vode.
Osnovne dimenzije uređaja dane su na slici 2.
Prije uključenja uređaja potrebno je učiniti slijedeće:

– provjeriti razinu rashladne tekućine u hladnjaku motora
– provjeriti razinu ulja u motoru
– provjeriti razinu ulja pumpe za vodu
– provjeriti količinu goriva u spremniku goriva
– pomoću prijenosnog uređaja za kontrolu vodljivosti vode treba provjeriti vodljivost same vode, kako bismo bili sigurni da je vodljivost vode unutar traženih granica
– napuniti spremnik za vodu (na spremniku postoji vodokaz)
– ispitati rad nadzornog uređaja vodljivosti
– otvoriti ventile za ispuštanje vode iz crpke
– zatvoriti ventile na upravljačkoj ploči.

Poslije ovih radnji može se uključiti motor, a slijedeće što treba napraviti je:

– provjeriti rad kontrolnih instrumenata na ploči
– provjeriti da li na "T" komadu na vrhu cijevi spremnika za vodu teče voda
– zatvoriti ventile za ispust vode
– provjeriti alarmni sustav za nižu razinu vode
– provjeriti sustav za isključenje kod niske razine vode
– izvršiti kontrolu tlaka
– priključiti pištolj na cijev
– izvršiti provjeru automatskog ubrzanja motora
– izvršiti podešenje jedinice za pranje izolatora.

Da bi se provjerile sve ove radnje poslije kojih je moguće pristupiti pranju, a glede zaštite operatera, odnosno pojave preskoka duž vodenog mlaza, potrebno je poznavati sve parametre koji utječu na pranje izolatora pod naponom, a to su:



Slika 2.

– napon
– udaljenost
– otpor vode
– pritisak vode
– broj okretaja motora
– promjer mlaznice.

U tablici 1 dana je ovisnost među parametrima uz promjer mlaznice od 6,40 mm. Iz tablice je vidljivo da uz isti promjer mlaznice porastom napona raste udaljenost od elementa koji se pere, da treba primijeniti vodu sa manjom vodljivosti, te povećati broj okretaja motora i pritisak crpke, a time i pritisak vode na izlazu iz mlaznice.

3. PRANJE IZOLATORA POD NAPONOM

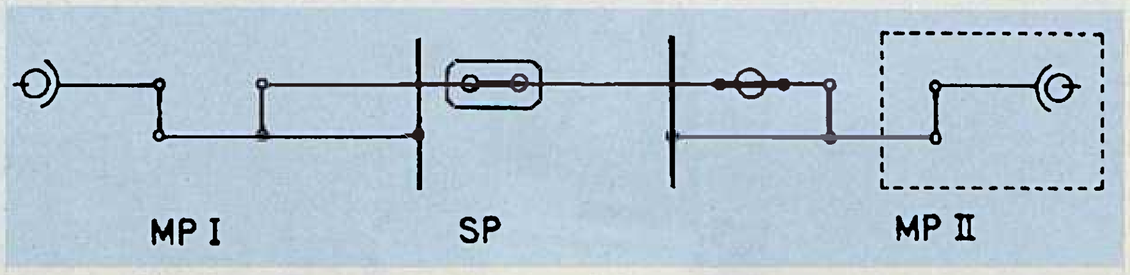
Ekipa koja vrši pranje izolatora mora imati minimalno 3 osobe, od kojih dvojica peru, a treći je zadužen za udešavanje i kontrolu uređaja. **Prije samog pranja uzemlji se uređaj za pranje, a isto tako i pištolj.**
Prilikom pranja pojavljuju se još dva elementa, koji imaju utjecaja na pranje, a to je smjer vjetra i smjer pranja. Naime prilikom pranja treba paziti da se prskanjem ne poveća vodljivost susjednih izolatora.

3.1. Pranje pod naponom u TS "Konjsko"

U periodu od 3. 6. do 7. 6. 1996. godine u PrP-u Split u TS Konjsko održana je obuka za pranje izolatora pod naponom uz prisustvo djelatnika iz sva četiri Prijenosna područja.
Dana 6. 6. 1996. u 10 sati ostvareno je uklopno stanje prema slici br. 3, radi pranja MP II.
Prije pranja napisan je:

1. nalog za rad
2. izjava o preuzimanju odgovornosti odgovornog rukovoditelja radova stranog izvođača
3. od strane nalogodavca upoznata je Dispečerska služba.

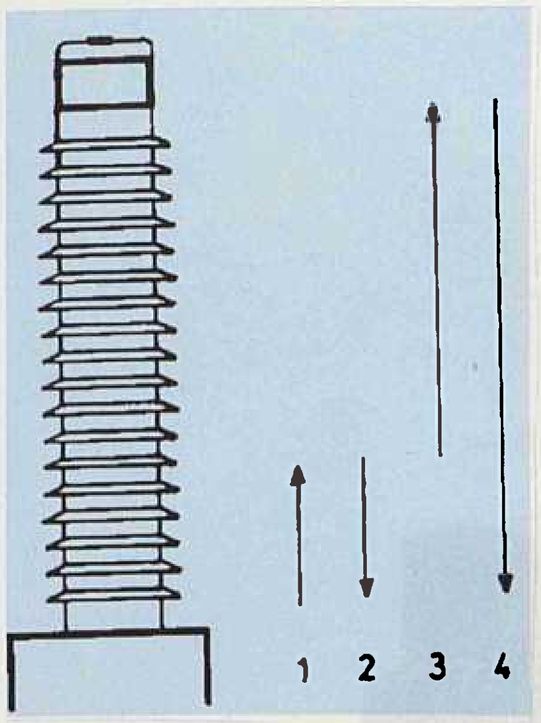
U 10.30 h počelo je pranje naponskih transformatora u MP II i izolatora rastavljača MP II, kako je prikazano na sl. 4 i sl. 5, uz poštovanje prije navedenih uvjeta, dakle pranje izolatora (opreme) pod naponom
Pranje izolatora se vrši na način da se izolator pere od dna do 1/3 visine (1), nakon čega se vrši ispiranje tog dijela



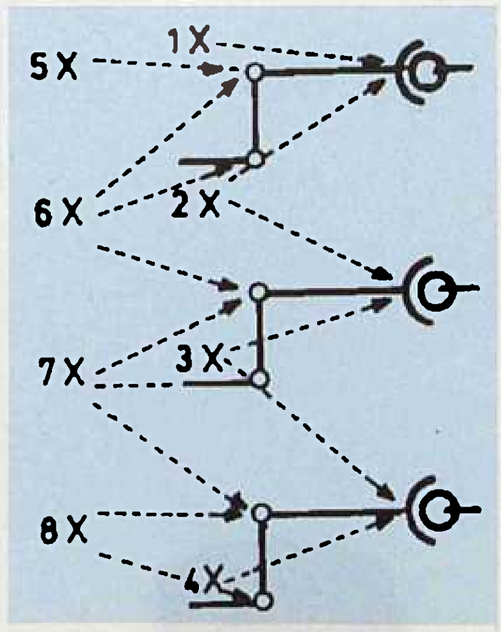
Slika 3.

Tablica 1.

Napon kV	Udaljenost m	Vodljivost µ - MHO	Pritisak kPa		Broj okretaja motora RPM	Mlaznice mm
			mlaznice	crpka		
10 (20)	2,45	600	2750	3100	1800	
35	3,05	550	3100	3500	1900	
110	4,00	500	3400	4000	2000	6,40
220	4,60	450	3600	4200	2050	
400	5,40	400	3800	4400	2100	



Slika 4.



Slika 5.

(2). Poslije toga se pere ostatak izolatora (3) i na kraju ispiranje cijelog izolatora (4), (slika 4).
Na slici 5 je prikazan sa "X" položaj perača, a brojevima je označeno kretanje za vrijeme pranja mjernih naponskih transformatora i rastavljača. Važno je napomenuti da je za ispravno pranje potrebno da početni i završni kut pranja pojedinog izolatora bude veći od 45° u odnosu na os a-a. Na taj način se izbjegava potreba obilaska oko cijelog izolatora, jer je mlaz vrlo jakog pritiska, te očisti i stražnji dio izolatora.
Potrebno je napomenuti da je izvršitelj pranja imao:

– radne cipele
– rukavice
– kacigu.

4. ZAKONSKA REGULATIVA

Pranje izolatora pod naponom se tretira kao rad pod naponom u zemljama koje primjenjuju ovu metodu. Kako HEP nema uređenu provedbenu regulativu koja bi dala uvjete koji moraju biti ispunjeni da pranje pod naponom bude moguće, to je demonstraciju pranja u TS "Konjsko" izveo samo predstavnik tvrtke A. B. CHANCE.
Budući da je HEP kupio dva uređaja za pranje izolatora pod naponom, to je potrebno da se što prije napravi provedbena regulativa koja bi omogućila pranje pod naponom.

LITERATURA

[1] A. B. CHANCE: "Upute za pogon i održavanje"
[2] A. SEKSO: "Pranje izolatora i neke dopunske mjere u uvjetima onečišćenja"

LIVE WORKING ON INSULATOR WASHING

A short review of the English firm A. B. CHANCE's equipment for live working on insulator washing is given, as well as the washing procedure when using it.

DAS ISOLATORENAUSWASCHEN UNTER SPANNUNG

Kurz beschrieben ist die unter Spannung arbeitende Isolatorenwaschanlage der englischen Firma A.B. CHANCE und das Waschverfahren mit diesem Gerät.

Naslov pisaca:

Stjepan Guć, dipl. inž.
Jadranko Radovanović, dipl. inž.
HEP – Direkcija za upravljanje i prijenos
Prijenosno područje Split
Kneza Ljudevita Posavskoga 5
21000 Split, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1996 – 12 – 5

ELKA

UTEMELJENA 1927. god.

PROIZVODNI PROGRAM

- ENERGETSKI KABELI
- SAVITLJIVI I INSTALACIJSKI VODOVI I KABELI IZOLIRANI TERMOPLASTIMA
- SAVITLJIVI I INSTALACIJSKI VODOVI I KABELI IZOLIRANI ELASTOMERIMA
- BRODSKI KABELI
- KABELI I KONEKTORI ZA AERODROMSKE INSTALACIJE
- TELEKOMUNIKACIJSKI KABELI
- SIGNALNO-UPRAVLJAČKI, MJERNI I KABELI ZA INFORMATIČKE MREŽE
- RUDARSKI KABELI
- KABELI ZA ZAVARIVANJE
- SPECIJALNI VODOVI I KABELI
- KONFEKCIONIRANI KABELI I VODOVI
- LAKIRANA ŽICA
- ALUMINIJSKA, ALU-ČELIČNA I UŽAD OD ALUMINIJSKIH LEGURA
- ZAŠTITNA UŽAD SA SVJETLOVODNIM NITIMA (OPGW)
- ČELIČNA UŽAD I PRIVEZICE ZA DIZALICE, BRODOVE I DRUGE NAMJENE
- IZOLACIJSKI MATERIJALI

Planeta Zemlja...

Čovjek...

Kabeli...

ELKA d.d.
Tvornica električnih kabela
Žitnjak bb, 10 000 ZAGREB
TEL: 01/ 233 22 00
FAX: 01/22 38 98

ELKA
TVORNICA ELEKTRIČNIH KABELA

POGON I: ELKA-METALNA UŽARIJA, BIOGRADSKA BB, 23 000 ZADAR; TEL.: ++385 (023) 43 69 22; FAX: ++385 (023) 44 16 72

POGON II: ELKA-MIKROKABEL, TUGONICA BB, 49 247 ZLATAR BISTRICA; TEL.: ++385 (049) 48 14 22; FAX: ++385 (049) 46 11 39

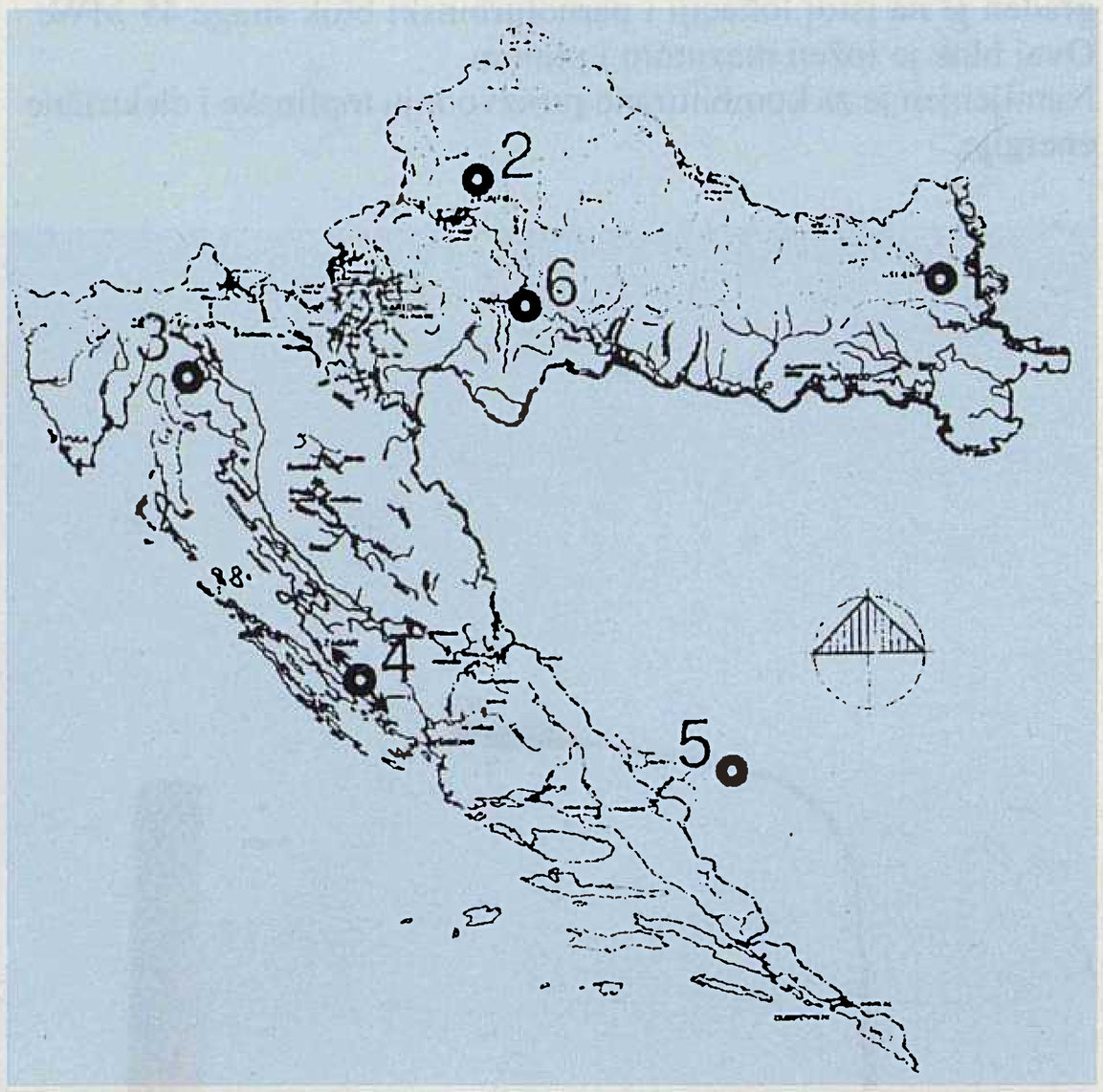
PROJEKTI TERMOELEKTRANA U HRVATSKOJ – NOVA POSTROJENJA[1]

Pod ovim nazivom načinjena je neka vrsta kataloga potencijalnih investicijskih pothvata u Hrvatskoj elektroprivredi, u fazi prethodnih radova. Ovo su prve informacije potencijalnim ulagačima sredstava u energetske objekte u Hrvatskoj. To je ujedno i informacija potencijalnim ponuđačima opreme kakvi energetski objekti bi se mogli graditi. Naime, za zadovoljenje potrošnje električne energije u 2010. godini potrebno je izgraditi nove elektrane ukupne snage oko 1500 MW. Time će se nadoknaditi izgubljenih 650 MW snage u izvorima koje je Hrvatska gradila u drugim republikama, zamijeniti dotrajala proizvodna postrojenja i pratiti porast potrošnje. Potencijalne lokacije prognoziranih kapaciteta prikazane su na slici 1.

To su:

1. Kombielektrana Osijek,
2. Kombielektrana Jertovec,
3. Kombielektrana Sjeverni Jadran,
4. Termoelektrana Dalmacija (A i B),
5. Termoelektrana Zaleđe (na području Federacije BiH), te
6. Termoelektrana Sisak.

Osnovni tehnički podaci svake termoelektrane prikazani su u tablici 1.



Slika 1.

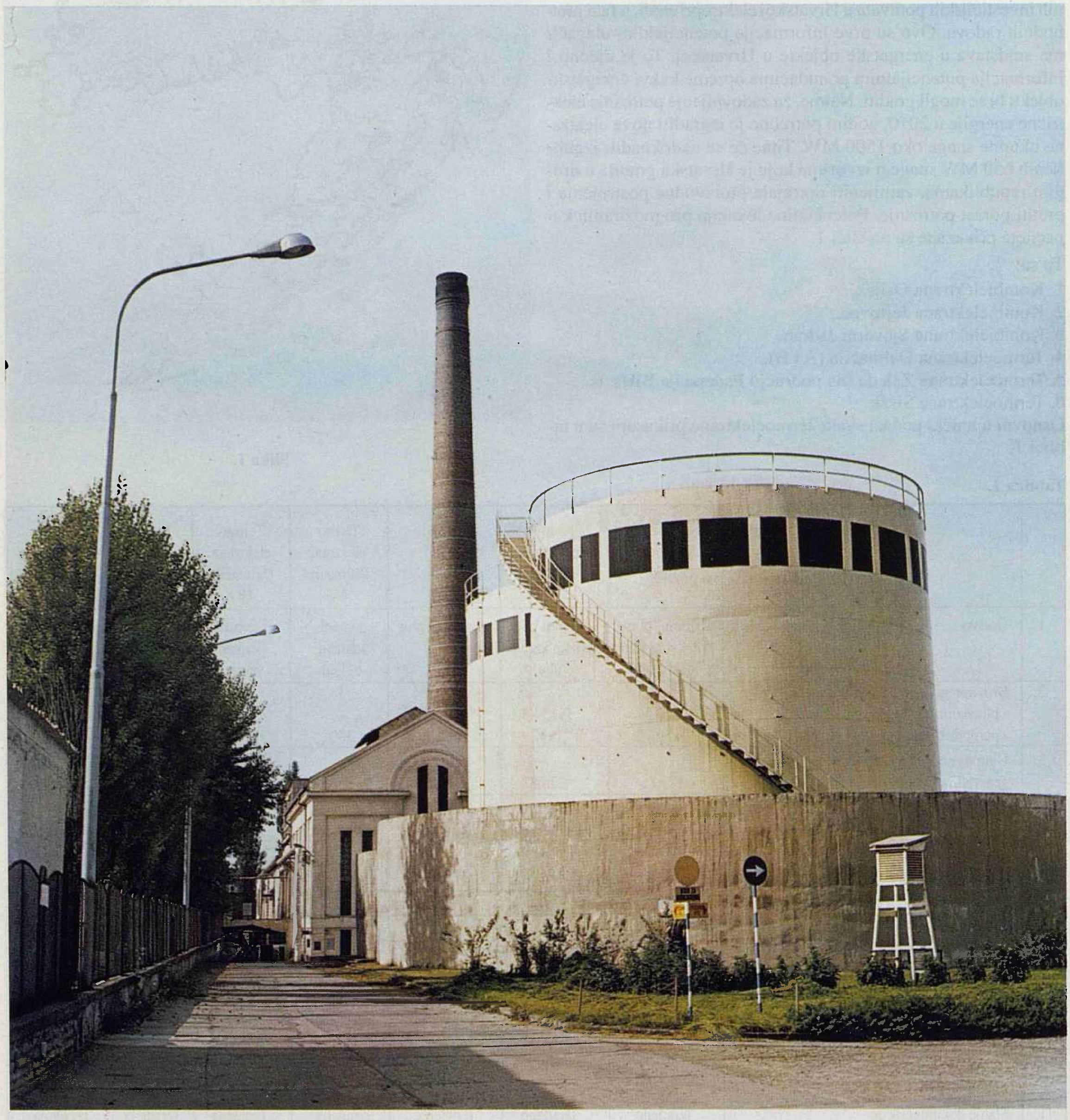
Tablica 1.

	Naziv	Kombi-elektrana Osijek	Kombi-elektrana Jertovec	Kombi-elektrana Sjeverni Jadran	Termo-elektrana Dalmacija (A)	Termo-elektrana Dalmacija (B)	Termo-elektrana Zaleđe	Termo-elektrana Sisak
1.	Gorivo	zemni plin (ekstralako loživo ulje)	zemni plin (lako loživo ulje)	ukapljeni plin	uvozni kameni ugljen	uvozni kameni ugljen	lignit	uvozni kameni ugljen
2.	Broj agregata i pojedinačna snaga (MW): - plinskoturbinski agregat - generator - parnoturbinski agregat - generator	 2x60,57 1x56,72	 1x154,8 1x72	 2x70,3 1x76,57	 - 350	 - 630	 - 350	 - 350
3.	Ukupna snaga na stezaljkama generatora (MW)	177,86	226,8	217,17	350	630	350	350
4.	Režim rada	pretežno temeljni	pretežno temeljni	pretežno temeljni	pretežno temeljni	pretežno temeljni	pretežno temeljni	pretežno temeljni
5.	Godišnja proizvodnja električne energije (GWh/god)	1035,2	1312,8	1262,3	1945,2	3504,6	1930,2	1945,2
6.	Godišnja potrošnja plina 10^6 m^3 god)	210,5	272	246,8	-	-	-	512
7.	Godišnja potrošnja ugljena (10^3 t/god)	-	-	-	710	1164	2900	710
8.	Godišnja potrošnja mazuta (10^3 t/god)	-	-	-	-	-	-	459
9.	Specifični potrošak topline na stezaljkama generatora (kJ/kWh)	6974	7077	6692	8761	8009	9068	8714
10.	Procjena troškova (10^6 DEM): - opreme - građevinskih radova - ukupnih troškova	 180,2 9,7 189,9	 220,7 28 248,7	 200,7 17,7 218,4	 782 177 959	 1387 198 1585	 895 195 1054	 672 144 816
11.	Stanje dokumentacije	Izrađeno idejno rješenje	Izrađeno idejno rješenje	Izrađena studija mogućnosti	Izrađena studija mogućnosti	Izrađena studija mogućnosti	Izrađena studija mogućnosti	Izrađena studija mogućnosti
12.	Najraniji početak	1998	1998	-	2000	2000	2003	1998
13.	Vrijeme građenja (mjeseci)	36	36	36	48	48	48	48

[1] Izradio Elektroprojekt

Kombielektrana Osijek - KE Osijek

Na postojećoj lokaciji PTE Osijek (slika 2.) dosada su izgrađena dva plinskoturbinska agregata snage 2x25 MW, koja za osnovno gorivo koriste plin ili lako loživo ulje. Osim ta dva agregata izgrađen je na istoj lokaciji i parnoturbinski blok snage 45 MWe. Ovaj blok je ložen mazutom i plinom.
Namijenjen je za kombiniranu proizvodnju toplinske i električne energije.

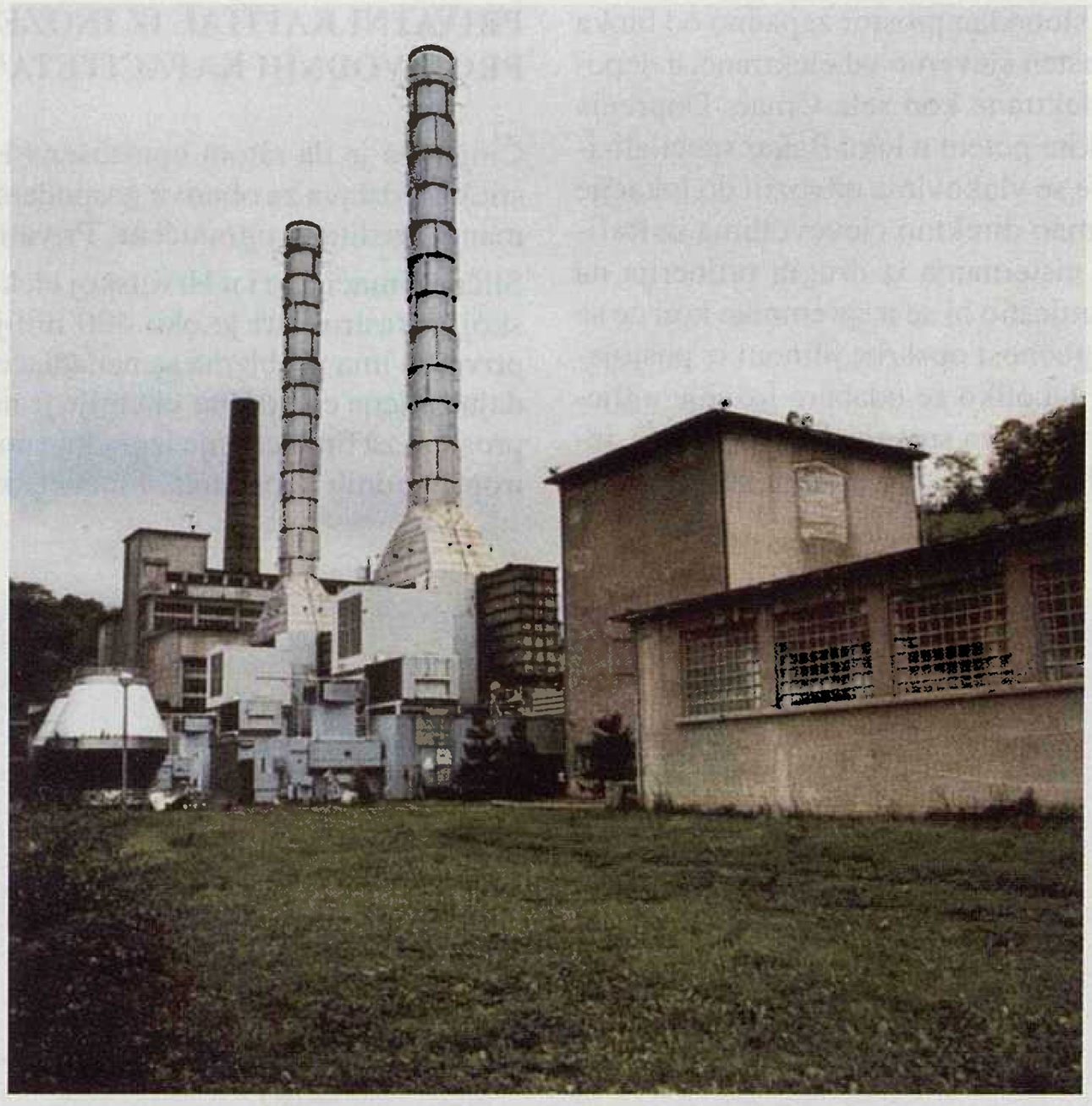


Slika 2. PTE Osijek

Novi kombinirani plinskoturbinski blok snage 180 MWe bit će smješten istočno od toplifikacijskog bloka 45 MW na slobodnu površinu. Novi blok čine dva plinskoturbinska agregata s turbogeneratorima 2 x 60,57 MW i jedna parna turbina s turbogeneratorom 1 x 56,7 MW sa pripadajućom opremom. Namjena novog bloka je opskrba električnom energijom, koji će raditi pretežno u temeljnom režimu uz mogućnost rada u rasponu od 30% do 100% snage. Osnovno gorivo bit će zemni plin (smjesa domaćeg i uvoznog plina) iz magistralnog plinovoda, a kao rezerva ekstralako loživo ulje. Predviđa se godišnja proizvodnja električne energije u iznosu od 1035,2 GWh za 6000 sati/god pogona s nazivnom snagom. Priključak na elektroenergetski sustav izvest će se preko novoizgrađenog 110 kV rasklopnog postrojenja, koje će biti priključeno na postojeću trafostanicu 110/35 kV Osijek 2. Procijenjena ukupna vrijednost investicije iznosi 189,9 milijuna DEM.

Kombielektrana Jertovec - KE Jertovec

PTE Jertovec izgrađena je 1958. godine za loženje ugljenom, poslije mazutom. Zbog zatvaranja okolnih rudnika bila je izvan uporabe, da bi 1978. godine bila preuređena za loženje plinom. Danas instalirana snaga iznosi 87,5 MW, a čine ju dva plinskoturbinska agregata s turbogeneratorima snage 2 x 12,5 MW. PTE



Slika 3. PTE Jertovec

Jertovec (slika 3.) radi u vršnom režimu, a takav režim će zadržati i u budućnosti.
Novi kombinirani blok bit će smješten na postojećoj lokaciji. Činit će ga plinskoturbinski agregat sa turbogeneratorom snage 154,8 MW i parnoturbinski agregat sa turbogeneratorom snage 72 MW. Ukupno instalirana snaga iznosit će 226,8 MW. Koristit će zemni plin, odnosno smjesu domaćeg i uvoznog plina, a kao rezervno gorivo služit će lako loživo ulje. Za opskrbljivanje domaćim plinom koristit će se postojeći cjevovod, čiji kapacitet zadovoljava. Namjena novog bloka je opskrba električnom energijom u pretežno temeljnom režimu. Predviđa se godišnja proizvodnja električne energije u iznosu od 1312,8 GWh uza 6000 sati/god pogona s nazivnom snagom. Priključak na elektroenergetski sustav ostvarit će se preko rekonstruiranog i proširenog 110 kV rasklopnog postrojenja. Procijenjena ukupna vrijednost investicije iznosi 248,7 milijuna DEM.

Kombielektrana Sjeverni Jadran - KE Sjeverni Jadran

Potencijalna lokacija ove kombielektrane je na otoku Krku. Budući da se predviđa da će biti ložena uvoznim ukapljenim plinom nalazit će se u blizini lokacije predviđene za izgradnju terminala za prihvat ukapljenog plina. Kao rezervno gorivo služit će ekstralako loživo ulje. Ukapljeni plin će se dopremati specijalnim brodovima do INA-inog naftnog terminala u Omišlju, gdje će biti uskladišten u specijalnim kuglastim spremnicima. Odatle će se cjevovodom dopremati do elektrane, gdje će biti također uskladišten u isto takve spremnike. O izgradnji terminala za ukapljeni plin ovisit će i najraniji mogući početak gradnje kombielektrane.
Blok će se sastojati od 2 plinskoturbinska agregata s turbogeneratorima snage 2 x 70,3 MW i parnoturbinskog agregata s turbogeneratorom snage 1 x 76,57 MW. Ukupno instalirana snaga iznosit će 217,17 MW. Blok će služit za opskrbu električnom energijom u preteženo temeljnom režimu, ali će imati mogućnost rada u rasponu od 30% do 100% snage. Predviđena godišnja proizvodnja električne energije iznosi 1262,3 GWh uz 6000 sati/god pogona s nazivnom snagom. Veza sa elektroenergetskim sustavom ostvarit će se preko novoizgrađenog 110 kV rasklopnog postrojenja. Procijenjena ukupna vrijednost investicije iznosi 218,4 milijuna DEM.

Termoelektrana Dalmacija A i B

Dvije termoelektrane, jedna 350 MW, a druga 630 MW, na obali mora, na području Dalmacije koristit će kao gorivo uvozni kameni ugljen. Pobliža lokacija nije još određena. S obzirom na tehničke kriterije koje lokacija mora zadovoljavati sigurno je da ima više potencijalnih lokacija na području Dalmacije. Ugljen će se dopremati brodovima pa je potrebna izgradnja luke, koja mora biti opremljena mehanizacijom za pretovar ugljena. Predviđa se godišnja proizvodnja električne energije u iznosu od 1945,2 GWh za 6000 sati/god pogona s nazivnom snagom u pretežno temeljnom režimu. Priključak ovih elektrana na elektroenergetski sustav izvest će se preko 400 i 110 kV rasklopnog postrojenja. Procijenjena ukupna investicijska sredstva iznose za blok 350 MW 959 milijuna DEM, a za blok 630 MW 1585 milijuna DEM.

TE Zaleđe

Potencijalna lokacija za ovu termoelektranu smještena je u blizini nalazišta lignita u sjevernoistočnom dijelu Duvanjskog polja na jugozapadu Hercegovine. Izgradnja se opravdava bogatim nalazištima lignita i mogućnošću otvaranja površinskog kopa. Doprema ugljena će biti direktno iz rudnika. Instalirana snaga termoelektrane će biti 350 MW. Predviđa se godišnja proizvodnja električne energije u iznosu 1930,2 GWh za 6000 sati/god pogona s nazivnom snagom u pretežno temeljnom režimu. Priključak na elektroenergetski sustav ostvarit će se preko 400 i 110 kV rasklopnog postrojenja. Procijenjena ukupna vrijednost investicije iznosi 1054 milijuna DEM.

Termoelektrana Sisak - TE Sisak

Proširenje TE Sisak će se izvesti sa blokom snage 350 MW. Na postojećoj lokaciji (slika 4.) izgrađena su dva bloka po 210 MW ložena mazutom i zemnim plinom. Treći blok bi trebao biti ložen uvoznim kamenim ugljenom, mazutom ili zemnim plinom.

Ovaj blok će biti smješten na slobodan prostor zapadno od bloka 2. Deponij ugljena bit će smješten sjeverno od elektrane, a deponij pepela 4 km južnije od elektrane kod sela Crnac. Doprema uvoznog ugljena će biti morskim putem u luku Bakar specijaliziranu za rasute terete, odakle će se vlakovima odvoziti do lokacije TE Sisak. Mazut bi se dopremao direktno cjevovodima iz Rafinerije Sisak ili željezničkim cisternama iz drugih rafinerija na postojeću istovarnu rampu i smjestio bi se u spremnike koji će se izgraditi. Također postoji mogućnost opskrbe plinom iz postojećeg magistralnog cjevovoda. Ukoliko se odabere loženje ugljenom sa većim postotkom sumpora, za smanjenje emisije SO_2 izgradit će se postrojenje za odsumporavanje dimnih plinova.

Novi blok će biti priključen na elektroenergetski sustav preko 220 i 110 kV rasklopnog postrojenja koje će se izgraditi. Namjena ovog bloka je opskrba električnom energijom u pretežno temeljnom režimu. Predviđa se godišnja proizvodnja električne energije u iznosu 1945,2 GWh za 6000 sati/god pogona s nazivnom snagom. Procijenjeni ukupni investicijski troškovi iznose 816 milijuna DEM. Predviđa se najraniji početak izgradnje u 1998. godini.

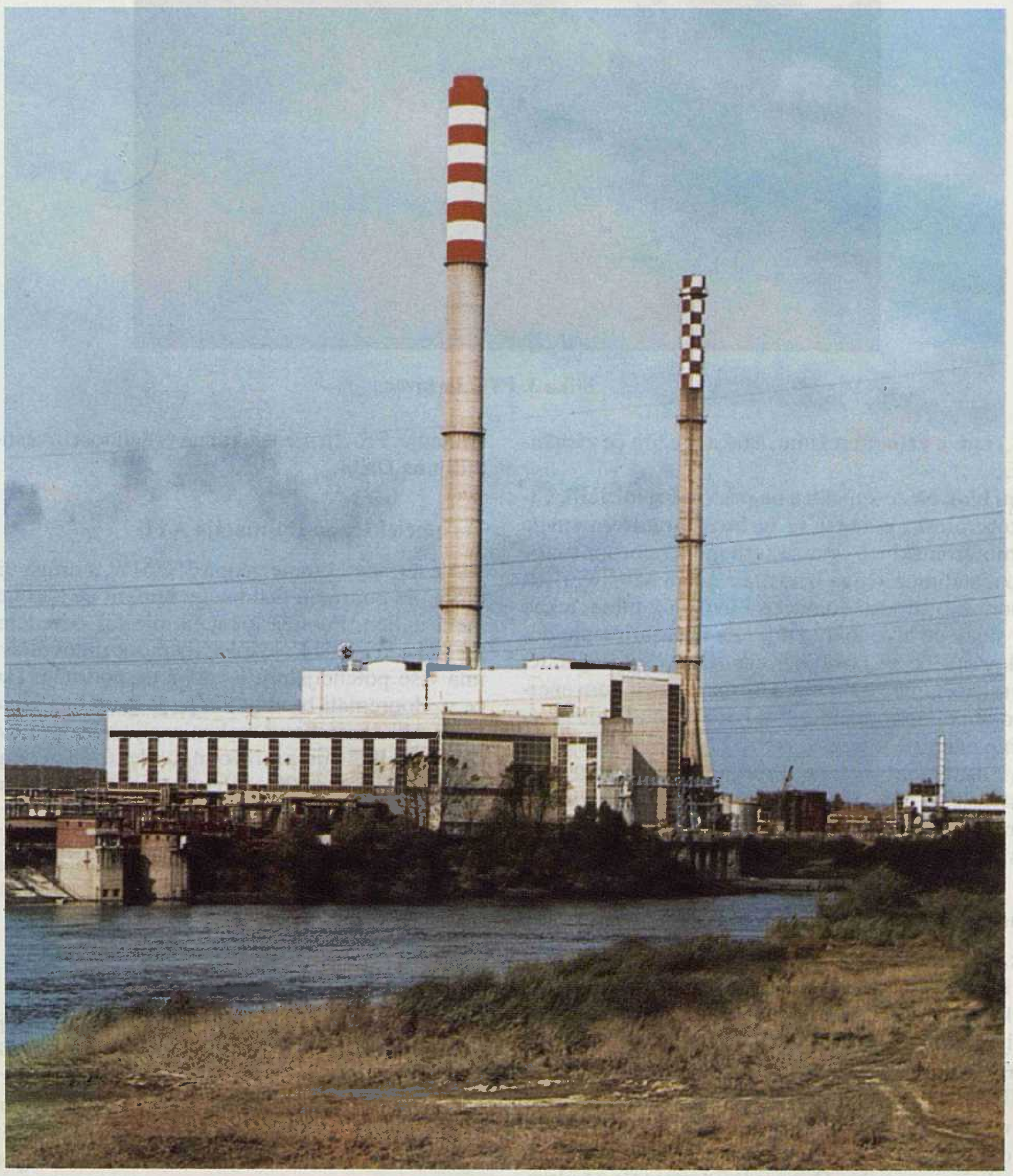
SBK

PRIVATNI KAPITAL IZ INOZEMSTVA ZA IZGRADNJU PROIZVODNIH KAPACITETA[2]

Činjenica je da ratom opustošena Hrvatska nema dovoljno vlastitih sredstava za obnovu gospodarskog sustava. Mogućnost uzimanja kredita su ograničena. Privatizacija, pak, čini prve korake.

Slična situacija je i u Hrvatskoj elektroprivredi. Šteta na energetskoj infrastrukturi je oko 400 milijuna US$. Hrvatska elektroprivreda ima problema sa nenaplaćenom realizacijom. Maloprodajna cijena električne energije je niska. Sve to ne ostavlja puno prostora za financiranje izgradnje novih i obnovu postojećih elektroprivrednih kapaciteta. Financijski gledan odnos čistog prihoda prema bruto prihodu u 1995. godini je oko 10 milijuna US$ prema 1 milijardi US$.

Dio troškova rekonstrukcije hrvatskog energetskog sektora pokriva se zajmom u iznosu 50 milijuna US$ od Europske banke za obnovu i razvoj (EBRD). Također se računa sa zajmom Svjetske banke. Takva situacija prisiljava hrvatsku vladu da se isključi pri-



Slika 4. TE Sisak

[2] Global Private Power, siječanj 1997.

vatizacija u elektroenergetskom sektoru, iako ona nije prioritet ovog časa.
Prošle godine je održana konferencija u Zagrebu o mogućnosti investiranja stranih investitora u Hrvatskoj. Hrvatska elektroprivreda je poduzela niz aktivnosti da iskoristi tu mogućnost, tj. da koristi strani privatni kapital za izgradnju elektroenergetskih objekata. Kratki prikaz objekata dan je u donjoj tablici.

Naziv poduzeća	Termoelektrana			Cijena milijuna US$
	Snaga (MW)	Gorivo	Lokacija	
1. RWEE, Njemačka	210	ugljen	Plomin II	230
2. Enron, USA	<180	plin	TE-TO Zagreb	100
3. Enserch Inter., USA	700	ugljen	TE Obrovac	1.000

To su dvije termoelektrane ložene ugljenom: Plomin II i jedna nova termoelektrana na podučju Dalmacije (TE Obrovac), te jedna ložena plinom - proširenje kapaciteta u TE-TO Zagreb. Procijenjena investicijska vrijednost ovih kapaciteta iznosi otprilike 1 330 milijuna američkih dolara (US$).
Jedna od prvih konkretnih akcija je sklapanje ugovora o dovršenju TE Plomin II. Hrvatska elektroprivreda i njemačka firma RWEE iz Essena sklopile su 2. 11. 1996. godine ugovor o dovršenju TE Plomin II. Za realizaciju ovog projekta osnovano je novo hrvatsko-njemačko poduzeće "TE Plomin" d.o.o. Sredinom siječnja ove godine HEP je potpisao ugovore s tim poduzećem:

- ugovor o kupoprodaji električne energije
- ugovor o prodaji pokretne imovine
- ugovor o najmu nekretnina
- ugovor o održavanju elektrane.

Navedeni ugovori potpisani su na rok od 15 godina, kada će TE Plomin II prijeći u vlasništvo Hrvatske elektroprivrede.
Tijekom 1996. godine također su se odvijali pregovori sa dva američka poduzeća.
Sa poduzećem "Enron" pregovaralo se o proširenju kapaciteta TE-TO Zagreb. Poduzeće "Enserch International" zainteresirano je za investiranje u izgradnju nove termoelektrane na području Dalmacije (TE Obrovac).
Kako Hrvatska proizvodi ograničene količine ugljena, gorivo za nove kapacitete trebat će se uvoziti. Temeljni zahtjev je ugljen da ne sadrži više od 1% sumpora. Sredinom 1995. godine načinjen je elaborat o 20-godišnjem opskrbljivanju ugljenom s godišnjim rastom od 1 milijun tona. Pod pokroviteljstvom vlada Indonezije i Hrvatske pregovara se sa firmom PT Adro iz Indonezije o kontraisporuci indonezijskog ugljena za hrvatski cement. U budućnosti, kada će planirani kapaciteti u termoelektranama biti stavljeni u pogon, ne isključuje se mogućnost da ugljen doprema privatno poduzeće.

SBK

POVEĆANJE KAPACITETA U TE-TO ZAGREB

Krajem prošle godine objavljen je natječaj za prikupljanje ponuda za izradu tendera za proširenje TE-TO Zagreb. Tijekom veljače održani su razgovori i podijeljena prednatječajna dokumentacija za rekonstrukciju i izgradnju dodatnog kapaciteta potencijalnim investitorima.
Ova termoelektrana, slika 5., na lijevoj obali Save u Žitnjaku, stavljena je u pogon krajem 1962. godine. Izgrađena je kao normalna kondenzacijska termoelektrana s dodatkom uređaja za potrebe opskrbe potrošača toplinom. Energetsku bazu predstavljao je lignit iz zagorskih rudnika i viškovi prirodnog plina iz obližnjih naftnih polja. Nakon zatvaranja zagorskih rudnika zbog nerentabilnosti, ekonomski razlozi su uvjetovali da je termoelektrana pregrađena na loženje teškog loživog ulja (mazuta) uz već postojeće instalacije za prirodni plin. Tako je prvi blok adaptiran na tekuće gorivo početkom 1965. godine, a drugi krajem 1966. godine. Adaptacijom je riješeno loženje kotlova do 100% mazu-

Slika 5. **TE-TO Zagreb**

tom i prirodnim plinom ili kombinirano. Instalirana snaga elektrane u ovoj prvoj etapi je 2 x 32 MW.

1975. godine rekonstruiran je jedan turboagregat. U drugoj etapi od 1975. do 1979. godine izgrađen je oduzimno-kondenzacijski blok s dva toplifikacijska oduzimanja, od kojih jedan s automatskom regulacijom. Snaga elektrane povećana je za 120 MW. Kao što je prva etapa tako je i druga izgrađena za loženje teškog loživog ulja (40,18 MJ/kg) i prirodnog plina (36,0 MJ/m^3). Kotao se može ložiti i jednim i drugim gorivom do 100% učinka. Kapacitet im je 2x160 t/h.

1985. godine rekonstruiran je drugi turboagregat od 32 MW. Izbačeno je niskotlačno kućište turbine i kondenzacijsko postrojenje, a turbina je postala protutlačna. Smanjena je snaga na stezaljkama generatora sa 32 W na 26 MW.

Za produljenje životnog vijeka blokova 2x32 MW, koji su u pogonu preko 30 godina, potrebna je temeljna rekonstrukcija i revitalizacija. U slijedećoj fazi rekonstrukcije demontirat će se drugi kotao i umjesto njega ugraditi dvije plinske turbine snage 2 x 70,3 MW[3] i pripadajući kotlovi na ispušne plinove. Ovi kotlovi će proizvoditi paru za pogon postojećih parnih turbina. Rekonstruirat će se i prvi kotao, koji će se nakon toga koristiti samo u zimskim mjesecima kada će parne turbine raditi punom toplinskom i električnom snagom.

Osnovni tehnički podaci novog kapaciteta:

Naziv	Količina	Jedinica mjere
Gorivo		
Zemni plin	Hd=47720	kJ/kg
Ulje za loženje (rezerva)	Hd=47720	kJ/kg
Plinske turbine		
Tip - jednoosovinska s reduktorom		
Snaga na stezaljkama generatora	70,3	MW
Potrošnja plina kod pune snage	4,23	kg/s
Brzina vrtnje	5 235	min^{-1}
Temperatura ispušnih plinova	604	°C
Količina ispušnih plinova	200,2	kg/s
Kotlovi na ispušne plinove		
Tip - dvotlačni s dva bubnja		
Količina visokotlačne pare	30,2	kg/s
Količina niskotlačne pare	3,75	kg/s
Parametri visokotlačne pare	510	°C
	90	bar
Parametri niskotlačne pare	235	°C
	10	bar
Plinskoturbinski genratori		
Instalirana snaga	88,2	MVA
Napon	10,5	kV
	50	Hz
Faktor snage	0,8	cosφ
Hlađenje	zrak	
Brzina vrtnje	3000	min^{-1}
Energetski pokazatelji plinskoturbinskog postrojenja		
Ukupna snaga plinskoturbinskih agregata na stezaljkama generatora	140.6	MW
prosječna vlastita potrošnja (plinskoturbinsko postrojenje i kotlovi na ispušne plinove) i gubici na transformatorima	2,7	MW
Snaga plinskoturbinskog postrojenja na pragu	137,9	MW
Godišnja proizvodnja električne energije (6000 sati/god s nazivnim naponom)	827,4	GWh/god
Godišnja potrošnja plina	246,8	10^3 m^3/god

Dosada je izrađena tenderska dokumentacija. Početak radova predviđa se u 1997. godini, a završetak puštanjem u pogon plinskih turbina nakon 24 mjesca, te cijelog postrojenja nakon 30 mjeseci. Procijenjeni ukupni troškovi izgradnje iznose 149 milijuna DEM, od čega oprema iznosi 138,4 milijuna, a građevinski radovi 10,6 milijuna DEM.

SBK

AGENCIJA ZA POSEBNI OTPAD

Agencija za posebni otpad (APO) djeluje već šestu godinu. Dne 2. srpnja 1991. godine Hrvatska elektroprivreda osnovala je javno poduzeće specijalizirano za radioaktivni otpad. Zadatak tog poduzeća je bio pripremanje izgradnje odlagališta nisko i srednje aktivnog otpada. 1993. godine djelatnost je proširena i na opasni otpad, pa je javno poduzeće preregistrirano u Agenciju za poseban otpad. Osnovni zadatak ove agencije je organizacija, usklađivanje, provođenje i nadziranje gospodarenja radioaktivnim i opasnim otpadom u Hrvatskoj. Agencija izdaje svoj bilten "AOP Novosti", preko kojeg informira javnost o svom djelovanju. Bilten izlazi dvomjesečno.

Agencija surađuje sa međunarodnim institucijama preko organizacija Ujedinjenih naroda (IAEA, UNIDO, ENEP i ECE), međunarodnom oganizacijom za otpad ISWA, Europskom unijom, te Ministarstvom za energiju SAD-a.

Djelatnost Agencije odvija se putem projekata koji čine 3 skupine: jedna skupina su projekti koji se odnose na radioaktivni otpad, drugu skupinu čine projekti gospodarenja opasnim otpadom, a treću ostali projekti:

1. Radioaktivni otpad - ovu skupinu čine[4]:

- izbor odlagališta radioaktivnog otpada
- projekt odlagališta radioaktivnog otpada
- prametri za prosudbu i ocjenu sigurnosti odlagališta radioaktivnog otpada
- prosudba rizika od odlagališta
- sanacija radioaktivno kontimininiranih lokaliteta
- prirodna radioaktivnost i radon
- studija izvedivosti postrojenja za sterilizaciju hrane i medicinske opreme ionizirajućim zračenjem
- registra zatvorenih izvora zračenja.

2. Opasni otpad - ovu skupinu čine projekti:

- katastar proizvođača opasnog otpada u RH
- katastar deponija otpada
- izbor mjesta odlagališta opasnog otpada
- centar za obradu i odlaganje opasnog otpada
- smanjivanje otpada na mjestu nastanka
- analitičke metode za identifikaciju opasnog otpada
- projekti PCB
- uputstva sustava gospodarenja otpadnim uljima
- organizacija zbrinjavanja otpadnih tvari
- pesticidi
- uklanjanje muljeva koji sadrže teške metale
- medicinski otpad
- organiziranje prikupljanja i obrade ambalaže opasnog otpada
- projekti remedijacije - čišćenja i sanacije
- projekt bioremedijacije
- sustav gospodarenja otpadnim jestivim uljima
- baza podataka o korisnicima halogeniranih ugljikovodika.

3. Ostali projekti:

- ratne štete
- primjena GIS tehnologije u prosudbi rizika i analizi sigurnosti
- model djelovanja AOP u javnosti
- informiranje i obrazovno djelovanje na javnost.

SBK

[3] Projekti termoelektrana u Hrvatskoj - revitalizacije

[4] Detaljnije o ovim projektima vidjeti: APO-Novosti, br. 13/1996.

ELEKTROPRIVREDA U BROJKAMA

Prema podacima Državnog zavoda za statistiku[5] načinjen je za djelatnost elektroprivrede za 1995. godinu pregled proizvodnje električne energije sa osvrtom na petogodišnje razdoblje od 1991.-1995. godine. Prikazani su indeksi industrijke proizvodnje za razdoblje od 1985.-1995. godine. Također su prikazani indeksi fizičkog obujma i verižni indeksi industrijske proizvodnje prema ekonomskoj namjeni. Uz uvoz i izvoz električne energije prikazani su indeksi cijena električne energije za razdoblje od 1985.-1995. godine.

Zabilježen je utrošak goriva u termoelektranama, te emisija plinova u zrak iz termoelektrana, termoelektrana-toplana i toplana za petogodišnje razdoblje od 1990.-1995. godine. Podaci o korištenju vode u elektroprivrednoj djelatnosti nadopunjeni su sa podacima o načinu opskrbe vodom elektroprivredne djelatnosti, te načinom i količinom ispuštanja vode. Uz podatke o strukturi zaposlenosti prikazani su i podaci o bruto i neto plaćama u elektroprivredi.

Proizvodnja električne energije

Proizvodnja električne energije u Republici Hrvatskoj za razdoblje od 1991.-1995. godine prikazana je po godinama u tablici 2. i u dijagramu na slici 6. Uz prikaz ukupno proizvedene električne energije po godinama prikazana je i godišnja proizvodnja u hidro i termoelektranama. Ukupna najveća proizvodnja električne energije ostvarena je 1993. godine u iznosu 9 437 GWh, a najniža 1994. godine u iznosu 8 717 GWh. Hidroelektrane su najviše proizvele 1991. godine - 5 791 GWh, a najmanje 1992. godine - 4 337 GWh. Termoelektrane su najveću proizvodnju ostvarile 1993. godine u iznosu 4 953 GWh, a najnižu 1991. godine u iznosu od 3 043 GWh.

Indeksi industrijske proizvodnje za elektroprivrednu djelatnost po JKD za desetgodišnje razdoblje od 1985.-1995. godine, prikazani su u tablici 3. i dijagramu na slici 7. Za indeks 100 uzeta je 1994. godina. Najmanji indeks proizvodnje električne energije od 93,3% ostvaren je 1985. godine, a najveći 1988. godine u iznosu od 109,1% proizvodnje 1994. godine.

Tablica 2. Proizvodnja električne energije u razdoblju od 1991. - 1995.[6]

	Jedinica mjere	1991	1992	1993	1994	1995
Ukupno	MWh	8 834 152	8 858 961	9 436 920	8 716 727	9 145 654
Hidroenergija	MWh	5 790 698	4 337 208	4 483 851	5 425 994	5 614 448
Termoenergija	MWh	3 043 454	4 521 753	4 953 063	3 290 733	3 531 206

Tablica 3. Indeksi industrijske proizvodnje za elektroprivredu po jedinstvenoj klasifikaciji djelatnosti (JKD)[7]

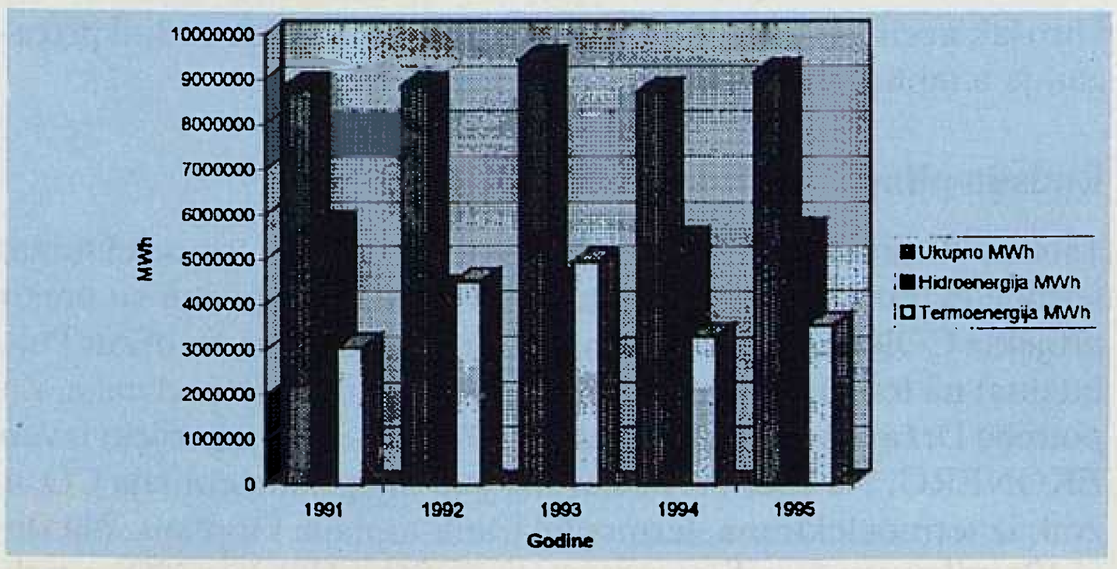
1994 = 100

	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1995
Elektroprivreda	95,3	102,8	107,6	109,1	98,7	100,3	101,3	101,6	108,3	104,9

Tablica 4. Indeksi fizičkog obujma industrijske proizvodnje prema ekonomskoj namjeni proizvoda[8]

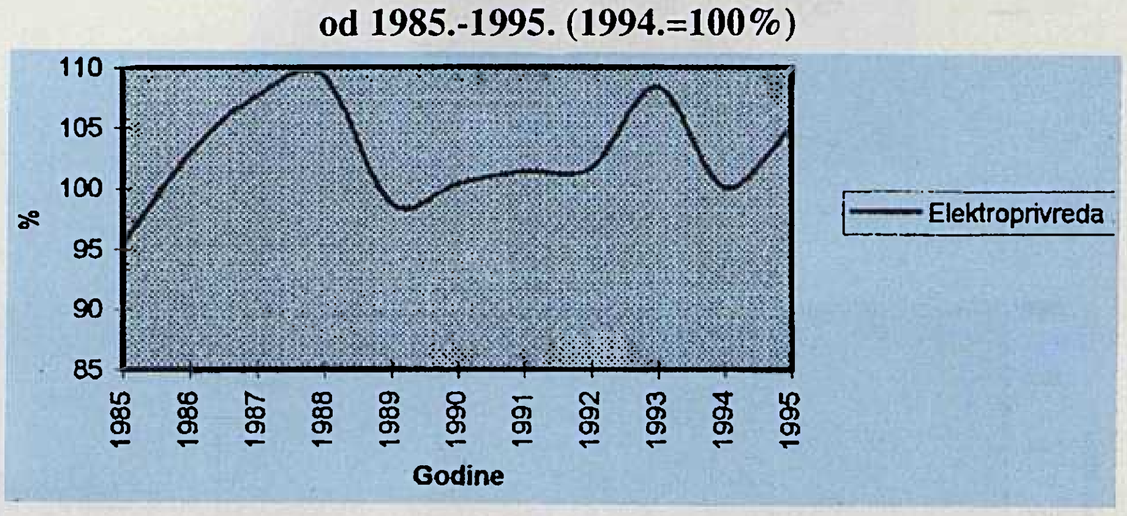
	1990	1991	1992	1993	1995
Elektroprivreda	100	101	102	108	105

Proizvodnja električne energije u razdoblju od 1991.-1995.



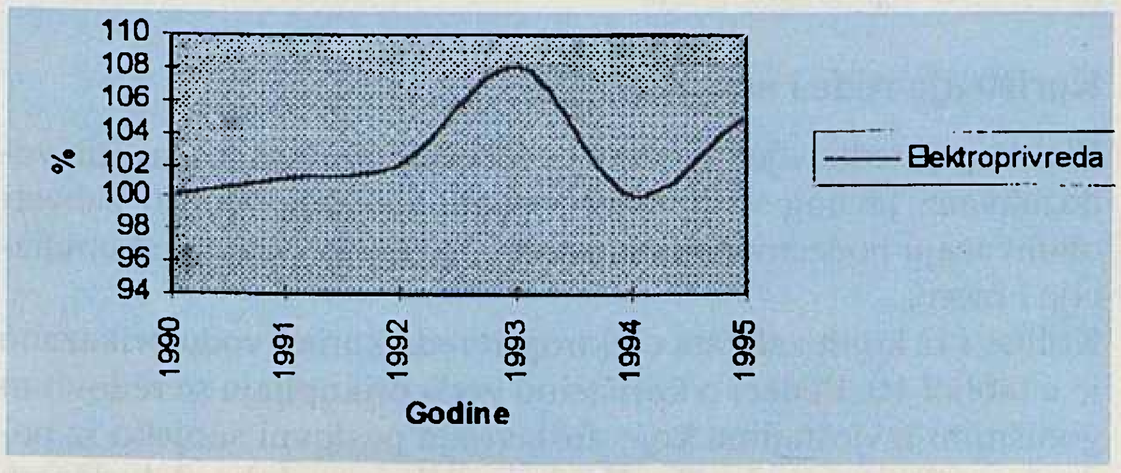
Slika 6.

Indeksi proizvodnje električne energije za razdoblje od 1985.-1995. (1994.=100%)



Slika 7.

Indeksi fizičkog obujma proizvodnje električne energije za razdoblje od 1990.-1995. (1994.=100)



Slika 8.

Indeksi fizičkog obujma industrijske proizvodnje za petogodišnje razdoblje od 1990.-1995. godine za elektroprivrednu djelatnost prikazani su u tablici 4. i dijagramu na slici 8. Ovi indeksi za industrijske grane djelatnosti izračunati su po Laspeyresovoj formuli. Temelj su za izračunavanje indeksa podaci o proizvodnji u naturalnom izrazu prema nomenklaturi industrijskih proizvoda i pondera za te proizvode koji predstavljaju dodanu vrijednost za jediničnu proizvodnju (1 MWh) u kojoj se proizvod iskazuje u naturalnom iznosu.

Za indeks 100 je uzeta 1994. godina. Najveći indeks u proizvod-

[5] SLJH-96.
[6] SLJH-96, tablica 14-9
[7] SLJH-96, tablica 14-2
[8] SLJH-96, tablica 14-6

Tablica 5. Verižni indeksi proizvodnje prema ekonomskoj namjeni proizvoda[9]

Elektroprivreda	1991 1990	1992 1991	1993 1992	1994 1993	1995 1994
	101	100	107	92	105

Tablica 6. Izvoz i uvoz električne energije u 1994. i 1995. godini

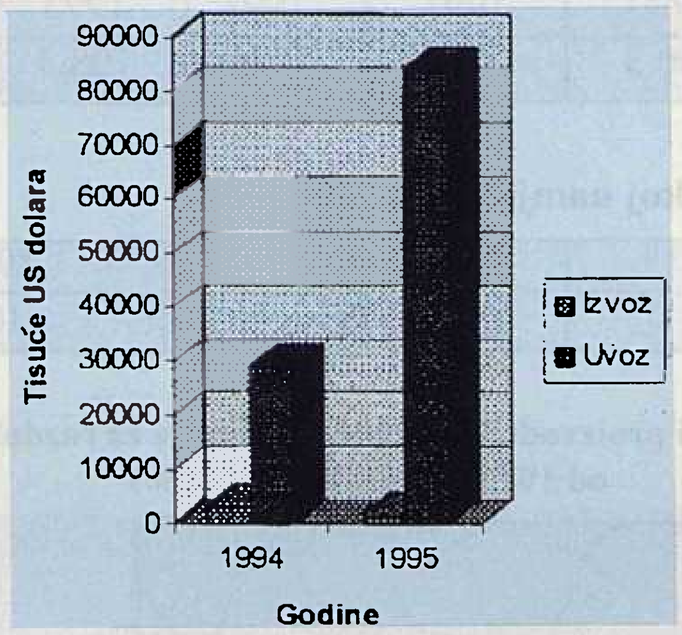
	1994.				1995.			
	Ukupno		Na konvertibilno područje		Ukupno		Na konvertibilno područje	
	10^3 Kuna	10^3 US$	10^3 Kuna	10^3 US$	10^3 Kuna	10^3 US$	10^3 Kuna	10^3 US$
Izvoz	19 387	3 174	19 387	3 174	7 920	1 525	7 920	1 525
Uvoz	179 074	29 023	179 074	29 023	448 360	83 789	448 360	83 789

Tablica 7. Indeksi cijena industrijskih proizvoda pri proizvođačima, prema ekonomskoj namjeni[10]

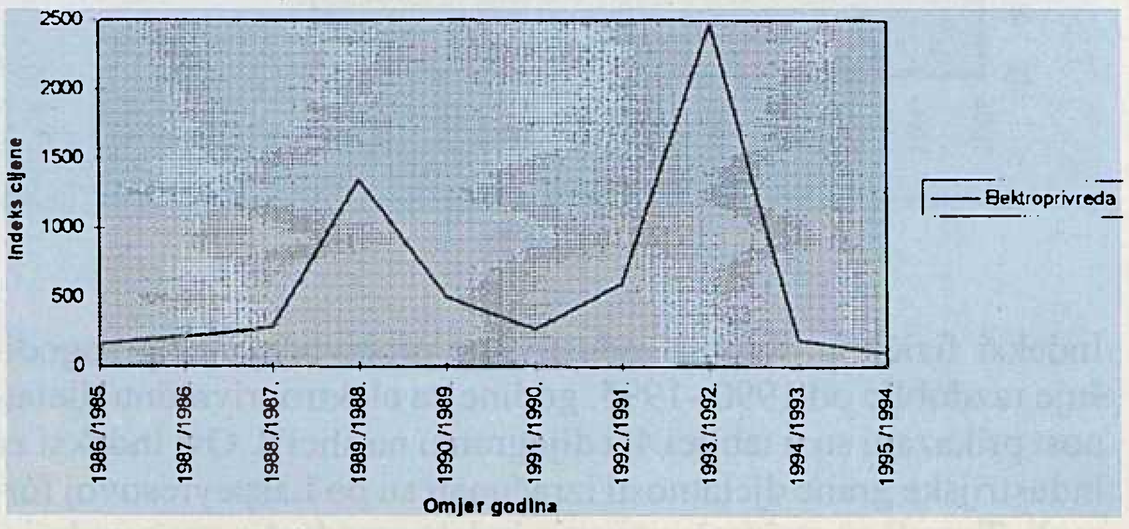
Elektroprivreda	1986/ 1985	1987/ 1986	1988/ 1987	1989/ 1988	1990/ 1989	1991/ 1990	1992/ 1991	1993/ 1992	1994/ 1993	1995/ 1994
	152,4	206,6	271,5	1347,4	498,2	267,9	591,4	2457,0	166,5	95,0

Tablica 8. Utrošak goriva u termoelektranama u 1994. i 1995. godini[11]

	Gorivo	Jedinica mjere	1994	1995
Elektroprivreda	Kameni ugljen	tis. t	39	96
	Mazut	tis. t	360	591



Slika 9.



Slika 10.

nji električne energije ostvaren je 1993. godine - 108%, a najmanji 1990. godine - 100 %.
Verižni indeksi proizvodnje za elektroprivrednu djelatnost prikazani su za razdoblje od 1990. - 1995. godine. Najveći rast je ostvaren 1993. godine sa 107%, a najmanji 1994. sa 92%.
Ostvareni izvoz i uvoz električne energije na konvertibilno područje u 1994. i 1995. godini prikazan je u tablici 6. u novčanoj vrijednosti. Osim iznosa u kunama u tablici je prikazan iznos i u US$. Novčana veličina izvoza i uvoza u US$ u 1994. i 1995. godini prikazana je i dijagramom na slici 9.

Cijene električne energije

Indeks cijene električne energije u razdoblju od 1985.-1995. godine kao indeksi cijena industrijskih proizvoda pri proizvođačima prema ekonomskoj namjeni prikazani su u tablici 7., te na dijagramu na slici 10.
Kao što je iz dijagrama na slici 10. vidljivo indeksi cijena električne energije su najveći za 1989.01988. (1 347,4) i 1992./1991. (2 457,0) godinu, a najmanji za 1995./1994. godinu i isnozi 95.

Utrošak goriva

Utrošak goriva u termoelektranama u 1994. i 1995. godini prikazan je u tablici 8.

Emisija plinova u zrak iz TE, TE-TO i TO

Tablica 9. prikazuje emisiju plinova u zrak iz termoelektrana, termoelektrana-toplana i toplana. Ovi podaci dobiveni su preko projekta CORINAIR (Coordinate Information System of Air Pollutants) na temelju energetske bilance i statističkih podataka. Za potrebe Državnog zavoda za zaštitu okoliša cijeli je projekt izveo EKONERG. Na slici 11. prikazana je u dijagramu emisija CO_2 u zrak iz termoelektrana, termoelektrana-toplana i toplana. Na slici 12. prikazana je u dijagramu emisija SO_2 i NO_x kao NO_2 u zrak iz termoelektrana, termoelektrana-toplana i toplana. Na slici 13. prikazana je emisija ostalih plinova kao što su hlapljive organske tvari bez metana (NMVOC), ugljičnog monoksida (CO) i ostalih plinova (CH_4, NO_2, i NH_3).

Korištenje vode i otpadne vode

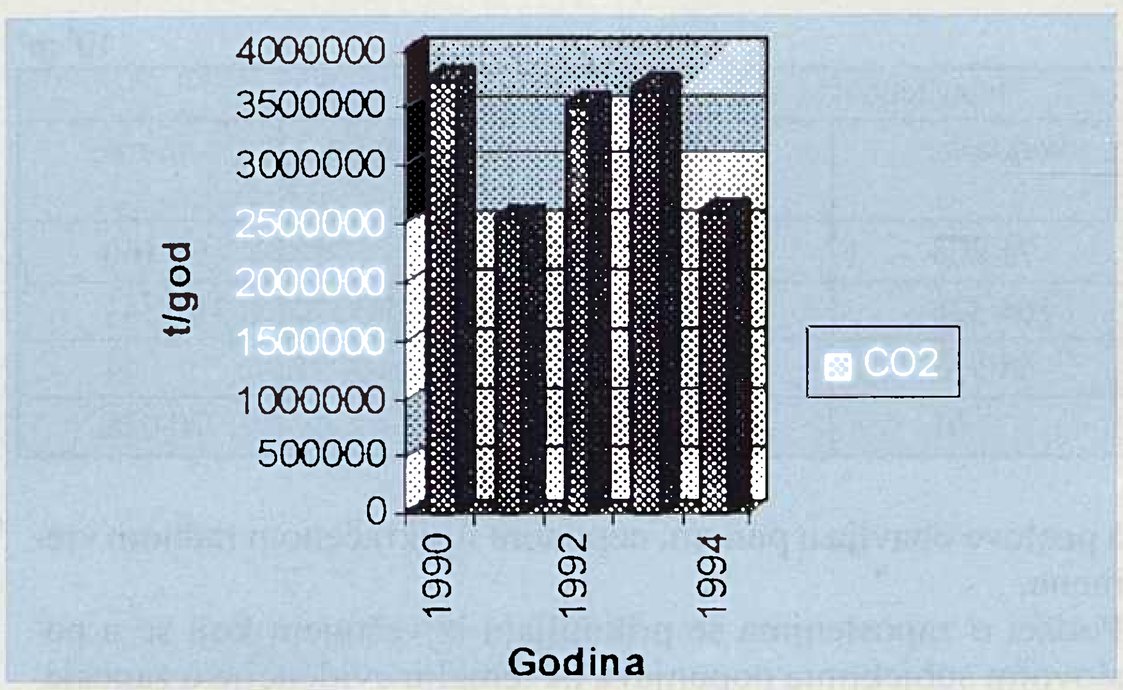
Elektroprivredna djelatnost se opskrbljuje vodom iz vlastitih vodozahvata, javnog vodovoda i drugih zahvata. Vlastiti zahvati obuhvaćaju podzemne vode, izvore, vodotoke, jezera, akumulacije i more.
Koliko i iz kojih zahvata elektroprivreda koristi vodu prikazano je u tablici 10. Podaci o korištenju voda prikupljaju se redovitim godišnjim izvještajima koje dostavljaju poslovni subjekti iz područja rudarstva, prerađivačke industrije i opskrbe električnom

[9] SLJH-96, tablica 14-7
[10] SLJH-96, tablica 8-2
[11] SLJH-96, tablica 14-10

Tablica 9. Emisija plinova u zrak iz termoelektrana, termoelektrana-toplana i toplana [12]

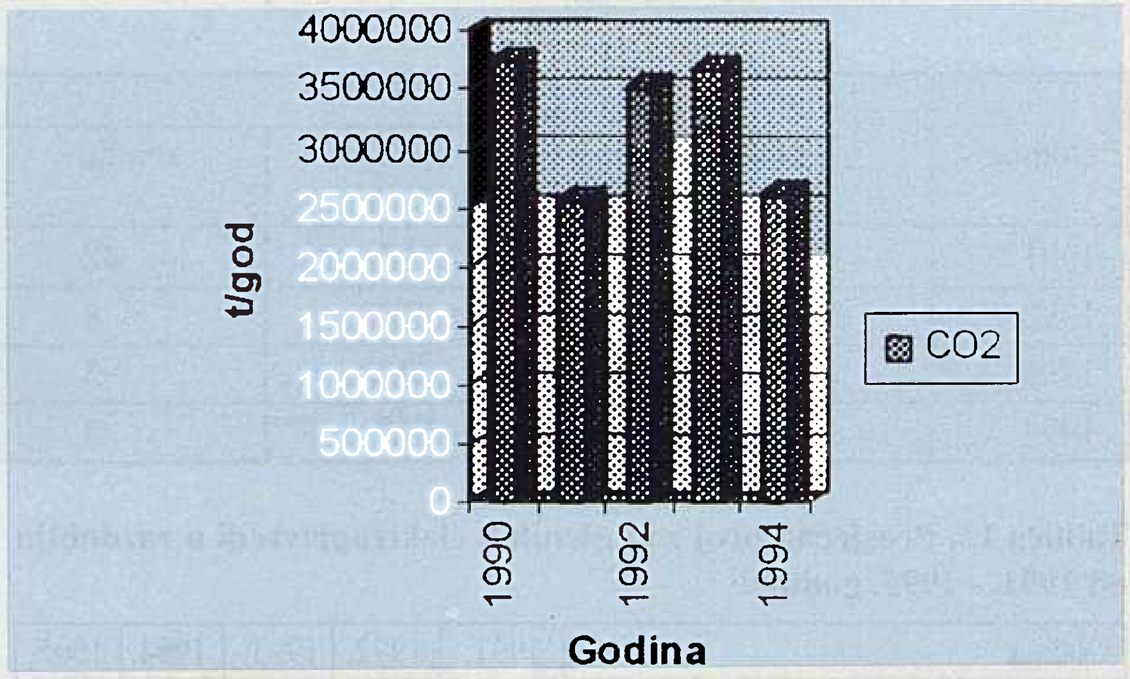
	1990	1991	1992	1993	1994
SO_4	69 434	42 996	53 093	49 040	26 584
NOx kao NO_2	9 286	6 076	8 667	8 639	5 513
NMVOC[13]	140	93	132	154	114
CH_4	108	72	100	105	65
CO	850	574	799	905	671
CO_2	3 748 700	2 553 488	3 520 600	3 665 600	2 610 900
N_2O	482	332	446	472	307
NH_3	80	57	70	59	12

Emisija CO_2 u zrak iz TE, TE-TO i TO



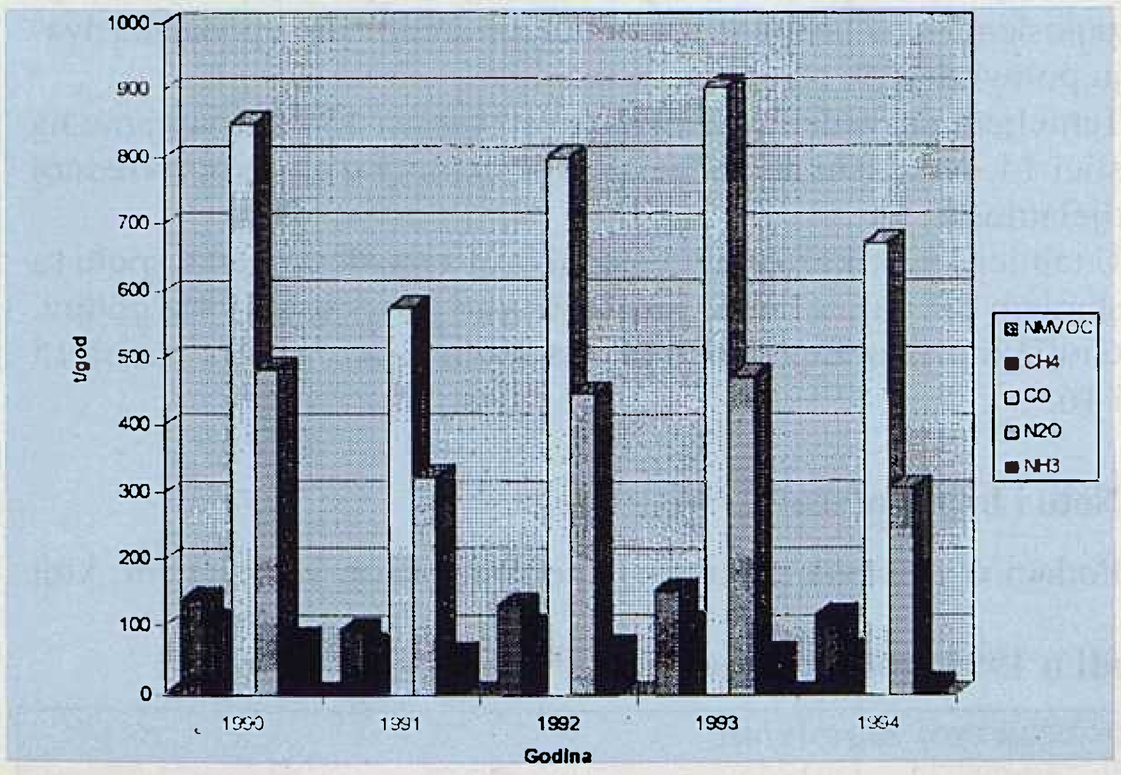
Slika 11.

Emisija CO_2 u zrak iz TE, TE-TO i TO



Slika 12.

Emisija plinova u zrak iz TE, TE-TO i TO



Slika 13.

Tablica 10. Opskrba vodom elektroprivredne djelatnosti[14]

10^2 m^3

Godina	Iskorištene količine vode								
	Ukupno	Iz javnog vodovoda	Iz drugih sustava	Iz vlastitih vodozahvata					
				Iz podzemnih voda	Iz izvora	Iz vodotoka	Iz jezera	Iz akumulacija	Iz mora
1991	35 997 037	3 420	631	3 571	1 790 853	4 460 377	-	26 642 737	95 440
1992	32 389 886	16 186	52	4 999	87	12 620 336	-	19 615 980	132 246
1993	30 558 956	690	12	4 887	960	11 275 384	-	19 158 424	118 599
1994	33 540 931	27 967	8	5 432	-	11 650 164	-	21 781 867	75 493

[12] SLLJH-96, tablica 22-1
[13] Hlapljive organske tvari bez metana
[14] SLJH-96, tablica 22-4

energijom. Godišnjim izvještajima su obuhvaćene sve izvještajne jedinice koje su prema Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti u Registru poslovnih subjekata razvrstane u navedena područja djelatnosti.

Korištene vode su sve količine vode, i neposredno zahvaćene i osigurane vode kojima su se poslovni subjekti u tijeku izvještajne godine opskrbljivali, bez obzira na to jesu li te količine za vlastite potrebe ili su ustupljene ili prodane drugim korisnicima. Na što je elektroprivreda djelatnost trošila vodu prikazano je u tablici 11.

Otpadne vode, tj. one koje se poslije korištenja odvode do uređaja za pročišćavanje ili se ispuštaju u prostor (u podzemne ili površinske vode), za elektroprivrednu djelatnost prikazane su u tablici 12. Ovdje nisu obuhvaćene atmosferske ni protočne vode kao što su vode koje pokreću hidroelektrane.

Zaposlenost

Istraživanjem o zaposlenima u poslovnim subjektima obuhvaćeni su zaposleni koji imaju zasnovan radni odnos, bez obzira na vrstu radnog odnosa i duljinu radnog vremena. Prema definiciji Državnog statističkog zavoda zaposleni je fizička osoba koja ima zasnovan radni odnos na neodređeno ili određeno radno vrijeme,

Tablica 11. Korištenje vode u elektroprivredi[15]

10^3 m^3

Godina	Ukupno	Za tehnološki proces					
		Za proizvodnju		Za hlađenje			
		Ukupno korištena	Od toga utrošena (vezana)	Ukupno korištena	Od toga utrošena (vezana)	Za sanitarne potrebe	Za ostale namjene
1991	35 970 150	35 792 800	1 826	175 162	207	1 884	311
1992	32 390 820	32 037 264	14	346 648	1 436	5 977	931
1993	30 588 956	30 389 876	3 141	167 837	565	646	597
1994	33 697 907	33 561 690	1 828	135 258	267	538	421

Tablica 12. Ispuštanje upotrijebljene vode iz elektroprivrede [16]

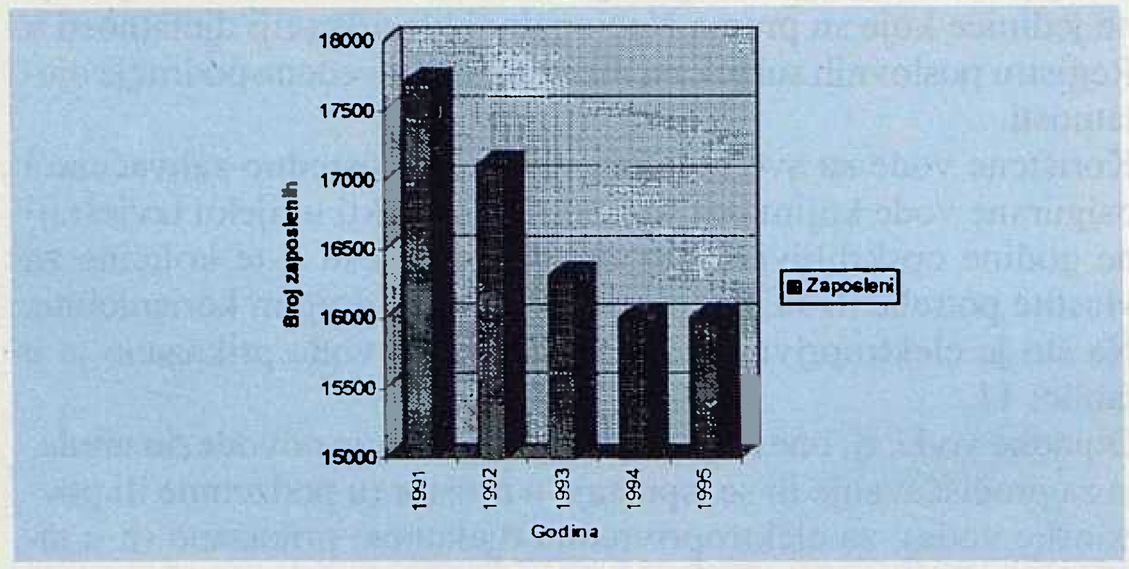
10^3 m^3

Godina	Ukupno	Ispušteno u					
		javnu kanalizaciju	zemlju	vodotoke	jezera	akumulaciju	more
1991	175 789	2 773	48	75 808	-	-	97 160
1992	242 618	5 170	8	104 328	-	171	132 341
1993	49 402	842	3	48 513	-	-	44
1994	71 051	958	4	61	-	-	70 028

Tablica 13. Prosječan broj zaposlenih u elektroprivredi u razdoblju od 1991. - 1995. godine[17]

Godina	1991.	1992.	1993.	1994.	1995.
Prosječan broj zaposlenih u tisućama	17.7	17.1	16.3	16.0	16.0

Prosječni broj zaposlenih



Slika 14.

a poslove obavlja u punom, nepunom ili skraćenom radnom vremenu.

Podaci o zaposlenima se prikupljaju izjveštajem koji se u poslovnim subjektima popunjava na temelju evidencije o zaposlenima. Ovi podaci se iskazuju kao godišnji prosjek i sa stanjem 30. rujna, rezultat su obrade polugodišnjeg istraživanja. Ovo istraživanje se do, zaključno, 1995. godine provodilo dva puta godišnje, sa stanjem 31. ožujka i 30. rujna. Godišnji prosjek broja zaposlenih izračunava se aritmetičkom sredinom iz podataka dvaju polugodišnjih stanja.

Temeljem provedenog istraživanja u tablici 13 i u dijagramu na slici 14. prikazani su podaci o zaposlenima u elektroprivrednoj djelatnosti.

U tablici 14. prikazan je prosječni broj zaposleni prema spolu sa stanjem 30. rujna 1995. godine te kao prosjek u 1995. godini. Grafički prikaz zaposlenih prema spolu nalazi se na slikama 15 i 16.

Neto i bruto plaća

Podaci o plaćama prikupljaju se mjesečnim izvještajem, koji

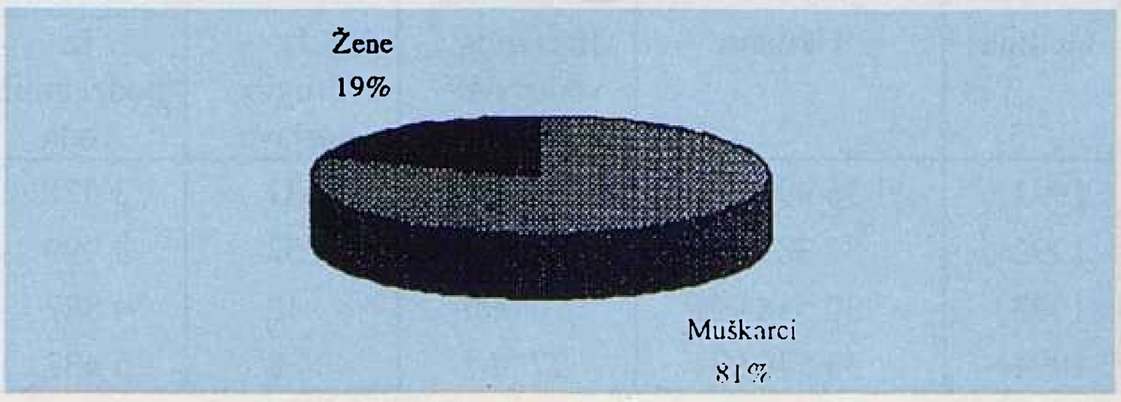
Tablica 14. Prosječan broj zaposlenih u Hrvatskoj elektroprivredi u 1995. godini prema spolu[18]

1995. godina	Prosječan broj zaposlenih			
	Ukupno		Žene	
	Godišnji prosjek 1995.	Stanje 30. rujna 1995.	Godišnji prosjek 1995.	Stanje 30. rujna 1995.
Elektroprivreda	15 984	16 032	3 025	3 057

Zaposlenost u elektroprivredi prema spolu u 1995. godini

Slika 15.

Zaposlenost u elektroprivredi prema spolu na dan 30. rujna 1995.



Slika 16.

[15] SLJH-96, tablica 14-5
[16] SLJH-96, tablica 22-6
[17] SLJH-96, tablica 5-4
[18] SLJH-96, tablica 5-5

poslovni subjekti popunjavaju na temelju evidencije o plaćama. Prema definiciji Državnog zavoda za statistiku mjesečna neto plaća obuhvaća plaće zaposlenih za izvršene poslove na osnovi redovitog radnog odnosa i naknade: za godišnji odmor, bolovanja do 42 radna dana, državne blagdane, plaćeni dopust, obavljanje građanskih dužnosti, čekanja i zastoja bez krivnje zaposlenog, obnašanje vojne obveze, odsutnost za stručno obrazovanje, regres za godišnji odmor. Od početka 1995. godine u podatke o prosječnim neto plaćama uključena je naknada za topli obrok. Podaci o prosječnoj mjesečnoj neto plaći za 1994. godinu prema stupnjevima stručne spreme i podaci o strukturi zaposlenih prema visini neto plaće za elektroprivredu i nekoliko drugih djelatnosti prikazani su u tablici 15. te na dijagramu na slici 17. Ovi podaci se prate polugodišnjim istraživanjem, kojim su obuhvaćeni svi poslovni subjekti.

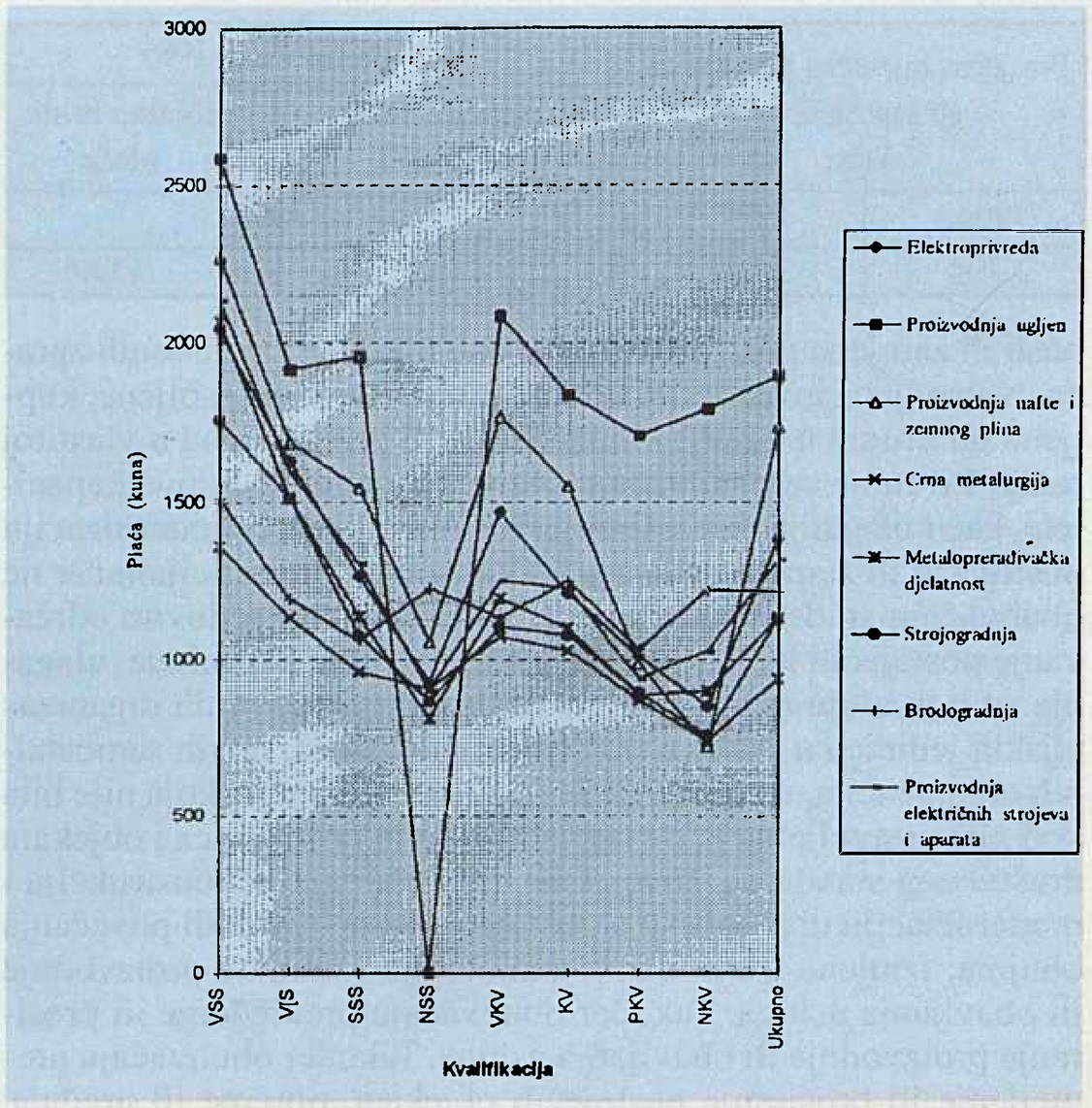
Struktura zaposlenih u postocima (%) prema prosječnoj neto plaći za rujan 1995. godine prikazana je u tablici 16.

Prosječna neto plaća po zaposlenom u elektroprivredi i nominalni i realni indeksi plaća prikazani su u tablici 17. Nominalni indeksi neto i bruto plaća izračunavaju se iz podataka o prosječnim mjesečnim iznosima neto i bruto plaća. Realni indeksi neto plaća izračunavaju se dijeljenjem nominalnih indeksa neto plaća s indeksom troškova života za odgovarajuće godine. Kao indeks 100 uzeta je 1994. godina, a uspoređuju se 1993. i 1995. godina.

Prosječna neto i bruto plaća po zaposlenom izračunava se dijeljenjem ukupnih isplata s brojem zaposlenih koji su primili isplate.

Prosječna mjesečna bruto plaća i indeksi bruto plaće za elektroprivredu prikazani su u tablici 18. Mjesečna bruto plaća obuhvaća sve vrste neto isplata na osnovi redovitog radnog odnosa i zakonom propisana obvezna izdvajanja, doprinose, poreze i prireze. Od 1994. godine uz podatke o prosječnim neto plaćama prate se i podaci o prosječnim bruto plaćama. U tablici 18. je prikazana prosječna bruto plaća po zaposlenom u elektroprivredi za 1994. i 1995. godinu. 1994. godina je uzeta sa indeksom 100.

Prosječna mjesečna neto plaća po zaposlenom prema stručnoj spremi za rad na radnom mjestu u 1994.



Slika 17.

Tablica 15.[19] prosječna neto plaća po zasposlenom. po JKD-u. prema stučnoj spremi za rad na radnom mjestu u 1994. godini

1994.	Ukupno	Visoka stručna sprema	Viša stručna sprema	Srednja stručna sprema	Niža stručna sprema	Visoko-kvalifi-cirani	Polu-Kvalifi-cirani	kvalifi-cirani	Ne-kvalifi-cirani
Elektroprivreda	1 383	2 039	1 626	1 265	928	1 464	1 210	1 009	850
Proizvodnja ugljena	1 895	2 586	1 920	1 957	-	2 087	1 834	1 708	1 793
Proizvodnja nafte i zemnog plina	1 735	2 273	1 685	1 544	1 054	1 767	1 549	987	721
Crna metalurgija	937	1 361	1 132	957	905	1 069	1 026	871	735
Metaloprerađivačka djelatnost	1 134	2 067	1 509	1 136	809	1 190	1 096	886	899
Strojogradnja	1 129	1 757	1 509	1 077	867	1 106	1074	892	753
Brodogradnja	1 215	1 507	1 190	1 058	1 223	1 134	1 250	1 034	1 222
Proizvodnja električnih strojeva i aparata	1 312	2 136	1 593	1 301	898	1 249	1 224	937	1 028

Tablica 16.[20] Prosječna mjesečna neto plaća u 1995. godini u elektroprivrednoj djelatnosti

Prosječna mjesečna neto plaća za 1995. kune	Struktura zaposlenih prema visini neto plaće za rujan 1995. postoci (%)												
	do 700 kuna	701-900	901-1100	1101-1300	1301-1500	1501-1700	1701-1900	1901-2100	2101-2300	2301-500	2501-3000	3001-4000	4001 i više kuna
2 032	0.6	0.1	0.9	3.9	10.2	15.8	17.5	16.0	12,9	8.1	9.3	4.5	0.2

Tablica 17.[21] Prosječna mjesečna neto plaća po zaposlenom i indeksi nominalne i realne plaće

Prosječna mjesečna neto plaća po zaposlenom, kune			Indeksi (1994 = 100)			
			Nominalne plaće		Realne plaće	
1993.	1994.	1995.	1993.	1995.	1993.	1995.
568	1 350	2 032	42.1	150.5	87.2	144.7

[19] SLJ-96-tabica 6-4
[20] SLJ-96-tablica 6-5
[21] SLJ-96, tablica 6-6

Investicije

Državni zavod za statistiku prikuplja ove podatke godišnjim izvještajima o investicijama u dugotrajnu imovinu. Istraživanje se provodi od 1967. godine. Od 1993. godine ovim istraživanjem su obuhvaćeni, na osnovi podataka Zavoda za platni promet, najveći investitori u Hrvatskoj, preko čijih se računa ostvari oko 95% svih isplata za investicije. Prema definiciji investicijama u dugotrajnu imovinu smatraju se nabave poduzeća i drugih organizacija (pravnih osoba) radi dobivanja nove, povećane vrijed-

Tablica 18.[22] Prosječna mjesečna bruto plaća po zaposlenom i indeksi bruto plaće

Prosječna mjesečna bruto plaća po zaposlenom. kune		Indeksi (1994. = 100)	
		Nominalne bruto plaće	Realne bruto plaće
1994.	1995.	1995.	
2 304	3 197	138.8	133.5

nosti ili zamjene postojeće dugotrajne imovine i stambenih zgrada. Nabavljena investicijska dobra mogu biti nova, rabljena, kupljena od drugih u zemlji i inozemstvu ili proizvedena u vlastitoj režiji. Pri tome se obuhvaćaju sve vrste ulaganja u nove kapacitete, kao i ulaganja za proširenje, rekonstrukciju i modernizaciju postojećih ili zamjenu zastarjelih kapaciteta. Investicijama se ne obuhvaćaju sredstva utrošena za investicijsko i redovno održavanje postojećih kapaciteta. Investicije u nove kapacitete, ulaganja su u gradnju novih pogona ili drugih samostalnih organizacijskih jedinica u sastavu postojećeg poduzeća, novih samostalnih organizacija, u kojima će se obavljati djelatnost koja nije bila kod njih zastupljena, kao i izgradnja novih prometnica i objekata društvenog standarda. Investicije za proširenje, rekonstrukciju i modernizaciju ulaganja su u postojeće kapacitete radi povećanja obujma, izmjene asortimana, tehnologije i tehnike proizvodnje ili obavljanja usluga. Također obuhvaćaju preuređenje ili proširenje proizvodnje ili obavljanja usluga. Također obuhvaćaju preuređenje ili proširenje postojećih objekata, opreme ili uređaja, kao i podizanje ili nabavu dugotrajne imovine u sastavu već postojeće organizacijske jedinice. Investicije za samjenu i održavanje razine postojećih kapaciteta ulaganja su radi zamjene, intenzifikacije i racionalizacije proizvodnje, ali bez proširenja raspoloživih kapaciteta i bitnijih izmjena u postojećoj tehnologiji ili tehnici proizvodnje ili obavljanja usluga. U investicije za građevinske objekte ubraja se i vrijednost opreme koja je ugrađena u građevinske objekte (liftovi, uređaji za centralno grijanje, i sl.). Investicijama u opremu obuhvaćaju se i troškovi montaže, prijevoza, carine i osiguranja. Investicijama u ostalo obuhvaćena su ulaganja u studije, projekte, investicijske elaborate, otkup patenata i licenci, softwarea i sl. Ostvarene investicije predstavljaju vrijednost fizički realizirane izgradnje, izrade ili nabave dugotrajne imovine tijekom godine, bez obzira na to jesu li završene i je li kada izvršena njihova isplata. Isplatama za investicije smatraju se novčana ulaganja u novu dugotrajnu imovinu, kao i ulaganja za povećanje obujma ili za zamjenu postojeće dugotrajne imovine. Utrošak za investicije promatra se u vremenskom razdoblju u kojem su isplate stvarno izvršene, bez obzira na vrijeme izgradnje ili nabave.

Za 1994. i 1995. godinu za elektroprivrednu djelatnost ostvarene investicije su prikazane u tablici 19. te na dijagramu na slici 18. i 19. Ukupne ostvarene investicije bile su veće u 1994. od 1995. godine.

SBK

PROMOCIJA NORMI PODODBORA IEC SC 31 J

U Državnom zavodu za normizaciju i mjeriteljstvo (DZNM) održan je 23. siječnja '97. informativni skup uz prisustvo oko 250 sudionika. Na tom skupu je gosp. A. M. Raeburn glavni tajnik IEC-a predstavio rad te međunarodne organizacije čije je sjedište u Ženevi. Osvrnuo se na dosadašnje rezultate i na planove u budućnosti s posebnim osvrtom na (odnose s) regionalne i nacionalne aktivnosti. Tom je prilikom promovirao niz korisničkih normi izrađenih u međunarodnom pododboru IEC SC 31 J čije je tajništvo u Republici Hrvatskoj.
Izlaganje je dopunio gosp. Erofistsky iz Centralnog ureda IEC koji je informirao prisutne o tehničkom radu u IEC-u.
Uz navedene goste skupu se obratio i Dr. Mayer dekan RGN fakulteta u Zagrebu koji je sjedište IEC SC 31 J. On je govorio o normizaciji i znanosti na našem sveučilištu.
Na koncu je Dr, N. Marinović tajnik IEC SC 31 J govorio o značenju korisničkih normi niza IEC 79.
Ovo je prvi put da se istovremeno promoviraju međunarodne norme i hrvatske norme. Prisutnima su podijeljeni i primjerci tih normi i to:

HRN IEC 50 (426)
Međunarodni elektrotehnički rječnik 426 poglavlje

HRN IEC 79-14
Električni uređaji za eksplozivne atmosfere 14. Dio; Električne instalacije u ugroženim prostorima (osim rudnika).
(IEC 79 - 14: 1996)

HRN IEC 79-17
Električni uređaji za eksplozivne plinske atmosfere 17. Dio; Pregled i održavanje električnih instalacija u ugroženim prostorima (osim rudnika)
(IEC 79-17: 1996)

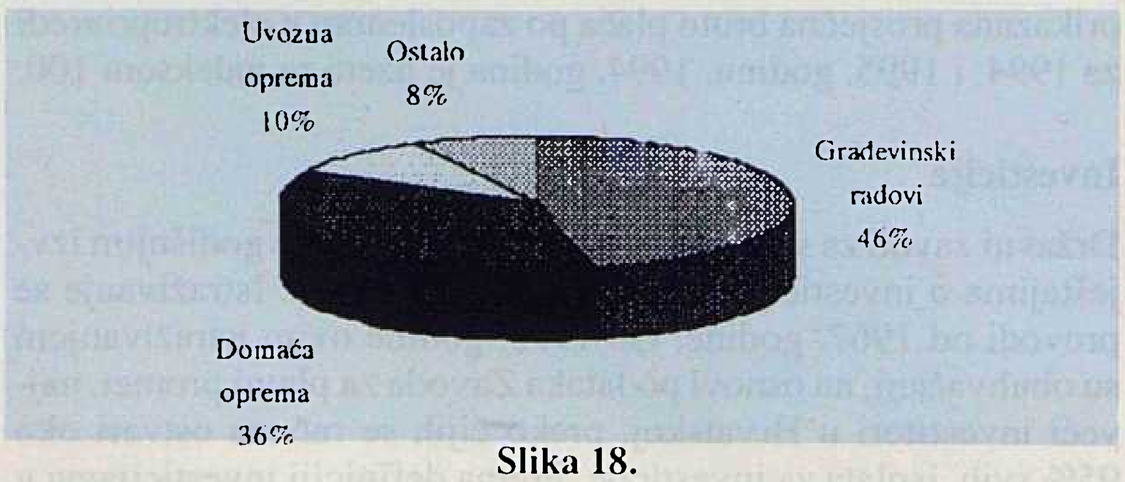
HRN IEC 79-19
Električni uređaji za eksplozivne atmosfere 19. Dio: Popravak i obnavljanje električnih uređaja rabljenih u eksplozivnim atmosferama (osim rudnika ili proizvodnje eksploziva) (IEC 79-19: 1996)

Z. C.

Tablica 19.[23] Ostvarene investicije u elektroprivredi u 1994. i 1995. prema namjeni investicija i prema tehničkoj strukturi u kunama

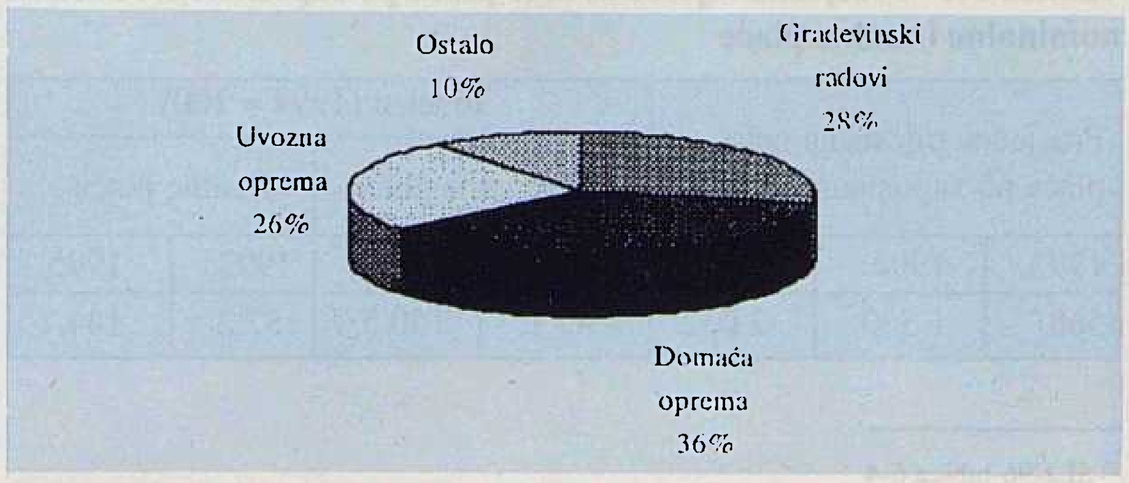
Godina	Ukupno	Tehnička struktura			
		Građevinski radovi	Domaća oprema	Uvozna oprema	Ostalo
1994.	1 417 273 271	394 227 747	512 639 999	352 760 386	147 645 139
1995.	1 234 766 970	537 368 208	445 153 405	120 985 087	95 260 270

Investicije prema tehničkoj strukturi u 1995.



Slika 18.

Investicije prema tehničkoj strukturi u 1994. godini



Slika 19.

[22] SLJ-96 tablica 6-7
[23] SLJ-96 tablice 10-5, 10-6

IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

SOLARNI TERMIČKI KOLEKTORI U AUSTRIJI

Proizvodnja solarnih termičkih kolektora za tržište počela je u Austriji u drugoj polovici sedamdesetih godina, a značajan skok uslijedio je početkom devedesetih. Proizvodnja u zemlji iznosila je 1995. 201 420 m², što je 21 % više nego prethodne godine. Godine 1995. u Austriji je bilo instalirano ukupno 1 240 554 m² solarnih termičkih kolektora, od čega je 64 % bilo standardnih, 35 % plastičnih i 1 % vakuumskih kolektora. Ukupno je u pogonu oko 67 000 solarnih uređaja za pripremu tople vode i oko 7 300 uređaja za grijanje plivališta.
Godišnji toplinski doprinos navedenih uređaja procjenjuje se na 415 GWh, što odgovara ekvivalentu loživog ulja od 113 490 tona. Osim uštede goriva smanjuje se emisija plinova. Atmosfera se rasterećuje 350 000 tona ugljičnog dioksida godišnje i 735 tona sumpornog dioksida.

VEÖ Journal, 1996, br. 7/8

Mrk

U ITALIJI 1995. U POGONU 64 NOVE PRIVATNE ELEKTRANE

U Italiji su 1995. puštene u pogon 64 nove privatne elektrane i time je za 4 % povećana njihova proizvodnja koja iznosi 40 100 GWh. Od ukupne proizvodnje 84 % otpada na termoelektrane, a ostalo na hidroelektrane.

VEÖ Journal, 1996, br. 7/8

Mrk

FOTOVOLTAIČKI UREĐAJI U AUSTRIJI

Snaga fotovoltaičkih uređaja u Austriji stalno se povećavala od druge polovice osamdesetih. Instalirana vršna snaga iznosila je 1988. 81 kW, 1990, 255 kW, a 1. I. 1996. ukupno 1 361 kW. Od ove ukupne vršne snage 46,9 % bilo je vezano na javnu mrežu, 27,4 % radilo je izolirano, a 25,7 % bili su mali uređaji ispod 200 W. Od sadašnjeg broja fotovoltaičkih uređaja u Austriji 28,6 % otpada na kućanstva, 13 % na planinarske kuće, 12,2 % na sunčane elektrane, 7 % na sigurnosne i prometne uređaje itd. Prema tipu ćelija najviše je polikristaličkih. U Austriji se računa s prosječnom proizvodnjom od 700 kWh po instaliranom vršnom kW.

VEÖ Journal, 1996. br. 9

Mrk

MAĐARSKA I AUSTRIJA GRADE ZAJEDNO TERMOELEKTRANU

Nakon opsežnih priprema zaključeno je da mađarski koncern za naftu i plin MOL i austrijska tvrtka EVN zajedno grade termoelektranu u mađarskom gradu Nagykanizsi. To će biti plinsko-parna termoelektrana koja će koristiti plin kao gorivo. Ukupna će snaga iznositi oko 80 MW, od čega će plinska turbina davati 38 MW, a parna turbina 42 MW. Godišnja će proizvodnja biti predvidivo 600 GWh. Cijela se investicija procjenjuje na 1,2 milijarde šilinga.

VEÖ Journal, 1996. br. 9

Mrk

ŠVICARSKA SOLARNA ELEKTRANA

Prema izjavi odgovornih osoba u međunarodnom istraživačkom centru za solarnu energiju najveća švicarska solarna elektrana na brdu Mont-Soleil opravdala je postavljene istraživačke ciljeve nakon petogodišnjeg rada. S prosječnom proizvodnjom od 560 000 kWh godišnje nešto je ispod predviđenih 620 000 kWh. Dok mjesečna proizvodnja varira u iznosu od ±30 %, godišnje su promjene mnogo manje i kreću se oko ±5 %. Istraživački su zadaci doduše ispunjeni, ali do široke primjene još je daleko.

VEÖ Journal, 1996. br. 9

Mrk

UDIO POTROŠKA ENERGIJE U PROMETU I INDUSTRIJI U EU

Udio potroška energije u prometu, u zemljama EU, znatno je porastao. Od 1960. do 1994. godine ukupna potrošnja energije porasla je sa 16,5 % na 30,8 %. Što se pak tiče električne energije, najveći je potrošač industrija, čiji je udio u ukupno raspoloživoj električnoj energiji 45 %. No, za pojedine članice EU taj je postotak različit, što se vidi iz slijedećeg pregleda:

Luxemburg	62,0 %	Austrija	38,9 %
Finska	58,0 %	Irska	38,1 %
Italija	54,0 %	V. Britanija	33,7 %
Njemačka	48,0 %	Danska	30,1 %

VEÖ Journal, 1996. br. 10

Mrk

NAJVEĆI EUROPSKI PARK VJETRENJAČA

Kod mjesta Paderborn (Nordrheim-Westfalen, Njemačka) planira se do sada najveći park vjetrenjače u Europi. Ukupno bi trebalo izgraditi 37 vjetroelektrana, snage 36 MW. Predviđa se godišnja proizvodnja električne energije od 70 milijuna kWh. Ovo je prvi put da je za tako veliko postrojenje pogonjeno vjetrom izabrano područje u unutrašnjosti. Planeri ističu za takav odabir dva razloga. Prvo mjesta na morskoj obali uglavnom su već zauzeta, i drugo, tehnologija iskorištavanja vjetra već je toliko uznapredovala da i područja u unutrašnjosti dolaze u obzir za gradnju vjetroelektrana.

Energie Spectrum, god. 11 (1996), br. 10

Mrk

SKLADIŠTENJE NAFTE I PLINA U KAVERNE NASLAGA SOLI

Već se šezdesetih godina pokazalo da je podzemno skladištenje nafte i plina u kaverne naslaga soli vrlo povoljno. Naročito su povoljne prilike skladištenja kod mjesta Etzel, jugozapadno od Wilhelmshavena (Njemačka). Slojevi kamene soli su nepropusni, a između soli, nafte i plina nema nikakvih kemijskih reakcija. Temperatura je stalna, pa su prilike slične onima u prirodnim ležištima. Nema zauzimanja prostora i opasnosti za okolinu. Što se pak tiče geografskog položaja mjesta Etzel, može se istaknuti da se dobro uklapa u mrežu sjevernonjemačkog naftovoda. Savezna je vlada prije 25 godina zadužila poduzeće IVG (Industrieverwaltungsgessellschaft) da izgradi u Etzelu podzemni spremnik, gdje bi se mogle uskladištiti rezerve sirove nafte od 10 milijuna tona. Između 1972. i 1975. godine bile su spremne 33 kaverne u dubini 800 do 1600 m i do 1978. kompletno napunjene naftom. Godine 1993. odabran je Etzel i za skladištenje zemnog plina iz Norveške, makar je od prijemne točke Emden udaljen 60

km. Do 1997. bit će u kavernama uskladišteno 500 milijuna Nm^3 zemnog plina. Time je ovo podzemno skladište, kombinirano za naftu i plin, postalo najveće na svijetu, a planira se i daljnje proširenje.

Energie Spectrum, god. 11 (1996), br. 10

Mrk

ELEKTROPRIVREDA KUVAJTA

Kuvajt je mala zemlja u Arapsko-perzijskom zaljevu, površine oko 18 000 km2, koju nastanjuje oko 1 900 000 stanovnika. S obzirom da je njena potrošnja električne energije po glavi stanovnika u godini skoro dva puta veća nego stanovnika SAD, zanimljivo je promotriti njene elektroenergetske prilike. Elektrifikacija Kuvajta počela je 1934. godine izgradnjom prve elektrane istosmjerne struje, snage 2 x 30 kW. Nakon drugog svjetskog rata, godine 1949/50. prelazi se na niski trofazni sustav 220/380 V, 50 Hz. Kako je potrošnja rasla, prijenos električne energije tražio je više napone. Godine 1951. uveden je napon 11 kV, zatim 33 kV, pa 132 kV, te na koncu danas je najviši prijenosni napon 300 kV. Instalirana snaga elektrana iznosi 7 000 MW s vršnim opterećenjem od 5 000 MW (1995.). Zanimljivo je spomenuti da u Saudijskoj Arabiji, gdje su klimatske prilike jednake onima u Kuvajtu, potrošak po glavi stanovnika u godini iznosi tek petinu kuvajtskog.

ETZ, god. 117 (1996), br. 20

Mrk

ZAPOSLENOST INŽENJERA U NJEMAČKOJ

U godini 1996. u Njemačkoj je bilo bez posla 45 000 inženjera (podatak VDI), no u pojedinim strukama nezaposlenost je različita. U prerađivačkoj su se industriji, gledajući ukupno, povećale ponude za posao inženjera za 4 % prema prethodnoj godini. Najveće je povećanje ponuda za posao bilo za stručnjake u obradi podataka (28 %), zatim u automobilskoj industriji (17 %) i elektroindustriji (16 %). Najviše su smanjene ponude u gradnji vozila (25 %), metalnoj industriji (13 %) i strojogradnji (12 %).
Gledajući dugoročno predviđa se da će udio inženjera u ukupnom zapošljavanju porasti, ali će s obzirom na kvalifikacije pred inženjere biti stavljeni novi kompleksni zahtjevi, što svakako traži reformu postojećeg inženjerskog studija.

ETZ, god. 117 (1996), br. 21

Mrk

SLUŽBA SAVJETOVANJA POTROŠAČA ELEKTRIČNE ENERGIJE

S ciljem da se što više štedi energija, a time i smanjuje zagađenje okoliša ugljičnim dioksidom proizvođači električne energije u Njemačkoj organizirali su službu putem koje se potrošače upućuje i savjetuje o mogućnosti i načinu uštede energije, u prvom redu za grijanje prostorija. Kao primjer uzeta je primjena toplinskih crpki na električni pogon kao i zračenje stanova povratnim grijanjem. Sve takve i slične mjere s ciljem štednje primarne energije idu u prilog većeg korištenju električne energije za potrebe grijanja prostorija.
Treba istaknuti da njemačka elektroprivreda ima danas 4 350 djelatnika u 1075 čvrstih i 85 mobilnih savjetovališta koji stoje na usluzi potrošačima.

Elektrizitätswirtschaft, god. 95 (1996), br. 23

Mrk

TRANSPORT TERETA OD 222 TONE

U drugoj polovici 1996. godine izveden je zanimljiv prijevoz postolja električnog generatora (430 MW), teškog 222 tone iz tvornice u Mülheimu (Ruhr - Njemačka) u elektranu Altbach (Necker). Put do strojarnice elektrane iznosio je 830 km željeznicom i 500 m cestom. Teret je bio utovaren na dva, provlačnim nosačem vezana dubinska teretna vagona sa deset osovina. Ukupna duljina tereta za transport iznosila je 40 m.
Zbog širine tereta smetale su poneke željezničke instalacije, pa se teret morao za vrijeme puta pomicati hidrauličnim uređajima. To je, naravno, oduzimalo dosta vremena, a i brzina nije bila veća od 20 km/h. Putovanje željeznicom trajalo je 5 noći, a tada je slijedio pretovar na dva cestovna vozila i prijevoz cestom do elektrane, za što je trebalo dva dana. Na koncu je pomoću hidraulične dizalice postolje smješteno u strojarnicu na 19,5 m visoko ležište. Taj se dio posla odvijao puževom brzinom, ali je završio uspješno.

Elektrizitätswirtschaft, god. 95 (1996), br. 23

Mrk

PORAST POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U NJEMAČKOJ

U zapadnom dijelu Njemačke godišnji porast potrošnje električne energije bio je do sedamdesetih godina vrlo intenzivan. No, mjere za uštedu energije u daljnjim su godinama znatno utjecale na smanjenje porasta, pa se smatra da bi godišnji porast potrošnje električne energije do 2005. godine mogao iznositi oko 1 %. Koliki je bio godišnji porast u pojedinim vremenskim rasponima vidi se slijedećeg pregleda:

Godina:	1960-70	1970-80	1980-90	1990-95
Porast:	7,3 %	4,1 %	1,8 %	0,6 %

Elektrizitätswirtschaft, god. 95 (1996), br. 24

Mrk

ZAŠTITA KLIME I NUKLEARNA ENERGIJA

Europski nuklearni savjet (European Nuclear Council) kojeg su osnovali istaknuti europski nuklearni gospodarstvenici naglasio je neophodnost nuklearnih elektrana zbog smanjenja emisije ugljičnog dioksida i očuvanja klime. U svijetu se danas oko 18 % potrebne električne energije proizvodi u nuklearkama. Kad bi se ta količina električne energije proizvela u termoelektranama na fosilna goriva atmosfera bi bila opterećena sa dodatnih 2,3 milijarde tona ugljičnog dioksida na godinu. Odustajanjem Europe od nuklearne energije emisija bi se do godine 2020. udvostručila. Za zaštitu klime treba poduzeti mnoge mjere, ali se nuklearne energije nije moguće odreći.

Elektrizitätswirtschaft, god. 95 (1996), br. 24

Mrk

NAJVEĆA ELEKTROPRIVREDNA PODUZEĆA U EU

Najveći dobavljač električne energije u EU bilo je francusko elektroprivredno poduzeće EdF (Electricité de France). Poduzeće je u 1995. godini prodalo 429 TWh. Kao drugo, s priličnom razlikom, slijedi talijansko državno elektroprivredno poduzeće ENEL sa prodanih 212 TWh električne energije. Navedena poduzeća imaju monopol u svojim zemljama, i najveća su u organizaciji EU: Treće i četvrto mjesto zauzimaju njemačka elektroprivredna poduzeća RWE Energie sa 124 TWh i Preusser - Elektra sa 99

TWh prodane električne energije. Zatim slijede britanska elektroprivredna poduzeća National Power i Power Gen sa 91 TWh i 65 TWh.

Elektrizitätswirtschaft, god. 95 (1996), br. 26

Mrk

VELIKI PORAST KUĆANSKIH PRIKLJUČAKA U NJEMAČKOJ

Premda je godišnji porast potrošnje električne energije u Njemačkoj vrlo mali (u razdoblju 1990-95 iznosi 0,6 % godišnje) broj novih potrošača povećao se u 1995. godini za 400 000, te je ukupno iznosio 41,9 milijuna kućanstava, obrta i poljoprivrede. Potrošak te grupe potrošača iznosio je 173 TWh, a to je 1 % više nego prethodne godine. Razlog velikog porasta potrošača, a razmjerno malog porasta potrošnje je stalni trend osnivanja malih kućanstava u zapadnom dijelu Njemačke. Samačka kućanstva također su u porastu.

Elektrizitätswirtschaft, god. 95 (1996), br. 26

Mrk

TRANSPORT RADIOAKTIVNOG TERETA

Na stručnoj diskusiji u Bruxellesu, koju su organizirale europske udruge za nuklearnu energiju i predstavnici Europskog parlamenta raspravljano je o transportu radioaktivnog tereta. Konstatirano je, da uz striktnu kontrolu spremnika za radioaktivni tovar, u tijeku 30 godina, nije bila niti jedna nezgoda u Europi niti u željezničkom, niti zračnom prijevozu. Niti u jednom slučaju nije radioaktivnost ugrozila okoliš i pučanstvo.

Elektrizitätswirtschaft, god. 95 (1996), br. 26

Mrk

SURADNJA ZEMALJA EU U ENERGETICI

Posebnim dokumentima (Dok. kom. 96/481) EU-Komisija preporučila je veće jedinstvo članica EU u pitanjima energetike. Trebalo bi utvrditi zajedničke ciljeve, realizirati zajedničko energetsko tržište, kao i organizirati zajednička istraživanja u energetici i zaštiti okoliša.

Elektrizitätswirtschaft, god. 95 (1996), br. 26

Mrk

OPASNOST OD ISTJECANJA KABELSKOG IMPREGNACIJSKOG ULJA

Zbog svojih prednosti u prijenosu velikih količina električne energije, osobito ako je trasa prijenosa položena u moru, sve se više grade visokonaponske istosmjerne veze. U području Skandinavije danas je već položeno nekih desetak podmorskih istosmjernih visokonaponskih kabela, a još nekoliko ih je u planu. Posljednji takav kabel položen je između Švedske i Njemačke (600 MW, 450 kV) i pušten u pogon zimi 1994., pod nazivom "Baltic Cable". Visokonaponski istosmjerni kabeli danas se još ne mogu raditi s plastičnom izolacijom, već samo izolirani papirom s impregnacijskim uljem. Pri tome se postavlja pitanje, može li prilikom kvara takvog kabela impregnacijsko ulje ugroziti morski bio-top. Ovo je pitanje naročito važno za Baltik gdje je more razmjerno plitko i zatvoreno.
Spomenuti najnoviji baltički kabel podvrgnut je mnogim ispitivanjima, pri različitim pogonskim prilikama, kako bi se utvrdilo koje količine impregnacijskog ulja mogu isteći u more. Došlo je do zaključka da, ako se kvar ne bi popravio i 30 dana, ulje koje bi isteklo ne bi učinilo štete okolišu. Istekle količine su vrlo male, ako se odabere odgovarajuća viskoznost ulja i kompaktnost kabela uz niske temperature morskog dna, a takvi su uvjeti upravo ispunjeni kod baltičkih podmorskih kabela.

Elektrizitätswirtschaft, god. 95 (1996), br. 26

Mrk

UMREŽENI POLIETILEN IZOLACIJA KABELA 380 kV

Visokonaponski kabeli s izolacijom od plastičnih masa potisnuli su kabele s uljno-papirnom izolacijom do najviših napona. Nakon pozitivnih iskustava na naponskoj razini od 220 kV, godine 1986. izrađen je u Njemačkoj prvi pokusni kabel s izolacijom od umreženog polietilena za napon 380 kV. Da se pak takav kabel provjeri na pouzdanost u tijeku starenja izvedena su vrlo opsežna istraživanja i pokusi u okviru projekta koji su zajednički provodili VEW - Energie AG kao korisnik kabela i tvrtka Felten-Guileaume kao proizvođač. Komad kabela od 300 m (segmentni vodič Cu 1600 mm2) priključen je jednofazno na napon 380 kV. Strujno je napajan iz neovisnog transformatora, čime je simulirano opterećenje od 1 000 MVA. Nakon petogodišnjeg ispitivanja nije bilo niti jednog ispada zbog kvara niti na kabelu, niti na opremi, a i laboratorijska su ispitivanja bila uspješna. Na koncu je zaključeno da kabeli s izolacijom od umreženog polietilena za 380 kV nisu samo pouzdani u svojoj funkciji već su i prilikom starenja ravni klasično izoliranim kabelima.

Elektrizitätswirtschaft, god. 95 (1996), br. 26

Mrk

EUROPSKA VEZA ISTOK-ZAPAD

U suradnji njemačkih, ruskih, bjeloruskih i poljskih ustanova i stručnih poduzeća radi se na projektu izvodivosti istočno-zapadne europske elektroenergetske veze. Predviđa se da bi se visokonaponskim istosmjernim sustavom duljine 1700 km iz zapadne Rusije preko Bjelorusije i Poljske prenosila snaga od 4 000 MW iz Njemačke. Ovom bi se vezom uz investiciju od oko 2 milijarde DEM mogla prenositi elektroenergija već od godine 2006. U ovoj fazi ispitivanja izvodljivosti takve veze vrlo važnu ulogu imaju kompjutorske simulacije koje se provode u tvrtki Siemens. Kompjutorski programi koje je razvila tvrtka u suradnji s elektroprivredom široko se koriste pri studijama električnih mreža. Upravo je u izradi studija izvedivosti triju visokonaponskih istosmjernih kabelskih veza između Norveške, Nizozemske i Njemačke koju je naručila norveška elektroprivreda.

Elektrizitätswirtschaft, god. 95 (1996), br. 26

Mrk

TOPLINSKE CRPKE U NJEMAČKOJ

Njemačko tržište električnih toplinskih crpki se povećalo. Broj novonastalih takvih uređaja povećao se za 50 %, ali ih je ujedno iz pogona isključeno nešto više, tako da je ukupan broj uređaja za 2,5 % manji. Velika je prednost električnih toplinskih crpki u tome što one u usporedbi s centralnim grijanjem na naftu ili plin troše 45 % manje primarne energije, a 50 % manje zagađuju zrak ugljičnim dioksidom.

Elektrizitätswirtschaft, god. 95 (1996), br. 26

Mrk

ŠARENILO CIJENA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Cijene električne energije razlikuju se od zemlje do zemlje i nije neobično ako jedne plaćaju dvostruku, trostruku pa čak i peterostruku cijenu električne energije u odnosu na druge zemlje. Na primjer, obitelj koja živi u odgovarajućem stanu u Pragu plaća 2,92 engleska penija za kWh električne energije. Međutim, ako preseli u otmjeni dio Tokija, tada će platiti 14,2 penija po kWh. Ako pak preseli u Bruxelles, u aveniju Aveneu Louise, u kuću koja se grije ventilator-grijačima plaćat će 15,1 penija po kWh. Ova usporedba se odnosi na cijene od 29. 12. 1995. godine. Cijene električne energije za niz zemalja mogu se naći u godišnjaku "Internacionalne cijene električne energije" ("International Electricity Prices"). Izdaje ga The Electricity Association, čiji stati-

Zemlja		Kućanstva				Industrija			
		Cijena p/kWh		Cijena u domaćoj valuti		Cijena p/kWh		Cijena u domaćoj valuti	
		1995	1996	1995	1996	1995	1996	1995	1996
Austrija	EVN	11,40	12,44	1,95	1,95	6,63	7,23	1,13	1,13
Belgija	Nacionalno poduzeće	13,74	15,01	6,84	6,86	5,96	6,46	2,97	2,95
Danska	SEAS	11,66	13,76	111,00	118,39	3,85	4,48	36,70	38,56
Finska	Helsinki	6,65	7,83	49,30	52,80	3,75	4,29	27,70	28,90
Francuska	EdF	11,96	13,38	99,84	101,62	4,83	5,21	40,29	39,58
Njemačka	Sjeverna Njemačka[1]	15,35	15,85	37,22	35,23	9,13	8,70	22,14	19,33
	Zapadna Njemačka[2]	11,73	11,45	28,45	25,44	7,72	7,33	18,71	16,29
	Južna Njemačka[3]	13,59	13,75	32,95	30,57	7,77	7,69	18,83	17,10
Grčka	PPC	7,18	7,90	27,03	29,03	4,49	4,86	16,90	17,85
Irska[4]	Gradska područja	8,19	8,57	8,30	8,30	4,84	5,06	4,90	4,90
	Seoska područja	8,67	9,06	8,78	-	-	-	-	
Italija	ENEL	10,84	11,99	275,00	295,44	6,54	6,89	165,95	169,77
LUKSEMBURG	CEGEDEL	10,48	11,56	5,22	5,28	4,98	5,43	2,48	2,48
Nizozemska	Prosječno	8,58	10,69	23,30	26,60	4,75	5,26	12,90	13,10
Norveška	Oslo Energi[5]	6,14	5,84	0,65	0,57	3,09	2,90	0,33	0,28
Portugal	EDP	11,19	12,01	27,86	27,86	6,31	6,40	15,72	14,84
Španjolska	Nacionalno poduzeće	11,57	12,65	23,82	23,82	5,56	6,08	11,46	11,46
Švedska	Vattenfall	8,39	9,49	97,60	2,76	3,12	32,10	32,10	
Engleska?	Sjeverni dio	9,23	9,23	9,23	9,23	4,99	4,99	4,99	4,99
Wales[6]	Centralni dio	9,75	9,75	9,75	9,75	5,87	5,87	5,87	
	Južni dio	9,02	8,42	9,02	8,42	4,99	4,91	4,99	4,91
Škotska[7]		9,02	9,02	9,02	9,02	5,29	5,29	5,29	5,29
sj. Irska[8]		10,20	10,85	10,20	10,85	5,44	6,15	5,44	6,15
Austrija	Queensland	5,97	5,77	12,05	12,05	4,85	4,52	9,76	9,43
	Eastern Energy (Victoria)	7,79	7,53	15.71	15,71	3,58	3,58	7,23	7,48
	Wastern Power	7,33	7,08	14,78	14,78	5,16	4,99	10,41	10,41
	Pacific Power (NSW)[9]	5,67	5,48	11,43	11,43	4,08	3,94	8,22	8,22
Kanada	BC Hydro	3,43	3,55	7,52	7,52	2,50	2,59	5,48	5,49
	Hydro Quebec	4,52	4,69	9,93	9,93	3,31	3,43	7,26	7,26
Ontario[10]	5,26	5,41	11,55	11,45	3,38	3,55	7,41	7,51	
	Transalta[11]	5,40	5,60	11,85	11,85	2,88	2,99	6,33	6,33
Izrael	Nacionalno poduzeće	6,39	6,69	30.03	32,56	4,25	4,46	20,05	21,74
Japan	Chubu	14,31	13,69	22,23	21,93	9,12	8,46	14,24	13,55
	Kansai	15,00	14,24	23,41	22,81	8,92	8,30	13,93	13,30
	Tokyo	15,16	14,26	23,66	22,84	8,50	7,65	13,27	12,25
Novi Zeland	Mercury Energy	5,05	5,83	12,35	13,84	5,57	4,10	13,61	9,74
	South Power	5,16	5,47	12,60	12,99	3,27	3,52	8,00	8,36
Južna Afrika	Eskom	4,65	4,74	25,81	26,84	2,62	2,79	14,52	15,77
SAD	Carolina P&L South 4,89	4,89	7,65	7,60	4,42	4,41	6,91	6,85	
	Duke Power	5,76	6,15	9,01	9,55	3,48	3,46	5,44	5,37

[1] Procjena udruženja
[2] Isto kao 1
[3] Isto kao 1
[4] Samo jedna cijena za irsku industriju
[5] Potrošači sa potrošnjom većom od 3-5 GWh određuju cijenu ugovorom
[6] Samo javne cijene
[7] Samo javne cijene
[8] Samo javne cijene
[9] Samo reprezentativne cijene
[10] Samo reprezentativne cijene
[11] Samo reprezentativne cijene

stičari već 23 godine pažljivo provode istraživanja. Svake se godine broj zemalja, koje su obuhvaćene iztraživanjima, povećava. No analiza nije jednostavna iz više razloga. Za kućanstva i industriju postoji više razina opterećenja. Pri usporedbi cijena električne energije za kućanstva mora se uzeti u obzir i državna subvencija, ali isto tako i odnos primanja kućanstva i cijene električne energije. Zatim, tu je i liberalizacija tržišta u određenom broju zemalja. Sve su to čimbenici koji se moraju uvažiti kod uspoređivanja cijena električne energije.

U tablici (128. str.) su prikazane cijene električne energije za zemlje reprezentante, za kućanstva i industrijski sektor, za 1995. i 1996. godinu, u engleskim penijima po kWh i u valuti pojedine zemlje. Za kućanstva iznosi se odnose za potrošnju od 3 300 kWh/god. Za industrijski sektor iznosi se odnose na maksimalnu snagu od 2 500 kW pri 40% faktoru opterećenja. Za svaku zemlju je prikazan naziv poduzeća koja se bave opskrbljivanjem električnom energijom.

Prema podacima iz priložene tabele, za 2,5 MW, uz opterećenje od 40%, najskuplja zemlja je Japan sa 8.30 p/kWh, a najjeftinija Južna Afrika sa 2,79 p/kWh. Druga najskuplja zemlja je Njemačka sa 7,69 p/kWh, a druga najjeftinija je Norveška sa 2,90 p/kWh. Za opterećenja veća od 10 MW formira se posebna ugovorna cijena.

Tako jeftina električna energija u Južnoj Africi omogućuje razvoj rudarske djelatnosti velikog opsega.

Energy Economist, December 1996.

Mr. sc. Slavica Barta-Koštrun, dipl. ing.

CILJEVI EU - DVOSTRUKI UDIO OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE DO 2010. GODINE

EU nastoji udvostručiti korištenje obnovljivih izvora energije do 2010. godine Postavljanje dvostrukog udjela obnovljivih izvora energije kao cilja u energetskoj bilanci do 2010. godine, trebalo bi u skladu s Europskom komisijom pridonijeti promoviranju strategije obnovljivih izvora energije. Europska komisija[1] (European Commission) je izvršno tijelo Europske unije, koje provjerava provedbu ugovora i odluka institucija Unije.

Mišljenja Europske komisije u svezi s obnovljivim izvorima energije iznesena su u "Zelenoj knjizi" ("Energy of the Future: Renewable Sourches of Energy: Green Paper for a community Strategy"), publiciranoj krajem studenog 1996. godine. Do sredine 1997. godine trebao bi biti objavljen i "Plan akcije" (Action Plan). Europska komisija smatra da obnovljive izvore ne bi trebalo opterećivati porezom, da bi trebalo omogućiti kreditiranje, a granicu emisije CO_2 smanjiti.

Ministri energetike EU prvi put su dobili na uvid Zelenu knjigu na sastanku 3. prosinca 1996. godine. Saglasili su se s temeljnim postavkama u strategiji obnovljivih izvora. No, nisu baš optimisti kada je u pitanju kvantiteta ciljeva. Postignut je konsensus oko veće pomoći R & D, te većeg korištenja fiskalne i financijske inicijative.

U tablici 1, prikazana je struktura obnovljivih izvora energije za 1991. i 1994. godinu, te za 12 i 15 članica EU. Iskazan je udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj vlastitoj potrošnji EU, te instalirane snage svih hidroizvora, vjetroelektrana, geotermalnih izvora, fotovoltaičkih izvora (PV), elektrana na biomasu. Osim toga prikazana je i proizvodnja svih obnovljivih izvora pojedinačno za 1991. i 1994. godinu.

Udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj energiji svake od 15 zemalja članica EU prikazan je u tablici 2. Gledajući prosjek Eu obnovljivi izvori iznose manje od 6% vlastite ukupne potrošnje, ali je najveći udio (24%) u Švedskoj, a najmanje (0,6%) u Velikoj Britaniji. Statističke razlike se objašnjavaju djelomično strukturalnim razlikama. Naprimjer, neke zemlje imaju više hidropotencijla od drugih, neke imaju biomasu od otpadaka drvne industrije, neke imaju povoljne uvjete vjetra, itd. Jednako važnu ulogu igra i politika neke zemlje. Kao primjer može poslužiti Njemačka i Danska, koje imaju 70% od ukupno instaliranog kapaciteta energije vjetra EU, ne zbog toga što su tako vjetrovite zemlje, već zbog inicijative.

Tablica 1. Glavni pokazatelj obnovljivih izvora energije u Europskoj uniji

		EUR 12 1991	EUR 12 1994	EUR 15 1991	EUR 15 1994
1.	Udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj vlastitoj potrošnji	3,7	3,9	5,2*	5,4
2.	Kapcitet svih hidroizvora (MWe)	57303,0	57932,0	87303,0	88331,0
3.	Kapacitet u vjetroelektranama (MWe)	645,5	1626,7	625,5	1671,7
4.	Kapacitet u PV (kW)	8726	29143	-	-
5.	Kapacitet u geotermalnim izvorima (MWe)	530	509	-	-
6.	Proizvodnja svih obnovljivih izvora energije (GWh), od toga u:	174364	205613	290513	324232
	- hidroizvorima	92,8	91,5	91,7	91,1
	- vjetroelektranama	0,6	1,6	0,4	1,1
	- PV	0,0	0,0	-	-
	- elektranama na biomasu	4,8	5,3	6,8	6,8
	* 1992. god.				

Tablica 2.

Zemlja	Učešće obnovljivih izvora energije u ukupnim izvorima (%)	
	1990.	1994.
1. Austrija	22,1	24,1
2. Belgija	1,0	0,8
3. Danska	6,3	7,0
4. Finska	18,9	19,3
5. Fransucka	6,4	7,2
6. Njemačka	1,7	1,9
7. Grčka	7,1	7,2
8. Irska	1,6	2,2
9. Italija	5,3	6,4
10. Luksemburg	1,3	1,3
11. Nizozemska	1,3	1,4
12. Portugal	17,6	17,5
13. Španjolska	6,7	6,2
14. Švedska	24,7	24,0
15. Velika Britanija	0,5	0,6
16. Europska unija	5,0	5,4

Cilj Komisije od 12% udjela obnovljivih izvora energije do 2010. godine je ambiciozan za EU kao cjelinu, s obzirom na postojećih 5,4%, ali ne i za svaku državu članicu. Danska planira ostvarenje od 12%-tnog udjela do 2005. godine i 35%-tnog do 2030. godine.

Jedan od najozbiljnijih problema kod poizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora je priključak na elektroenergetski sustav, tj. na mrežu. Komisija nastoji kao dio svog općeg monitoringa primjene direktive na vlastito tržište električne energije EU ispitati uvjete pod kojima je moguće obnovljive izvore energije priključiti na mrežu. Ako bude potrebno, onda će predložiti mjere koje će osigurati da ovi izvori ne budu diskriminirani u odnosu na druge izvore energije. Fiskalna politika je slijedeći instrument u rukama Komisije pomoću kojeg bi mogla prisiliti EU na

[1] Vidjeti; Euroskop, god. 5(1996), br. 28

veću uporabu obnovljivih izvora energije u prijedlogu, koji predstavlja finaliziranje novog sustava određivanja troškova svih vrsta energije. Komisija planira donijeti odredbu za reduciranje ili ukidanje taksi za obnovljive izvore energije. Pri tome se podrazumijeva i razvija smjernica za određivanje sufinanciranja obnovljivih izvora energije od strane države, ubrzanje donošenja odgovarajućih normi, te odobrenje opsežnih ovlaštenja normiranim organizacijama CEN i CENELEC, kod tehnologija za obnovljive izvore koje se nalaze na tržištu.

Renewable Energy Report, br. 17. December 1996.

Mr. sc. Slavica Barta-Koštrun, dipl. ing.

OSNOVAN SAVJETODAVNI KOMITET ZA ENERGIJU

Kao što se i očekivalo Europska komisija je osnovala savjetodavni komitet za energiju. Sukladno preporukama o energetskoj politici u "Bijeloj knjizi" EU iz prosinca 1995. godine 31-člano tijelo je sastavljeno uglavnom od proizvođač i distributera energije, industrijskih i malih potrošačkih udruga i zajednica. Ono će formalno savjetovati Europsku komisiju o svim energetskim pitanjima uključujući i buduće zakonodavstvo.

Novi komitet je pokušaj Europske komisije da izbjegne nered neformalnih lobija kroz zajednički interes utvrđen institucionalno od svih dijelova pogođenih energetskim mjerama. Prema riječima EU komesara (commissioner) za energiju gospodina Christosa Papoutsisa, energetska politika može se razvijati i implementirati efikasno samo uz potporu svih onih na koje se odnosi. To je razlog zašto se želi okupiti proizvođače obnovljivih energija. 8 mjesta je namijenjeno grupi potrošača, 6 popunjavaju udruge, dok će "zeleni" i europska komisija imati svaki po 1 mjesto. Europska komisija će osigurati pomoćnu službu za ovaj komitet, čiji će članovi raditi dvije godine bez plaće.

Power in Europe, November, 29, 1996. br, 238/12

Mr. sc. Slavica Barta-Koštrun, dipl. ing.

BIROKRACIJA KOČI IZGRADNJU VJETROELEKTRANA

Kolika je moć birokracije osjetio je na svojoj koži i Austrijanac Ernst Friedrich jr. On je planirao izgraditi vjetroelektranu snage 500 kW sjeverno od Beča. Ova vjetroelektrana će opskrbljivati grad Beč sa 890 MWh na godinu preko visokonaponske mreže WienStrom-a. Kao realizator ovog projekta osigurao je 8,6 milijuna Asch (US$ 810 000). No, morao je čekati 8 mjeseci da bi dobio odgovor na pismo namjere. Nakon toga uključuje se u financiranje WienStrom sa 2,5 milijuna Asch za izgradnju priključka na visokonaponsku mrežu, te Njemačka sa 1 milijun Asch. Konačno je zaključen ugovor sa WienStrom-om. S obzirom da su sve dozvole prikupljene Ernst Friedrich očekuje podizanje nosećeg stupa i postavljanje Enercon-ove E-40 turbine. Financiranje je također sređeno. Poljoprivrednici će kupiti više od 400 tzv. "sudioničkih potvrda" (minimalno 10 000 Asch svaka), na 18 obročnih otplata u 15 godišnjem razdoblju.

Fridrich je uvjeren da su investitori učinili dobru stvar. Međutim, WienStrom koji je planirao i obavljanje pokusa sa vjetrom na jednom otoku na Dunavu, ne pokazuje previše oduševljenja.

Power in Europe November 29, 1996, 238/12

Mr. sc. Slavica Barta-Koštrun, dipl. ing.

NOVI POREZ NA CO_2 U FINSKOJ

Novi porez na račune za energiju podigao je buru u finskom parlamentu. Grupa sastavljena od članova vladine i oporbene partije lobirale su prihvaćanje ostalih poreza da bi omele donošenje zakona po kojemu bi državno poduzeće Imatran Voima (IVO) i industrija plaćale porez na CO_2. Na drugoj strani Partija zelenih smatra da taj porez treba uvesti. Međutim, predstavnik finske energetske udruge (FEA) je siguran da će porez na CO_2 biti uveden, jer ga je vlada odobrila, a ona ima većinu u parlamentu.
Novi porez na CO_2 izazvat će povećanje cijene električne energije u kućanstvu za FM 0,012/kWh (US $ 0,003/kWh). To znači da će kućanstva plaćati dodatno 35-85 FM na godinu za električnu energiju. Kućanstva koja se pak griju električnom energijom plaćat će dodatnih 300-500 FM. Cijena toplinske energije proizvedene u toplanama na ugljen udvostručit će se, pa će umjesto FM 38,5/toni biti FM 70/toni.

Power in Europe November 29, 1996, 238/14

Mr. sc. Slavica Barta-Koštrun, dipl. ing.

KABELSKA VEZA NORVEŠKA–NJEMAČKA

600 MW kabelska veza između Njemačke i Norveške trebala bi se izvesti preko Wattenmeera, područja blatnih plićaka koji su dijelom zaštićeno prirodno područje. Moguće protivljenje zaštitara prirode ne bi smjelo ometati ovu divovsku gradnju. Hamburško poduzeće HEW, RWE Energie i Eurokraft Norge (konzorcij od 22 norveška elektroprivredna poduzeća srednje veličine) nadaju se da će kabel biti pušten u pogon 2003. godine. To je moguće, jer već ovim područjem prolazi plinovod Europipe 1, pušten u pogon 1995. godine. Također se planira polaganje i drugog plinovoda Europipe 2.
Spomenuti kabel bi trebao prolaziti istočno od otoka Helgoland, kroz Wattenmeer do Brunsbeuttela, gdje bi se trebao priključiti na trafostanicu smještenu pokraj nuklearne elektrane Brunbeuttel.
Europski plinovod je položen kroz sredinu Wattenmeera u blizini Emdena. Pri planiranju 1992. godine razmatrane su i alternativne trase. Jedna od njih je bila i trasa preko Jade-Ems (riječno ušće). No, tamo nije bilo moguće jer je na tom mjestu predviđen plovni put za njemačku luku Wilhelmshaven. Drugi razlog su razbacani ostatci eksploziva i streljiva iz II. svjetskog rata. Na kraju je ostao navedeni pravac, gdje su pomoću posebne tunelske metode polagali plinovod.
Vlada Donje Saksonije privolila je zaštitare argumentom da će buduća plinska elektrana u Stadeu zamijeniti postojeću nuklearku. Međutim, dovoljne količine plina uz prihvatljivu cijenu moguće je osigurati samo ako plinovod bude položen kroz Wattemeer. Za antinuklearni lobi to je bilo neodoljivo iskušenje. Plinovod je položen, ali nuklearka u Stadeu je ostala u pogonu.
U slučaju sa kabelom povijest bi se mogla ponoviti. 900 milijuna DEM (US$ 599 milijuna) za podmorski kabel kao korak prema zatvaranju reaktora u Brunsbeuttelu snažan je mamac za zaštitare da prihvate predloženu trasu kabela. Rasplet događaja bit će zanimljiv.

Power in Europe, November 29, 1996, 238/19

Mr. sc. Slavica Barta-Koštrun, dipl. ing.

VODIK - GORIVO BUDUĆNOSTI

Ljudi dugo pamte nesreću cepelina Hindenburg koja se dogodila 1937. godine, kada se ovaj cepelin punjen vodikom zapalio. U javnosti je stvorena predodžba o vodiku kao smrtno opasnom. U to vrijeme za punjenje cepelina koristio se helij jer mu je osobina da je lakši od zraka. Najveći proizvođač helija bila je Amerika. No, ona nije htjela prodavati helij nacističkom režimu u Njemačkoj. Jedan od razloga je što nije željela da njezin helij krasi kukasti križ. Zbog toga su Nijemci bili prisiljeni koristiti vodik umjesto helija za punjenje balona, koji je također lakši od zraka. Sve to nije ometalo stručnjake da i dalje istražuju mogućnost ko-

rištenja vodika kao goriva, jer sadrži golemi energetski potencijal. Noviji primjer njegove uporabe lansiranje je nosivog šatla. Tijekom lansiranja 1 500 m^3 tekućeg vodika je izgorjelo u 8 minuta i stvorio energiju koja je izbacila neoštećen šatl u orbitu. Ekvivalent energije istog volumena kao vodik (13 000 GJ) bio bi dovoljan prosječnom automobilu da obiđe zemlju više od 100 puta. Naime, tekući vodik sadrži oko 3 puta više energije od ekvivalentne težite benzina.
Danas je svjetska proizvodnja vodika u plinovitom stanju oko 400 milijardi m^3 ili 360 milijuna tona na godinu. U energetskom smislu to je dovoljno za potrebe Velike Britanije za razdoblje od 6 mjeseci.
Da vodik ima svoju primjenu govore podaci o izgrađenim cjevovodima vodika. Nijemci imaju izgrađeno 210 km cjevovoda vodika koji spaja Köln, Düsseldorf, Essen i Dortmund. 400 km cjevovoda vodika veže Francusku s lukom u Antwerpenu. SAD ima oko 720 km cjevovoda vodika.
Za istraživanja vodika zainteresirana je i automobilska industrija. Zahtjevi za čistijim zrakom i smanjenjem emisije ugljičnog dioksida (CO_2) imaju znatan utjecaj na povećanje ulaganja u istraživanja vodika. Osim zainteresiranih poduzeća u sufinanciranju sudjeluju i vlade pojedinih zemalja. Kako je to u Japanu, Njemačkoj, SAD i Kanadi vidljivo je iz slijedećeg pregleda.

Japan: Japanska vlada sufinancira WE-net projekt svotom od 2 milijarde dolara u vremenu od 28 godina. Sadašnja istraživanja se odnose na analize proizvodnje, skladištenja i uporabe vodika. U razdoblju od 1999. do 2005. godine trebale bi se potvrditi sve prednosti vodika. Slijedit će istraživanja koja se odnose na pronalaženje efikasne turbine za spaljivanje vrlo zapaljivog vodika. Namjera je izgraditi elektranu instalirane snage 500 MW sa plinskom turbinom kombiniranog ciklusa na vodik. Japan ima trenutno preko 100 stacionarnih jedinica gorivih ćelija od kojih najveća ima 11 MW i vlasništvo je Tokyo Electric Power-a.

Njemačka: Uz Mercedes Benz, BMW i Porsche i Federalna vlada sufinancira istraživanja vodika sa 20-25 milijuna DEM godišnje. Također bavarsko ministarstvo je pomoglo sa 21 milijun DEM. Na minhenskom aerodromu u uporabi je autobus preuređen na vodik. Planira se izgradnja kogeneracijske elektrane sa gorivim ćelijama u Nurembergu. Također se želi zrakoplov poduzeća Dornier preurediti na propulziju vodikom. Osim toga namjerava se upotrijebiti minhensku plinsku mrežu za vodik da bi se decentralizirala proizvodnja električne energije pomoću gorivih ćelija. Namjerava se iskoristiti Bad Bruckenau kao pokusni grad za ispitivanje ekonomičnosti korištenja vodika.

SAD: Za razliku od drugih centralno financiranih energetskih istraživanja, opći program istraživanja vodika u SAD trenutno je financiran sa US $ 14,5 milijuna. u sufinanciranju posebnih istraživanja vodika (gorive ćelije i sl.) sudjeluje The Office of Fossil Fuels sa US $ 55,5 milijuna, te The Office of Transportation Technologies sa US $ 41,2 milijuna.
1992. godine je osnovan Hydrogen Technical Advisory Panel, koji preporuča da se a priori pokrene i prihvati financiranje zelenog vodikovog programa sa US $ 50 milijuna godišnje. Da ne zaostane za Japanom, Kongres je prihvatio dokument (The hydrogen Future Act) iz 1995. kojim se definiraju granice istraživanja vodika u budućnosti. Cilj je da uporaba vodika dosegne 10% od ukupne energetske potrošnje 2030. godine.

Kanada: U Kanadi se provode opsežna istraživanja vodika. Federalni nacionalni program R $ D isto tako potpomažu i Britanska Kolumbija, Quebec, Ontario i Alberta. Osim toga federalna vlada sufinancira pojedine programe. Ballardov trogodišnji program istraživanja stacionarnih gorivih ćelija vrijedan US $ 94 milijuna refundirala je federalna vlada sa US $ 43 milijuna. Dogovor je sa Matsushita Electric-om, koji želi razvijati prenosivi izvor energije za primjenu u izvanrednim okolnostima. Ballarda sufinanciraju Volkswagen i Volvo sa US $ 1,2 milijuna. Od Daimler-Benz-a je dobio narudžbu vrijednu US $ 2,3 milijuna. Pratt i Whitney iz Kanade i Daimler Benz su se udružili na izradi mlaznog motora na vodik. Osim toga Kanada surađuje sa EU na projektu WQHHPP (Euro-Quebec Hydro-Hydrogen Pilot project). Naime Quebec Hydro želi višak svoje hidroenergije pretvoriti u vodik koji bi koristili teretni brodovi za transport robe u Europu.

Ostale zemlje: Slično kao u Kanadi i Norveška želi višak svoje hidroenergije koristiti za proizvodnju vodika. Trenutno je u fazi istraživanja troškova transporta tekućeg vodika u Njemačku, koji bi trebala proizvoditi HE Norsk Hydro's plant u Gomfjordu.
Isto tako i Švicarska planira korištenje viškova svoje hidroenergije za proizvodnju vodika koji bi se koristio u Daimler-Benzovim autobusima. Njemačka i Saudijska Arabija su dovršile zajednički pothvat Hysolar na izgradnji solarne elektrane za proizvodnju vodika blizu Riyada. Ukupni troškovi su bili US $ 60 milijuna. Elektrana može proizvoditi 170 000 m^3 na godinu. Time je potvrđeno funkcioniranje ove tehnologije.

Energy Economist Briefings, November 1996.

Mr. sc. Slavica Barta-Koštrun, dipl. ing.

MACAGUA - PROJEKT SURADNJE KONKURENCIJE

Na rijeci Orinoko (Venezuela) pred dovršenjem je gradnja velike hidroelektrane čiji je završetak planiran za sredinu 1998. godine. Hidroelektranu čine dvije grupe agregata slijedećih karakteristika:

I grupa: - turbine Francis, 12 jedinica, promjer kola 7,9 m, 471 m^3/s, 190 MW
- genratori, 12 jedinica, modificirani tip kišobran, 250 MVA, 13,8 kV, 60 Hz, 0,85 koeficijent učinka

II grupa: - turbine Kaplan, 2 jedinice, 369 m^3/s, 74 MW
- generatori, 2 jedinice, 102 MVA, 13,8 kV, 0,85 koeficijent učina

Uvidom u listu izvođača radova može se odmah zaključiti kako na velikim projektima konkurenti postaju dobri suradnici jer "vrijeme je novac". Na projektu surađuju kako slijedi:

– Projekt i vođenje:	Harza Engineering Company, USA
– Konstrukcija:	Grupa Atkinson, USA/Venezuela
– Turbine:	Hitachi Ltd., Japan
– Generatori:	Toshiba / Mitsubishi, Japan
– Regulator dovoda vode:	Sulzer Hydro,
– Kranovi na kruni brane:	Wagner Biro, Austrija
– Kranovi na platou:	Babcock & Wilcox
– Tlačni cjevovod / spirala:	Grupa AFCA, Brazil / Mexico
– Izlazni cjevovod:	Cometasa / Imosa, Venezuela
– Glavni transformatori:	Mitsubushi, Japan
– Uzbuda, statički pretvarač frekvencije:	ABB
– Razvod, prekidači:	AEG
– Kontrola i zaštita:	Cegelec
– Informatički sustav:	Siemens AG

HRW - Hydro Review Worlwide, god. 4 (1996), br. 6

Mr. sc. Slavica Barta-Koštrun, dipl. ing.

UČINSKI TRANSFORMATORI 15 M POD ZEMLJOM

Posebno težak zadatak je bio smjestiti dva 40 MVA - transformatora za podstanicu Schochengasse u švicarskom gradu St. Gallen. Auto-dizalalica je u srpnju 1996. godine obavila spuštanje na postavljena mjesta, u centimetar točno, obaju transformatora izrađenih u Nürnbergu, težine po 72 tone.
Gradnja ove podstanice u središnjem dijelu St. Gallen-a bila je

potrebna radi velike koncentracije upravnih i servisnih službi. Realizacija projekta je započela nakon pozitivnog ishoda referenduma u veljači 1994. godine, dok će podstanica ići u pogon u proljeće 1997. godine.
Sustav hlađenja ovih učinskih transformatora omogućava da se otpadna toplina iskoristi za grijanje zgrada u okolini.

EV Report Siemens, rujan /7 3 / 96.

E. H.

IZGRADNJA ENERGETSKOG MOSTA OD RUMUNJSKE DO ZAPADNE EUROPE

Državno rumunjsko energetsko poduzeće Renel povjerilo je firmi Siemens posao na izgradnji dvaju novih 400 kV - rasklopnih postrojenja Mintia i Sibiu, u iznosu 10 milijuna DM.
Rumunjska namjerava svoju mrežu sinhrono povezati do 1997. godine sa Mađarskom i time sa zapadnoeuropskom interkonektivnom mrežom. Navedena rasklopna postrojenja su bitni elementi za postizanje tog cilja.
Slijedećih godina Renel planira modernizirati ukupno 17 rasklopnih postrojenja napona 400 kV, 220 kV i 110 kV radi povezivanja na zapadnoeuropsku interkonektivnu mrežu.

EV Report Siemens, rujan / 7 3/ 96.

E. H.

NA TRAGU PARCIJALNIH IZBIJANJA

Monitoring parcijalnih izbijanja još više povećava pogonsku sigurnost plinom izoliranih oklopljenih rasklopnih postrojenja.
Tehnika monitoringa u UHF-područja (Ultra High Frequency) nudi nove mogućnosti da se također za vrijeme pogona rasklopnih postrojenja ustanove promjene izolacije te da se poduzmu preventivne mjere za izbjegavanje kvarova.
Mjerenje parcijalnih izbijanja bilo je uobičajeno u dva slučaja:

- kod osiguranja kakvoće plinom izoliranih rasklopnih postrojenja u tvornici, i
- kog visokonaponskih ispitivanja na licu mjesta, da bi se ustanovile greške prigodom transporta i montaže.

Daljnja je primjena ona za vrijeme pogona. Ovdje dijagnoza parcijalnih izbijanja pomaže da se pravovremeno utvrdi promjena izolacije. Tako se pravovremeno mogu poduzeti mjere da se izbjegne kvar. Ovim se sprečavaju razni ispadi, utvrđuju se pogonski uvjetovane smetnje te povećava životna dob.
Obrada podataka se provodi putem odgovarajućeg sustava mjerenja, dojava i registriranja, dobije se trajna dokumentacija koja točno daje informacije o promjenama i stanju postrojenja. Kontinuirano mjerenje omogućava analize trenda pa je moguće bolje planirati održavanje te smanjiti odgovarajuće troškove.

EV Report Siemens, rujan /7 3 / 96.

E. H.

NAJVEĆA PLINSKA ELEKTRANA U SVIJETU IZVAN JAPANA

Elektrana je izgrađena u Black Point-u u Hong Kong-u. Elektrana sa 2.500 MW, vrijednosti 3 milijarde US$, vlasništvo je Castle Peak kompanije, zajednički rizik Exxon Energy i China Light a. Power. To je prva prirodnim plinom pogonjena elektrana u Hong Kong-u, građena na obali Južnokineskog mora, okružena brdima. U elektrani Black Point predviđeno je osam kombiagregata (GEC Alsthom i GE iz SAD). Sve proizvodne jedinice se sastoje iz plinske turbine, parne turbine snage 226,5 MW 9 FA i generatora, sve na jednoj osovini. Prve proizvodne kombi jedinice već su puštene u rad, a elektrana će biti u pogonu punom snagom 2001. godine.

Panorama, GEC Alsthom, jesen 1996.

E. H.

SHAJIAO TUČE REKORD

Najveća elektrana na ugljen u Kini, Shajiao "C", službeno je puštena u rad u kolovozu, pošto je dovršena u rekordnom roku. Elektrana 3 x 660 MW, u provinciji Guangdong u NR Kini, građena je kao konzorcijalna za samo četiri godine, što predstavlja rekord za elektrane ovog tipa. Predviđeno je da proizvede najmanje 10,8 milijardi kWh godišnje.
Elektrana je izgrađena u tijesnoj suradnji kineskih i zapadnih poduzeća.
Uz ovu elektranu GEC Alsthom je vodeći isporučitelj opreme iz uvoza za elektrane u NR Kini s preko 16.000 MW instalirane snage, koja je u pogonu ili u izgradnji.

Panorama, GEC Alsthom, jesen 1996.

E. H.

SIMULACIJA STRUJANJA – KLJUČ DO KAKVOĆE

Kompleksnost turbulentnih strujanja ograničava točnost simulacije strujanja pomoću CFD (Computational Fluid Dynamics). Brižljivo validiranje metoda proračunavanja poboljšava pouzdanost simulacija takvih strujanja kao i kakvoću tako razvijenih proizvoda.
Kod određivanja strujanja koja se mogu naći u industrijskoj praksi zadnjih deset godina je ostvarena velika promjena. Dok se je prije u velikoj mjeri radilo korištenjem eksperimentalnih i analitičkih metoda mehanike strujanja, što je obuhvatalo razvoj, izradu i ispitivanje pokusnih postrojenja i prototipa, danas se u sve većem opsegu uvode numeričke simulacije. Unutar koncerna Sulzer brzo se razvio SFD do jedne od najznačajnijih osnovnih tehnologija. Konstrukcija i poboljšanje mnogih proizvoda u koncernu kod kojih strujanja fluida igraju važnu ulogu danas se provode uz njihovu pomoć. Turbostrojevi, procesna postrojenja, komponente strojogradnje, ekološka strujanja u i oko građevina i strujanja krvi u protezama srca i krvotoka primjeri su iz područja proizvodnje.
Uvođenjem CDF-a u usporedbi sa prijašnjim opsegom modelskih ispitivanja i ispitnih postrojenja troškovi i potrebno vrijeme za konstrukciju su znatno smanjeni. Troškovi simulacije iznose npr. samo 20% onih za odgovarajući pokus. Budući da ne moraju biti izrađene nikakve skupe komponente, postižu se značajne uštede vremena. Dok je kod pokusa potreban znatan trošak da bi se održali zakoni modela i stim jamčila mogućnost adekvatnog prenosa rezultata na original, simulacija nudi znatnu prednost, da bi se strujno tehnički sastavni element mogao sa svojim realnim rubnim uvjetima direktno preračunati. Rubne uvjete je moguće vrlo lako mijenjati, tako da se svi mogući pogonski slučajevi mogu brzo izračunati. U zavisnosti od finoće proračunske mreže pomoću koje se modelira geometrija, mogu se dobiti podaci vrlo visoke rezolucije. Oni daju pojedinosti strujanja detaljnije nego je to moguće postići pomoću pokusa.
Radi kompleksnosti turbulentnih pojava CDF se kombinira sa pokusima te se postiže odgovarajuće validiranje kombiniranjem kalibriranja Code-a pomoću mjernih rezultata. Međutim cijeli taj postupak je ipak znatno jeftiniji i sa velikim uštedama vremena u odnosu na klasične postupke.

Technical Review Sulzer, 4/1996.

E. H.

UDK 621.31 ENJAAC 46 (3) — (1997) 133-206 ISSN 0013-7448

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

energija

IZDAVAČI – PUBLISHER

Hrvatska elektroprivreda

POMOĆ U IZDAVANJU

Ministarstvo znanosti, tehnologije i informatike

Godište 46 (1997) Zagreb 1997 Br. 3

SADRŽAJ

Klepo M.: Model neizvjesnosti pojave opterećenja u modelu pouzdanosti i raspoloživosti elektroenergetskog sustava (Izvorni znanstveni članak) 135
Feretić D. - Tomšić Ž.: Tehnički, energetski i ekonomski aspekti korištenja prirodnog plina u elektroenergetici (Pregledni članak) 145
Subašić D. - Strohal P.: Međunarodne obveze Republike Hrvatske na području zaštite od zračenja i nuklearne sigurnosti (Pregledni članak) 155
Schenner R.: Analiza utjecajnih faktora na kvalitetu napona u niskonaponskoj mreži (Stručni članak) 165
Banić S. - Ilijanić V.: Djelotvornost koordinacijskih iskrišta 220 kV ugrađenih u DV polja postrojenja (Pregledni članak) 171
Sabolić D.: Kratak opis i usporedba TDMA sustava pokretne telefonije (Pregledni članak) 177
Vagić N.: Višenamjensko korištenje kondenzatorskih baterija (Stručni članak) 185
Vijesti iz elektroprivrede 191
Iz strane stručne literature 197

Fotografija na omotnoj stranici

BRANA HIDROELEKTRANE ČAKOVEC

IZDAVAČKI SAVJET – THE PUBLISHING COUNCIL

Branko *Grgić*, dipl. ing. (predsjednik), HEP Split – Adrijano *Fišer*, dipl. ing., HEP Rijeka – Marijan *Kalea*, dipl. ing., HEP Osijek – Damir *Karavidović*, dipl. ing., HEP Osijek – mr. Mladen *Mandić*, dipl. oec., HEP Zagreb – dr. Vladimir *Mikuličić*, dipl. ing., FER Zagreb – dr. Niko *Malbaša*, dipl. ing., Ekonerg, Zagreb

UREDNIČKI ODBOR - EDITORIAL BOARD

Glavni urednik - Editor-in-chief: dr. Zorko *Cvetković*, dipl. inž.

Urednik - Editor: Zdenka *Jelić*, prof.

Urednici rubrika – Contributing Editors: »Energetski sistemi«, dr. Goran *Granić*, dipl. ing. – »Hidroelektrane«, Vladimir *Prizl*, dipl. ing. – »Termoelektrane i toplane«, Ivan *Vučetić*, dipl. ing. – »Prijenos električne energije«, mr. Zdenko *Tonković*, dipl. ing. – »Razvoj, distribucija i potrošnja električne energije«, Mladen *Ježić*, dipl. ing. i Dasenko *Baldasari*, dipl. ing. – »Ekonomsko poslovanje i tarifna politika«, dr. Jure *Šimović*, dipl. ecc., Mladen *Mandić*, dipl. ecc. i Marijan *Magdić*, dipl. ecc. – »Ekologija«, dr. Niko *Malbaša*, dipl. ing. – »Informatika«, Nikola *Lastrić*, dipl. ing. – Tehnički urednik – Technical Editor: Branko *Mališ* – Lektor – Lingvistic Adviser: Šimun *Čagalj*, prof. – Metrološka recenzija – Metrologic review: mr. Mladen *Zeljko*, dipl. ing.

Redakcija završena 1997 – 05 – 14

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 6125-641 i 6125-111/641, telefax 514-639

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 A4 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 članka 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 prevoditeljske oči.
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 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, professional 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 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

MODEL NEIZVJESNOSTI POJAVE OPTEREĆENJA U MODELU POUZDANOSTI I RASPOLOŽIVOSTI ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA

Dr. sc. Mićo Klepo, Zagreb

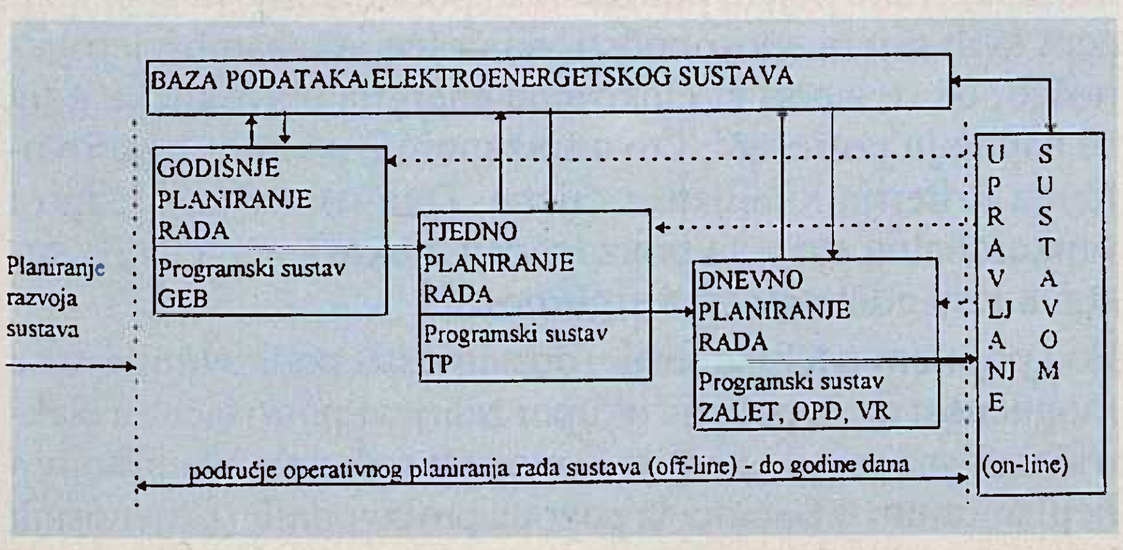
UDK 621.31:621.016.3
IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

U članku se izlaže model neizvjesnosti pojave opterećenja i potrošnje elektroenergetskog sustava kojim se ta neizvjesnost, dominantno uvjetovana neizvjesnostima pojava i djelovanja utjecajnih veličina i događaja, uključuje u model pouzdanosti i razpoloživosti sustava. Neizvjesnost pojave opterećenja neposredno utječe na mogućnost i način da se osiguraju dovoljna snaga i energija proizvodnih postrojenja za pokriće toga opterećenja i potrošnje, ali i kapaciteti za regulaciju, za pokrivanje planiranih i neplaniranih izlazaka ili ispada iz pogona, te razmjena snage i energije s drugim sustavima.

Ključne riječi: model pouzdanosti i raspoloživosti, operativno planiranje rada, predviđanje potrošnje, neizvjesnost pojave opterećenja.

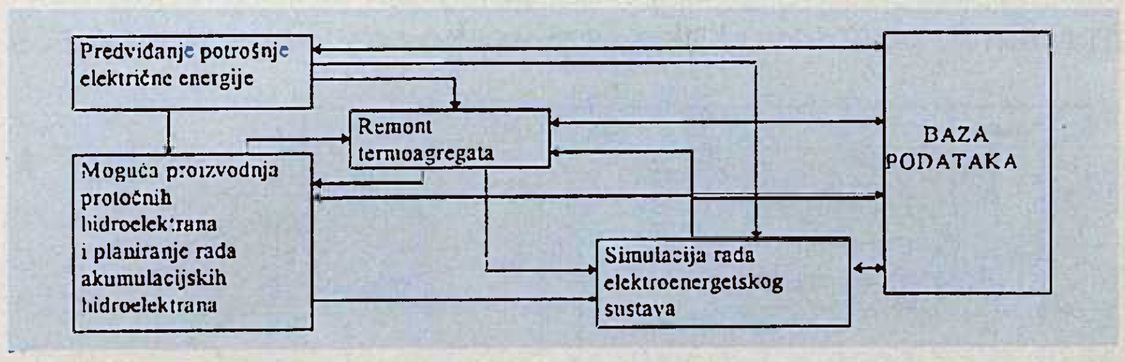
1. UVOD

Rezultat predviđanja potrošnje električne energije do godine dana jesu odgovarajući dijagrami opterećenja ili satne opterećenja elektroenergetskog sustava u vremenskom slijedu po osnovnim jedinicama obrade (satima) tijekom intervala predviđanja (dani, tjedni, godina). Radi se, dakle, o odgovarajućim vremenskim nizovima vrijednosti koje su uvjetovane raspoloživim ulaznim podacima, kvalitetom metodološkoh i programskih postupaka i procedura, te posebno utjecajnim veličinama za koje su vezane neizvjesnosti pojave. U ovom radu posebna pozornost posvećuje se neizvjesnostima pojava opterećenja elektroenergetskog sustava kao rezultat stohastičke prirode pojava i djelovanja utjecajnih veličina na opterećenja i potrošnje električne energije potrošača elektroenergetskog sustava, i to prvenstveno radi njihova uključivanja u model pouzdanosti i raspoloživosti elektroenergetskog sustava pri operativnim planiranjima rada (sl. 1.)



Slika 1. Osnovne funkcije operativnog planiranja rada elektroenergetskog sustava

Osnovni cilj operativnih planiranja rada jesu kvalitetne i pouzdane podloge za upravljanje radom elektroenergetskog sustava, te što niža razina nesigurnosti planiranja. Zahtjevi u pogledu razine kvalitete i pouzdanosti planiranja sve su veći što je vremenska razina planiranja kraća. Dakle, najoštriji su zahtjevi u svezi s točnošću kratkoročnog (dnevnog) planiranja, a nešto blaži u svezi s točnošću srednjoročnog (tjednog), odnosno dugoročnog (godišnjeg) planiranja. U metodološkom, sadržajnom i programskom smislu najsloženiji je sustav godišnje planiranja rada, tj. godišnje elektroenergetske bilance, koja uz relacijsku bazu podataka 8ORACLE) uključuje osnovne funkcije za interaktivnu obradu prema blok dijagramu prikazanom na sl. 2.



Slika 2. Blok dijagram programskog sustava godišnje elektroenergetske bilance

Ovaj rad rezulat je nastojanja da se temeljitije razradi problem proračuna pokazatelja pouzdanosti i raspoloživosti sustava u odgovarajućim programskim sustavima za operativno planiranje rada (eksploatacije), i to zbog dva osnovna razloga.

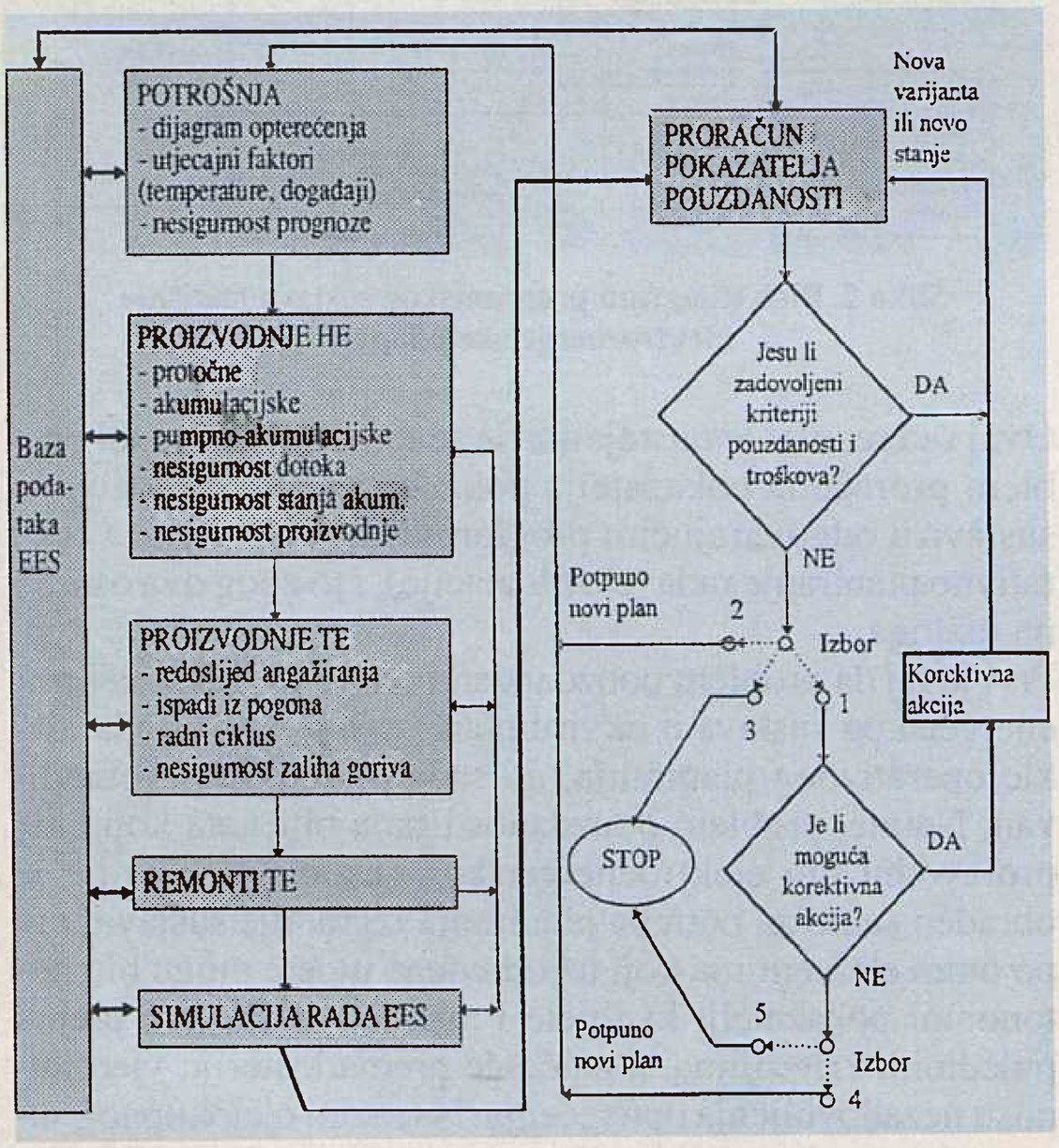
Prvi je taj da problem pouzdanosti i razpoloživosti elektroenergetskog sustava u okviru planiranja njegova rada, dakle operativnog planiranja, do sada nije posebno obrađivan. Naime, problem pouzdanosti rada objekata koji čine proizvodni dio elektroenergetskog sustava značajnije je obrađen samo za potrebe planiranja izgradnje sustava, i to po onim elementima koji uz određene uvjete mogu biti autonomni pokazatelji kvalitete i mjere izgrađenosti prema pojedinim kriterijima, a najčešće prema kriteriju vjerojatnosti nezadovoljenja opterećenja. Na razini cjelokupnog sustava kao pokazatelj kvalitete i mjere izgrađenosti najčešće se pojavljuje kriterij vjerojatnosti nezadovoljenja mak-

simalnog opterećenja (LOLP - Loss of Load Probability), i to na razini godine dana ili pojedinog mjeseca. Iz planiranja izgradnje elektroenergetskog sustava u planiranje i analizu rada preneseni su oni dijelovi postupaka i kriterija koji su dostatni za globalne procjene i usporedbe pokazatelja pouzdanosti rada i raspoloživosti sustava do razine godišnjih planiranja, s mjesecima ili tjednima kao elekemtarnim vremenskim podintervalima. Kod planiranja eksploatacije elektroenergetskog sustava potrebno je, međutim, razviti kriterije i mjerila vrednovanja, a time i postupke proračuna koji odgovaraju planiranju rada sustava s velikim brojem različitih jedinica i njihovih mogućih stanja, koja se uz to često mijenjaju sudjelujući u vrlo dinamičnim promjenama stanja sustava, s velikim brojem utjecajnih elemenata, te s opterećenjima sustava koja s porastom broja elementarnih intervala (sati) dobivaju izrazito dinamička obilježja. Osim toga, suvremena računarska oprema memorijom, kapacitetima i brzinom omogućuje danas takve oblike i forme proračuna pokazatelje pouzdanosti i raspoloživosti proizvodnih objekata i sustava koji pored presudnog utjecaja na kvalitetu planiranja mogu biti dostatni i za kvalitetno upravljanje elektroenergetskim sustavom.

Kod eksploatacije elektroenergetskog sustava potrebni su i dodatni kriteriji i mjerila vrednovanja, odnosno postupci proračuna koji odgovaraju ili koje traže pojedine kategorije planiranja s obzirom na strukturu i vremenski interval obrade (kratkoročno, srednjoročno, dugoročno planiranje eksploatacije).

Drugi razlog proizlazi iz potrebe da se osigura mogućnost da se pokazatelji pouzdanosti i razpoloživosti sustava mgu izračunati u nezavisnim postupcima, dakle kao posebna funkcija operativnog planiranja. Naime, budući da se radi o interaktivnom, uvjetovanom slijedu funkcija planiranja (dugoročno-srednjoročno-kratkoročno), sa satom kao elementarnim vremenskim intervalom, u svakom trenutku mora postojati mogućnost za procjenu kvalitete ostvarenja plana, pogotovo kako se plansko razdoblje skraćuje. s druge strane, što je još važnije, mora se osigurati mogućnost procjene dopustive varijacije pojedinih elemenata plana kako bi se osiguralo kvalitetno upravljanje sustavom i ostvarila poželjna stanja proizvodnih jedinica, izvora primarne energije i ostalih elemenata sustava za budući siguran i kvalitetan rad.

Namjera autora je da u nekoliko članaka izloži rezultate znanstveno-istraživačkog rada na teorijsko-metodološkoj razradi jednog cjelovitog sustava za određivanje pouzdanosti i raspoloživosti sustava pri operativnom planiranju rada koje uključuje godišnje, tjedno i dnevno planiranje rada, dakle eksploatacije elektroenergetskog sustava. U ovome članku predmet obrade je neizvjesnost pojave opterećenja i potrošnji sustava u svezi s pouzdanošću i razpoloživošću sustava, i to po pristupu cjelovitog odgovora na potrebu i nastajanje da se unaprijede mogućnosti postojećih metodološko-programskih sustava za planiranje rada elektroenergetskog sustava, za analizu rada njegovog proizvodnog dijela u cjelini i po agregatima, ali i da se izgradi nezavisan sustav za procjenu kvalitete planiranja i vođenja sustava s kriterijima koji bi bili osjetljivi i u uvjetima čestih promjena stanja jedinica i opterećenja sustava. Daljnjim izlaganjem bili bi obuhvaćeni sljedeći elementi sustava: termoelektrane, hidroelektrane, neizvjesnost pojave dotoka i stanja akumulacije, remonti agregata, razmjene snage i energije s erugim sustavima, te utjecaj globalne konfiguracije sustava i elektroenergetske mreže i njezinih elemenata u reduciranom linearnom obliku, tj. u obliku konfiguracije elemenata koji se ravnaju po najjednostavnijim modeima pouzdanosti komponenti ili jednostavnih sustava i rješavaju linearnim modelima, odnosno metodom minimalnih putova i presjeka. Ciljni sadržajni i strukturni blok dijagram programskog sustava za proračun pokazatelja pouzdanosti u okviru modularnih sustava za planiranje rada elektroenergetskog sustava za periode do godine dana pokazan je na sl. 3.



Slika 3. Blok dijagram modularne strukture upotpunjenog sustava godišnje bilance

2. OPĆENITO O POUZDANOSTI I RASPOLOŽIVOSTI

Kod analize elektroenergetskog sustava pojam pouzdanosti općenito se koristi kao okvirni termin kojim se opisuje njegova određena sposobnost, mjerena nizom odgovarajućih kvantitativnih pokazatelje (numeričkih varijabli ili indeksa). Tako pojam pouzdanosti podrazumijeva opći koncept svih mjera sposobnosti, najčešće iskazanih vjerojatnošću, da se isporuči električna energija u sve točke gdje se napajaju potrošači, i to u traženom iznosu i uz zadovoljenje kriterija kvalitete i cijene. Dva osnovna, ujedno i funkcionalna atributa pouzdanosti elektroenergetskog sustava jesu adekvatnost i sigurnost.

Pod pojmom adekvatnosti (dostatnosti) podrazumijeva se mogućnost da se pokriju ukupni zahtjevi potrošača za električnom snagom i energijom, vodeći računa o planiranim i neplaniranim izlascima iz pogona proizvodnih i prijenosnih komponenti sustava, kao i pogonskim ograničenjima sustava i njihovih komponenti. Sustav se u osnovi promatra stacionarno, a analiza obuhvaća sve moguće poremećaje.

Pod pojmom sigurnosti podrazumijeva se mogućnost i sposobnost da elektroenergetski sustav ostane u funkciji poslije iznenadnih poremećaja nastalih kao posljedica kvarova i ispada komponenti sustava ili dijelova sustava. Po-

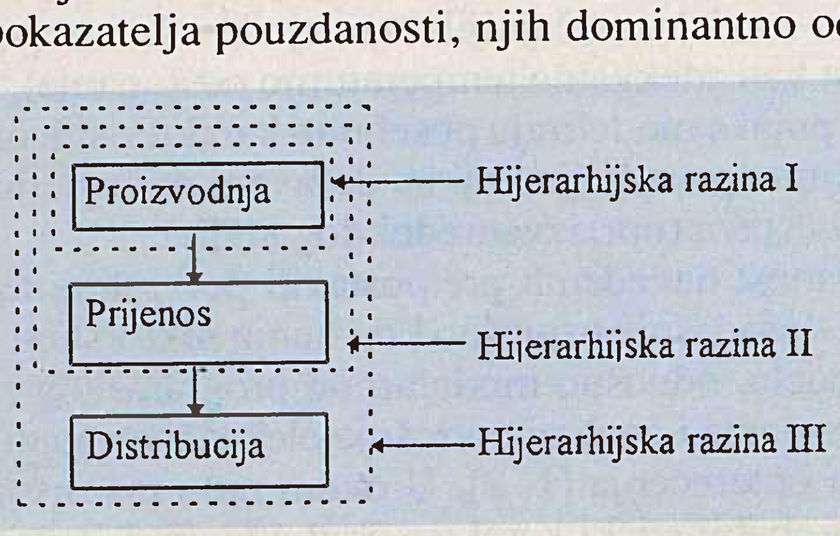
sebna značajka sigurnosti jest integritet sustava, pod kojim se podrazumijeva sposobnost održanja povezanog pogona i izbjegavanje nekontroliranog odvajanja pri ozbiljnim poremećajima u sustavu. Dakle, sustav se promatra dinamički, a analizom su obuhvaćeni poremećaji i prilike u sustavu neposredno nakon pojave poremećaja.

Prethodna određenja pouzdanosti podrazumijevaju da je rad sustava i njegovih komponenti uspješan ako tijekom zadanog vremena nisu ispali iz pogona zbog kvarova ili nekih drugih poremaćaja. Dakle, tu nije uključena mogućnost popravka i nastavka pogona nakon kvara. Zbog toga se uvode dodatne mjere pouzdanosti koje uključuju sposobnost komponenti i sustava da se nakon kvara poprave i vrate u pogon. Najvažniji pokazatelj pouzdanosti za takav je slučaj raspoloživost, koja kod popravljivih komponenti i sustava znači dio vremena u dužem vremenskom intervalu tijekom kojega su te komponente ili sustav spremni za pogon ili u pogonu. RAdi se o vjerojatnosti da se komponente ili sustav u slučajno odabranom trenutku tijekom dužeg vremensko intervala ne nalaze u stanju kvara.

Pokazatelji pouzdanosti kao karakteristike iskazane najčešće vjerojatnošću nužno pripadaju određenim nosiocima - subjektima, bilo komponentama pojedinačno, bilo sustavu u cijelini.

Pokazatelji ili indeksi pouzdanosti imaju ugrađene vlastite nesigurnosti, odnosno razdiobe vjerojatnosti pojave s većim ili manjim varijancama. To znači da i za njih vrijede kriteriji pouzdanosti, zasnovani na dopustivim granicama njihova odstupanja, gdje očekivane vrijednosti znače prihvatljivost ili neprihvatljivost varijante.

Kada je riječ o modelima i metodama pouzdanosti i proračuna pokazatelja pouzdanosti, njih dominantno određuju vremenski okvir i elementarni vremenski intervali za koje su vezani. U ovom radu pristup problemu pouzdanosti određen je vremenskim okvirom perioda do godine dana, sa satom kao elementarnim vremenskim intervalom, te Monte Carlo metodom simulacije kao temeljnim matematičko-metodološkim pristupom rješavanju problema.



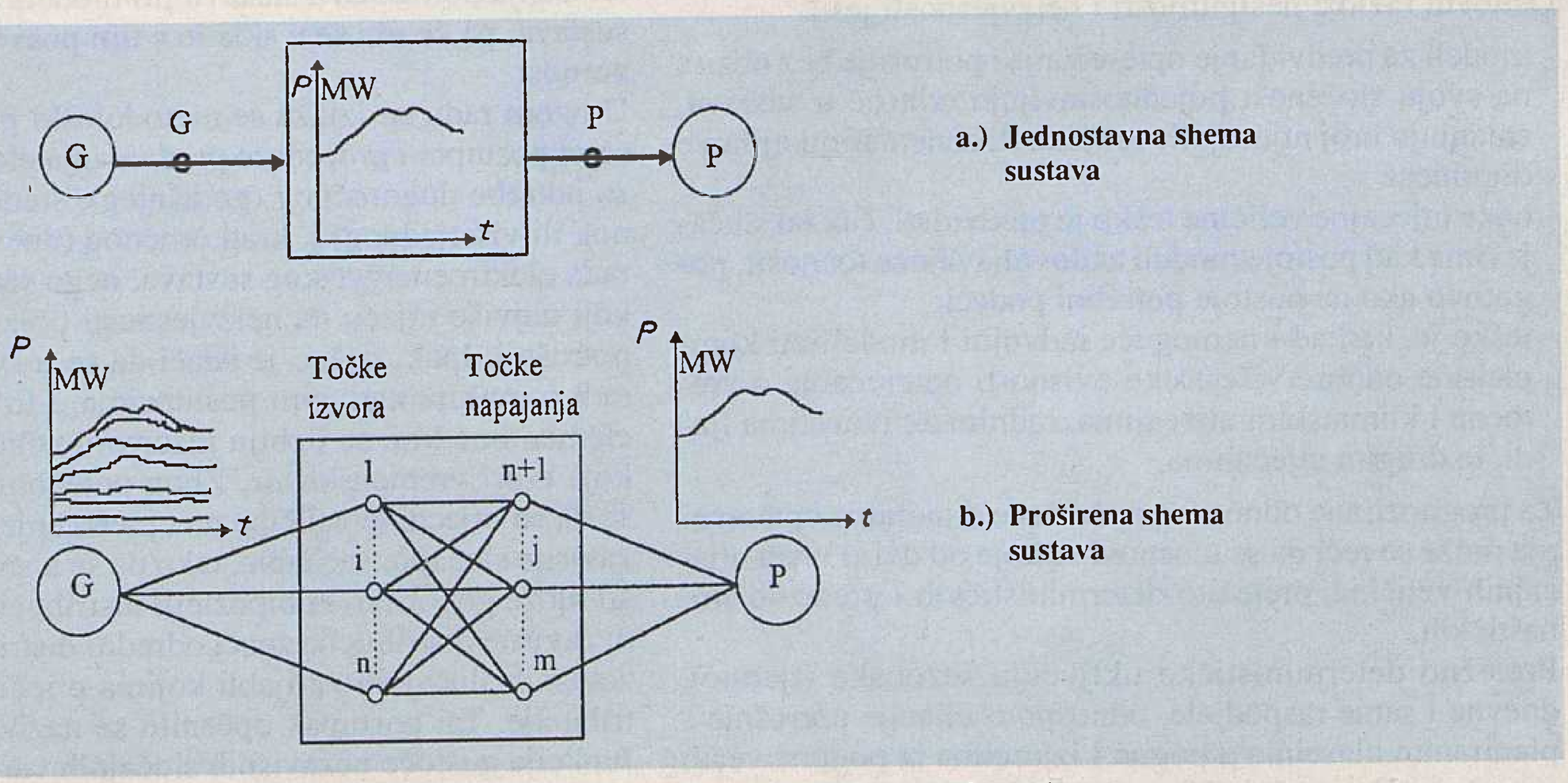
Slika 4. Hijerarhijske razine proračuna pokazatelja pouzdanosti

3. PRISTUP PROBLEMU POUZDANOSTI I RASPOLOŽIVOSTI ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA

Osnovni pristup proračunu pouzdanosti i raspoloživosti elektroenergetskog sustava određen je odabirom funkcionalnih ili sadržajnih segmenata sustava koji postaju predmet proračuna. Najčešće se taj odabir veže za funkcionalnu strukturu sustava, tako da se u općem slučaju razlikuju segment proizvodnje, prijenosa i distribucije. proračuni pokazatelja pouzdanosti i raspoloživosti mogu se provoditi pojedinačno po segmentima ili po kombinacijama segmenata, tako da se u smislu sadržaja uobičajeno govori o hijerarhijskim razinama kako je to prikazano na sl. 4.

Hijerarhijska razina I obuhvaća samo proizvodna postrojenja elektroenergetskog sustava, hijerarhijska razina II uz proizvodna postrojenja obuhvaća i prijenosnu mrežu, dok hierarhijska razina III obuhvaća sva tri osnovna segmenta sustava, tj. proizvodna postrojenja, prijenosnu mrežu, te distributivna postrojenja i opremu. Opterećenja se strukturiraju prema segmentima koji su obuhvaćeni, tako da se kod hijerarhijske razine I veza ukupne proizvodnje ili proizvodnih postrojenja i ukupne potrošnje ili potrošača u funkcionalnom smislu ostvaruje po jednostavnoj shemi tipa "proizvodnja-potrošnja", s tim da se proračunska simbolička veza ostvaruje preko odgovarajućeg dijagrama opterećenja potrošača kojeg trebaju pokriti proizvodna postrojenja (sl. 5.a). Pritom se pretpostavljaju idealne mogućnosti prijenosa energije od ulazne točke G do izlazne točke P. Radi se, dakle, o određivanju potrebnih proizvodnih kapaciteta da bi se uz zadovoljavajuću pouzdanost i što manje troškove pokrile potrebe potrošača i izvela preventivna održavanja i remonti, odnosno izvršili popravci proizvodnih postrojenja.

Proračun se može provesti i na modificiranoj hijerarhijskoj razini II, tj. u proračun se uključuju veze ulaznih to-



Slika 5. Shema sustava za proračun pokazatelja pouzdanosti

čaka u kojima su priključena proizvodna postrojenja (1, 2,..., n) s izlaznim točkama prijenosne mreže ili točkama napajanja u kojima su, uvjetno rečeno, priključeni potrošači (n+1,n+2,..., m) (sl. 5.b). Time se u proračun pokazatelja pouzdanosti uključuje i prijenosna mreža, ali na pojednostavljen način, uzevši u obzir određenu konfiguraciju mreže u staniconarnom stanju, i pod pretpostavkom da nema ograničenja prijenosne moći pojedinih elemenata mreže, odnosno da pojava tih ograničenja na određenoj razini ujedno znači i ispad elemenata. ne uzimaju se, dakle, u obzir tokovi snaga u mreži, tako da se parametri pouzdanosti tih elemenata moraju odrediti s osobitom pozornošću da bi se smanjile pogreške pojednostavljenog modela zasnovanog na metodi minimalnih presjeka. krajnji rezultat tih proračuna jesu pokazatelji pouzdanosti odabranih točaka napajanja potrošača u visokonaponskoj mreži.

Problem uključivanja u proračun pouzdanosti i raspoloživosti elektroenergetskog sustava i prijenosne, odnosno distributivne mreže, što znači i proračuna tokova snage, predstavlja vrlo težak matematičko-teorijski i računarski problem i rijetko se provodi, i to samo kada su u pitanju prijenosi velikih snaga i energije iz hidroenergetskih postrojenja koja su jako udaljena od velikih gradova.

4. ELEMENTI NEIZVJESNOSTI PREDVIĐANJA OPTEREĆENJA I POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Preko dijagrama opterećenja, koji predstavlja stranu potrošnje u sustavu, ostvaruje se veza s proizvodnjom električne energije, i to kroz nastojanje da tijekom čitavog planiranog razdoblja dijagram opterećenja bude pokriven proizvodnjom proizvodnih objekata, da se osigura dodatna snaga u obliku hladne ili vruće rezerve, da se osiguraju potrebne količine primarne energije, odnosno stanja akumulacijskih bazena, a sve uz što manje troškove.

Predviđanje opterećenja elektroenergetskog sustava, odnosno predviđanje potrošnje električne energije nesiguran je i neizvjestan proces, tim nesigurniji i neizvjesniji što su razdoblja predviđanja duža i što je veći broj utjecajnih faktora, a način njihova utjecaja na potrošnju manje poznat. Osnovni razlozi nesigurnosti i neizvjesnosti jesu:

- modeli za predviđanje opterećenja i potrošnje bez obzira na svoju složenost pojednostavljuju odnose u sustavu, smanjuju broj utjecajnih veličina ili zanemaruju njihove doprinose
- neke utjecajne veličine teško je predviđati, čak i u slučajevima kad postoje modeli zadovoljavajuće točnosti, pogotovo ako ne postoje potrebni podaci
- teško je, katkad i nemoguće izdvojiti i modelirati kompleksne odnose višestruke ovisnosti opterećenja o vremenu i klimatskim utjecajima, radnim aktivnostima ljudi, te drugim utjecajima.

Za prognozirane odnosno predviđene dijagrame opterećenja može se reći da se u osnovi sastoje od dviju vrsta utjecajnih veličina, pretežito deterministčkih i pretežno stohastičkih.

Pretežno determinističke uključuju sezonske (tjedne), dnevne i satne raspodjele, odnosno oscilacije potrošnje s planiranim ulascima u pogon i izlascima iz pogona većih potrošača. Determinističko određenje pripisuje im se zbog toga što se modeli ponašanja potrošača određuju i vežu za stvarna vremena i uvjete, a dijagrami opterećenja i karakteristike potrošnje "čiste" od neizvjesnosti djelovanja utjecajnih faktora. Što se porasta potrošnje tiče, odvoje li se planirani ulasci i izlasci iz pogona većih potrošača, pretpostavljeni model eksponencijalnog rasta lineariziran za razdoblje do godine dana dovoljan je za njegovo određenje kao pretežno determinističke karakteristike. Naravno, i ta veličina može se određivati ili birati prema pripadnoj funkciji gustoće vjerojatnosti, odnosno funkciji vjerojatnosti, ali jednom odabrana tijekom procesa predviđanja ostaje nepromjenjiva. U slijedu elementarnih vremenskih intervala doprinos neizvjesnosti ostvarenja te veličine znatno je manji od doprinosa drugih utjecajnih veličina. Naročito to vrijedi u onim slučajevima u kojima se u predviđanje dijagrama opterećenja polazi od ukupne potrošnje električne energije za neko vremensko razdoblje unaprijed, npr. za tjedan, mjesec ili godinu dana unaprijed. Upravo determinističke veličine osiguravaju mogućnost da se sam proces predviđanja može započeti s ukupnim iznosom energije, ostvarenim ili očekivanim.

Pretežno stohastički karakter predviđanju potrošnje električne energije i odgovarajućih dijagrama opterećenja daje uključivanje neizvjesnih (stohastičkih) utjecajnih faktora. najčešće su to odstupanja temperatura od višegodišnjih temperaturnih prosjeka, pojave perioda s dugotrajnom slabijom vidljivošću ili vjetrovitošću, izvanredni događaji, promjene u odnosima cijena energenata i sl. U razvijenim modelima najviše pozornosti posvećuje se utjecajima odstupanja tempeatura, dok ostali utjecaji ili gube važnost s porastom dužine razdoblja predviđanja, ili se uključuju u modele značajnijih utjecajnih veličina (npr. vjetrovitost kao adekvatno temperaturno odstupanje), ili se u slučaju pojave modeliraju posebnim karakteristikama i dijagramima opterećenja koji su dobiveni na temelju prijašnjih iskustava (npr. izvanredni događaji).

Opravdanost navedenih pretpostavki potvrđuju dobri rezultati i dosadašnje uspješno korištenje sektorskog pristupa i modela, odnosno modularnog programskog sustava za predviđanje i analizu potrošnje električne energije i dijagrama opterećenja [1, 2]. U ovom radu prvenstveno je važan probabilistički karakter predviđenih dijagrama opterećenja potrošača u sustavu pri modeliranju opterećenja sustava, pa će mu se u skladu s tim posvetiti posebna pozornost.

U ovom radu ne izlažu se metodološki pristupi, odnosno sami postupci i procedure predviđanja električne energije za potrebe dugoročnog (godišnjeg), srednjoročnog (tjednog ili višetjednog) i kratkoročnog (dnevnog) planiranja rada elektroenergetskog sustava, nego samo oni elementi koji najviše utječu na neizvjesnosti pojava opterećenja i potrošnji. Ipak, nužno je istaći da se u svim slučajevima radi o multiplikativnim postupcima, i to s veličinama ili elementima koji se dobiju rastavom veličine opterećenja koja tvori vremenski niz. Zbog pojednostavljenja uzima se da su utjecajne veličine na opterećenje međusobno nezavisne slučajne varijable, tako da se u smislu vjerojatnosti može govoriti o kompoziciji distribucija. Komponirati nezavisne distribucije znači odrediti distribuciju sume nezavisnih slučajnih varijabli kojima pripadaju zadane distribucije. Taj postupak općenito se naziva konvolucijom funkcija gustoće nezavisnih slučajnih varijabli.

Osnovna analiza provodi se u svezi s postupkom godišnjeg

predviđanja potrošnje električne energije i odgovarajućih krivulja opterećenja, i to tzv. sektorske metode predviđanja. Kod predviđanja godišnje potrošnje polazi se od porasta potrošnje od godine do godine, odnosno tijekom jedne godine. porast potrošnje je posljedica s jedne strane priključka novih potrošača, a s druge povećanja potrošnje već postojećih potrošača. Svaka od ovih pojava ovisi o nizu utjecaja, a i ne mogu se podrgnuti nekim zakonitostima, pa se može uzeti da postoji vjerojatnost da će se porast potrošnje raspodijeliti na cijelu godinu. Pretpostavlja se, dakle, ravnomjeran raspored tijekom godine. Budući da se porast potrošnje električne energije u nizu godina odvija po eksponencijalnom zakonu, takva zakonitost se pretpostavlja i unutar jedne godine. Kako je tu osnovna jedinica sezonske podjele jedan tjedan, godišnji rast uzima se u tjednim koracima, izvedenim iz godišnje stope rasta potrošnje električne energije sektora.

Osnova za određivanje trenda rasta potrošnje električne energije je srednje tjedna vrijednost potrošnje električne energije sektora c u godini j, koja iznosi:

$$E_{jc} = \frac{1}{52} \sum_{i=1}^{52} E_{ijc}, \qquad j=1,...,N-1 \tag{1}$$

gdje je

E_{ije} - potrošnja električne energije sektora c u tjednu i godine j;

j - indeks godine promatranja (za godinu za koju se vrši predviđanje vrijedi j=N).

Prosječni godišnji porast potrošnje sektora c iznosi:

$$t_c = \sqrt[N-1]{\frac{E_{jc}}{E_{1c}}} - 1, \qquad j = 1, ..., N-1 \tag{2}$$

što daje prosječni godišnji trend

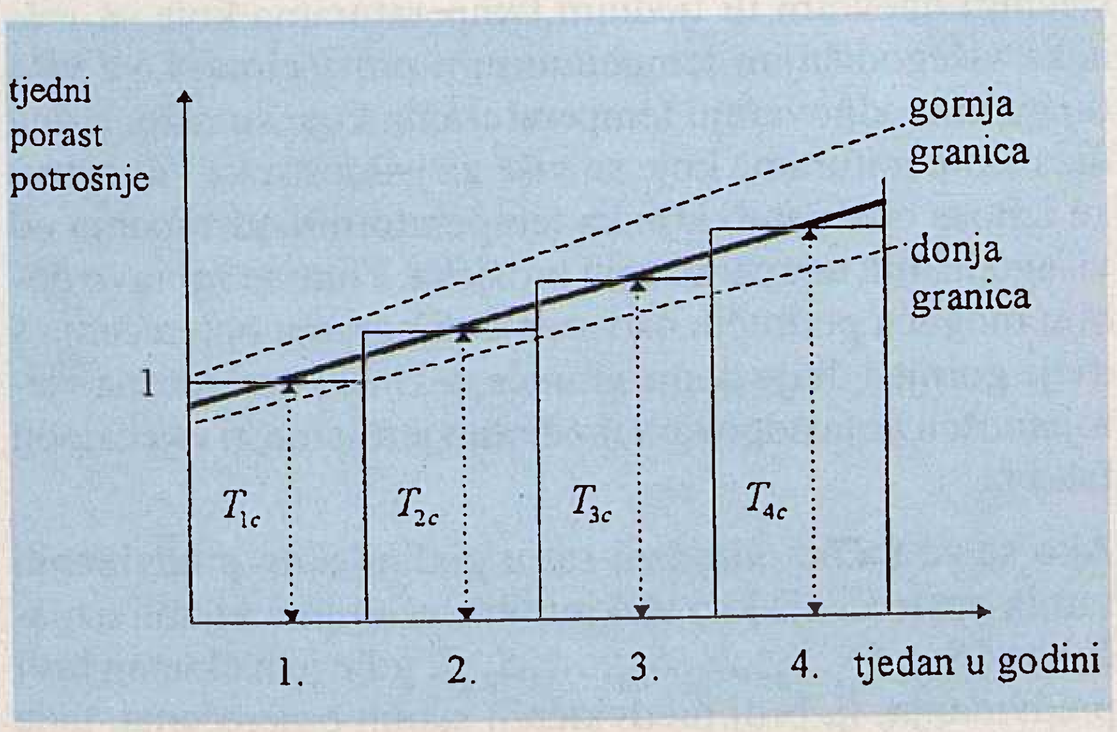
$$T_c = 1 + t_c \tag{3}$$

Uz raniju pretpostavku eksponencijalnog rasta potrošnje električne energije unutar godine, tjedni porast potrošnje iznosi:

$$T_{ic} = T_c^{i/52}, \qquad i = 1,\ldots, 52 \tag{4}$$

gdje je

i - indeks tjedna u godini ($i \le 52$).



Slika 6. Aproksimacija porasta potrošnje po tjednima uz pretpostavku eksponencijalnog rasta tijekom godine

Nesigurnosti, odnosno neizvjesno sati ostvarenja porasta opterećenja i potrošnje pridonosi više elemenata, a najznačajniji raspoloživost i kvaliteta ulaznih podataka, odnosno metodološki i programski postupci obrade. To znači da se na njih trebaju primijeniti složene višeparametarske razdiobe vjerojatnosti. Zbog toga se, a da bi se izbjegli složeni i dugotrajni proračuni, ide na pojednostavljenje da se proračun provodi s jednom stopom porasta za promatrano razdoblje. S druge strane, budući da se kod planiranja eksploatacije općenito radi o kratkoročnom problemu, doprinos nesigurnosti porasta opterećenja i potrošnje relativno je mala, i još se dodatno smanjuje kako se ide prema kraćim razdobljima planiranja razine srednjoročnog i kratkoročnog planiranja. Time se ne isključuje mogućnost i potreba da se djelovanjem na kvalitetu ulaznih podataka i samog postupka predviđanja što više smanji nesigurnost predviđanja iznosa samoga porasta, odnosno poveća ukupna točnost obrade, ali u nezavisom postupku kojim se ide na što uže područje mogući porasta između odgovarajuće gornje i donje granice (sl. 6.).

Problem temperaturnih utjecaja na opterećenje i potrošnju znatno je teži i složeniji. U određenim razdobljima godine svako odstupanje od prosječne temperature izaziva promjene potrošnje električne energije. Te promjene obuhvaćaju se koeficijentom temperaturne elastičnosti (λ) i pripadnim odstupanjima temperatura od prosječnih vrijednosti, a bitne su ako se postupak predviđanja provodi korištenjem dugoročne vremenske i temperaturne prognoze, ili za analizu proteklog razdoblja koje je ranije već obrađeno. KoCic = 1 + P1-O1 Pi * Lc,dviđanja potrošnje električne energije za period kraći od godine dana dovoljno je točno uzeti u obzir utjecaj odstupanja srednje tjedne temperature od višegodišnjeg temperaturnog prosjeka tjedna, odnosno od temperaturnog prosjeka tjedna za godinu na osnovi koje su određeni koeficijenti sezonskih promjena. Naravno, sve to vrijedi za one temperaturne nivoe koji utječu na promjenu potrošnje električne energije. Koeficijenti temperaturnog utjecaja imaju sljedeći oblik:

$$C_{ic} = 1 + \frac{P_i - O_i}{P_i} * \lambda_c \tag{5}$$

gdje je

P_i - prosječna višegodišnja temperatura i-tog tjedna u Kelvinima;

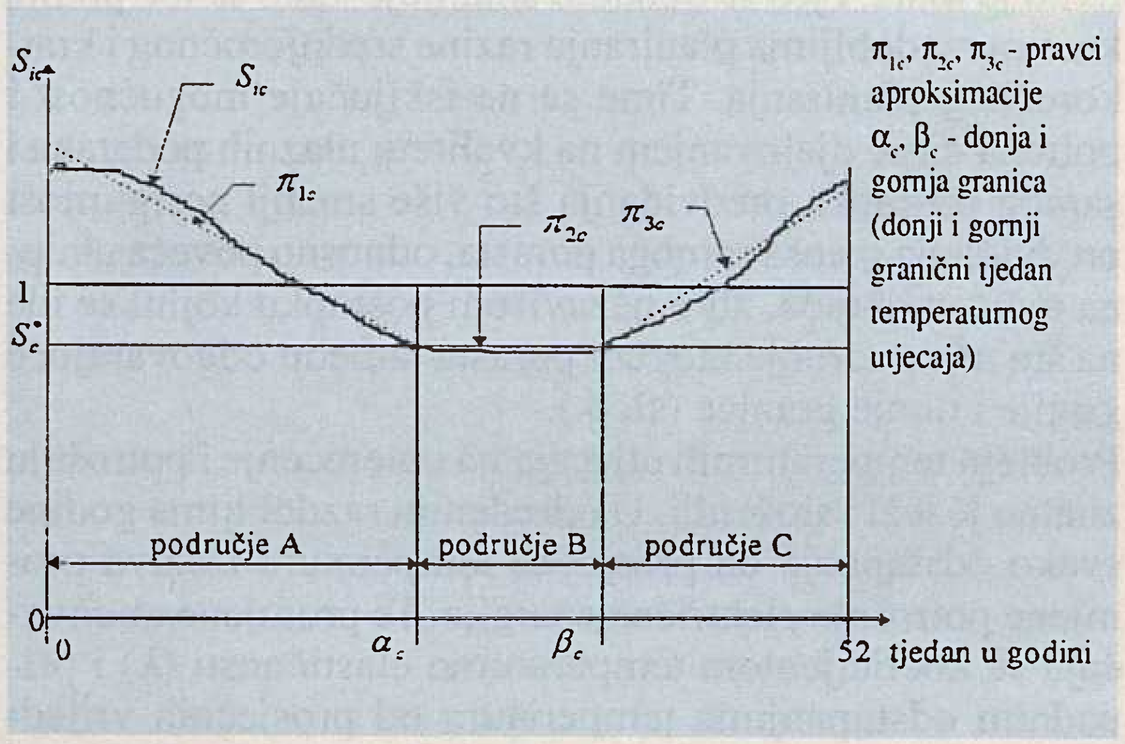
O_i - ostvarena prosječna temperatura i-tog tjedna u Kelvinima;

λ_c - koeficijent elastičnosti tjedne potrošnje električne energije sektora c ovisno o promjeni srednje tjedne temperature u odnosu na višegodišnji prosjek.

Koeficijent elastičnosti λ_c predstavlja relativnu promjenu tjedne potrošnje električne energije sektora akoje relativno odstupanje ostvarene tjedne temperature od višegodišnjeg temperaturnog prosjeka ±0,01, tj. 1%. Ti koeficijenti određuju se pomoću podataka o ostvarenjima iz prethodnih godina. Pri tome je važno da se iz ukupne potrošnje što točnije izdvoji potrošnja sektora koji se promatra, odnosno da se iz promjena potrošnje samog sektora izdvoje utjecaji koji nisu posljedica temperaturnih promjena. Dodatne su pretpostavke da su za temperaturne nivoe koji utječu na promjenu potrošnje električne energije, pro-

sječne višegodišnje temperature linearno ovisne o tjednima u godini, te da je period kada tempeaturni nivo ne utječe na potrošnju jednostruk, tj. da ga se može odrediti donjom i gornjom granicom. Na sl. 7 prikazane su ovisnosti koeficijenata tjednih promjena potrošnje o tjednima u godini.

Koeficijenti tjednih promjena potrošnje uključuju i utjecaj odstupanja prosječnih tjednih temperatura od višegodišnjih temperaturnih prosjeka (krivulja S_{ic} na sl. 7), pa bi se ostvarenjem višegodišnjih prosjeka ti isti koeficijenti mogli prikazati pravcima p_{1c}, p_{2c} i p_{3c} na istoj slici.



Slika 7. Ovisnost koeficijenata tjednih promjena potrošnje o tjednima u godini

Koeficijenti temperaturne elastičnosti određuju se posebno za područja A i C na sl. 7, odnosno kao srednja vrijednost tih dviju veličina ako se koristi jedinstveni koeficijent elastičnosti za čitavo područje od interesa (A i C). Prema tome, postupak je sljedeći: Koeficijenti smjera pravaca p_{1c}, p_{2c} jesu:

$$Z_{1c} = \frac{2 * \sum_{i=1}^{\alpha_c} (S_{ic} - S_c^*)}{\alpha_c^2} \quad \text{za i} \le \alpha_c \qquad (6.1)$$

$$Z_{2c} = \frac{2 * \sum_{i=\beta_c}^{52} (S_{ic} - S_c^*)}{(52 - \beta_c + 1)^2} \quad \text{za i} \ge \beta_c \qquad (6.2)$$

gdje je

S_c^* - srednje vrijednost koeficijenata tjednih promjena za tjedne unutar granica α_c i β_c, tj.:

$$S_c^* = \frac{2 * \sum_{i=\alpha_c+1}^{\beta_c - 1} S_{ic}}{(\beta_c - \alpha_c + 1)} \qquad (6.3)$$

gdje su

α_c i β_c - granice unutar kojih temperaturni nivo ne utječe na promjenu potrošnje sektora c.

Uz pretpostavku da su odstupanja koeficjenata tjednih promjena potrošnje od vrijednosti definiranih pravcem posljedica odstupanja prosječnih ostvarenih tjednih temperatura od višegodišnjih temperaturnih prosjeka, koeficijenti tjednih promjena mogu se izrazito kao:

$$S_{ic} = \left[S_c^* + (\alpha_c - i) * Z_{1c}\right] * \left(1 + \frac{P_i - O_i}{P_i} * \alpha_{ic}\right) \text{ za i} \le \alpha_c . \qquad (7.1)$$

odnosno

$$S_{ic} = \left[S_c^* + (i - \beta_c) * Z_{2c}\right] * \left(1 + \frac{P_i - O_i}{P_i} * \alpha_{ic}\right) \text{ za i} \ge \beta_c . \qquad (7.2)$$

Koeficijenti elastičnosti tjedne potrošnje električne energije sektora c jesu:

$$\lambda_{ic} = \left[\frac{S_{ic}}{S_c^* + (\alpha_c - i) * Z_{1c}} - 1\right] * \frac{P_i}{P_i - O_i} \quad \text{za i} \le \alpha_c \qquad (8.1)$$

$$\lambda_{ic} = \left[\frac{S_{ic}}{S_c^* + (i - \beta_c) * Z_{2c}} - 1\right] * \frac{P_i}{P_i - O_i} \quad \text{za i} \ge \beta_c \qquad (8.2)$$

Konačno, koeficijent temperature elastičnosti za područje A (tj. za i $\le \alpha_c$) iznosi:

$$\lambda_c^A = \frac{\sum_{i=1}^{\alpha_c} \lambda_{ic}}{\alpha_c} \qquad (9.1)$$

odnosno, za područje C (tj. za i $\ge \beta_c$):

$$\lambda_c^C = \frac{\sum_{i=\beta_c}^{52} \lambda_{ic}}{52 - \beta_c + 1} \qquad (9.2)$$

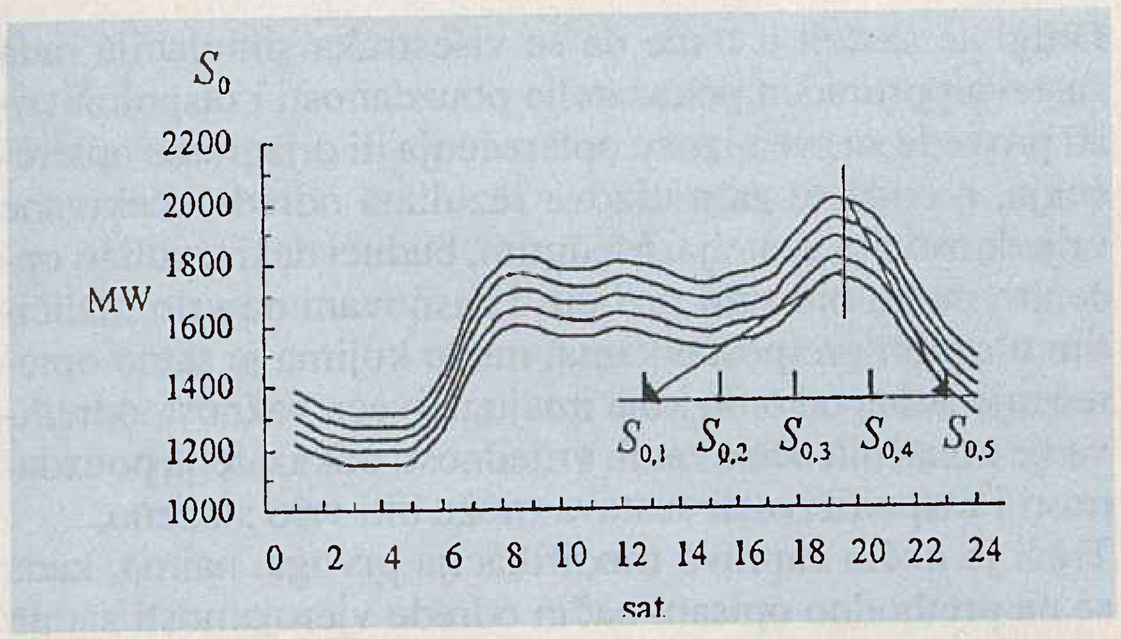
Srednja vrijednost koeficijenta temperature elastičnosti za čitavo područje iznosi:

$$\lambda_c = (\lambda_c^A + \lambda_c^c)/2 \qquad (10)$$

5. MODEL NEIZVJESNOSTI POJAVE OPTEREĆENJA

Kao rezultat predviđanja za svako odabrano vremensko razdoblje u godini dobije se više, najčešće pet dijagrama opterećenja: tzv. srednji za prosječne utjecajne faktore, dva viša za nepovoljnije i dva niža za povoljnije utjecajne faktore (sl. 8). Kada dominantnu težinu stohastičkih utjecajnih faktora čine prosječne dnevne temperature i njima pridruženi srodni utjecaji, tada srednji dijagram odgovara prosječnim dnevnim ili tjednim temperaturama koje su jednake višegodišnjim temperaturnim prosjecima. Dva viša dijagrama odgovaraju temperaturama koje su niže, a dva niža temperaturama koje su više za jednostruke i dvostruke iznose odabranih koraka temperaturnih odstupanja od višegodišnjih temperaturnih prosjeka. Time se zapravo dobiju moguća područja ostvarenja dijagrama opterećenja s dvije gornje i dvije donje granice, težinski opterećena vjerojatnošću koja odgovara razdiobi vjerojatnosti utjecajnog faktora.

Ako se za točno određeni sat u godini skup predviđenih satnih opterećenja kao diskretnih slučajnih varijabli označi kao $\{S_{0,1}, S_{02}, S_{0,3}, \ldots, S_{0,k}, \ldots, S_{0,n}\}$, gdje je n ukupan broj predviđanja, tj. broj predviđenih satnih opterećenja, tada su srednja vrijednost i standardna devijacija satnih opterećenja:



Slika 8. Predviđeni dnevni dijagrami opterećenja elektroenergetskog sustava

$$\bar{S}_o = \frac{\sum_{k=1}^{n} S_{o,k}}{n} \tag{11}$$

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n} (S_{o,k} - \bar{S}_o)^2}{n}} = \sqrt{\sigma_s^2} \tag{12}$$

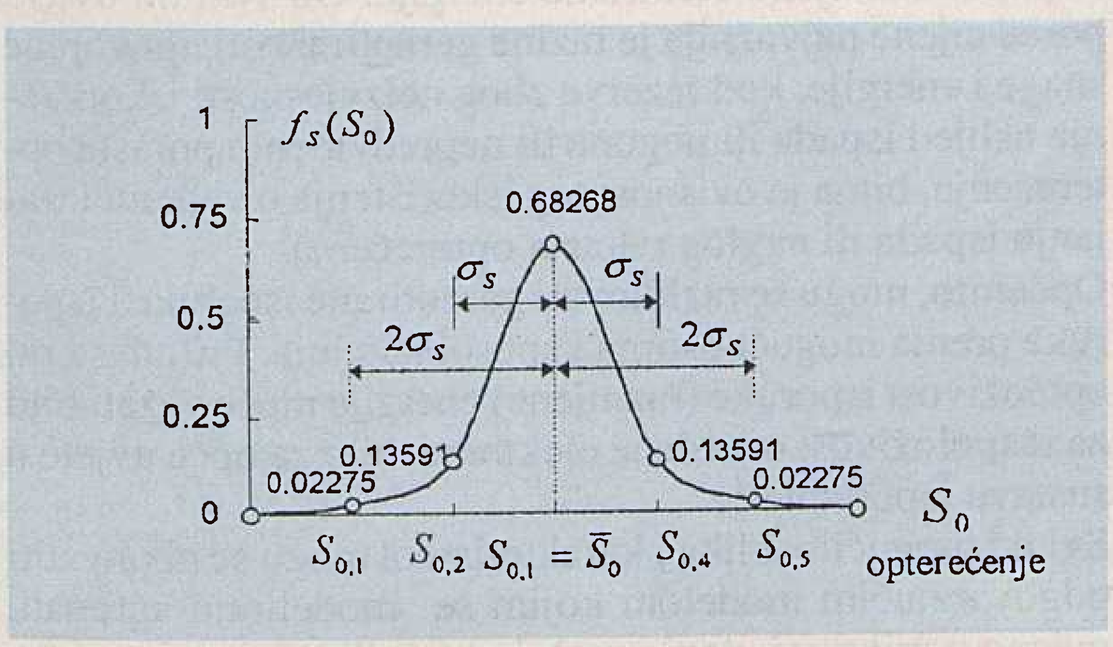
gdje je

$S_{0.k}$ - satno opterećenje kao rezultat predviđanja.

Pojava prosječne dnevne temperature na određenom mjernom mjestu u određenom trenutku, ili prosječne dnevne temperature čitavog područja, stohastička je pojava koja se najbolje modelira pomoću normalne distribucije $N(\mu,\sigma^2)$ s paramterima μ i σ kojoj pripada funkcija gustoće vjerojatnosti

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]} \tag{13}$$

Pritom se podrazumijeva da težinski najveća vjerojatnost ostvarenja pripada području temperatura višegodišnjet temperaturnog prosjeka mjernog mjesta ili područja prema dobu u godini, ili šire srednjim vrijednostima utjecajnih veličina. Vjerojatnosna opterećenja ili doprinosi pojedinih utjecajnih faktora uključuju se u vjerojatnosna opterećenja dijagrama opterećenja metodom konvolucije, uz pretpostavku međusobne neovisnosti doprinosa utjecajnih faktora kojima pripadaju poznate distribucije. Time se određuje distribucija sume nezavisnih slučajnih varijabli. Konačno se dobiva kontinuirana normalna razdioba satnog opterećenja kao slučajne varijable.



Slika 9. Funkcija gustoće vjerojatnosti predviđenog opterećenja

U sljedećm koraku kontinuirana razdioba vjerojatnosti pojave dijagrama opterećenja aproksimira se s pet diskretnih vrijednosti, od kojih se svaka pridružuje odgovarajućem satnom opterećenju (sl. 9.).

Izraz za normalnu distribuciju opterećenja kao slučajne varijable glasi:

$$f_S(S_o) = \frac{1}{\sigma_S\sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{(S_o-\bar{S}_o)^2}{2\sigma_S^2}\right]} \tag{14}$$

gdje je

σ_s - standardna dvijacija predviđenog opterećenja;

S_0 - aritmetička sredina satnih opterećenja.

Prema tome, egzaktan oblik normalne krivulje bit će poznat ako su poznate aritmetička sredina i standardna devijacija. Ta normalna distribucija svodi se na standardiziranu tako da se izvrši linearna transformacija $S_0 = S_o + z\sigma$, čime se umjesto varijable S_0 dobiva standardizirano obilježje ili varijabla $z=(S_0-S_o)/\sigma$, koje ima aritmetičku sredinu 0 i standardnu devijaciju 1. Standardizirana normalna distribucija sada ima oblik:

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}, \quad -\infty \prec z \prec +\infty \tag{15}$$

Vjerojatnost da se vrijednost kontinuirane slučajne varijable z nalazi u intervalu (z_1,z_2) jednaka je razlici vrijednosti funkcije distribucije za točke z_2 i z_1, dakle:

$$P(z_1 \langle z \le z_2) = \int_{z_1}^{z_2} f(z)dz = F(z_2) - F(z_1) \tag{16}$$

gdje je

$F(z)$ - funkcija distribucije opće normalne distribucije.

Primjenom Diracove funkcije izraz (7.6) poprima novi oblik:

$$P(z_1 \langle Z \le z_2) = \int_{z_1}^{z_2} f(z)\delta(z-Z)dz = F(z_2) - F(z_1) \tag{17}$$

gdje je

$\delta(z\text{-}Z)$ - Diracova funkcija sa sljedećim svojstvima:

$$\delta(z\text{-}Z) = 0 \text{ za } z \neq z; \tag{18}$$

$$\delta(z\text{-}Z) = \infty \text{ za } z = Z; \tag{19}$$

$$\int_{z_1}^{z_2} \delta(z-Z)dz = 1 \text{ za } z_1 < Z < z_2. \tag{20}$$

Primjenom na predviđena satna opterećenja dobiva se sljedeći izraz:

$$P(S_{o.k}) = P(Z = \frac{S_{o.k} - \bar{S}_o}{\sigma_S}) =$$

$$= \int_{S_{o.k.DD}}^{S_{o.k.GG}} f_S(S_o)\delta(S_o - S_{o.k})dS_o =$$

$$\int_{z_1=\frac{S_{o.k.DD}-\bar{S}_o}{\sigma_s}}^{z_2=\frac{S_{o.k.GG}-\bar{S}_o}{\sigma_s}} f(z) = \delta(z - \frac{S_{o.k} - \bar{S}_o}{\sigma_s}) = F(z_2) - F(z_1) \tag{21}$$

gdje je

$S_{0,k,GG}$ - gornja granica intervala u kojem se nalazi opterećenje So,k;

$S_{o,k,DD}$ - donja granica intervala u kojem se nalazi opterećenje So,k;

k - redni broj satnog opterećenja, odnosno predviđanja (k=1,2,3...).

Budući da se vrijednosti za standardiziranu krivulju navode u tablicama, vjerojatnost satnog opterećenja može se dobiti jednostavnim očitavanjem površine ispod standardizirane normalne krivulje omeđene dvjema ordinatama podignutim u točkama apscise z_1 i z_2, koje odgovaraju gornjoj i donjoj granici intervala u kojem se nalazi satno opterećenje. Granice zapravo određuju udaljenost standardiziranog obilježja od aritmetičke sredine.

Mogući su različiti načini izbora gornjih i donjih granica intervala. jedan je od najjednostavnijih da se uzmu srednje vrijednosti parova satnih opterećenja dobivenih predviđanjem, te - za donju granicu najnižeg, odnosno + za gornju granicu najvišeg opterećenja. U tom slučaju granice su:

$$\begin{aligned}
&-\text{za } k=1 \quad S_{0,1,DD} = -\infty,\ S_{o,1,GG} = \frac{S_{o,1} + S_{o,2}}{2} \\
&-\text{za } k=2,\ldots,n-1 \quad S_{0,k,DD} = S_{o,k-1,GG},\ S_{o,k,GG} = \frac{S_{o,k} + S_{o,k+1}}{2} \\
&-\text{za } k=n \quad S_{o,n,DD} = \frac{S_{o,n-1} + S_{o,n}}{2};\quad S_{o,k,GG} = +\infty
\end{aligned} \tag{22}$$

Za slučaj kada se kao rezultat predviđanja dobije pet vrijednosti opterećenja za određeni sat u danu, tjednu, mjesecu ili godini, vjerojatnosna opterećenja tih predviđenih satnih opterećenja bit će:

$$\begin{aligned}
P(S_{o,1}) &= F\left[z_2 = \frac{(S_{o,1} + S_{o,2})/2 - \bar{S}_o}{\sigma_s}\right] - F\left[z_1 = -\infty\right] \\
P(S_{o,2}) &= F\left[z_2 = \frac{(S_{o,2} + S_{o,3})/2 - \bar{S}_o}{\sigma_s}\right] - F\left[z_1 = \frac{(S_{o,1} + S_{o,2})/2 - \bar{S}_o}{\sigma_s}\right] \\
P(S_{o,3}) &= F\left[z_2 = \frac{(S_{o,3} + S_{o,4})/2 - \bar{S}_o}{\sigma_s}\right] - F\left[z_1 = \frac{(S_{o,2} + S_{o,3})/2 - \bar{S}_o}{\sigma_s}\right] \\
P(S_{o,4}) &= F\left[z_2 = \frac{(S_{o,4} + S_{o,5})/2 - \bar{S}_o}{\sigma_s}\right] - F\left[z_1 = \frac{(S_{o,3} + S_{o,4})/2 - \bar{S}_o}{\sigma_s}\right] \\
P(S_{o,5}) &= F\left[z_2 = +\infty\right] - F\left[z_1 = \frac{(S_{o,4} + S_{o,5})/2 - \bar{S}_o}{\sigma_s}\right]
\end{aligned} \tag{23}$$

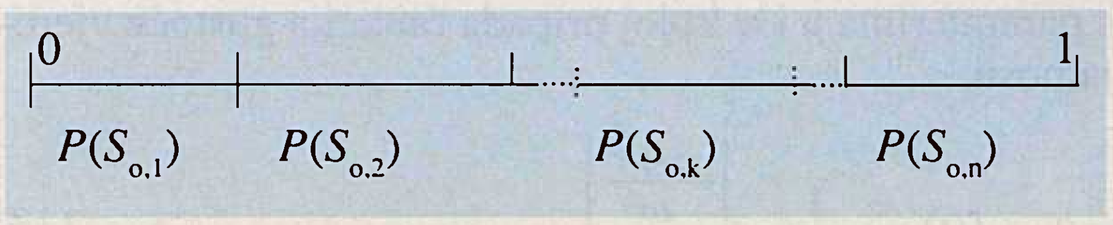
Kada su na raspolaganju predviđena satna opterećenja i njima pridružene vjerojatnosti pojave, u daljnji tijek proračuna, odnosno modeliranja, oni se uključuju na jedan od tri moguća načina.

Prvi je da se odredi očekivana vrijednost satnog opterećenja sustava za svaki sat tijekom razdoblja predviđanja, čime se dobiva očekivani dijagram opterećenja koji trebaju pokriti proizvodna postrojenja. Višestruke simulacije rada elektroenergetskog sustava i proračun pokazatelja pouzdanosti i raspoloživosti provode se na temelju očekivanog dijagrama opterećenja. Jedinstveni dijagram opterećenja olakšava proračun konačnih očekivanih pokazatelja pouzdanosti i raspoloživosti sustava. Očekivana vrijednost satnog opterećenja računa se na sljedeći način:

$$E(S_o) = \sum_{k=1}^{n} S_{o,k}\, P(S_{o,k}) \tag{24}$$

Drugi se sastoji u tome da se višestruka simulacija rada sustava i proračun pokazatelja pouzdanosti i raspoloživosti provede za sve nizove opterećenja ili dijagrame opterećenja, a onda se za n nizova rezultata odrede očekivane vrijednosti pokazatelja. Međutim, budući da ti rezultati općenito mogu biti vrlo različiti i zasnovani na vrlo različitim ulaznim pretpostavkama, među kojima je satno opterećenje jedna od onih koje imaju najveću važnost, određivanje konačnih očekivanih vrijednosti pokazatelja pouzdanosti i raspoloživosti sustava može biti vrlo složeno.

Treći je način zapravo modifikacija prvoga. naime, kada se na prethodno opisani način odrede vjerojatnosti satnih opterećenja, njihov kumulativni zbroj pokriva interval (0,1). Svakom opterećenju u slijedu odgovara dio tog intervala proporcionalan težinskom doprinosu pripadne vjerojatnosti ostvarenja opterećenja (sl. 10). Ako se sada metodom slučajnog izbora (npr. Monte Carlo simulacijskim postupkom) odabere slučajni broj u koji je uniformno distribuiran na intervalu (0,1), tada će se on moći pridružiti samo jednom od intervala u kumulativnom nizu vjerojatnosti satnih opterećenja, a to znači i samo jednom satnom opterećenju. Ponovi li se taj postupak u slijedu za sve sate iz razdoblja predviđanja, dobiva se niz satnih opterećenja ili dijagram opterećenja s kojim se ulazi u proračun pokazatelja pouzdanosti i raspoloživost sustava. prednost je toga pristupa u tome što se u daljnji proračun ulazi sa samo jednim dijagramom opterećenja, ali i u jednoznačnosti postupka budući da se proračun koji slijedi zasniva na Monte Carlo simulaciji.



Slika 10. Kumulativni niz vjerojatnosti satnih opterećenja

6. MODEL NEIZVJESNOSTI RAZMJENA ELEKTRIČNE ENERGIJE IZMEĐU SUSTAVA

Razmjene električne energije između elektroenergetskih sustava česte su, bilo da se radi o nabavama ili isporukama - kupnjom, prodajom, zamjenom, deponiranjem, havarijskom pomoći, rezervom, regulacijom, kompenzacijom, ili slično. Svi ti oblici razmjene u pravilu zasnovani su na odgovarajućim općim ili posebnim ugovorima ili načelima rada. Njima se u pravilu utvrđuje vrijeme početka i vrijeme završetka, oblik dijagrama opterećenja i svi ostali uvjeti za razmjenu električne energije. Od svih tih uvjeta pored cijene najvažnija je razina garantiranosti ugovorene snage i energije. kod rezerve zbog neizvjesnosti iskorištenja uslijed ispada ili pogona ili nepredviđenih porasta opterećenja, bitna je ovisnost tog iskorištenja o veličini i trajanju ispada ili naglog porasta opterećenja.

Općenito, mogu se razlikovati garantirane isporuke i isporuke prema mogućnostima i sposobnostima. Pritom se razpoloživost isporuke (razmjene) energije može vezati bilo za raspoloživost određene elektrane, bilo za opće uvjete u sustavu isporučitelja.

Svi od mogućih oblika i karakteristika mogu se obuhvatiti odgovarajućim modelom kojim se modeliraju agregati, ovisno o njihovoj ulozi u pokrivanju dijagrama opterećenja. Pritom se uvjeti i karakteristike razmjene prevode u

odgovarajuće parametre modela (učestalost kvara, popravka i sl.), tako da se može reći da razmjenu predstavlja model fiktivnog agregata s pokazateljima pouzdanosti sustava koji isporučuje električnu energiju.
Kada se radi o isporuci energije to u svakom slučaju znači povećanje opterećenja vlastitog sustava. U smislu pouzdanosti bitno je o kakvoj se isporuci ili prodaji radi. Kod kronološke isporuke uvažavaju se prilike u sustavu isporučitelja, dakle trenutna konfiguracija sustava i njegove mogućnosti. Znači da je dovoljno za ugovoreni kronološki raspored povećati dijagram opterećenja vlastitog sustava i tražiti da bude pokriven, a time i garantiran do razine pouzdanosti vlastitog sustava. S druge strane, kada se ugovaraju garantirane (čvrste) isporuke opterećenja tijekom određenog razdoblja to za postizanje i održavanje više razine pouzdanosti, i to stavljanjem u pogon dodatnih kapaciteta, ili povećanjem rezerve u sustavu. Kod kronološke isporuke vjerojatnost pojave isporuke u satu iz ugovorenog razdoblja može se izjednačiti s faktorom opterećenja za ugovorene iznose snage i energije. Dakle,

$$P_{isp} \cong f_{opt,isp} = \frac{W_{isp}}{P_{isp} * T_{isp}} \qquad (25)$$

gdje je

W_{isp} - ugovoreni iznos energije;
P_{isp} - ugovoreni iznos opterećenja;
T_{isp} - ugovoreno vrijeme trajanja isporuke.

Pritom treba imati u vidu da navedeni izraz vrijedi uz dvije pretpostavke. Prva je da se ugovoreni iznos opterećenja uzima konstantnim i jednakim maksimalnom opterećenju tijekom čitavog ugovorenog vremena trajanja isporuke, tj. iznos dodatnog opterećenja sustava koji se nastoji pokriti iz sata u sat, pri čemu je vjerojatnost njegove pojave određana navedenim izrazom. Druga je pretpostavka da se pri simulaciji koristi postupak tzv. slijedene simulacije, kakva je npr. i Monte Carlo metoda simulacije.
Kod garantirane isporuke vjerojatnost pojave dodatnog opterećenja koje je jednako ugovorenom opterećenju jednaka je jedinici.
Kada je riječ o nabavci ili kupnji energije, moguća su tri slučaja. Prva dva su identična onima koji su navedeni kod isporuke, samo što se u sustavu radi o smanjenom opterećenju iz vlastitih elektrana, pa se navedene vjerojatnosti odnose na to smanjeno opterećenje, odnosno smanjenu proizvodnju. Treća je mogućnost da se nabavljena ili kupljena količina energije i opterećenja tretiraju, a to znači i modeliraju, kao dodatni izvori s ograničenom primarnom energijom, npr. kao što je slučaj s hidroelektranama čija su opterećenja i proizvodnje uvjetovane pojavom dotoka. Razina odabranog ograničenja određuje i razinu vjerojatnosti ostvarenja snage i energije.
U prva dva slučaja vjerojatnosti ostvarenja nabave ili kupnje prema ugovoru uz sva ograničenja i uvjete odgovaraju onima koje su utvrđene za isporuke. Dakle, za kronološku nabavu ili kupnju vrijedi

$$P_{nab} \cong f_{opt.nab} = \frac{Wnab}{Pnab * Tnab} \qquad (26)$$

gdje je

W_{nab} - ugovoreni iznos energije;
P_{nab} - ugovoreni iznos opterećenja;
T_{nab} - ugovoreno vrijeme trajanja nabave.

Međutim, kod garantirane nabave umjesto vjerojatnosti ostvarenja opterećenja jednake jedinici može se odabrati i neka druga vrijednost manja od jedan ili jednaka vjerojatnosti rada jedinice s ograničenom rimarnom energijom.

LITERATURA

[1] M. KLEPO: "Metoda za izradu godišnje bilance - predviđanje potrošnje električne energije za potrebe godišnje bilance", Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1986.
[2] M. KLEPO: "Predviđanje potrošnje električne energije za nekoliko tjedana", Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1987.
[3] M. KLEPO, M. BRADARIĆ, M. ZELJKO, D. TOMAŠIĆ: "Metoda za izradu elektroenergetske bilance - izrada operativnog programa za elektroničko računalo", Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1988.
[4] B. JELAVIĆ, M. KLEPO, D. TOMAŠIĆ, M. ZELJKO: "Srednjoročno planiranje eksploatacije EES-a", Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1989.
[5] M. KLEPO: "Pouzdanost i raspoloživost elektroenergetskog sustava pri operativnim planiranjima rada", Doktorska disertacija, Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1996.

THE MODEL OF LOAD UNCERTAINTY WITHIN THE MODEL OF RELIABILITY AND AVAILABILITY OF ELECTRIC POWER SYSTEM

The model of appearance uncertainty of load and consumption in electric power system is presented with the help of which that uncertainty, dominantly caused by uncertainty of appearance and influence values and events, is incorporated into the model of reliability and availability of the system. The appearance uncertainty directly influences the possibilities which ensure enough power and energy from production plants to meet that load and consumption, but also the capacity for regulation, planned and unplanned autages, as well as exchange of pcwer and energy with other systems.

DIE MODELIERUNG DER UNSICHERHEIT DES BELASTUNGSAUFTRITTES INNERHALB DES ZUVERLÄSSIGKEITS- UND VERFÜGBARKETS- MODELLS EINES ELEKTROENERGETISCHEN SYSTEMS

Ausgelegt wird ein Modell der Unsicherheit des Belastungs- und des Verbrauchs-Auftretens im elektroenergetischen System. Eine solche Unsicherheit, hervorgerufen vorherrschend durch ungewisses Auftreten einwirkender Größen und Ereignißen, wird mittels ihres Modells in ein Zuverlässigkeits- und Verfügbarkeits-Modell eingefügt. Die so eingefügte Unsicherheit wirkt unmittelbar auf Modalitäten der Leistungs- und Energie-Vorsorge in unvorgesehen auftretenden Umständen, aber auch auf Modalitäten der Regelung bei vorgesehenen sowie bei unerwarteten Betriebs - Einstellungen und - Ausfällen, dazu noch auf Modalitäten des Leistungs- und Energie-Austausches mit anderen Verbundnetzen.

Naslov pisca:

Dr. sc. Mićo Klepo, dipl. ing.
Energetski institut
"Hrvoje Požar"
Ulica grada Vukovara 37
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1997 - 01 - 08.

ELKA

UTEMELJENA 1927. god.

PROIZVODNI PROGRAM

- ENERGETSKI KABELI
- SAVITLJIVI I INSTALACIJSKI VODOVI I KABELI IZOLIRANI TERMOPLASTIMA
- SAVITLJIVI I INSTALACIJSKI VODOVI I KABELI IZOLIRANI ELASTOMERIMA
- BRODSKI KABELI
- KABELI I KONEKTORI ZA AERODROMSKE INSTALACIJE
- TELEKOMUNIKACIJSKI KABELI
- SIGNALNO-UPRAVLJAČKI, MJERNI I KABELI ZA INFORMATIČKE MREŽE
- RUDARSKI KABELI
- KABELI ZA ZAVARIVANJE
- SPECIJALNI VODOVI I KABELI
- KONFEKCIONIRANI KABELI I VODOVI
- LAKIRANA ŽICA
- ALUMINIJSKA, ALU-ČELIČNA I UŽAD OD ALUMINIJSKIH LEGURA
- ZAŠTITNA UŽAD SA SVJETLOVODNIM NITIMA (OPGW)
- ČELIČNA UŽAD I PRIVEZICE ZA DIZALICE, BRODOVE I DRUGE NAMJENE
- IZOLACIJSKI MATERIJALI

Planeta Zemlja...

Čovjek...

Kabeli...

ELKA d.d.
Tvornica električnih kabela
Žitnjak bb, 10 000 ZAGREB
TEL: 01/ 233 22 00
FAX: 01/22 38 98

ELKA
TVORNICA ELEKTRIČNIH KABELA

POGON I: ELKA-METALNA UŽARIJA, BIOGRADSKA BB, 23 000 ZADAR; TEL.: ++385 (023) 43 69 22; FAX: ++385 (023) 44 16 72
POGON II: ELKA-MIKROKABEL, TUGONICA BB, 49 247 ZLATAR BISTRICA; TEL.: ++385 (049) 48 14 22; FAX: ++385 (049) 46 11 39

TEHNIČKI, ENERGETSKI I EKONOMSKI ASPEKTI KORIŠTENJA PRIRODNOG PLINA U ELEKTROENERGETICI

Prof. dr. sc. Danilo Feretić — mr. sc. Željko Tomšić, Zagreb

UDK 621.31:662
PREGLEDNI ČLANAK

Prikazane su najnovije tehnologije za korištenja prirodnog plina u proizvodnji električne energije i analizirana ekonomičnost kombiniranih plinsko parnih procesa s prirodnim plinom. Dana je prognoza potrošnje svih energenata i očekivana potreba i mogućnost proizvodnje prirodnog plina u pojedinim svjetskim regijama. Analizirana je mogućnost dobave i prognoza buduće cijene prirodnog plina.

Ključne riječi: prirodni plin, termoelektrana, kombinirani ciklus, plinska turbina, raspoloživost energenata

Uvod

Prirodni plin je vrijedan i relativno skup energent (cijena svedena na jedinicu energije mu je do dva puta viša od cijene ugljena). Ekonomsko opravdanje u korištenju plina u elektroenergetici je moguće postići samo ako se to korištenje vrši uz bitno učinkovitiju energetsku pretvorbu toplinske u električnu energiju nego što je to slučaj kod korištenja ugljena. Takva se učinkovitost ne može postići kod izgaranja plina uložištima parnih kotlova.

1. TERMOELEKTRANE S KOMBINIRANIM CIKLUSOM PLINSKE I PARNE TURBINE

1.1. Termodinamičke karakteristike i izvedbe termoelektrana

Temeljna prednost uporabe plina nad ugljenom kod proizvodnje električne energije u termoelektranama je u utjecaju na okoliš. Plin praktički ne sadrži sumpor pa je emisija sumpornog dioksida u dimnim plinovima termoelektrane na prirodni plin neznatna. Emisiju dušičnih oksida (NO_x) u dimnim plinovima je kontroliranjem temperature izgaranja plina u ložištu na ispod 1500°C moguće držati na niskom nivou (ispod 25 mg/m^3)[1].

Smanjenje sadržaja NO_x kod starijih postrojenja postizavalo se uštrcavanjem vode, odnosno pare u ložište radi hlađenja, kod novijih se to postiže "suhim" postupkom putem pravilnog rasporeda gorionika plina i odgovarajućim miješanjem plina i zraka prije izgaranja radi izbjegavanja toplih mjesta. Tehnička rješenja gorionika ovise o proizvođaču plinske turbine. Treba napomenuti da je u pitanju zadovoljenje kontradiktornih zahtjeva kada je riječ o temperaturi vrelih plinova nakon izgaranja plina. Visoka temperatura direktno pogoduje povećanju učinkovitosti procesa. Računa se da povećanje temperature vrelih plinova za samo 55°C dovodi do povećanja izlazne snage plinske turbine 10-13% i učinkovitosti pretvorbe toplinske energije u mehaničku za 2-3% [2]. S druge strane visoka temperatura pogoduje povećanju sadržaja NO_x u plinovima izgaranja i otežava uvjete rada prvih stupnjeva plinske turbine radi zagrijavanja materijala lopatica.

U mnogim se slučajevima, kod zemalja s manje rigoroznim propisima za ograničenje emisije NO_x, dozvoljava pogon električne bez postrojenja za čišćenje dimnih plinova. Kod zemalja s vrlo strogim propisima u odnosu na sastav dimnih plinova ugrađuje se i kod ovih elektrana selektivni katalitički filtar za smanjenje sadržaja dušičnih oksida. Zbog visoke učinkovitosti toplinskog ciklusa i sadržaja vodika u prirodnom plinu emisija CO_2 kod izgaranja prirodnog plina u kombiniranom ciklusu je osjetljivo niža (iznosi oko 0,37 kg/kWh) nego kod izgaranja ugljena u termoelektranama (0,8-1,01 kg/kWh) [3].

Termodinamički proces u kombiniranom ciklusu se sastoji iz dva kružna procesa: plinskog i parnog. Plinski proces je primaran i u osnovi ga čine dvije izobare i dvije adijabate (Brayton-ov kružni proces). U praksi adijabate nisu idealne jer uključuju utjecaj unutrašnjih učinkovitosti plinske turbine i kompresora. Proces uključuje višestepeni kompresor zraka (15-17 stupnjeva kompresije s odnosom kompresije do 18), plinsko ložište sa sustavom plinskih gorionika u kojem se postiže temperatura plina do 1260°C (kod nekih izvedbi se radi postizanja bolje učinkovitosti prirodni plin predgrijava prije dobave u gorionik). Protočna masa vrelih plinova kroz turbinu ovisi o traženoj snazi turbine. Za plinske turbine snage 170-240 MW kreće se od 450 do 650 kg/s i pri tome se postiže specifična snaga od 0,073-0,078 MW/(kg/s). Plinovi sagorijevanja se uvode u plinsku turbinu u kojoj ekspandiraju do temperature od 550-565°C i tlaka bliskog atmosferskom (u stvari do atmosferskog tlaka uvećanog za pad tlaka plinova u parnom kotlu).

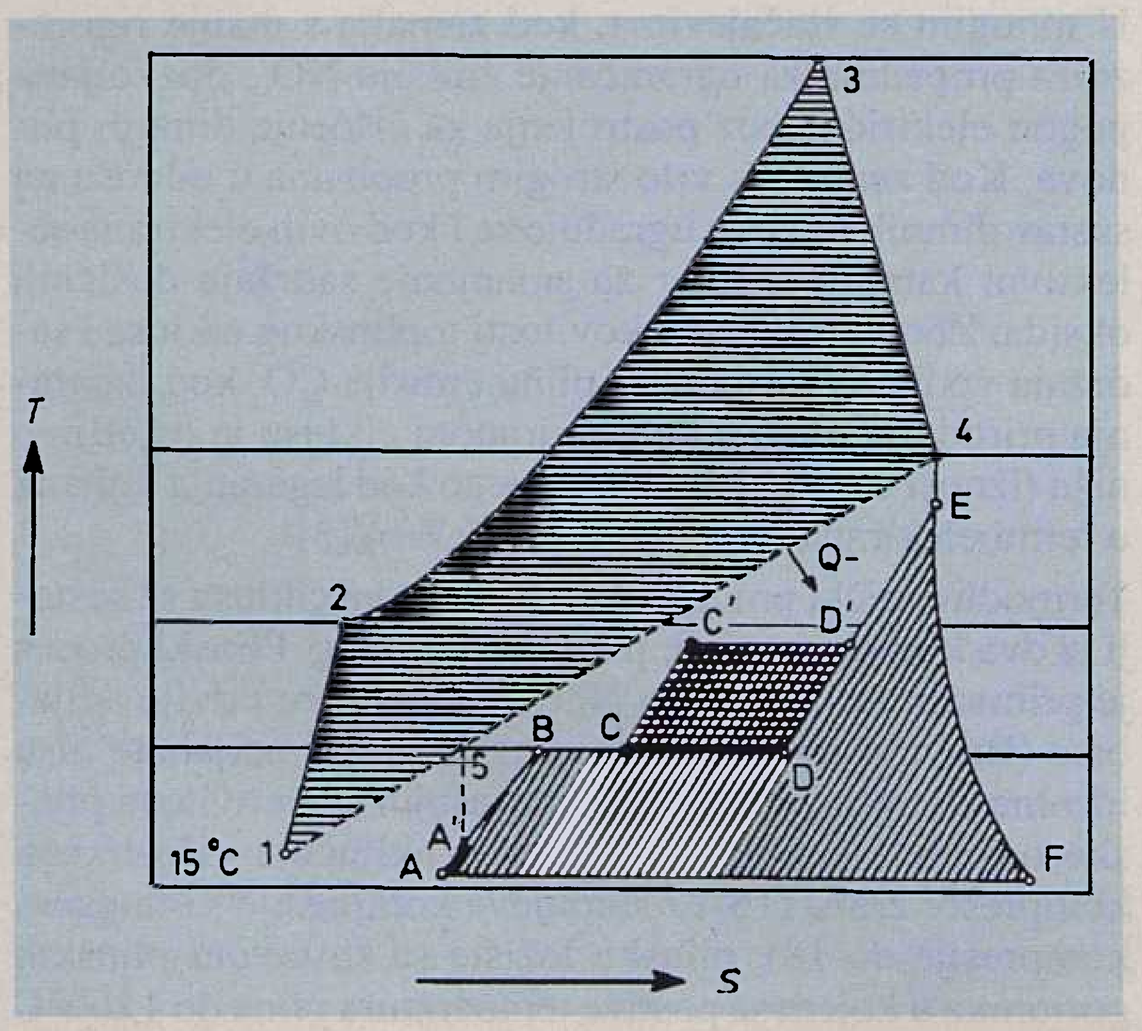
U novije vrijeme se proces ekspanzije vrelih plinova u turbini vodi njihovim sukcesivnim zagrijavanjem u ložištu (proces izgaranja se dijeli u više stupnjeva). Plinovi se nakon djelomičnog hlađenja ekspanzijom u plinskoj turbini uvode u ložište gdje se griju na početnu temperaturu i ponovno vraćaju u turbinu u kojoj nastavljaju s ekspanzi-

jom. Time se bez povećanja maksimalne temperature izgaranja plina povisuje kako prosječna temperatura plina u plinskoj turbini, tako i ukupni izvršni rad turbine (jer je povećana ukupna razlika entalpije plina koji ekspandira), a toplina predana izmjenjivaču topline ostaje praktički neizmijenjena. Ovim se postupkom može u znatnoj mjeri povisiti i snaga i učinkovitost plinske turbine u kombiniranom postrojenju. Za turbine GT24/GT26 u izvedbi ABB navedeno je da se na opisani način učinkovitost same plinske turbine može povisiti i do 15%. Najveća termoelektrana u kojoj se koristi ovaj proces je TE Poryong u Južnoj Koreji snage 2000 MW, u kojoj se očekuje učinkovitost kombiniranog plinskog parnog postrojenja od 59% [4].

Oko 50% snage plinske turbine se troši na pogon kompresora s kojim se nalazi na istoj osovini.

Nakon ekspanzije u plinskoj turbini ispušni plinovi se hlade u izmjenjivaču topline (parnom kotlu) u kojemu se proizvodi para za pogon parne turbine. Relativno velika temperaturna razlika plina na ulazu i izlazu iz izmjenjivača topline (plin se u izmjenjivaču topline hladi za oko 470°C) pogoduje primjeni parnog ciklusa s više od jednog tlaka pare.

T-S dijagram na slici 1 prikazuje plinski i parni toplinski ciklus u plinskoj turbini. Na slici je naznačen dobitak rada u Rankin-ovom parnom ciklusu (najtamnija ploha) ako se tlak pare s jednog poveća na dva.



Slika 1. T-S dijagram kombiniranog ciklusa plinske i parne turbine

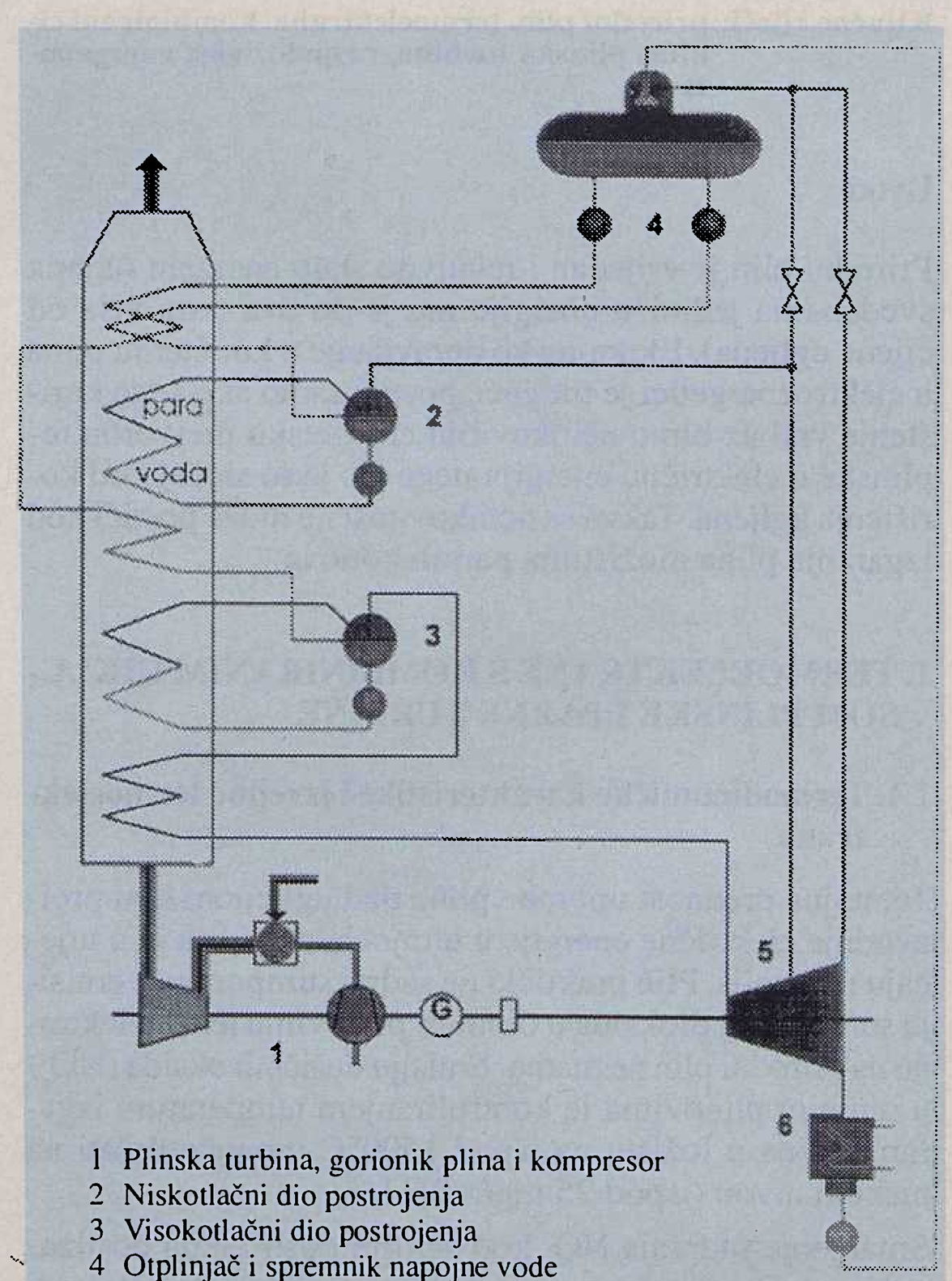
Radi što boljeg prilagođavanja temperature pare i temperature plina u izmjenjivaču topline parni se ciklus izvodi s barem dva, a najčešće s tri tlaka pare. Izlazna temperatura ispušnih plinova iz parnog kotla je oko 90°C.

Hlađenje lopatica plinske turbine (najvažnije je postići učinkovito hlađenje ulaznog dijela i prvih redova statičkih i rotirajućih lopatica turbine) se vrši zrakom koji se za tu svrhu odvodi iz kompresora. Zrak se uvodi kroz rotor i stator plinske turbine, struji kroz lopatice i nakon toga se miješa s radnim plinovima u turbini. Zrak za hlađenje lopatica snižava temperaturu plinova u turbini i time nepovoljno utječe na njezinu termičku učinkovitost.

Turbinske se lopatice izrađuju iz specijalne legure na bazi nikla ili kobalta koji dozvoljavaju pouzdan rad i u usijanom stanju. Na površini se lopatice radi bolje izdržljivosti na visoku temperaturu i eroziju presvlače specijalnim materijalima iz keramike ili vrlo izdržljivih metala (krom, platina). Lopatice se izrađuju u vidu monokristala jer tada izdržavaju za oko 50 K višu temperaturu nego kada materijal ima polikristalnu strukturu. Posebno su za lopatice štetne primjese alkalnih metala i vanadija u dimnim plinovima koje se mogu pojaviti kada se kao gorivo ne koristi plin nego tekuće gorivo.

Parni ciklus se sastoji iz jednog, dva ili tri tlaka pare. Kod većih snaga (preko 200 MW) u novije vrijeme je uobičajena izvedba s tri tlaka i zajedničkom osovinom za cijeli plinsko parni blok. Kod njezinih izvedbi se generator nalazi između plinske i parne turbine, a kod drugih je parna turbina između plinske turbine i generatora. Parna turbina se sastoji iz niskotlačnog i visokotlačnog dijela s ili bez pregrijanja pare između njih.

Toplinske sheme kombiniranih plinsko parnih postrojenja s jednim i dva tlaka pare su prikazane na slikama 2 i 3.



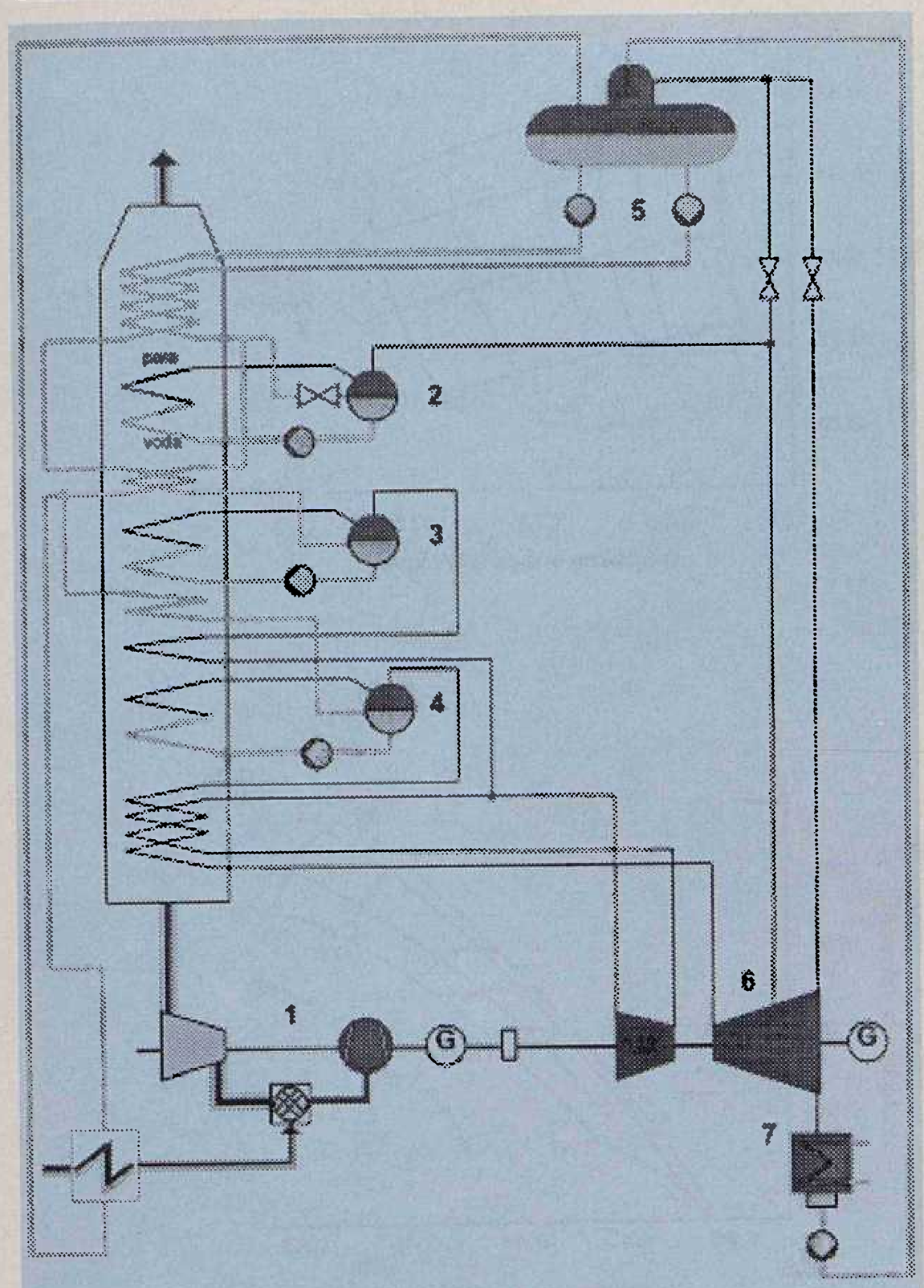
1 Plinska turbina, gorionik plina i kompresor
2 Niskotlačni dio postrojenja
3 Visokotlačni dio postrojenja
4 Otplinjač i spremnik napojne vode
5 Parna turbina
6 Kondenzator

Slika 2. Kombinirani proces s dva tlaka pare

Razlika u učinkovitosti pretvorbe toplinske u električnu energiju u postrojenju s dva i tri tlaka pare sukladno slikama 2 i 3 je oko 1% (primjerice za elektranu s kombiniranim ciklusom snage oko 300 MW učinkovitost pretvorbe toplinske u električnu energiju kod dva i tri tlaka pare je 52,8% i 53,6% [5]). Postrojenje s tri tlaka pare ima to veću prednost što je viša cijena prirodnog plina.

Nosioci razvoja plinskih turbina u svijetu su velike tvrtke

Energija, god. 46 (1997) 3, 145-154



1 Plinska turbina, gorionik plina i kompresor
2 Niskotlačni dio postrojenja
3 Srednjetlačni dio postrojenja
4 Visokotlačni dio postrojenja
5 Otplinjač i spremnik napojne vode
6 Parna turbina
7 Kondenzator

Slika 3. Kombinirani proces s tri tlaka pare i međupregrijanjem

na području energetske opreme. Vodeće mjesto u razvoju ima američka tvrtka General Electric (koji je početni razvoj na ovom području vezao uz proizvodnju plinskih turbina za mlazne motore za vojno i civilno zrakoplovstvo) i nosioci njegove licence (među kojima je u Europi posebno značajan Alhstom), a zatim industrijske grupacije Asea Brown Boveri (ABB), Siemens i Westinghouse/Mitsubishi.

Parametri pare u parnoj turbini su ovisni o izvedbi turbine. Za Izvedbu GE-Alhstom serija 109 F kod turbine reda 300 MW s jednom osovinom se postižu parametri navedeni u tablici 1 [6].

Toplinu za sve parne cikluse navedne u tablici 1 daju ispušni plinovi plinske turbine (model MS 9001F) čiji su osnovni podaci:

• Temperatura plinova u ložištu	1260°C
• Protočna masa plina	612,2 kg/s
• Temperatura ispušnih plinova	583°C
• Izlazna snaga	212,2 MW

Učinkovitost elektrane koja bi koristila samo plinsku turbinu MS 9001F (bez parnog ciklusa) bi bila 34,2%.

Toplinska bilanca plinsko parnog kružnog procesa s tri tlaka pare i međupregrijanjem je dana tablicom 2.

Temeljni uvjeti za povišenje učinkovitosti plinske turbine je povišenje odnosa kompresije i temperature izgaranja plina. Današnje stanje tehnike omogućuje dostignuće temperature u plinova u ložištu od 1250-1260°C i odnosa kompresije od oko 18. Na slici 4 [7] je navedena učinkovitost plinske turbine i kombiniranog ciklusa u ovisnosti od temperature vrelih plinova, odnosno kompresije i protočne plinske mase.

Očekuje se da će daljnji razvoj plinskih turbina do godine 2000. omogućiti učinkovitosti plinskog parnog bloka od oko 60%, pri čemu će za sam plinski ciklus ta učinkovitost biti oko 40% (danas je granična vrijednost oko 38%).

Tablica 2. Bilanca turbine za elektranu s kombiniranim ciklusom model 109F s tri tlaka pare i međupregrijanjem

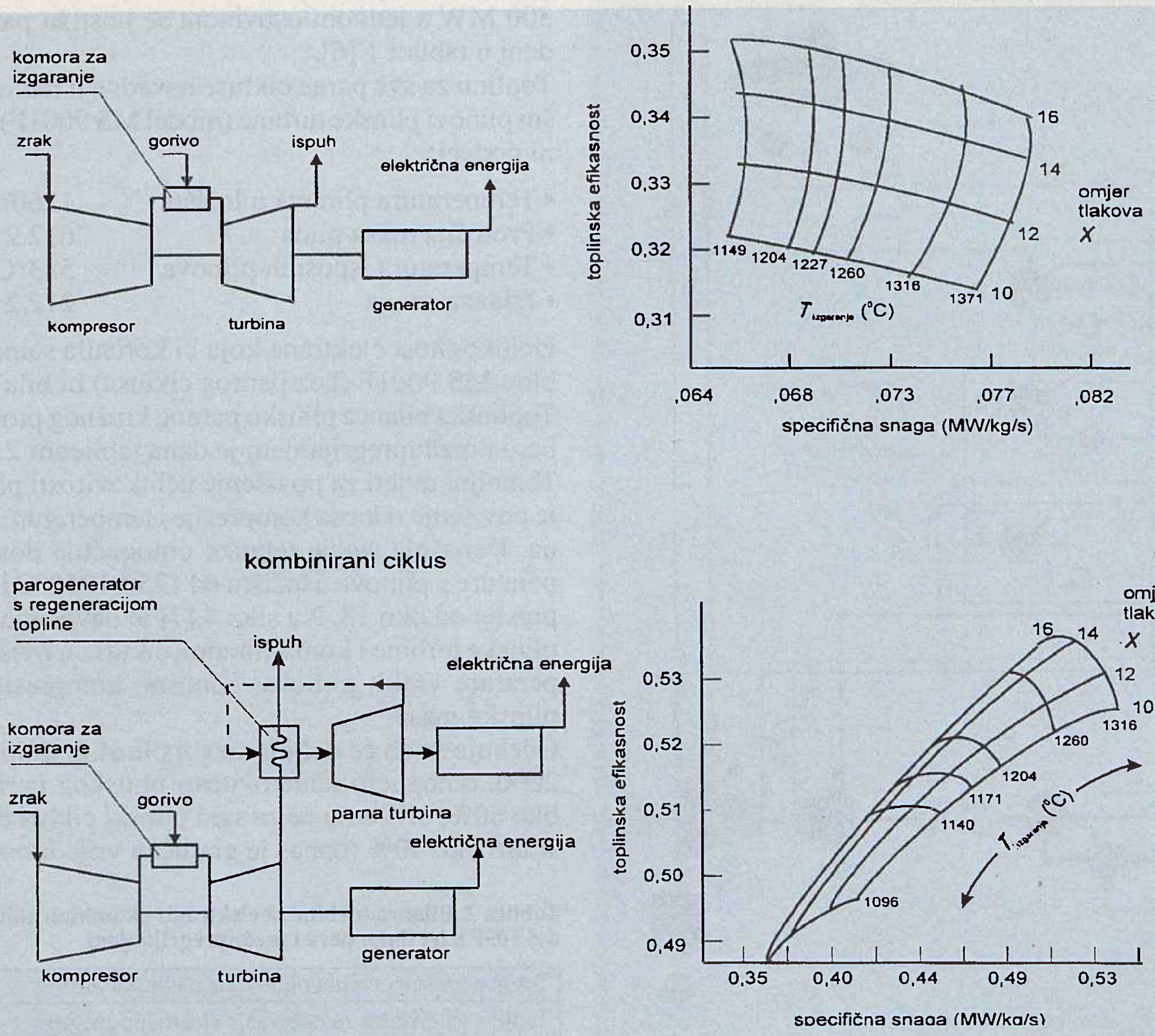
Toplina unešena vrelim plinovima u plinsku turbinu	100,0%
Toplina iskorištena za dobivanje električne energije radom plinske turbine	**34,1%**
Toplina sadržana u ispušnim plinovima plinske turbine	64,4%
Toplina predana parnom ciklusu	53,3%
Toplina ispušnih plinova plinske turbine ispuštena u okoliš	11,1%
Toplina iskorištena za dobivanje električne energije radom parne turbine	**20,4%**
Toplina predana kondenzatoru	32,2%
Gubici električne energije u transformacijama	2,2%

Iz bilance je očigledno da je stupanj učinkovitosti pretvorbe toplinske u električnu energiju u ovom ciklusu 34,1%+20,4%=54,5%. Plinska turbina daje 62,5% izlazne električne snage elektrane.

Još se bolja učinkovitost postiže ako se kombinirani proces plinske i parne turbine poveže s kogenerativnim procesom kod kojega se iskorišćuje otpadna toplina parne turbine (umjesto da se nekorisno predaje kondenzatoru). U tom je slučaju moguće postići učinkovitost toplinskog ci-

Tablica 1. Parametri pare za parni dio kombiniranog plinsko-parnog ciklusa

	Parametri pare na ulazu u turbinu		Bruto izlazna snaga plinsko-parnog bloka (MW)	Učinkovitost (bruto) %
	Tlak (bar)	Temperatura (°C)		
Ciklus s jednim tlakom pare	65	540	329,9	51,9
Ciklus s dva tlaka pare bez međupregrijanja	100/4,6	540/190	340,0	53,4
Ciklus s tri tlaka pare i međupregrijanjem	110/28/4,6	540/540/265	347,2	54,5



Slika 4. Učinkovitost plinske turbine i kombiniranog postrojenja u ovisnosti o temperaturi ložišta, odnosu kompresije i protočnoj masi plinova kroz turbinu

klusa od 89% [6] pri čemu se 50% u ciklus unesene topline troši za dobivanje električne energije, a 39% za opskrbljivanje toplinskih potrošača.

U slučajevima kada je moguće osigurati dovoljne količine prirodnog plina za korištenje u elektroenergetici moguće je preraditi starija parna postrojenja koja koriste ugljen ili tekuća goriva na korištenje plina. Ekonomičnost pogona elektrane se ne može postići izgaranjem plina u parnom kotlu već ugradnjom plinske turbine i izmjenjivača topline (parogeneratora) iz kojeg se parom napaja parni ciklus. Snagu postrojenja je pregradnjom moguće povećati više od dva puta i bitno povećati učinkovitost (npr. ugradnjom plinske turbine GE MS9001E snage 245 MW i izmjenjivača topline u termoelektranu loženu ugljenom s parnom turbinom snage 150 MW dobiva se elektrana s kombiniranim ciklusom neto snage 362 MW i porast učinkovitosti pretvorbe toplinske u električnu energiju od 37% na 49%). Investicija za dodatnu snagu elektrane je oko 300 $/kW. Postoji niz primjera prerađenih postrojenja u svijetu, naročito u SAD.

Kao što je već navedeno, razvoju velikih plinskih turbina i kompresora u posljednjem desetljeću mnogo je pomoglo iskustvo s plinskim turbinama proizvođača opreme mlaznih motora za aeronautiku (General Electric, Pratt&Whitney). Siemens je u suradnji s američkom tvrtkom Pratthitney razvio plinske turbine serije 3A koje su postigle vrhunske rezultate u primjeni za elektroenergetiku u području izlaznih snaga 250-350 MW po jednoosovinskom plinsko parnom bloku. Strojevi se sastoje iz 15 stepenog kompresora i 4 stepene plinske turbine. Karakteristike plinskih turbina serije 3A su dane u tablici 3.

Tablica 3. Karakteristike plinskih turbina serije 3A tvrtke Siemens

Model	V64.3A	V84.3A	V94.3A
Izlazna snaga MW	70	170	240
Učinkovitost %	36,8	38	38,0
Frekvencija Hz	50/60	60	50
Protočna masa ispušnih plinova kg/s	194	457	640
Izlazna temepratura ispušnih plinova °C	565	562	562

Prvi plinsko parni agregati s plinskim turbinama tipa V94.3A i parnim turbinama snage oko 114 MW će biti u pogonu u Velikoj Britaniji (King's Lion Station izlazne snage 340 MW) i Portugalu (Tapada de Outeiro Station izlazne snage 1000 MW).

Kod tih elektrana se najavljuje učinkovitost iskorištenja unesene topline od oko 57%.

Plinske turbine velikih snaga i frekvencije 50 Hz posljednje serije tvrtke ABB su GT26 (240 MW) i GT13E2 (164 MW). Kod prve se u samo plinskom pogonu postiže učinkovitost 37,8%, a kod druge 35,7%.

Karakteristike kombiniranih postrojenja s navedenim plinskim turbinama su dane u tablici 4.

Tablica 4. Karakteristike kombiniranog plinsko parnih elektrana s plinskim turbinama tvrtke ASEA-Brown Boveri

Tip plinske turbine	Tip kombiniranog postrojenja	Parni dio postrojenja	Izlazna snaga plinske turbine MW	Ukupna snaga parno plinskog bloka MW	Učinkovitost pretvorbe toplinske u električnu energiju %
GT1E2	KA13E2-1	tri tlaka pare	159,1	241,6	53,9
GT 26	KA26-1	tri tlaka pare	232,6	361,5	57,9

1.2. Ekonomičnost kombiniranih plinsko parnih elektrana s prirodnim plinom

Kada se govori o ekonomičnosti plinsko parnih agregata loženih prirodnim plinom (kao goriva mogu doći u obzir i laka loživa ulja te plin dobiven rasplinjavanjem ugljena u IGCC procesima) treba uzeti u obzir sljedeće temeljne činjenice:

- Specifične investicije kombiniranih procesa su relativno niske (oko 750 US dolara po instaliranom kilovatu zajedno s postrojenjem za čišćenje dušičnih oksida iz dimnih plinova), oko dva puta niže od investicijskih troškova za termoelektrane ložene ugljenom prašinom s odgovarajućim postrojenjima za čišćenje dimnih plinova
- Troškovi pogona i održavanja kombiniranog postrojenja su osjetno niži nego kod termoelektrane na ugljen
- Učinkovitost pretvorbe toplinske energije u električnu je znatno veća nego kod termoelektrana loženih ugljenom, ali je viša i cijena goriva.

Navest ćemo, radi primjera, neke elemente iz baze podataka o ekonomičnosti termoenergetskih postrojenja koje koristi Svjetska banka u okviru EM (Environmental Manual) programa. Usporedit ćemo cijene električne energije iz termoelektrane na ugljen koja koristi najučinkovitije raspoložive tehnologije za čišćenje dimnih plinova (mokri postupak za odsumporavanje, selektivni katalitički filtar za odstranjivanje dušičnih oksida i elektrostatski filtar za obaranje letećih čestica u dimnim plinovima) i kombinirane plinsko parne elektrane koja za čišćenje dimnih plinova koristi uređaj za čišćenje NO_x (katalitički selektivni filtar), tako da obje zadovoljavaju najstrože europske ekološke standarde.

Valja napomenuti da je kod usporedbe proizvodne cijene električne energije referentna snaga termoelektrane na ugljen 300 MW, njezino godišnje korištenje 5000 h/god i ekonomska životna dob 30 godina. Kod kombinirane plinsko parne termoelektrane računato je sa snagom 200 MW, godišnjim iskorištenjem instalirane snage 3500 h/god te s ekonomskom životnom dobi od 20 godina. Ti su uvjeti uzeti u obzir poštujući postojeću praksu u korištenju jedne i druge elektrane u elektroenergetskom sustavu, a očigledno je da su nepovoljniji za kombiniranu termoelektranu nego za termoelektranu na ugljen.

Specifična investicija termoelektrane na ugljen, zajedno s postrojenjem za čišćenje dimnih plinova je prema navedenom izvoru 1620 $/kW (postrojenje za čišćenje dimnih plinova sudjeluje u investiciji s 26%). Kod kombinirane plinsko parne elektrane računato je pak sa specifičnom investicijom od 751 $/kW u čemu postrojenje za odstranjivanje NO_x sudjeluje sa 6,8%.

Kamatna stopa na uložena sredstva su u jednom i drugom slučaju uzeta s 8% godišnje. Uz takvu kamatnu stopu, a zbog različite ekonomske životne dobi elektrana, godišnja stopa za obračun troškova kapitala kod termoelektrane na ugljen je 8,88% (=0,08/(1-1,08^{-30}), a kod plinske elektrane 10,2%.

Nadalje, suglasno s gore navedenom bazom podataka, računato je s cijenom ugljena od 2 $/GJ (50 $/toe) i cijenom plina 4,5 $/GJ (što odgovara cijeni od 0,15 $/Nm^3, uz donju kaloričku vrijednost prirodnog plina od 33,8 MJ/Nm^3). Računato je s učinkovitošću termoelektrane na ugljen 37% i učinkovitošću kombinirane elektrane 46% (što je prilično nisko u usporedbi s postrojenjima novijih izvedbi).

Tablica 5. Usporedba cijene električne energije u c/kWh termoelektrane s kombiniranim plinsko parnim ciklusom i termoelektrane ložene ugljenom prašinom

Tip elektrane	Troškovi kapitala	Pogon i održavanje	Troškovi goriva	Ukupno
Termoelektrana na ugljen	2,88	1,72	1,94	6,54
Termoelektrana s kombiniranim ciklusom	2,19	0,542	3,52	6,25

Usprkos gore specificiranim razlikama u proračunu, cijena električne energije proizvedene u kombiniranoj elektrani je niža od one u termoelektrani loženoj ugljenom prašinom. Razlog tome, usprkos osjetno višoj cijeni plina po jedinici energije od cijene ugljena, treba tražiti u bitno nižim investicijskim troškovima, nižim troškovima pogona i održavanja, kao i većoj učinkovitosti pretvorbe toplinske u električnu energiju kombinirane plinsko parne elektrane.

Kada bi uvjeti pogona elektroenergetskog sustava dozvoljavali godišnje iskorištenje instalirane snage elektrane s kombiniranim procesom na istoj razini kao kod termoelektrane na ugljen (5000 h/god) i kada bi se računalo s učinkovitošću pretvorbe toplinske u električnu energiju od 55%, cijena proizvedene električne energije u kombiniranoj elektrani bi pala na 5,18 USc/kWh. Najveći doprinos smanjenju cijene u plinsko-parnoj elektrani daje povišenje učinkovitosti zbog visoke cijene plinovitog goriva.

Potrebna količina prirodnog plina za proizvodnju električne energije u kombiniranom procesu uz gore navedenu ogrjevnu moć plina i učinkovitost pretvorbe iznosi oko 200-230 milijuna Nm^3/TWh.

Sve prethodno navedeno pokazuje da primjena novih tehnologija za korištenje plina kao goriva za proizvodnju električne energije ima niz prednosti i s ekonomskog i s ekološkog stanovišta. Međutim, jedino što ostaje upitno je mogućnost dobave i cijene plina u budućnosti. Zbog toga je potrebno razmotriti raspoloživost prirodnog plina kao energenta za elektroenergetiku u svijetu te prognoze o kretanju cijena plina u budućnosti. U analizi koja slijedi dana su neka razmišljanja o ovim pitanjima.

2. RASPOLOŽIVOST GORIVA ZA ELEKTROENERGETIKU S POSEBNIM OSVRTOM NA PRIRODNI PLIN

Raspoloživost energenata u svjetskim okvirima i uvjeti njihove nabave su bitan faktor kod planiranja razvoja 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 [11].

Iz tablice 6 se razabire da u 1993. godini najveći udio u podmirenju svijeta primarnom energijom daju tekuća goriva (35,6%), iza čega slijede kruta goriva (31,1%) i plinovita goriva (22%). Ostatak s podjednakim udjelom pokrivaju hidroizvori i nuklearna energija. Aditivni izvori energije pokrivaju svega oko 0,1% potrošnje energije.

2.1 Prognoza potrošnje energenata

Pouzdana dugoročna prognoza potrošnje energenata je upitna, jer s jedne strane, ovisi o prognozi potrošnje energije, a s druge strane o prognozi raspodjele u podmirenju te potrošnje između pojedinih energenata.

Tablica 6. Uporaba energije za dobivanje primarne energije po grupama 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	0,298	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	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
Jugoistočna 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	2,764	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.

Od interesa je u istim grupacijama zemalja razmotriti količinu i udio pojedinih energenata za proizvodnju električne energije. Na temelju podataka iz istog izvora [11] sastavljena je tablica 7.

Iz tablice 7 vidimo da se 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 (ispod 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. [12], [13]. Prema prognozi iz tablice 8 iznos godišnje primarne energije u svijetu bi sredinom idućeg stoljeća trebalo predvidjeti na oko 20 Gtoe. Suglasno tome bi potrošnja krutih goriva

Tablica 7. Količina (Gtoe) i udio (%) energenata potrošenih u 1993. godini za proizvodnju električne energije po grupama zemalja

	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	0,00	0,91	0,160	100
Zap. Europa	0,339	53.89	0,113	17,96	0,175	27,88	0,002	09,27	0,628	100
Ist. Europa	0,326	73,72	0,057	1“2,94	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	0,0495	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

Tablica 8. Prognoza potrošnje energenata za godine 2020. i 2050. (Gtoe)

	2020.			2050.
	Industrijski razvijene zemlje	Zemlje u razvoju	Svijet	Svijet Scenarij A (*)
Kruta goriva	1,925-2,314	1,313-1,737	3,238-4,051	8,0
Plinovita goriva	1,530-1,730	0,468-0,625	1,998-2,355	3,0
Hidroenergija	0,430-0,480	0,418-0,563	0,848-1,043	1,0
Nuklearna energija	0,720-0,930	0,100-0,183	0,820-1,113	2,5
Aditivni izvori	0,085-0,175	0,085-0,190	0,170-0,365	3,0
Nekomerc. energija(*)	0,125-0,160	0,930-1,50	1,155-1,310	
Ukupno	6,650-7,724	4,911-5,801	11,561-13,525	20,5

(*) u nekomercijalnu energiju se ubrajaju drvo, organski otpaci, smeće i sl.

(**) scenarij A odgovara prognozama razvoja energetike prema raznim analizama i prema WEC [14]

od godine 1993. do godine 2050. rasla s 2,7 Gtoe na oko 8,0 Gtoe. Potrošnja tekućeg goriva bi se nešto smanjila u istom roku (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. godini na oko 1,0 Gtoe na kraju razmatranog perioda. Najveća nesigurnost u prognozi razvoja energetike u daljnjoj budućnosti je 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 3,0 Gtoe u podjednakom iznosu za oba energetska izvora. Prognoza razvoja tih energetskih izvora će se još komentirati.

Kumulativna potrošnja fosilnih goriva u svijetu u periodu 1993-2050. godina bi na temelju navedenih podataka bila:

- Kruta goriva 277 Gtoe
- Tekuća goriva 173 Gtoe
- Plinovita goriva 139 Gtoe

Nije na odmet usporediti ove podatke s podacima o zalihama fosilnih i nuklearnih goriva.

Prema podacima Svjetskog savjeta za energiju (World Energy Council) [14] iz 1993. godine utvrđene i perspektivne zalihe fosilnih goriva su dane tablicoma 9.

Tablica 9. Zalihe fosilnih goriva u Gtoe

	Utvrđene zalihe	Potencijalne zalihe
Kruta goriva	570,0	3400
Tekuća goriva	136,5	200
Plinovita goriva	107,0	220

Usporedbom podataka iz tablice 9 s predviđenim kumulativnim utroškom fosilnih goriva u periodu od 1993-2050. vidimo da zalihe tekućih i plinovitih goriva krajem tog perioda mogu postati nedovoljne. 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 s recikliranjem nuklearnog goriva će biti dovoljne za pokriće potreba energetike u idućem stoljeću, a i znatno duže.

Temeljni energenti elektroenergetike u prvoj polovici idućeg stoljeća ostaju ugljen, nuklearno gorivo i plin. Tekuće gorivo se zbog ekonomskih i ekoloških razloga ne planira primjenjivati za proizvodnju električne energije. Pri tome treba imati u vidu da plin, za razliku od ugljena, a pogotovo nuklearnog goriva ima znatno širu primjenu izvan elektroenergetike (široka potrošnja, industrija, transport) pa se iskazane zalihe plina nipošto ne smiju rezervirati samo za proizvodnju električne energije.

2.2. Prirodni plin

Kao što je već navedeno, prirodni plin je, posebno s ekološkog stanovišta, najpoželjnije gorivo za primjenu u elektroenergetici. Jedino je nuklearna energija po utjecaju na okoliš usporediva s plinom. Iz ranije danih podataka slijedi da će zalihe plina (uzevši u obzir ne samo utvrđene nego i perspektivne zalihe) biti u razmatranom razdoblju do 2050. godine u znatnoj mjeri utrošene. Iz navedenog se zaključuje da ne bi bilo racionalno planirati gradnju termoelektrana na plin s ulaskom u pogon iza 2010-2020. godine, jer bi u tom slučaju bilo problematično njihovo opskrbljivanje gorivom do kraja životne dobi elektrana (30-40 godina). Ta će se tvrdnja obrazložiti detaljnije u razmatranju koje slijedi.

Ovo razmatranje naravno vrijedi za svjetski prosjek. Neka će područja svijeta kao što je vidljivo iz tablica 11, 12 i 13 prije ostati bez mogućnosti opskrbljivanja plinom, a neka će ga imati znatno duže vremena.

Treba s druge strane napomenuti da, prema mišljenju nekih autora (posebno onih iz naftnih i plinskih tvrtki), postoji vjerojatnost da će otkrivanje novih zaliha još neko vrijeme pratiti njihovo trošenje (što je bio slučaj u proteklih nekoliko desetljeća), te da će stoga vrijeme raspoloživosti energenata moći biti duže od gore navedenog.

Kod plina je pored raspoloživosti od presudnog značaja cijena dobave potrošačima. U cijeni plina je udio cijene transporta vrlo visok (i do 50%), što nije karakteristično za druge energije veće gustoće.

Primjerice, R. Williams iz Shella-a [15] navodi kao ilustraciju rezultate proračuna koji pokazuju 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 su stoga mjerodavni samo izvori plina na lokacijama s kojih bi cijena transporta mogla biti podnošljiva. Ta su nalazišta navedena u tablici 10 [15]:

Tablica 10. Zalihe u nalazištima prirodnog plina koja su dostupna potrošačima u Europi. Količine plina su dane u 10^{12} Nm^3 (TNm^3) (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	Saud. Arabija	5,1
				Katar	4,6
				Irak	3,1
				Kuvajt	1,4
Ukupno	77,9	Ukupno	7,9	Ukupno	36,3

Raspoloživost plina za elektroenergetiku u pojedinim makropodručjima svijeta nije određena samo zalihama, već i mogućom dinamikom vađenja plina te odnosom proizvodnje i sveukupne potražnje plina.

Maire i Bouchard [16] su dali prognozu proizvodnje i

potražnje prirodnog plina po makropodručjima svijeta do 2030.
Razmatrana makropodručja su:

- Afrika
- Srednja i Istočna Europa (uključuje bivši Sovjetski Savez i bivše zemlje istočnog bloka)
- Srednji istok (uključuje sve zemlje Bliskog istoka, Iran i Tursku)
- Srednja Amerika (SAD, Kanada i Meksiko)
- Južna Amerika.
- Zapadni Pacifik i Azija (uključuje Kinu, Japan, Australiju, Novi Zeland, Indiju, Pakistan, Indoneziju, Maleziju i Mongoliju).

Podaci su navedeni u tablicama 11 i 12.

industrijski najrazvijenije zemlje Zapadne Europe, Sjeverne Amerike i Pacifičkog područja. Deficit plina u cijelom razmatranom razdoblju je daleko najveći u Zapadnoj Europi.
Uzmemo li u obzir visoke troškove transporta prirodnog plina kako u plinovitom tako i u tekućem stanju (LNG) vidimo iz tablice 13 da su raspoloživi viškovi plina u Istočnoj Europi (to se u najvećoj mjeri odnosi na Rusiju), u Africi (Alžir, Libija, Nigerija) i djelomično na Srednjem Istoku upućeni na zapadno-europsko tržište. Način opskrbljivanja potrošnje je plinovodima iz Rusije, plinovodima i LNG iz Afrike i LNG iz Srednjeg Istoka. Raspoložive zalihe plina na Srednjem Istoku su djelomično namijenjene i za azijsko tržište.
Kod prognoze budućih izvora opskrbe prirodnim plinom od velikog je strateškog značaja diverzifikacija izvora. U

Tablica 11. Predviđena mogućnost proizvodnje prirodnog plina u razdoblju do 2030. godine (Gm^3)

	1992. (realizirano)	2000.	2010.	2020.	2030.
Afrika	74	140-152	164-211	170-227	170-237
Srednja i Istočna Europa	747	863-1058	1030-1175	1045-1210	1062-1248
Srednji Istok	117	166-193	212-237	237-267	252-283
S. Amerika	646	660-771	675-868	680-885	683-886
J. Amerika	69	90-117	115-156	145-173	150-190
Zap. Europa	196	259-279	205-255	165-206	122-148
Z. Pacifik i Azija	184	258-278	334-395	369-482	404-600
Svijet	**2043**	**2436-2848**	**2735-3275**	**2811-3450**	**2843-3592**

Tablica 12. Predviđena potražnja prirodnog plina u razdoblju do 2030. godine (Gm^3)

	1992. (realizirano)	2000.	2010.	2020.	2030.
Afrika	38	55-53	79-96	96-120	115-142
Srednja i Istočna Europa	715	710-846	764-928	792-983	819-1010
Srednji Istok	107	137-148	161-180	175-199	186-218
S. Amerika	683	710-765	745-879	732-956	702-1018
J. Amerika	60	79-87	104-123	128-153	150-188
Zap. Europa	273	358-390	390-453	401-489	415-519
Z. Pacifik i Azija	169	295-328	369-442	409-502	445-560
Svijet	**2045**	**2334-2627**	**2612-3101**	**2733-3402**	**2832-3655**

Lakše se mogu uočiti deficitarna i suficitarna područja u svijetu u podmirenju potreba za plinom ako se usporede srednje vrijednosti proizvodnje i potražnje za tim energentom prema tablicama 11 i 12. Podaci su dani u tablici 13. Iz tablice 13 slijedi da su deficitarna područja u svijetu

Tablica 13. Deficitarna (-) i suficitarna (+) područja svijeta za opskrbljivanje prirodnim plinom u razdoblju od 2000-2300. godine (Gm^3)

	2000.	2010.	2020.	2030.
Afrika	+87	+100	+90	+75
Srednja i Istočna Europa	+182	+265	+240	+241
Srednji Istok	+38	+54	+65	+65
S. Amerika	-22	-41	-62	-76
J. Amerika	+20	+22	+19	0
Zap. Europa	-105	-191	-260	-332
Z. Pacifik i Azija	-43	-41	-30	0
Svijet	**+162**	**+160**	**+63**	**-26**

zemljama Zapadne Europe se smatra granicom ovisnosti od jednog izvora oko 30% potrošnje plina u zemlji uvoznici. Sumarna prosječna prognoza potrošnje plina u Zapadnoj Europi oko godine 2020. se predviđa na razini od približno 450 milijardi Nm^3 godišnje (tablica 12). Uvoz plina iz jednog suficitarnog izvora (Rusije) bi uz takav stav trebalo ograničiti na oko 150 milijardi Nm^3 godišnje, što je polovica prognoziranog manjka. Preostali dio manjka bi se jedva mogao podmiriti angažiranjem sveg raspoloživog viška plina na Bliskom Istoku i Africi (uz transport plinovima i LNG). Budući da je plin iz tih područja dijelom namijenjen i azijskom tržištu, to bi utrošak tolike količine plina u Zapadnoj Europi mogao postati upitan. Diverzifikacija nije samo strateško nego i ekonomsko pitanje, jer se orijentacijom na pretežno jedan izvor opskrbljivanja gubi mogućnost postizanja konkurentne cijene energenata. Navedena razmišljanja upućuju na zaključak da će u razdoblju od 2020-2030. u Zapadnoj Europi morati iz

strateških i energetskih razloga doći do djelomične preorijentacije na druge energetske izvore. To mogu biti samo ugljen, korišten na ekološki najprihvatljiviji način (izgaranje ugljena u fluidiziranom sloju ili rasplinjavanje uz korištenje plina u plinsko parnom kombiniranom procesu) i/ili nuklearna energija. Preuzete obveze u ograničenju emisija CO_2 mogu dovesti u pitanje povećanje potrošnje ugljena u elektroenergetici, potaknuti revitalizaciju nuklearnih programa i korištenje obnovljivih izvora energije.

Osim u Europi oskudica plina će se već u prvim desetljećima idućeg stoljeća osjetiti i u Sjevernoj Americi. Tamo se očekuju manji manjkovi plina nego u Zapadnoj Europi (tablica 13), ali su zato i potencijalni izvori za uvoz plina ograničeniji. Za očekivati je stoga da će se i u Sjevernoj Americi (to se uglavnom odnosi na SAD) već iza 2000. godine nastati potreba za novim energetskim izvorima u elektroenergetici predvidivo istih ili sličnih karakteristika kao u Zapadnoj Europi.

2.3. Prognoza buduće cijene prirodnog plina

Cijena prirodnog plina ovisi o cijeni plina na bušotini i o cijeni transporta plina do potrošača. Cijene prirodnog plina na bušotini su obično nepoznate, i od malog interesa za elektroprivredu jer se isporuka plina ugovara kod potrošača, dakle uključuje i cijenu transporta te ostale troškove, takse i doprinose.

Cijene plina na bušotini vrlo variraju ovisno o lokaciji, kvaliteti plina (sadržaju polutanata u plinu i načinu dobivanja. DOE [11], navodi za američke uvjete sljedeću projekciju cijena plina na bušotini: za 2010. godinu 2,15-2,43 $\$/10^3$ ft^3, odnosno preračunato (energetski ekvivalent 1ft^3 zemnog plina je oko 1,55 MJ) 1,38-1,56 $/GJ. Za 2015. godinu predviđene su nešto više cijene prirodnog plina na prosječnoj bušotini 1,65-1,73 $/GJ.

Procjene transportnih troškova prirodnog plina je nedavno izradila institucija "Obsevatoire Mediteranee de L'Energie "[17]. Studija pretpostavlja velike transportne količine plina. Više od 25 Gm^3 za transport plinovodom i više od 10 Gm^3 za transport plina u ukapljenom stanju (LNG-Liquid Natural Gas).

Uz navedenu količinu plina kod transporta plinovodom predviđa se cijena od 0,4-0,5 $/1000 km, GJ. Ovoj cijeni transporta plina treba dodati takse i druge namete zemalja kroz koje prolazi plinovod.

Kod transporta plina u ukapljenom stanju u obzir treba uzeti troškove ukapljivanja plina (procijenjeni na 1,2-1,5 $/GJ), troškove ponovnog rasplinjavanja plina (procijenjeni na 0,35-0,45 $/GJ) te troškove transporta ukapljenog plina specijalnim tankerom (te troškove studija daje na razini 0,173 $/GJ +0,204X10-3 $/GJ/nautičkoj milji). Ako uzmemo u obzir da su glavni izvori prirodnog plina za Zapadnu Europu Rusija (plinovod duljine oko 5500 km) i zemlje Perzijskog zaljeva (Iran, Irak, Saudijska Arabija, Katar) za transport ukapljenog plina na udaljenosti od oko 3600 nautičkih milja, cijena transporta plina (ne računajući takse zemalja kroz koje prolaze plinovodi) bi se na temelju danih podataka kretale u granicama 2,5-3,0 $/GJ. Dani podaci ukazuju na činjenicu da kod vrlo velikih udaljenosti, morski transport ukapljenog plina može biti jeftiniji od transporta plina plinovodom. U Americi, se suprotno navedenom, računa s relativno niskim troškovima transporta prirodnog plina do potrošača. EPRI u svojoj analizi [18] navodi da kod cijene transporta plina više od 0,5 $/GJ elektroprivredni potrošači u SAD daju u pogledu cijene proizvodnje električne energije prednost ugljenu.

Cijena gradnje plinske infrastrukture je velika. Tako primjerice 5000-6000 km dugi plinovod (to je udaljenost od Sibira do Zapadne Europe) s popratnim objektima, za transport 25-30 GNm^3 plina godišnje, stoji 10 do 15 milijardi dolara. S druge strane, LNG lanac za transport 10-15 GNm^3 plina godišnje stoji 6-8 milijardi dolara [17].

Prognoze potrošnje plina u Europi su u posljednjih nekoliko godina dramatično porasle. Međunarodna Agencija za energiju (IEA) je 1988. godine procijenila godišnju 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 je bila između 450 i 480 GNm^3, da bi već 1993. godine prognoza za tu godinu bila povišena na 485 do 680 GNm^3 (što je više od količina iskazanih tablicom 12). Uzrok tome treba s jedne strane tražiti u jačanju političkog utjecaja antinuklearnog lobija koji je u više zemalja doveo do privremenog odustajanja od gradnje pa čak i do zatvaranja nekih nuklearnih elektrana, a s druge u jačanju spoznaje o ekološkoj štetnosti termoelektrana na ugljen.

Povećanje potražnje plina imat će u budućnosti direktni utjecaj na njegovu cijenu zbog potreba ulaganja u nove plinovode (iz Sibira, Norveške i Bliskog Istoka), koji dijelom prolaze kroz politički nestabilna područja, te u postrojenja i brodove za transport ukapljenog plina (LNG). Do sada se cijena prirodnog plina vezivala uz cijenu nafte. U perspektivi će, na temelju sadašnjih procjena, rasti mnogo brže od cijene nafte i ugljena. Prema Prioru [15], nije za isporuke prirodnog plina oko 2000. godine realno računati s cijenom plina nižom od 4,5-5,0 $/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 je zasnovan na cijeni plina od 3,5 $/GJ. Uz cijenu plina od 4,5 $/GJ i stupanj učinkovitosti pretvorbe toplinske u električnu energiju 50% cijena samog goriva u termoelektrani na plin bi bila najmanje 3,2 UScenti/kWh (ne računajući troškove lokalnog transporta, uskladištenja i raznih poreza i doprinosa).

3. ZAKLJUČAK

Današnja tehnologija korištenja plina u elektroenergetici je dovela do visoke iskoristivosti pretvorbe toplinske u električnu energiju u kombiniranim plinsko parnim procesima, posebno kada se primjenjuje i kogeneracija. Korištenje plina prate povoljni ekološki i ekonomski pokazatelji pri današnjm cijenama energenata. Sve veće korištenje plina u elektroenergetici naglo je povećalo potražnju za tim energentom, posebno u Zapadnoj Europi i Sjevernoj Americi. U prvim desetljećima idućeg stoljeća mogu se očekivati restrikcije u korištenju plina, kako zbog ograničenih izvoznih mogućnosti zemalja izvoznica i ograničenja u transportu, tako i zbog potrebe za diverzifikacijom energetskih izvora. Nadalje, povećana potražnja plina na tržištu i visoki troškovi prijenosne infrastrukture će vrlo vjerojatno rezultirati povećanjem cijene ovog energenta.

Za očekivati je da će iz navedenih razloga u narednim desetljećima većina razvijenih zemalja paralelno s korištenjem plina poticati uvođenje u elektroenergetiku drugih energetskih izvora (nuklearna energija, napredne tehnologije u korištenju ugljena i obnovljivi energetski izvori):

LITERATURA

[1] B. BECKER, H. FINCKH: "The 3A-Series Gas Turbines Established and New Technologies Combined with Aeroengine Know-how", Siemens Power Journal 2/95.

[2] Prospects for Gas-Fueled Combined-Cycle Power Generation in the Developing Countries, World bank IEN Working Paper #35, May 1991.

[3] H. BOHM: "Gas Turbines-Playing an Ever Greater Role on the Global Power Plant Market," Siemens Power Journal 2/95.

[4] Power Engineering International, Nov/Dec 1996.

[5] H. NIELSEN, J. WARNER: "A Selection Method for Optimum Combined Cycle Design," ABB Review 8/93.

[6] J. PAREN, C. PARIETTI "Combined Cycle Plants Three Pressure Reheat VEGA 109F", GEC Alhstom Technical Review No. 4 1991.

[7] F. BROOKS: "GE Gas Turbine Performance Characteristics", 38th Ge Turbine State-of the Art Seminar, 1994.

[8] T. SHULENBERG: "Key Technologies for Improving Gas Turbine Performance", Siemens Power Journal 2/95.

[9] D. BRANDT: "GE Gas Turbine Design Philosophy", 38th Ge Turbine State-of the Art Seminar, 1994.

[10] D. CHASE: "GE Combined Cycle Product line and Performance," 38th Ge Turbine State-of the Art Seminar, 1994.

[11] DOE/EIA-0383(96), Annual Energy Outlook for 1996 with projection to 2015.

[12] M. PRIOR: "The supply of gas to Europe", Energy Policy, 22, June 1994.

[13] S. BOYLE: "A global fossil free scenario, toward climate stabilization", Energy Policy, 22, February 1994.

[14] World Energy Council 1993: Energy for Tomorrow's World

[15] Framatome, Framemo 1990.

[16] J. MARIE, G. BOUCHARD: "Development Prospects of Natural Gas Worldwide 2000-2030", 16th Congres od world Energy Council Tokyo 1996.

[17] M. HAFNER i dr.: "A New Role of Energy Transport for the Mediteranean", 16th Congres of World Energy Council, Tokyo 1996.

[18] R. SWANEKAMP: "Natural gas - poised to penetrate deeper into electricity generation", Power, January 1995.

TEHCHNICAL, ENERGY AND ECONOMY ASPECTS OF NATURAL GAS USAGE IN ELECTRIC ENERGY SUPPLY

The most recent technologies of natural gas usage in the electric energy production are outlined and the benefit of combined gas-steam processes with natural gas is analysed. The forecast of all energy resource consumption is given as well as the expected need and possibility of natural gas production in some regions of the world. The supply possibilities and the forecast of the future natural gas price are also presented.

TECHNISCHE, ENERGETISCHE UND WIRTSCHAFTLICHE UMSTÀANDE DER NUTZUNG DES ERDGASES IN DER ELEKTROENERGETIK

Vorgezeit wurden die neuesten Erdgas - Nutzungsverfahren in der Erzeugung der elektrischen Energie und die Wirtschaftlichkeit der Gas - Dampf Kombiprozesse ist erörtert worden. Gegeben ist die Vorhersage des Verbrauches aller Energieträger. Sowie die Erwartung des Gasbedarfs und die Aussichten der Gasförderungsmöglichkeit in einzelnen Regionen der Welt. Erörtet wurde auch die Bezugsmöglichkeit des Erdgases und sein künftiger Preis vorhergesagt.

Naslov pisaca:

Prof. dr. sc. Danilo Feretić,
dipl. ing.
mr. sc. Željko Tomšić, dipl. ing.
Fakultet elektrotehnike
i računarstva
Zavod za visoki napon i
energetiku
Unska 3, 10000 Zagreb,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1997-01-08.

MEĐUNARODNE OBVEZE REPUBLIKE HRVATSKE NA PODRUČJU ZAŠTITE OD ZRAČENJA I NUKLEARNE SIGURNOSTI

Mr. sc. Damir Subašić — Petar Strohal, Zagreb

UDK 621.039.58
PREGLEDNI ČLANAK

Daje se sažeti pregled međunarodnih obveza RH, prvenstveno na temelju potpisanih konvencija s MAAE, na području zaštite od zračenja i nekih aspekata nuklearne sigurnosti.

Ključne riječi: zaštita od zračenja, nuklearna sigurnost međunarodne obveze, propisi.

Primjena nuklearnih reaktora u proizvodnji energije kao i sve šira primjena raznih izvora ionizirajućeg zračenja dovela je do potreba međunarodnog reguliranja ovih aktivnosti; posebno sa aspekta zaštite od zračenja i nuklearne sigurnosti. Osnovne standarde i norme izradile su odgovarajuće svjetske stručne organizacije i povremeno ih korigiraju uzimajući u obzir novija znanstvena saznanja. Sve je veći broj podataka o efektima zračenja na čovjeka i njegov okoliš, što rezultira detaljno elaboriranim međunarodnim standardima.

Osnovni standardi za zaštitu od zračenja uspostavljeni su prvi put 1928. godine. Međunarodna Agencija za Atomsku Energiju (IAEA) dobila je mandat da u okviru djelatnosti specificiranih njenim Statutom, uspostavi standarde sigurnosti za zaštitu zdravlja od djelovanja ionizirajućeg zračenja na osnovi konzultacija sa UN i sa odgovarajućim specijaliziranim agencijama. Prvo izdanje takvih međunarodno dogovorenih sigurnosnih standarda obavljeno je 1960. godine; dopune na osnovi novih znanstvenih rezultata uslijedile su 1962., 1967., 1982. i 1994. godine. [1] U najnovijoj verziji sudjelovale su FAO, IAEA, ILO, OECD/NEA, PAHO i WHO. Također su asistirale slijedeće međunarodne stručne organizacije, ICRP, CEC, ICFTU, IRPA, ISO, ISSA, SAGSTRAM, UN Committee on Outer Space, Uranium Institute i World Confederation of Labour. Tako su najnoviji osnovni i sigutnosni standardi za zaštitu od ionizirajućeg zračenja i za sigurnost izvora zračenja postigli najveću moguću suglasnost svih kompetentnih svjetskih stručnih organizacija, foruma i tijela. Do sada je više od 120 zemalja službeno prihvatilo ovaj dokument, među njima i Republika Hrvatska (1994. godine).

Međunarodno dogovoreni standardi nuklearne sigurnosti osnivaju se na ranije citiranim osnovnim standardima zaštite od zračenja. Međunarodne stručne organizacije izradile su niz dokumenata [2-7] kojima se definiraju sigurnosni standardi za nuklearne instalacije. Među tim tehničkim dokumentima posebno bi trebalo izdvojiti Nuklearne sigurnosne standarde, koji su izrađeni od šire grupe najeminentnijih svjetskih stručnjaka za nuklearnu sigurnost u okviru NUSS programa, u okviru djelatnosti Međunarodne Agencije za atomsku energiju (IAEA). Međunaodni stručnjaci izradili su veći broj općim konsensuzom prihvaćenih nižih dokumenata (principi sigurnosti, standardi sigurnosti, upute za provođenje sigurnosti i praktična implementacija sigurnosti): Grupacije zemalja (EU na primjer) i više razvijene zemlje (USA, Kanada, Njemačka, Francuska,...) izradile su nacionalne sandarde i postupke za nukleatrnu sigurnost polazeći upravo od međunarodno prihvaćenih dokumenata. Ostale zemlje također koriste međunarodno prihvaćene dokumente, a mnoge preporuke i sigurnosne standarde uključili su u svoju nacionalnu regulativu.

Nekontrolirana ispuštanja radioaktivnosti iz nuklearnih postrojenja, radiološki incideni, a napose akcidenti čiji su negativni radiološki efekti detektirani i u široj geografskoj regiji uvjetovali su donošenje više međunarodnih dokumenata (konvencija, ugovora ili protokola) kako bi se zemlje-potpisnice obvezale na pridržavanje međunarodno dogovorenih i prihvaćenih mjera sigurnosti.

MEĐUNARODNI ZAHTJEVI KOJI SE ODNOSE NA NACIONALNO REGULIRANJE PRIMJENE ZRAČENJA UKLJUČUJUĆI NUKLEARNA POSTROJENJA

Neadekvatno upravljanje izvorima ionizirajućeg zračenja pridonosi povišenoj absorbiranoj dozi djelatnika, populacije i pacijenata. Postoje evidencije koje ukazuju na štetne efekte zračenja (deterministički i stohastički efekti) ozračenih ljudi. Svjetska staistika ukazuje da je više od 90% svih radijacijskih nezgoda rezultat nepridržavanja propisa i uputa za rad, neadekvatne regulatorne aktivnosti državne administracije (npr. neadekvatno licenciranje ili nestručne inspekcije), odnosno nedovoljno školovani djelatnici koji rade s tim izvorima ionizirajućeg zračenja. Dakle, u svim tim slučajevima uzrok nezgode/ozračivanja leži u neadekvatnoj ili čak nepostojećoj infrastrukturi za sigurno korištenje izvora ionizirajućeg zračenja ili nuklearnih postrojenja, a koju treba osigurati relevantna država uprava-administracija ("competent national authority"). Mnogi radjacijski i nuklearni akcidenti ne uzrokuju samo

lokalne negativne efekte. Vrlo često ti se efekti očituju kao prekogranični, pa je logično da međunarodna stručna i politička tijela i organizacije nastoje uspostaviti međunatrodne standarde sigurnosti i procedure kako bi obvezali zemlje-korisnice da se pridržavaju znanstveno utvrđenih tehničkih i ekoloških standarda.
Broj nuklearnih elektrana koje su izgrađene u svijetu, ili su u fazi izgradnje, dosiže brojku od 440, što odgovara kapazitetu od oko 350.000 MW(e). Izgrađeno je još oko tri stotine istraživačkih reaktora, te petnaestak razvojnih ili komercijalnih postrojenja za preradu ozračenog goriva, stotinjak posrojenja za privremeno ili trajno odlaganje ozračenih reaktorskih gorivih elemenata, te mnogobrojna postrojenja za odlaganje nisko, srednje i visoko aktivnog radioaktivnog otpada. Broj izvora ionizirajućeg zračenja u industrijskim i medicinskim djelatnostima odavno je prešao brojku od jednog milijuna, a taj broj i dalje raste. Međunarodna je procjena da je danas u uporabi oko 50.000 izvora zračenja u industrijskoj radiografiji, oko 700 akceleratra za razne industrijske primjene, te više od 180 velikih (Co-60 ili Cs-137) industrijskih gama iradijatora. U medicinskoj je primjeni još impozantniji broj izvora ionizirajućeg zračenja. Međunarodna je procjena da je danas u svijetu u primjeni oko jedan milijun aparata koji generiraju X-zrake. Nadalje, u primjeni je oko 4000 akceleratora elektrona, oko 120.000 raznih izvora zračenja za svrhe brahiterapije, te oko 3000 teleterapeutskih uređaja.
Opće je poznato, da postoje međunarodno dogovoreni osnovni principi zaštite od zračenja koji ukazuju na granice doza za djelatnike profesionalno izložene ionizirajućem zračenju, te za stanovništvo. Takve granice doza ne propisuju se, međutim, za medicinske aplikacije, ali se decidirano ukazuje na neophodnost "cost-benefit" analize, te na obveznu optimizaciju zaštite pacijenata. Međunarodna zajednica putem svojih specijaliziranih agencija ili stručnih tijela (IAEA, UNSCEAR, ICRP, WHO, FAO, ILO, itd.), kao i publiciranjem osnovnih sigurnosnih principa i standarda koji se odnose na primjenu izvora ionizirajućeg zračenja, usklađuje nacionalne aktivnosti na tom području. Stalno se naglašava, da je zaštita od zračenja jedno interdisciplinarno područje čija primjena ima prekogranične efekte. Principi i standardi zaštite od zračenja kamen su temeljac za problematiku nuklearne sigurnosti, pa su stoga ugrađeni u odgovarajuće sigurnosne standarde, procedure i dizajn nuklearnih izvora, strojeva i instalacija.
Drugim riječima, jedan međunarodno prihvaćen režim zaštite od zračenja reflektira se ne samo u direktnoj primjeni zaštite od zračenja kod instaliranih izvora, nego i u dizajnu industrijski proizvedenih strojeva i/ili izvora koji generiraju ionizirajuće zračenje, zgrada i instalacija u kojima su ovi izvori instalirani, dizajnu i sigurnosnim mjerama u skladištima ili odlagalištima radioaktivnog otpada, te nuklearnim reaktorima.
Dokument kojii dalje elaborira osnovne principe zaštite od zračenja [2], a koji su donijeli iste međunarodne specijaliziane agencije, odnosno, organizacije, daje vrlo direktno tumačenje pravnih - legislativnih okvira uspostavljanja zaštite od zračenja. Doslovce se kaže: ". . . **Vlada je odgovorna za uspostavu legislativnih - pravnih okvira koji određuju odgovornost za zaštitu od zračenja,** te **formira regulatorno tijelo odgovorno za upravnu kontrolu primjena izvora ionizirajućih zračenj, intervencija, te za provedbu regulative. Okvir odgovornosti će osigurati jasnu separaciju regulatorskog tijela od organizacija koje provode ili promoviraju primjenu izvora ionizirajućih zračenja**". To je kamen temeljac svakog učinkovitog sustava za zaštitu od zračenja.
Niz tematskih publikacija koje je međunarodna stručna zajednica objavila u posljednjih nekoliko godina jasno ukazuju kakav se međunarodni značaj daje ovom problemu. Rezultat potreba da se najvažniji postupci i aktivnosti međunarodno reguliraju i impliciraju očituje se u većem broju međunarodnih konvencija, protokola i ugovora.

DJELATNOSTI U REPUBLICI HRVATSKOJ U SVEZI SA IZVORIMA IONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA

Iako u Republici Hrvatskoj sada nema nuklearnih instalacija, Hrvatska je kao suvlasnik NE Krško suodgovorna za nuklearnu sigurnost NEK i za kontrolirana/ovlaštena ispuštanja radioaktivnosti u okoliš. Hrvatska je, međutim, isključivo odgovorna za planiranje i provođenje akcije u slučaju akcidenta u NEK i zbrinjavanja dijela hrvatskog pučanstva koje je zahvaćeno akcidentom, odnosno njegovim posljedicama. Ona je također odgovorna za osiguranje i provođenje sigurnosnih mjera prilikom transporta radioaktivnog materijala i nuklearnog goriva preko njenog teritorija (npr. Rijeka - Bregana/Krško, ili međunarodni transport hrvatskim dijelom Dunava), te za zbrinjavanje (dijela) nisko i srednje radioaktivnog otpada iz NE Krško.
Imajući u vidu razvitak industrije u Hrvatskoj, te tradiciju u medicinskoj primjeni izvora ionizirajućeg zračenja, može se zaključiti da je broj tih izvora zračenja relativno velik. Prema službenim podacima koje je Republika Hrvatska dostavila Međunarodnoj agenciji za atomsku energiju (IAEA), u Hrvatskoj ima oko 400 organiziranih jedinica koje prakticiraju medicinsku dijagnostičku radiografiju i fluoroskopiju (uključujući CT skenere) koristeći oko 950 strojeva. Približan broj djelatnika u tim jedinicama koji su profesionalno izloženi ionizirajućem zračenju kreće se oko 3000. Radioterapeutski izvori ionizirajućeg zračenja nalaze se u 7 organizacija, a ukupni broj tih izvora kreće se oko 40; sa njima radi oko 100 djelatnika. U primjeni je oko 50 uređaja za industrijsku radiografiju, a sa njima radi oko 100 djelatnika. Također postoji 15-ak organizazijskih jedinica gdje se koriste otvoreni izvori ionizirajućeg zračenja (radioobilježivači u znanosti, nuklearnoj medicini, hidrologiji, industriji, itd.); više od stotinu djelatnika uključeno je u rad sa otvorenim izvorima zračenja. U ostalim primjenama raznih izvora ionizirajućih zračenja sudjeluje oko 300 djelatnika. Također postoji i velik broj raznih izvora ionizirajućih zračenja u sklopu raznih predmeta opće potrošnje (javljači požara, signalni uređaji, itd.). Na području Republike Hrvatske postoji još uvijek u uporabi velik broj radioaktivnih gromobrana, koji su instalirani diljem zemlje. Oni su "registrirani" kao predmeti opće potrošnje ("consumer products"), iako im je ukupna radioaktivnost znatno viša nego što to međunarodni standardi dozvoljavaju za predmete opće potrošnje, pa prema tome predstavljaju urgentan problem zaštite od zračenja u Republici Hrvatskoj.
Problem zaštite od zračenja vezan uz sve spomenute izvore ionizirajućeg zračenja vrlo je akutan i zbog pomanjkanja adekvatnih skladišnih odnosno, odlagališnih mogućnosti za radioaktivni otpad koji neizbježno nastaje iz svih ovih aplikacija. Postoje dvije institucije gdje se mogu priv-

remeno čuvati - skladištiti stari "iskorišteni" izvori ionizirajućih zračenja, ali niti jedna lokacija nije adekvatna. Oba skladišta su bila primarno namijenjena samo za vlastite institutske potrebe, a kasnije su adaptirana i za prihvat ograničenih količina starih radioaktivnih izvora drugih korisnika. Zbog toga se mogu prihvatiti samo kao privremeno i nužno rješenje.

MOGUĆE NEGATIVNE POSLJEDICE

Evidencija zapaženih slučajeva pokazuje da su globalno najčešći slučajevi prekomjernog ozračivanja djelatnika koji rade s industrijskim radiografskim izvorima, djelatnika (medicinsko i paramedicinsko osoblje) u odjelima brahiterapije, te operatora (tehničara) mašina koje generiraju X-zrake. Svi ostali slučajevi prekomjernih doza zračenja manje-više su slučajni i statistički su raspodijeljeni približno homogeno po preostalim aktivnostima koje uključuju rad s izvorima ionizirajućih zračenja.

Neadekvatna kontrola izvora ionizirajućih zračenja dovodi do stanja kada takvi izvori postaju dostupni nekompetentnim osobama, a česta posljedica je zloupotreba radioaktivnog izvora ili neprimjerene aktivnosti iz neznanja ili nehata koje mogu uzrokovati ozračivanje ili radiokontaminaciju većeg broja ljudi. Tipičan slučaj je akcident koji s dogodio u Brazilu 1987. godine, kada je jedan radioterapeutski izvor Cs-137 uzrokovao ozračenje većeg broja stanovnika Goianie, radiokontaminaciju dijela tog milijunskog grada, smrt nekoliko stanovnika, te radijacijska oboljenja većeg broja građana. A materijalna šteta je bila procijenjena na nekoliko stotina milijuna dolara. Nacionalne i međunarodne ekspertne komisije jasno su utvrdile da je uzrok ovog radijacijskog akcidenta neadekvatna organiziranost državnih tijela uprave i nepotpuna nacionalna infrastruktura koja bi osigurala zaštitu od zračenja prema međunarodno usklađenim kriterijima.

Drugi tipičan slučaj negativnih posljedica nastalih zbog neadekvatne državne infrastrukture za zaštitnu od zračenja jesu akcidenti koji su se dogodili u Indiji i u Meksiku, a koji su imali šire međunarodne posljedice. Tamo su, naime, stari radioterapeutski izvori (Co-60) bili potpuno izvan kontrole državnih upravnih tijela, te su nakon uporabe (ali još uvijek sa visokom radioaktivnosti) odbačeni u otpad. Iz tog otpada završili su kao staro željezo u industriji željeza. Proizvedene željezne šipke bile su korištene za proizvodnju namještaja, pa tako "distribuirane" diljem cijele države, i čak i eksportirane. Tako je neadekvatna državna infrastruktura na području zaštite od ionizirajućeg zračenja dobila širi međunarodni značaj.

Opisani slučajevi nametnuli su potrebu da se i međunarodnim akcijama regulira odgovornost države u takvim slučajevima. Situacija je nedvojbeno ukazala da je pitanje zaštite od zračenja međunarodnog karaktera, te da mnoge stvari treba regulirati međunarodnim konvencijama, sporazumima, ugovorima i međunarodno prihvaćenim osnovnim sigurnosnim standardima.

MEĐUNARODNE OBVEZE HRVATSKE: POSTOJEĆE I BUDUĆE

Uspostavom međunarodno priznate Republike Hrvatske aktualizirano je bilo i pitanje međunarodnih obveza na raznim sektorima. Neke obveze bivše države Republika Hrvatska je automatski preuzela u okviru koji je relevantan za našu državu. Međutim, bilo je potrebno definirati i prihvatiti i niz novih obveza koje je tražila međunarodna zajednica ili za koje je naša Vlada smatrala da njihovim prihvaćanjem osiguravamo i olakšavamo pristup Republike Hrvatske u širok spektar za nas interesantnih, pa i neophodnih, međunarodnih aktivnosti, programa i projekata. U mnogo slučajeva, bez prethodno prihvaćenih međunarodnih obveza ne bi nam bio otvoren put međunarodne suradnje.

Međunarodne obveze mogu biti formalnog ili neformalnog karaktera. Formalne obveze najčešće proizlaze iz potpisanih međunarodnih konvencija, sporazuma, protokola, ugovora i sl. Kao ilustracija formalne i bitne razine obveznosti treba smo spomenuti da odluke o prihvaćanju međunarodnih konvencija i sličnih akata (ratifikacija) donosi Sabor Republike Hrvatske. Neformalne međunarodne obveze podrazumijevaju prihvaćanje međunarodno utvrđenih kodeksa ponašanja u provođenju ili kontroli raznih aktivnosti i najčešće su vezani uz rad i djelovanje raznih stručnih međunarodnih udruženja ili foruma. Takva udruženja ili forumi imaju najčešće globalni ili regionalni karakter. Kao primjere možemo navesti Međunarodni komisiju za zaštitju od zračenja (ICRP), Europsko nuklearno društvo (ENS), Međunarodno udruženje za zaštitu od zračenja (IRPA), itd. Članstvo i aktivna participacija u aktivnostima iz djelatnosti navedene grupacije udruženja ili foruma zahtijeva i primjenu njihovih standardnih postupaka i stručne politike, što nam omogućuje uključivanje u širok spektar međunarodnih aktivnosti i projekata tehničke pomoći.

Sve ovo ukazuje da su za Republike Hrvatsku od osobitog značaja oba navedena modela prihvaćanja međunarodnih standarda, postupaka, i obveza, jer bi se u protivnom mogli naći u međunarodnoj izoliranosti na čitavom nizu općenito važnih i razvojnih područja. Ovo je osobito važno za područje sigurnog korištenja ionizirajućeg zračenja, jer je primjena ionizirajućeg zračenja esencijalni faktor u razvoju mnogih znanstvenih, industrijskih, medicinskih, ekoloških, poljoprivrednih i drugih programa i aktivnosti.

Postojeće međunarodne obveze

(a) Statut IAEA

Aktom kandidiranja - zahtijevanja Republike Hrvaske, te činom izbora 1991. godine u punopravno članstvo IAEA Vlada Republike Hrvatske je prihvatila Statut IAEA i konzekventno, sve obveze koje proizlaze iz članstva kako je to formulirano u Statutu. Između ostalog Statut traži da se na sve Agencijske projekte ili projekte za koje IAEA daje tehničku pomoć primjenjuju IAEA osnovni sigurnosni standardi za zaštitu od zračenja. Dosadašnja tumačenja pravne službe IAEA, dana nekim drugim zemljama članicama, utvrđuje da se IAEA tehnička pomoć, dana zemlji članici za određeni projekt, odnosi na cjelokupno područje/tematiku, to jest sektor koji projekt obrađuje. Hrvatska je do sada primala tehničku pomoć od IAEA za slijedeća područja: organizaciju nacionalne infrastrukture uključujući regulativu i regulatornu organiziranost na području zaštite od zračenja, osobnu dozimetriju, monitoring okoliša, aktivnosti u svezi sa mjerama zaštite od zračenja raznih izvora zračenja, nuklearnu sigurnost, primjenu ionizirajućeg zračenja u medicini i industriji, zaštita od zra-

čenja u akcdentalnim situacijama, radioaktivni otpad, nuklearne analitičke metode i školovanje određenih kadrova iz područja zaštite od zračenja, nuklearne sigurnosti i upravljanje radioaktivnim otpadom. To praktički znači da bi Hrvatska, zbog dosada primljene tehničike pomoći IAEA (od 1991. godine primili smo tehničku pomoć u iznosu većem od milijun US dolara) kao i one očekivane u budućnosti, trebala primjenjivati IAEA osnovne sigurnosne standarde za zaštitu od zračenja i nuklearnu sigurnost u svim gore navedenim područjima. Naravno, to bi trebalo biti adekvatno formulirano u nacionalnoj regulativi. Postojeća situacija u vezi organizacije zaštite od ionizirajućeg zračenja u Republici Hrvatskoj ne zadovoljava sve prethodno navedene preuzete međunarodne obveze. Niti pitanje nuklearne sigurnosti nije adekvatno usklađeno sa preuzetim međunarodnim obvezama, posebno na području organiziranosti djelovanja u slučaju nuklearne nezgode/akcidenta u NE Krško ili NE Pakš.

(b) Sporazum između Republike Hrvatske i IAEA o primjeni garancija u svezi s Ugovorom o neširenju nuklearnog naoružanja [8]

Republika Hrvatska potpisala je 9. lipnja 1994. godine gore navedeni Sporazum kao logičan korak poslije pristupanja Republike Hrvatske Ugovoru o neširenju nuklearnog oružja. Obveze u svezi neširenja nuklearnog oružja Republike Hrvatske je peuzela od bivše države - SFR Jugoslavije. Jugoslavija je donijela Zakon o Ratifikaciji Ugovora o neširenju nuklearnog oružja (Narodne Novine 5. 3. 1970.), a Republika Hrvatska je svoje preuzete obveze definirala Zakonom o potvrđivanju Sporazuma između Republike Hrvatske i IAEA o primjeni garancija u svezi s Ugovorom o neširenju nuklearnog oružja i Protokola uz Sporazum (Narodne Novine 23. 12. 1994.). Ovim sporazumima Republike Hrvatska se obvezuje da će staviti pod IAEA kontrolu sve instalacije koje mogu poslužiti za proizvodnju fisibilnog materijala, koje su klasificirane kao osjetljive komponente ili tehnologija nuklearnog gorivog ciklusa, te sav nuklearni materijal (obogaćeni uran, plutonij, ozračeni gorivi elementi) koji ulazi u kategoriju fisibilnih materijala. Iako je Republika Hrvatska suvlasnik NE Krško, ove se odredbe direktno ne odnose na obveze hrvatske vlade budući da je NE Krško locirana izvan teritorija Republike Hrvatske, pa formalno-pravno za NE Krško odgovara vlada Republike Slovenije.
Spomenuti Sporazum odnosi se međutim na sve eventualne transporte gore navedenih materijala preko teritorija Republike Hrvatske. Isto tako Republika Hrvatska bila bi odgovorna prema ovom Sporazumu ukoliko bi eventualno došlo do uskladištenja ili do dolaganja istrošenih gorivih elemenata iz NE Krško na teritoriju Republike Hrvatske. Može se utvrditi da Republika Hrvatska ispunjava svoje obveze definirane ovim Sporazumom.

(c) Konvencija o ranom obavještavanju o nuklearnim nesrećama [9]

Nesreća u nuklearnom postrojenju Černobil ukazala je na neophodnost brzog obavještavanja drugih zemalja u regiji o nuklearnoj nezgodi kako bi se eventualne pripreme za djelovanje kao i zaštitu stanovništva od zračenja mogle na vrijeme sprovesti. Uzimajući u obzir prekogranične radiološke efekte takvih nezgoda, međunarodna je zajednica ovom konvencijom željela obvezati zemlje-članice u kojima se dogodi nuklearna ili radiološka nesreća da odmah obavijeste i druge države. Generalna skupština IAEA usvojila je ovu konvenciju 26. rujna 1986. godine.
Konvenciju je 1986. godine potpisala SFR Jugoslavija, a Republika Hrvatska je 28. rujna 1992. godine službeno obavijestila IAEA da je efektivno od 8. listopada 1991. godine preuzela svoje obveze koje proizlaze iz Konvencije, te da se smatra potpisanikom Konvencije.
Republika Hrvatska je do sada udovoljavala formalnim zahtjevima Konvencije, budući da na njenom teritoriju nije bilo radiološke opasnosti kako je to definirano člankom 1 Konvencije. Međutim, smatramo da nisu optimalno obavljene aktivnosti definirane člankom 9 kojim se preporuča zemljama potpisnicama da zaključe bilateralne ili multilateralne ugovore sa susjednim/regionalnim državama u svezi s predmetom ove konvencije. Dok je Hrvatska to učinila sa Republikom Slovenijom do sada ništa nije realizirano na potpisanju takvog ugovora sa susjednom Mađarskom imajući u vidu moguće negativne radiološke efekte eventualne nezgode u bateriji nuklearnih elektrana Pakš (oko 20 km uzvodno Dunavom od hrvatske granice) na hrvatsko podunavlje, istočnu Slavoniju, pa i istočnu Podravinu.
Smatramo da organiziranost u Republici Hrvatskoj u svezi ove cjelokupne problematike nije na zadovoljavajućem nivou. Dijelom je to zbog "rascjepkanosti" odgovornosti na veći broj državnih tijela, a dijelom zbog nedovoljne stručne kompetentnosti odgovornih u tim tijelima. Problemi nuklearnih i radijacijskih akcidenata ne mogu se izdvojiti od državnog organa kompetentnog za poslove zaštite od zračenja. Negativna iskustva sa nekoliko većih nuklearnih ili radioloških nezgoda (Černobil, Goiania, Tomsk, . . .) to najbolje ilustriraju. Potrebno je još naglasiti da Republika nema izgrađen "Contingency Plan" niti organiziranu infrastrukturu koja može efikasno i trenutno reagirati u slučaju da naša nacionalna kontaktna služba bude obaviještena o eventualnoj nezgodi u jednoj od susjednih ili regionalnih zemalja. Da i ne govorimo što bi se desilo mda nam takva obavijest stigne noću, za vrijeme vikenda ili blagdana. Zato se ovaj problem ne može rješavati odvojeno od stvaranja nacionalne infrastrukture za zaštitu od zračenja.

(d) Konvencija o pomoći u slučaju nuklearnog akcidenta ili radiloške opasnosti [10]

Istovremeno, 26. rujna 1986. godine, sa donošenjem Konvencije o ranom obavještavanju o nuklearnim nesrećama Generalna skupština IAEA donijela je i ovu Konvenciju imajući prvenstveno u vidu potrebe malih ili nuklearno manje razvijenih zemalja koje često nisu u mogućnosti da zbrinu ozračeno ljudstvo, dekontaminiraju zagađene prostore i nađu promptna tehnička rješenja za štete na postrojenjima, naseljima ili u okolišu.
Konvenciju je 1986. godine potpisala SFR Jugoslavija, a Republika Hrvatska je 28. rujna 1992. godine službeno obavijestila IAEA da je efektivno od 8. listopada 1991. godine preuzela svoje obveze koje proizlaze iz Konvencije, te da se smatra potpisanikom Konvencije.
U okviru ove Konvencije Republika Hrvatska obavijestila je IAEA da u KBC-Rebro, Zagreb, postoji odjel gdje se mogu medicinski tretirati ozračene i kontaminirane (unutarnja i vanjska radiokontaminacija) osobe. Za najteža ozračenja moguće je obaviti složene zahvate transplantacija

koštane srži kao i druge medicinske zahvate. KBC je predviđen da u slučaju nuklearne nezgode u NE Krško zbrine ozračene osobe.
Iako u Republici Hrvatskoj postoje izvanredno organizirana medicinska služba za tretman ozračenih i radiokontaminiranih osoba, deficitarni smo u organizaciji traženja eventualnih drugih oblika pomoći (radiokontaminacija tla i urbanih površina, specifična oprema i/ili mehanizacija za raščišćavanje mjesta nezgode, hitna organizacija eventualnih dolazaka međunarodnih stručnjaka, itd.).
Bez objedinjenog i vrlo stručnog tijela za zaštitu od zračenja i nuklearnu sigurnost administracija niti u jednoj zemlji nije udovoljila rigoroznim zahtjevima akcija propisanih za radiološke nezgode.

e) Konvencija o fizičkoj zaštiti nuklearnog materijala [11]

Svrha je ove Konvencije da se međunarodno osigura zloupotreba ili krađa nuklearnog materijala koji je obuhvaćen posebnim režimom čuvanja. To se prvenstveno odnosi na fisibilni materijal te na međunarodni transport i svaku drugu operaciju sa takvim materijalom.
Ova Konvencija se odnosi samo na nuklearni materijal koji je namijenjen za mirnodopske aktivnosti, pa fisibilni materijali iz vojnog nuklearnog programa nisu uključeni.
Generalna konferencija IAEA donijela je ovu Konvenciju 1979. godine i potpisalo ju je sedamdesetak zemalja, među njima i SFRJ Jugoslavija donijevši 1985. godine (S.L. 26. 7. 1985) Ukaz o proglašenju Zakona o ratifikaciji Konvencije o fizičkoj zaštiti nuklearnog materijala.
Republika Hrvatska obavijestila je 29. rujna 1992. godine IAEA da je preuzela svoj dio odgovornosti koji proizlazi iz ove Konvencije, te da se kao jedna od nasljednica SFR Jugoslavije smatra potpisnicom Konvencije. Do sada je Hrvatska uspješno izvršavala svoje obveze (transport materijala preko hrvatskog teritorija za NE Krško). Implementaciju Konvencije na teritoriju Republike Hrvatske uspješno je obavilo Ministarstvo unutrašnjih poslova u suradnji sa Elektroprivredom Hrvatske.

f) Ugovor o privilegijama i imunitetu Agencije

Ovaj Ugovor je standardni i uobičajeni međunarodni dokument kojim zemlje članice garantiraju UN specijaliziranim agencijama dogovorene privilegije i imunitet njihovih djelatnika kada rade u zemlji članici na programima UN, odnosno specijaliziranih agencija. U slučaju Republike Hrvatske to se pretežno odnosilo na stručne misije koje je organizirala IAEA, na posjete djelatnika/funkcionara IAEA Hrvatskoj, na sudionike znanstvenih skupova (konferencije, seminari) ili na stipendiste IAEA koji su svoju specijalizaciju ili praksu obavljali u hrvatskim institucijama. U ovaj Ugovor također su uključeni i tehničari koji po projektima IAEA dolaze u Hrvatsku instalirati ili servisirati instrumentaciju.
Hrvatska je do sada uspješno izvršavala sve svoje obveze.
Nosilac ove aktivnosti je Ministarstvo vanjskih poslova.

g) Bečka konvencija o civilnoj odgovornosti za nuklearne štete [13]

Bečka konvencija o civilnoj odgovornosti za nuklearne štete uspostavljena je 1963. godine sa svrhom da se regulira odgovornost i principi odštete za eventualno nanesene nuklearne i radijacijske štete. Pod pokroviteljstvom IAEA ovu je Konvenciju ustanovio veći broj zemalja članica kako bi bili zaštićeni njihovi interesi. Naime, tri godine ranije, 1960. godine, bila je ustanovljena jedna druga Konvencija o civilnoj odgovornosti za nuklearne štete (tzv. Pariška konvencija). Nju su pripremile zapadnoeuropske zemlje pod pokroviteljstvom OECD/NEA kako bi zaštitile svoje interese.
Bečka konvencija imala je, međutim, globalni karakter. SFR Jugoslavija pristupila je Bečkoj konvenciji, a Republika Hrvatska je 1992. godine kao jedna od nasljednica SFR Jugoslavije preuzela svoj dio odgovornosti i prihvatila Konvenciju. U slučaju Republike Hrvatske nije došlo do stvarne implementacije ove Konvencije, jer je u međuvremenu međunarodna zajednica predložila fuziju Bečke i Pariške konvencije.

h) Zajednički protokol koji se odnosi na primjenu Bečke i Pariške konvencije [14]

Pod pokroviteljstvom IAEA i OECD/NEA došlo je do fuzije ovih dviju Konvencija, pa je izrađen zajednički protokol, koji je stupio na snagu 1992. godine. Republika Hrvatska jedna je od potpisnica tog protokola, pa se svi protokolom regulirani postupci odnose i na Hrvatsku. Do sada nije bilo posebnih aktivnosti u svezi sa ovom Konvencijom, odnosno zajedničkim protokolom. U Hrvatskoj je formirana manja neformalna stručna ekipa koja prati aktivnosti u svezi ovih međunarodnih dokumenata.

i) Konvencija o nuklearnoj sigurnosti [15]

Svrha je ove Konvencije da se osigura visoki nivo nuklearne sigurnosti u svijetu na osnovi mjera koje će poduzeti i provoditi zemlje potpisnice uz svesrdnu međunarodnu pomoć. Nadalje, Konvencija ima cilj da se ustanove efektivne mjere u nuklearnim instalacijama (prvenstveno nuklearnim reaktorima) za smanjenje potencijalnih radioloških opasnosti, posebno u svrhu zaštite pojedinaca, društva i čovjekova okoliša od štetnih efekata ionizirajućeg zračenja iz nuklearnih instalacija. Konvencija o nuklearnoj sigurnosti, osim što govori o međunarodnim obvezama zemalja nuklearnoj sigurnosti, osim što govori o međunarodnim obvezama nuklearne i radiološke sigurnosti, kao i potrebu njihove povezanosti sa nacionalnom regulativom, managementom i tehničkim aspektima nuklearne i radiološke sigurnosti. Nadalje, Konvencija ima svrhu da se propisanim mjerama nuklearne i radiološke sigurnosti spriječe akcidenti koji mogu rezultirati radiološkim posljedicama.
Konvencija uključuje i aktivnosti koje se odnose na skladištenje, upravljanje i tretman radioaktivnog otpada. Konvencija obvezuje zemlje potpisnice - između ostalog - na postojanje neophodne regulative, uspostavu regulatornog tijela propisivanje stručne kvalifikacije potrebne za obavljanje pojedinih funkcija, kontrolu kvalitete, obvezne procedure koje se odnose na zaštitu od zračenja, pripreme za eventualni akcident, itd.
Među ostalim Konvencija decidirano propisuje (članak 8.2) da je svaka zemlja potpisnica odgovorna da poduzme odgovarajuće mjere kako bi se osiguralo efektivnu separaciju između funkcija regulatornog organa i drugih tijela ili organizacija koje promoviraju ili koriste nuklearnu energiju. Što se tiče zaštite od zračenja Konvencija traži da se poduzmu odgovarajuće mjere da u svim dijelovima nuklearnih postrojenja radijacijska ekspozicija radnika i stanovništva bude održavana tako nisko koliko je to razum-

no moguće (ALARA princip), te da niti jedna pojedinac ne bude ozračen iznad granične doze propisane nacionalnom regulativom. Posebno su strogi zahtjevi za neophodne pripreme za slučaj akcidenta (emergency preparadness) na lokaciji i izvan lokacije nuklearnog postrojenja.
Obveze Republike Hrvatske baziraju se na pristupanju Konvenciji što je i regulirano "Zakonom o potvrđivanju Konvencije o nuklearnoj sigurnosti" (N.N. 29. 12. 1995.).
Ministarstvo gospodarstva Republike Hrvatske administrativno je odgovorno za provedbu ove Konvencije, ali bi bilo neophodno ustanoviti savjetodavno stručno tijelo za nuklearnu sigurnost koje bi utvrđivalo stručnu politiku i usmjeravalo odgovarajuću državnu administraciju.
Konvencija također traži da se periodički održavaju sastanci predstavnika zemalja-potpisnica na kojima bi se podnijeli službeni pisani izvještaji o akcijama poduzetim u svezi implementacije Konvencije.
Do sada nije definiramo koji će stručni forum u Republici Hrvatskoj pratiti provođenje Konvencije, osigurati tehničku i materijalnu bazu za izvršenje naših obveza te podnositi izvještaje o poduzetim stručnim i organizacijskim aktivnostima. Zbog toga je potrebno što prije oformiti u Republici Hrvatskoj stručno savjetodavno tijelo za nuklearnu sigurnost

j) Revidirani principi i opća pravila u rukovođenju dodjele tehničke pomoći Agencije [16]

Ovaj međunarodni dokument izrađen je 1979. godine, prihvaćen od strane zemalja-članica IAEA, predstavlja dalju specifikaciju primjene Statuta IAEA, odnosno obveza zemalja-članica.
Između ostalog, ovaj dokument predviđa da zemlja članica koja prima tehničku pomoć IAEA prihvaća kontrolu u skladu sa Ugovorom o neširenju nuklearnog oružja, te da se primjenjuju IAEA osnovnoj sigurnosti standardi za zaštitu od zračenja na sve projekte za koje IAEA pruža tehničku pomoć.
Koordinaciju tehničke pomoći IAEA našoj državi obavlja Ministarstvo gospodarstva, dok je regulativa koja se odnosi na standarde zaštite od zračenja u okviru ovlasti Ministarstva zdravstva. Za sada Republika Hrvatska ne udovoljava u potpunosti zahtjevu za primjenu IAEA standarda koji se odnose na zaštitu od zračenja. Osim toga Republika Hrvatska još uvijek nije potpisala Dodatni sporazum o tehničkoj suradnji s Agencijom, što ima za posljedicu prema obvezama koje proizlaze iz dokumenta IAEA-INFCIRC-267 da realizacija projekata tehničke pomoći neće biti moguća.

k) INIS- "Međunarodni nuklearni informacijski sistem"

INIS je uspostavljen u okviru IAEA kako bi se omogućio protok stručnih podataka sa područja primjene ionizirajućeg zračenja u miroljubive svrhe kao i podataka sa područja zaštite od zračenja i nuklearne sigurnosti. Zemlje članice imaju besplatan pristup svim tim podacima uz obvezu da redovito INIS-u dostavljaju svoje nacionalne podatke sa navedenih područja.
Središnja koordinaciona jedinica INIS-a za Republiku Hrvatsku nalazi se u Ministarstvu gospodarstva. Iako su velike realne mogućnosti korištenja podataka INIS-a, možemo nažalost konstatirati da su hrvatske znanstvene, stručne i državno-administrativne institucije vrlo malo koristile usluge INIS-a (dosadašnji korisnici bili su KBC Rebro i Elektrotehnički fakultet). Što se tiče obveze Republike Hrvatske da dostavlja svoje podatke INIS-a, može se ustvrditi da je do sada ova obveza samo djelomično ispunjena. I najveće hrvatske znanstvene institucije nisu dostavile svoje podatke o publiciranim radovima u proteklom razdoblju, iako bi to - uz ostale prednosti - znatno pridonijelo reputaciji Hrvatske na međunarodnom znanstvenom i tehničkom nivou.

l) "Konvencija o sprečavanju zagađenja mora potapanjem otpada i drugih tvari" [17]

Konvencija je donijeta 1972. godine, a često se citira kao London Dumping Convention (Londonska konvencija o potapanju). Konvencija definira uvjete pod kojima se eventualno može obaviti potapanje otpada u more, i daje listu materijala/otpada čije potapanje u more je zabranjeno (Aneks I.) i listu materijala/otpada (Aneks II.) koji se može potapati isključivo pod određenim definiranim uvjetima (Aneks III.). Prema toj Konvenciji zabranjuje se potapanje radioaktivnog otpada visoke aktivnosti sukladno karakteristikama kako ih definira IAEA.
SFR Jugoslavija potpisala je i ratificirala ovu Konvenciju, a Republika Hrvatska je preuzela obveze koje se eventualno odnose na našu državu. Budući da najmanja dubina dopustiva za potapanje iznosi 4000 metara, to je cjelokupno Jadransko more definirano kao područje gdje je zabranjeno potapanje otpada. Interes Republike Hrvatske u svezi implementacije ove Konvencije prvenstveno je usmjeren da se spriječi da neka druga zemlja izvrši potapanje (radioaktivnog) otpada u Jadran.

m) "Konvencija o zaštiti Mediterana od zagađivanja" [18]

Ova je Konvencija ustanovljena 1976. godine i odnosi se na opće zagađivanje Mediterana. Konvenciju je potpisala i ratificirala SFR Jugoslavija, a republika Hrvatska je 1992. godine preuzela svoj dio aktivnosti i obveza koje se odnose na zahtjeve Konvencije. Konvencija o zaštiti Mediterana od zagađenja razrađena je s obzirom na tehničke probleme u nekoliko protokola, koje je također prihvatila SFR Jugoslavija, a pruzela Republika Hrvatska 1992. i 1993. godine. Neki od tih protokola direktno su vezani na probleme zaštite od zračenja, odnosno odlaganja radioaktivnog otpada. Posebno su od interesa sljedeći Protokoli:

- Protokol o zaštiti Mediterana od zagađivanja iz kontaminiranih izvora
- Protokol o zaštiti Mediterana od zagađivanja putem potapanja iz brodova i aviona.

Protokol o zaštiti od zagađivanja iz kontinentalnih izvora prvenstveno se odnosi na eventualna ispuštanja zagađivača sa obalnih instalacija ili putem rijeka koje utječu u Mediteran ili podzemnim vodama. Među zagađivačima koje obuhvaća ovaj Protokol nalaze se i radioaktivne supstance. Članak 5. ovog Protokola utvrđuje da zemlje-potpisnice Protokola trebaju izraditi program i mjere koje će provoditi u svrhu ispunjenja preuzetih obveza, dok je u Aneksu A taksativno navedeno (točka 9.) na koje radioaktivne supstance se Protokolo odnosi. Točka 9. definira radioaktivne supstance, uključujući njihov otpad, i direktno ih povezuje sa principima zaštite od zračenja kako su definirani od kompetentnih međunarodnih organizacija.

Protokol o zaštiti Mediterana od zagađivanja putem potapanja iz brodova i aviona također uključuje radioaktivne supstance. Članak 4. i Aneks A (točka 6.) definiraju radioaktivne supstance na koje se odnosi ovaj Protokol kao "visoko, srednje i nisko radioaktivni otpad ili drugi visoko, srednje ili nisko radioaktivne tvari kako su definirane od Međunarodne Agencije za Atomsku Energiju.
Republika Hrvatska do sada nije imala problema sa primjenom ove Konvencije i odgovarajućih Protokola u odnosu na zahtjeve zaštite od zračenja. Ostaje, međutim, da se definira cjelokupan nacionalni monitoring program kontrole radioaktivnosti u okolini čiji bi integralni dio bio i program mjerenja prema zahtjevima ove Konvencije.

n) Dogovor između IAEA i Ministarstva gospodarstva Republike Hrvatske o suradnji na području zaštite od zračenja, sigurnosti i radioaktivnog otpada u odnosu na tehničku pomoć Međunarodne Agencije za Atomsku Energiju [19]

Izvorni dokument (Memorandum of Understanding between the International Atomic Energy Agency and the Ministry of Economy of Croatia represented by the APO-Hazardous Waste Management Agency concerning co-operation with respects to radiation protection, safety and waste management in connenction with the Technical Co-operation activities of the International Atomic Energy Agency) prema definiciji u članku 1. obuhvaća aktivnosti koje se odnose na razvoj projekta tehničke pomoći, zatim na organizaciju, management i administraciju u provođenju IAEA projekta tehničke pomoći, te egzekuciju drugih projekata tehničke pomoći. Ovaj međunarodni dokument ima i širi politički značaj jer njime IAEA delegira da Hrvatska organizira stručnu pomoć (eksperti, školovanje kadrova, izrada nacionalne infrastrukture) u drugim zemljama-članicama prvenstveno naše geografske regije (kao npr. Albanija, Makedonija, Bosna i Hercegovina), što jasno ukazuje da smo na tim područjima na višem nivou od drugih zemalja regije u koju nas međunarodna zajednica nastoji ugurati.
Implementacija ovog dogovora je u tijeku, a troškove snosi IAEA. U koordinaciji APO-a nekoliko hrvatskih sručnjaka boravilo je u navedenim zemljama, a u pripremi je organizacija školovanja kadrova i pomoć u izgradnji dijelova nacionalne strukture iz područja zaštite od zračenja i radioaktivnog otpada.

o) Ugovor o udruživanju sredstava radi zajedničke izgradnje i zajedničke eksploatacije Nuklearne elektrane Krško [20]

Ovaj Ugovor sačinjen je u doba kad su Hrvatska i Slovenija bile u okviru SFRJ, ali je njihovim osamostaljenjem poprimio karakter međudržavnog ugovora. Posebno je značajan Aneks Ugovoru koji je zaključen 1982. godine, a kojim je - uz ostalo - regulirana (i) zajednička izgradnja i financiranje u istom razmjeru uz zajednički rizik, (i) ista prava i rizik (50:50) u korištenju elektrane, te (i) zajedničko odlučivanje o strateškim pitanjima korištenja elektrane.
U okviru ovih osnovnih dokumenata, kao i važećih regulativnih mjera, postoje obveze oba suvlasnika u svezi primjene mjera zaštite od zračenja i nuklearne sigurnosti. Obje strane sudjelovale su u pripremama izrade sigurnosnih izvještaja za Nuklearnu elektranu i njen utjecaj na okoliš. Hrvatska obavlja redoviti monitoring radioaktivnosti na dijelu svog teritorija koji može biti pod utjecajem određenih radioloških akcidenata u nuklearki. Nije još uvijek, međutim, organiziran plan akcija u slučaju većeg akcidenta u NEK. Potrebno je također spomenuti da će prema dogovoru sa Slovenijom brigu oko smještaja nisko i srednje aktivnog radioaktivnog otpada, proizvedenog u NEK preuzeti Hrvatska. U tom smislu Republici Hrvatskoj je u tijeku program odabira lokacije za takovo odlagalište.
Provedbu sporazuma u svezi NE Krško prate Hrvatska elektroprivreda i Ministarstvo gospodarstva.

p) Ostalo

Osim gore navedenih međunarodnih dokumenata postoji još nekolicina onih koji su sklopljeni bilateralno (npr. sa nekim susjednim zemljama, sa prekomorskim zemljama, itd.) ili su dio međunarodnih projekata koje Republika Hrvatska ili neke njene ovlaštene institucije imaju sa međunarodnim organizacijama, specijaliziranim organizacijama, znanstvenim institucijama, itd.

Potencijalne (nove) međunarodne obveze

Republika Hrvatska kao čimbenik u međunarodnim aktivnostima na području zaštite od zračenja, nuklearne sigurnosti i radioaktivnog otpada ne može mimoići mnoge međunarodne aktivnosti na tim područjima. Slijedom i podrške državne vanjske politike te se aktivnosti-obveze revidiraju i proširuju, pa većinu od njih možemo stoga pravodobno predvidjeti.
U ovom trenutku svakako najznačajnije aktivnosti nas očekuju u usklađivanju naše regulative, standarda i procedura sa sustavom koji postoji i u Europskoj Uniji. To će biti opsežan i dugotrajan posao, kojim možemo osigurati suradnju Republike Hrvatske sa Europskom Unijom na svim sektorima mirnodopske primjene ionizirajućeg zračenja, što je od vitalng interesa za razvoj određenih područja u industriji (nedestruktivna analiza, razni mjerači, sterilizacija), medicini (radioterapija, nuklearna medicina, dijagnostička radiologija), poljoprivredi (sterilizacija, treserske tehnike, itd.), hidrologiji (trasiranje podzemnih voda), ekologiji, znanosti, itd. Već danas postoje međunarodne obveze Republike Hrvatske da se na sve projekte koje financira IAEA, FAO, ILO i WHO treba primjenjivati njihove međunarodno prihvaćene osnovne standarde za zaštitu od zračenja. Ima, naravno, i drugih primjera. Međutim ulaskom Hrvatske u punopravno članstvo Europske Unije bit će potrebno sve naše aktivnosti usklađivati sa tzv. direktivama Europske Unije. Taj proces ne može se provesti dekretom državne administracije; on se provodi postupnim uvođenjem regulative u svakodnevnu praksu, jer će to zahtijevati i promjene nekih tehnologija, instrumentacije, i standarda. Taj posao je obvezan, ali dugotrajan i financijski isplativ.
Republika Hrvatska bit će suočena očekivanjima međunarodne zajednice da pristupi i nekim novim konvencijama ili sporazumima sa područja zaštite od zračenja, sigurnosti i radioaktivnog otpada. Neke od tih međunarodnih instrumenata trebali bi i mi inicirati jer su nam od nacionalnog interesa. Kao primjer šireg međunarodnog interesa možemo navesti Konvenciju o radioaktivnom otpadu koja je upravo u stadiju izrade, a u tome aktvino sudjeluju i hrvatski stručnjaci. Primjer bilateralnog međunarodnog

sporazuma bilo bi reguliranje brze informiranosti u slučaju nuklearnog askcidenta u sklopu elektrana Pakš (Mađarska), udaljenih od hrvatske granice samo dvadesetak kilometara, te bilateralnog ugovora sa Slovenijom u svezi sa NE Krško.

PREGLED ORGANIZIRANOSTI REPUBLIKE HRVATSKE U PITANJIMA MEĐUNARODNIH OBVEZA SA PODRUČJA ZAŠTITE OD ZRAČENJA, SIGURNOSTI I RADIOAKTIVNOG OTPADA

Organizacija provedbe međunarodnih obveza na nekom od tehničkih područja općenito je vrlo kompleksan proces. U slučaju zaštite od zračenja nuklearne sigurnosti i radioaktivnog otpada ovaj je proces još kompliciraniji jer su sva tri navedena područja interdisciplinarnog karaktera, pa u nekim državama potpadaju u djelokrug rada više ministarstva i drugih relevantnih institucija državne administracije.

Jedna od obveznih državnih institucija koja je uključena u ispunjavanje međunarodnih obveza na spomenutim područjima je Ministarstvo vanjskih poslova sa svojim jedinicama za multilateralu, relevantnu bilateralu, te stalnim misijama pri organizacijama UN u Beču, Ženevi i New Yorku. Smatramo, da nam ta karika u organiziranosti (pripreme za donošenje dokumenata, formuliranje hrvatskih interesa i stavova, zastupanje na međunarodnim sastancima, protokolarne aktivnosti povezane uz donošenje dokumenata, itd.) dobro funkcionira; do sada nismi imali nikakvih problema i sve se odvijalo u skladu sa potrebama i mogućnostima.

Poslove iz djelokruga nuklearne sigurnosti i suradnje s IAEA obavlja Ministarstvo gospodarstva. Njihove dosadašnje aktivnosti na tom području mogu se pozitivno ocijeniti, iako je intenzivnija koordinacija sa drugim organizacijama državne administracije prijeko potrebna; suradnja sa stručnim organizacijama može se također pozitivno ocijeniti. Suradnja i kooperacija odgovornog ministarstva za poslove nuklearne sigurnosti zadovoljavajuća je u odnosu na elektroprivredu i odgovarajuće fakultete.

Problem zaštite od zračenja samo je formalno riješen. Postoji doduše nominirano ministarstvo odgovorno za poslove zaštite od zračenja, ali to ministarstvo nije adekvatno kadrovski opremljeno, pa nema dovoljno detaljan uvid u stvarnu situaciju razvoja i primjene zaštite od zračenja u svijetu. Zbog toga se ne čini sve što treba uraditi da bi se udovoljile međunarodne preporuke i Hrvatskoj omogućila dostojna međunarodna pozicija na tom kompleksnom području.

Nažalost, moramo napomenuti da u Hrvatskoj ne postoji organizirana, kompetentna i aktivna stručna organizacija ili tijelo koje bi ukazivalo i usmjeravalo državnu administraciju na stručne aktivnosti koje u Hrvatskoj treba poduzeti na području nuklearne sigurnosti i zaštite od zračenja. Uslijed raznih objektivnih (nizak prioritet u uporedbi sa drugim društvenim problemima, nedostatak sredstava za rad, kadrovi ne vide svoju perspektivu, pa se osipaju) i subjektivnih (pomanjkanje programa razvoja i definiranih državnih potreba za područje zaštite od zračenja i nuklearne sigurnosti) nema adekvatne organizirane stručne baze koja bi davala stručna usmjerenja na tom kompleksnom interdisciplinarnom području. Situaciju u mnogome otežava i činjenica što odgovorno ministarstvo nije našlo institucionalni "zajednički jezik" sa jedine dvije velike znanstvene institucije gdje se već godinama njeguju razna područja primjene izvora ionizirajućih zračenja i eksperimentalne tehnike vezane uz zaštitu od ionizirajućih zračenja kao niti sa djelatnicima koji su sa hrvatske strane stekli veliko iskustvo radeći desetljeće na problemima zaštite od ionizirajućeg zračenja u nuklearnoj elektrani Krško.

Čini se da su to glavni razlozi zašto još do sada nisu ispunjene sve obveze preuzete ulaskom u članstvo IAEA, kao i one proistekle prihvaćanjem drugih međunarodnih obveza.

Imajući u vidu činjenicu da su zaštita od zračenja i nuklearna sigurnost interdisciplinarna područja, jasno je da niti jedno resorno ministarstvo ne može imati prihvatljivo dobar pregled svih potrebnih akcija. Zbog toga je efikasna ("svakodnevna") suradnja sa stručnim organizacijama i sa drugim tijelima (ministarstva, državni zavodi, itd.) državne administracije nezaobilazna. Uz postojeći ustroj i podjelu odgovornosti državnih tijela koji zaštitu od zračenja prepušta isključivo jednom resornom ministarstvu, a nuklearnu sigurnost drugom, a koja nisu kadrovski ekipirana za ove problematike, može se i dalje očekivati da ćemo imati "teškoća i nerazumijevanja" sa drugim tijelima, stručnim organizacijama, ali i sa (nekim) međunarodnim partnerima. Sve to, naravno, ima negativan utjecaj na naše međunarodne aktivnosti, ali istodobno i na međunarodni imidž Hrvatske na tim područjima, ali i općenito.

Državna uprava za zaštitu okoliša u manjoj je mjeri uključena u ovu problematiku, jer je to za njih samo marginalna obveza. Međutim usprkos tome oni imaju vrlo dobru kontrolu nad međunarodnim konvencijama, ugovorima i protokolima koji se odnose na probleme zaštite od zračenja u okolišu. I njihova suradnja sa odgovarajućim tehničkim i znanstvenim institucijama može se u svakom slučaju pozitivno evaluirati.

Postoje još i druge institucije koje su na neki način uključene u programe definirane međunarodnim ugovorima, konvencijama, protokolima, itd., ali je njihov utjecaj na realizaciju bitnih aktivnosti znatno manji.

Smatramo da se općenito može reći da naša organiziranost za sigurno korištenje izvora ionizirajućeg zračenja uključujući i nuklearne instalacije zahtijeva dodatne značajne napore kako bismo realizirali preuzete međunarodne obveze.

Mišljenja smo da je najveći nedostatak što ne postoji stručno-znanstveno tijelo koje bi formuliralo hrvatsku politiku, hrvatske strateške potrebe, glavne stručne aktivnosti, programe razvoja te prioritete u međunarodnoj suradnji na području zaštite od zračenja. Nije nam poznata niti jedna država u Europskoj Uniji koja nema takvo stručno-znanstveno tijelo. U takvoj našoj neprimjerenoj situaciji državna administracija samostalno kreira stručnu politiku zemlje i određuje stručne prioritete, a to ima negativan efekt kako na neke aktivnosti u državi, tako i na aktivno uključivanje Republike Hrvatske u međunarodne programe.

Prije dvije godine na prijedlog Ministarstva zdravstva Vlada Republike Hrvatske formirala je Povjerenstvo za zaštitu od zračenja, u koje su bila uključena i dvojica stručnjaka iz područja nuklearne sigurnosti. To se Povjerenstvo, čiji je predsjednik pomoćnik ministra za zdravstvo, nije nikada sastalo, čak niti konstituiralo. Naravno da je time blokirana svaka sustavna interdisciplinarna suradnja, i unapređenje

aktivnosti na području zaštite od zračenja i nuklearne sigurnosti, što je imalo najdirektniji utjecaj i na naše međunarodne aktivnosti i obveze. U takvoj situaciji ministarstva (administracije) zadržala su "svu vlast" nad kreiranjem stručne politike, pa su indirektno postala prigušivač međunarodnih stručnih i znanstvenih razmjena i suradnje u nuklearnoj sigurnosti i u korištenju ionizirajućeg zračenja.
Budući da je zaštita od zračenja nužni integralni dio svake primjene ionizirajućeg zračenja, uključujući nuklearnu energetiku, a ne samo u medicinske svrhe, to se ovakvim postupcima ministarstvo zdravstva pojavljuje kao strateški planer i za druga značajna područja u kojima se izvori ionizirajućih zračenja primjenjuju kao što su industrija, poljoprivreda, hidrologija, ekologija, znanost, pa do nuklearne energetike. Nije teško procijeniti kakve su konzekvence toga na naše međunarodne aktivnosti, na izvršenje preuzetih međunarodnih obveza i na naš međunarodni položaj na tim područjima.

POTREBNE PREDSTOJEĆE AKTIVNOSTI

Uzimajući u obzir potrebe Republike Hrvatske da se dalje unapređuje zaštita od zračenja i nuklearna sigurnost i omogući prijeko potrebna međunarodna suradnja na tom području bit će potrebno poduzeti niz akcija organizacijskog i stručnog karaktera. Bez uvođenja struke i znanosti u mehanizam stvaranja određene hrvatske politike na tom području nemamo šanse da se aktivno uključimo u međunarodne aktivnosti na nivou dostojnom dostignućima naših stručnjaka i stvarnih potreba naše države. Zbog toga je urgentno potrebno formirati znanstveno-stručno tijelo savjetodavnog karaktera koje će artikulirati hrvatske stručne i znanstvene potrebe i programe razvoja zaštite od zračenja, nuklearne sigurnosti i radioaktivnog otpada kako bi prihvatom međunarodnih kriterija i standarda omogućili Republici Hrvatskoj adekvatan položaj u međunarodnim programima i aktivnostima korištenja ionizirajućeg zračenja. Takvo znanstveno savjetodavno i nezavisno tijelo trebalo bi isključivo biti sastavljeno od međunarodno priznatih stručnjaka na području zaštite od zračenja, nuklearne sigurnosti i radioaktivnog otpada. Samo se na takav način mogu kreirati i usmjeravati kompetentni nacionalni programi, aktivnosti i međunarodna suradnja na širem području korišenja ionizirajućeg zračenja i nuklearne energetike u miroljubive svrhe.
Također je potrebno najhitinije na nacionalnom nivou uspostaviti koordinaciju svih međunarodnih aktivnosti sa područja miroljubive primjene nuklearne energije, a posebno na području zaštite od zračenja, radioaktivnog otpada i nuklearne sigurnosti. Postojeće stanje ima nekoliko negativnih posljedica kako na domaćem tako i na međunarodnom nivou. Što više, na nekim smo međunarodnim sastancima i konferencijama neadekvatno stručno reprezentirani i/ili bez jasne politike (i državne podrške) što tamo želimo postići. Naravno, na državnom, a ne na individualnom planu. Možda bi i gore spomenuto znanstveno-tehničko tijelo moglo biti adekvatni forum da predloži državnim organima i ova stručna rješenja.
Svakako jedan od vrlo značajnih koraka u promicanju naše organiziranosti za sigurno korištenje ionizirajućih zračenja, posebno u odnosu na međunarodne aktivnosti i preuzete obveze, odnosi se na prihvaćanje međunarodnih standarda i prakse (postupaka), te usklađivanje naše regulative s tim standardima.
Ovaj preliminarni prikaz naše organiziranosti za sigurno korištenje ionizirajućeg zračenja i usporedbe sa međunarodnim preuzetim obvezama treba shvatiti samo kao jedno od mogućih viđenja. Bilo bi prijeko potrebno - u suradnji sa svim hrvatskim institucijama involuiranim u međunarodne aktivnosti na tom području - pripremiti detaljni pregled svih obvezujućih međunarodnih ugovora uključujući i one potpisane od strane raznih tehničkih ili znanstvenih organizacija kako bi konačno netko u državi imao potpuni pregled, mogao koordinirati te aktivnosti na nacionalnom nivou te izvršiti revalorizaciju postojećih međunarodnih aranžmana. Postojeća situacija često ostavlja kod inozemnog partnera dojam da smo nedovoljno organizirani, što ima štetni utjecaj na našu dalju međunarodnu suradnju, ali i na ugled naše države.

LITERATURA

[1] Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 115-I, IAEA, Vienna, 1994.
[2] Safety Fundamentals: Radiation Protection and the Safety of Radiation Sources, Safety Series No. 120 IAEA, Vienna, 1996.
[3] The Safety of Nuclear Installations, Safety Series No. 110, IAEA, Vienna, 1993.
[4] Safety Fundamentals: The Safety of Nuclear Installations, Safety Series No. 11, IAEA, Vienna, 1993.
[5] Safety Fundamentals: The Principles of Radioactive Waste Managemen, Safety Series No. 111-F, IAEA, Vienna, 1995.
[6] Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants, Safety Series No, 75-INSAG-3, IAEA, Vienna, 1988.
[7] Establishing a National System for Radioactive Waste Management, Safety Series No, 111-S-1, IAEA, Vienna, 1995.
[8] Agreement of 9 June 1994 between the Republic of Croatia and the International Atomic Energy Agency for the Application of Safeguards in Connection with the Treaty on the Nonproliferation of Nuclear Weapons, Vienna, 9. June 1994.
[9] Convention on early notification of a Nuclear Accident; Vienna, New York, 26 September 1986.
[10] Convention on Assistance in the Case of a Nuclear Accident of Radiological Emergency; Vienna, New York, 26 September 1986.
[11] Convention on the Physical Protection of Nuclear Material, Vienna, 28 October 1979.
[12] Agreement on the Privileges and Immunities of the Agency, Vienna, 1 July 1959.
[13] Vienna Convention on Civil Liaility for Nuclear Damage, Vienna, 21 May 1963.
[14] Joint Protocol Relating to the Application of the Vienna Convention and the Paris Convention, Vienna, 21 September 1988.
[15] Convention on Nuclear Safety, Vienna, 17. June 1994.
[16] Revised Principles and General Rules for the IAEA Technical Cooperation, IAEA-INFCIRC-267, Vienna
[17] Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and other Matter, London, Mexico City, Moscow, Washington, 29 December 1972.
[18] Convention for the Protection of the Mediterranean Sea Againts Pollution, Barcelona, 16 February 1976.
[19] Memorandum of Understanding between the International Atomic Energy Agency and the Ministry of Industry and Energy of Croatia represented by the APO - Hazardous Waste Management Agency, Zagreb, 1996.
[20] Ugovor o udruživanju sredstava radi zajedničke izgradnje i zajedničke eksploatacije Nuklearne elektrane Krško, Krško, 23. ožujka 1974.

INTERNATIONAL DUTIES OF THE REPUBLIC OF CROATIA IN THE FIELD OF RADIATION PROTECTION AND NUCLEAR SECURTITY

A short review on the international duties of the Republic of Croatia is given, based on signed conventions with MAAE, in the field of radiation protection and some aspects of nuclear security.

INTERNATIONALE VERPFLICHTUNGEN DER REPUBLIK KROATIEN IM BEREICH DES STRAHLUNGSSHUTZES UND DER KERNTECHNICHEN SICHERHEIT

Gegeben wird eine konzise Übersicht internationaler Verpflichtungen der Republik Kroatien, vor allem auf Grund der unterschriebenen Konventionen mit der IAEA im Breich des Strahlungsschutzes und im Bereich einiger Gesichtspunkte der kerntechnischen Sicherheit.

Naslov pisaca:

Mr. sc. Damir Subašić, dipl. ing.
Petar Strohal, dipl. ing.
Agencija za posebni otpad
Savska cesta 41,
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1997-01-24.

ANALIZA UTJECAJNIH FAKTORA NA KVALITETU NAPONA U NISKONAPONSKOJ MREŽI

Mr. sc. Rihard S c h e n n e r, Zagreb

UDK 621.316.1:685.56
STRUČNI ČLANAK

Obrađena je problematika kvalitete napona u prvom redu glede novih normi (HRN IEC 38). Prikazani su rezultati proračuna i mjerenja padova napona u mreži te ukazano na moguće mjere u cilju povećanja kvalitete napona kod potrošača.

Ključne riječi: napon, kvaliteta, regulacija napona, proračun, mjerenja, niskonaponska mreža, transformator.

Uvod

Problem kvalitete napona su odstupanja njegove veličine od nazivne vrijednosti. U distribuciji to se odnosi na niski napon, zbog najvećeg broja transformacija i najduže mreže. Osim toga ti su potrošači i najbrojniji, pa su problemi te mreže sigurno vrlo interesantni.
Za postizanje zadovoljavajuće kvalitete napona cijelog sustava potrebno je optimirati položaje automaske regulacije napona u mreži i dozvoljene maksimalne padove napona u vodovima iza nje. To je kod nas definirano odavno i na osnovi toga se i planira mreža distribucije.
Kod planiranja mreže kvaliteta se napona osigurava propisanim padovima napona u vodovima za određeni naponski nivo, pa su oni i osnovni element kvalitete, ali ne i jedini.
Ta problematika uvijek je bila interesantna, a sada još i više zbog novog standarda HRN IEC 38.
U članku će se točnije definirati uloga automatske i ručne regulacije napona, planskih veličina padova napona, mjesta mjerenja i analize podataka i ostalog.
Prikazat će se utjecaj prevelikih napona na gubitke u željezu i jalovu energiju transformatora.
U mreži grada Zagreba napravljena su određena mjerenja naponskih prilika, koja će se proanalizirati.

1. ULOGA REGULACIJE I PADOVA NAPONA

U radijalno napajanoj mreži distribucije napon varira zbog promjene opterećenja. Razlikom napona kod minimalnih i maksimalnih opterećenja određeno je njegovo odstupanje. Veličina te razlike ovisi isključivo o padovima napona. Regulacijom napona (automatskom i ručnom) utječe se na veličinu, a praktično ništa na razliku napona. Ako razlika napona u bilo kojoj točki niskonaponske mreže iznosi na primjer 215 V - 190 V = 25 V, ona će povećanjem regulacije za 5% iznositi 225.75 V - 199.5 V = 26.25 V, jer se sve veličine mijenjaju linearno. Osnovna promjena je u osiguranju standardnog napona, što prije nije bio slučaj. Prema tome, uloga je regulacije podešavanje napona u propisane granice.
Ovo je važno i za aktualnu promjenu nazivne vrijednosti niskog napona prema HRN IEC 38.

1.1. Automatska i ručna regulacija napona

Položaj automatske regulacije napona u mreži vrlo je važan, jer se njome održava konstantan napon na sekundaru regulacionog transformatora, što je vrlo dobro za kvalitetu. Međutim, ona ima i dosta visoku cijenu. Odluka o tome donosi se prigodom planiranja naponskih nivoa sustava transformacije. Kod nas imaju automsku regulaciju napona svi transformatori 220/110 kV i 110/XkV te nekoliko 30/10 kV u mreži Zagreba. Za područje Lošinja koristili su se također do izgradnje transformatorske stanice 110/35 kV Čunski.
Detaljnija analiza naponskih prilika zahtijeva i poznavanje principa rada automatske regulacije. Ona se temelji na maloj, ali ipak skokovitoj promjeni omjera transformacije. Kod nas ta promjena iznosi 1,5% sa + -10 odcjepa, pa je opseg regulacije +, -15%. Veličina opsega ovisi o odstupanjima napona 110 kV mreže i padu napona u transformatoru 110/XkV, dok je za kvalitetu napona na sekundaru važan stupanj regulacije od 1.5%.
Napon se mijenja kontinuirano, a regulator radi skokovito. Zbog toga mora bii određena neosjetljivost regulatora na promjenu napona, jer bi u protivnom stalno prespajao, to jest titrao. Ona treba biti veća od polovice stupnja regulacije, a preporuča se 80%. Za stupanj regulacije od 1.5% neosjetljivost iznosi 1.2%. Ta neosjetljivost prenosi se u cijelu mrežu iza regulatora, pa i u niski napon. Uz 220 V to znači odstupanje napona od 2x1.2% odnosno 5.3 V bez promjene operećenja mreže. Izmjerena variranja napona su maksimalno 15 V, pa je 5.3 V značajno za analizu rezultata.
Regulator uspoređuje realni napon na sekundaru transformatora sa referentnim regulatora, koji se može kontinuirano mijenjati +, -10%. Za primjer na 10.5 kV nazivnog napona to znači mogućnost podešavanja između 11.55 kV i 9.45 kV. Njegova veličina odabire se ovisno o situaciji u mreži. Podešenje tog napona nije također moguće apsolutno točno na željenu veličinu.

Sve ovo znači da je za kvalitetniju analizu potrebno mjeriti i napon na sekundaru regulacijskog transformatora.
Ručnom regulacijom mijenja se prijenosni omjer transformatora uz njegovo isključenje iz pogona, pa nisu moguće češće promjene. Ona iznosi +, -2 x 2.5%.
Jedna i druga regulacija djeluju na sekundarnu mrežu transformatora, koje se po veličini znatno razlikuju. Svaka treba biti podešena prema prosječnim zahtjevima svoje mreže. Kod automatske se radi o većoj mreži transformatora 110/35 kV ili 110/10,20 kV. Ručna regulacija koristi se najčešće kod transformatora 10,20/0.4 kV, koji napaja znatno manju mrežu.

1.2. Padovi napona

Padovi napona nastaju u svim elementima mreže ovisno o opterećenju, pa zaštita od preopterećenja ograničava i padove napona. To je kod transformatora efikasno, međutim kod vodova nije, pa ograničenja nema. Zbog toga je pojam prevelikog pada napona vezan isključivo uz vodove. Prema praktičnim iskustvima od toga se mogu izuzeti i kabelski vodovi 10 kV, 20 kV i 35 (30) kV.
Kod nas se računa sa maksimalnim padovima napona u vodovima srednjeg napona od 8%.
Za niski napon postojao je prije propis od 6% dozvoljenog pada napona, koji je sada ukunut, pa svaka distribucija računa prema internim propisima. Za područje D.P. Elektra Zagreb računa se sa 3%, prema njemačkoj literaturi [4] ta vrijednost iznosi 3% do 5% a u Francuskoj 11% [2].
Međutim treba razlikovati dozvoljeni pad napona za planiranje i sanaciju mreže. U Francuskoj je 11% maksimalno dozvoljeni pad napona, pa se izvodi sa većim saniraju. Pritom se traži da rješenje zadovoljava minimalno 5 godina. U Zagrebu, a vjerojatno i u Njemačkoj, to se ne radi kod 3% ili 5%, nego kada realni naponi kod potrošača postanu manji od dozvoljenih. Razlozi malih planskih padova napona djelomično su obrađeni u [3]. U Francuskoj se sada [2] razmišlja o smanjenju veličine od 11%.
Kod transformatora je pad napona ograničen opterećenjem. Za nazivna opterećenja i uobičajene faktore snage vrijednosti se nalaze u tab. 1.

Tablica 1. Procentualni padovi napona transformatora 35/10 kV i 10,20/0.4 V kod nazivnih opterećenja

Transformatori		Faktor snage	
35/10 kV i 10/0.4 kV	0.85	0.90	0.95
Nazivna snaga		Pad napona	
1600 - 1800	3.8-4.2	3.3-3.6	2.6-2.9
16000	6.8	5.8	4.3
50 - 630	2.9-3.6	2.6-3.4	2.2-3.1
1000	4.0	3.5	2.8

Za vodove je uobičajeno crtanje dijagrama padova napona. Za račun je možda praktičnija veličina procentualnog pada napona voda dužine 1 km opterećenjog na kraju nazivnom strujom. Pomoću te veličine mogu se, zbog linearnih odnosa, odrediti sve ostale.
Kod planiranja mreže analizira se neovisno svaki naponski sustav. Tako se, naprimjer, kod proračuna niskonaponske mreže ne uzima u obzir situacija u mreži višeg napona. U [2] se predlaže kompleksni pristup sa proračunom od srednjeg do niskog napona. Razlog tome su zahtjevi

Tablica 2. Procentualni pad napona raznih vodova dužine 1 km opterećenog na kraju nazivnom strujom

Vrst voda	Presjek	Nazivna struja	Faktor snage 0.85	0.90	0.95
	mm²	A	Pad napona %	%	%
Kabel 35 kV, Cu	95	240	0.32	0.32	0.31
NEKBA	150	305	0.30	0.29	0.28
Kabel 10 kV, Al	70	165	1.43	1.48	1.52
NAKBA	185	285	1.07	1.08	1.07
Kabel 20 kV, Al	70	237	1.13	1.14	1.14
NA2XSY	185	396	0.92	0.89	0.84
Dalekovod 10 kV	50	170	2.07	2.06	2.02
	95	350	2.71	2.63	2.48
Dalekovod 20 kV	50	170	1.05	1.04	1.02
	95	350	1.39	1.34	1.26

novog standarda za niski napon, kojima se smanjuju dozvoljena odstupanja. Da se to najjeftinije ostvari potrebno je uzeti u obzir i situaciju u mreži srednjeg napona u kojoj ima na počecima vodova i određene rezerve.

2. NOVI STANDARD HRN IEC 38

Osnovno u novom standardu je prijelaz na novi povećani nazivni napon. Današnji je 220 V sa odstupanjima +, -10%. Prema HRN IEC 38 predviđa se 230 V sa odstupanjima +, -10%, a u prijelaznom periodu zahtijevaju manja odstupanja napona, odnosno kvalitetnija mreža i to isključivo zbog zaštite trošila. Veličine napona i odstupanja nalaze se u tab. 3.

Tablica 3. Nazivne vrijednosti niskog napona (faznog) i dozvoljena odstupanja za sadašnje i konačno stanje te prijelazni period

Vremenski period	Nazivni napon	Dozvoljena odstupanja procent.	maksimum	minum	razlika
	V	%	V	V	V
Sadašnji	220	+,-10	242	198	44
Prijelazni	230	+6,-10	244	207	37
Konačni	230	+,-10	253	207	46

Smanjenje razlike napona u prijelaznom periodu od 44 V na 37 V nije malo. Regulacijom se u ovom slučaju ne može mnogo postići, osim ako nije dobro podešena.
Ovaj problem analizira se na područje Francuske u [2]. Planiranje mreže bilo je neovisno za niski i srednji napon. Proračunske veličine padova napona bile su 11% za niski napon, 7,5% za srednji i za transformator srednji/niski napon 2,5%. Kao prva varijanta rješenja bilo je smanjenje padova napona niskonaponskih izvoda na 7%. Trošak te varijante iznosi 20000 milijuna FFR, jer je potrebna sanacija 96000 niskonaponskih izvoda, od kojih neki imaju padove napona i veće od 11%. Ako se padovi napona u srednjenaponskoj mreži smanje na 5% i analizira zajedno mreža srednjeg i niskog napona, ti troškovi iznose 3200 milijuna FFR za mrežu niskog i 2300 milijuna FFR za mrežu srednjeg napona, što je znatno manje.
U mreži Francuske iznosi prosječna dužina 20 kV magistralnog voda 52 km sa opterećenjem od 2.7 MW uz korištenje tipskog presjeka od 148 mm² Al. Zbog toga se i došlo do ovakvih zaključaka.

Naponske prilike su kod nas lošije, pa se njihova sanacija obavlja pod vrlo jakim utjecajem potrošača. Za pristup prema [2] potreban je prvenstveno odgovarajući informatički sustav, jer bez njega nema spoznaja o stanju pojedinih dijelova mreže. Zamjena za to su informacije potrošača, koje počinju sa vrlo lošim naponom od približno 180 V (donja granica standarda je 198 V). Previsoki naponi djeluju prvenstveno na žarulje sa žarnom niti koje pregaraju, a ostala trošila relativno dobro podnose više napone [2].
U svezi novog standarda za niski napon mora se kod nas poći od slijedećih činjenica:

- distribucije nastoje mrežu što više sanirati, ali to ne stižu napraviti zbog financijskih sredstava, pa su naponi u nekim dijelovima mreže i manji od 180 V.
- nova trošila će loše funkcionirati kod donjeg napona od približno 190 V, pa će tada početi reklamacije potrošača. Njihov intenzitet ovisit će o omjeru novih i starih trošila u dijelu mreže sa lošim naponom
- danas su poznate niskonaponske mreže sa lošim naponskim prilikama od 180 V na niže (primjer [1]). Mreže sa naponima između 180 V i 190 V mogu se samo grubo procijeniti.

To znači da će i u našim mrežama trebati povećavati donje granice napona što zahtijeva i HRN IEC 38. Samo se po standardu traži momentalno povećanje od 198 V na 207 V, a kod nas će biti postupno od 180 V i manje od toga na 190 V. Gornja vrijednost napona može se prema standardu također povećati od 242 na 244 V, a u realnosti i nešto više, ovisno o zamjeni starih žarulja novima. Vijek trajanja žarulja relativno je malen i iznosi 1000 h uz normalne naponske prilike. Povećanjem napona on se znatno smanjuje, pa iznosi samo 500 h uz 5% veći napon.
Takav razvoj prilika zahtijevat će veći intenzitet sanacije mreža, što je najefikasnije i najskuplje.
Drugo je podešavanje automaske i ručne regulacije napona na optimalne vrijednosti. To ne zahtijeva investicije, nego sustavni pristup uz analizu i mjerenja. Danas svaka distribucija ima određene informacije o lošim naponskim prilikama. Njihov broj treba povećati i pohranjivati zbog analize. Na osnovi toga odlučuje se o položajima automatske i ručne regulacije napona. Dogovorene veličine treba provesti, kontrolirati i evidentirati.
Uz novi standard potreban je i transformator 10,20/0.4 kV sa naponom sekundara 420 V, što je provedeno. Napon od 420 V odabran je prema postojećoj praksi.

3. UTJECAJ POVEĆANJA NAPONA NA GUBITKE U ŽELJEZU I STRUJU MAGNETIZIRANJA

Ovisnost gubitaka u željezu i struje magnetiziranja o naponu određena je krivuljom magnetiziranja. Prilikom konstrukcije transformatora, motora i slično, nastoji se ugraditi što manje materijala, to jest dinamo-lima, uz zadovoljene kvalitete propisane normama. Starije konstrukcije imale su u tom smislu i dosta velike rezerve, koje se danas sve više smanjuju zbog razvoja tehnologije proizvodnje magnetskog lima.
Danas je smanjenje gubitaka u željezu transformatora osnovna preokupacija proizvođača pa i pojedinih država. Taj problem nastoji se riješiti kvalitetnijim materijalima jezgre.

Kod trošila (elektromotori, prigušnice i slično) to nije tako istanuto, ali će sigurno do toga doći.
Međutim, niti u jednom slučaju ne ostavlja se rezerva za povećanje napona.
Utjecaj na elektromotore, prigušnice i ostala trošila nije analiziran. To i nije jednostavno zbog velikog broja proizvoda. Za transformatore 10,20/0.4 kV proizvodnje "Končar" nalaze se podaci u [1]. Oni se odnose na određene transformatore, pa ne predstavljaju prosjek, ali odstupanja ne mogu biti prevelika. Neki su podaci u tab. 4.

Tablica 4. Utjecaj povećanja napona na gubitke u željezu i struju magnetiziranja nekih transformatora 10,20/0.4 (prema L.1.)

Tip transformatora	Napon	Struja magnet.	Gubici željeza	Napon uk
	V	%	W	%
3TBN 50-24 x/A	400	4.10	192	3.98
	410	4.91	210	3.80
	420	5.98	230	3.64
7TBN 160-12/A	400	2.43	493	3.97
	410	2.95	541	3.78
	420	3.70	594	3.60
3TBN 250-24 x/B	400	3.10	678	3.99
	410	3.89	746	3.73
	420	4.86	822	3.56
3TBNv 400-24 x/B	400	2.10	963	4.25
	410	2.52	1058	4.05
	420	3.14	1162	3.80
3TBN 630-24 x/D	400	2.57	1381	4.10
	410	3.17	1520	3.91
	420	4.01	1679	3.78
3TBNv 1000-24 x/B	400	1.97	1591	6.37
	410	2.50	1760	6.07
	420	3.20	1945	5.75

Porast gubitaka u željezu uz 5% veći napon je za približno 20%, a struje magnetiziranja za 50%. To je i razlog da je nazivni napon sekundara za 5% veći od nazivnog napona, to jest 400 V umjesto 380 V.
Apsolutna razlika gubitaka u željezu transformatora 630 kVA iznosi 298 W, što nije malo ako se uzme neprekidan pogon.
Razlika struje nagnetiziranja za isti transformator iznosi 1.44%, odnosno snaga od 9 kVAr, a problem jalove energije nije malen.
Ovo pokazuje, da se kod prevelikih napona ne smije misliti samo na trošila (u pravilu žarulje sa žarnom niti), nego i na gubitke i jalovu energiju.
To ima utjecaja na podešavanje regulazije napona. Automatskom regulacijom transformatora 110/XkV ne bi se smjeli dozvoliti naponi veći od 5% nazivne vrijednosti. Ručnom se regulacijom transformatora 10,20/0.4 kV trebaju rješavati problemi pripadne niskonaponske mreže.
Trošila nisu analizirana. Ona nisu stalno priključena na mrežu, ali ih ima mnogo. Zbog cijene dosta se koriste veći gubici u željezu uz povećanje gubitaka i veću toplinsku klasu izolacije.
Mogu se izdvojiti prigušnice za javnu rasvjetu, koje su za područje Zagreba u pogonu 4182 sata, što je oko pola godine. Magnetska opterećenja slična su kao i kod transformatora.

Energija, god. 46 (1997) 3, 165-170

4. NAPONSKE PRILIKE NA SEKUNDARU TRANSFORMATORA 10,20/0.4 KV

Naponske prilike u mreži distribucije mogu se analizirati na vrlo mnogo mjesta uz razne sezonske veličine konzuma. Proračunom ili mjerenjima dobije se na taj način vrlo mnogo rezultata pa to može otežati analizu. Kod mjerenja treba uzeti u obzir i troškove, odnosno tehničke mogućnosti. Mjerenja na višem naponu od 0.4 kV zahtijevaju naponske transformatore.
Također se i mjerni aparati moraju negdje smjestiti. Tako se na primjer često predlaže mjerenje napona duž voda 10 kV, što nije tako jednostavno.
Zbog toga trebalo je pronaći mjesto u mreži jednostavno za mjerenje, a čije naponske prilike mogu služiti za analizu. Dobro mjesto u tom smislu je sekundar transformatora 10,20/0.4 kV.
Paralelno sa time potrebno je i mjerenje napona na 10,20 kV izvodu, zbog utjecaja podešenosti automatske regulacije napona.
To mjesto je pojna točna za niskonaponsku mežu i ako su tu naponske prilike uredu, kvaliteta napona kod potrošača ovisi isključivo o mreži niskog napona.
Dozvoljena odstupanja napona u tom dijelu mreže nisu definirana. Grubo je procijenjeno da odstupanja mogu biti od nazivnog napona do gornje granice od +10%. Time ostaje za mrežu niskog napona preostalih 10%.
Analize su napravljene proračunom i mjerenjima, jer jedno ne isključuje drugo. Za ove svrhe mogu se proračunom dosta dobro provjeriti planske veličine padova napona i položaj automatske regulacije napona za pojedine sustave transformacije. Mjerenjima, i to sa pisačem, uočio se utjecaj neosjeljivosti regulatora napona, koji se kod proračuna uopće ne uzima u obzir.

4.1. Proračun napona

Rezultati proračuna analizirani su već u [5]. Ovdje će se to ukratko ponoviti sa više podataka.
Jedan problem kod proračuna je izbor padova napona koji mogu dobro karakterizirati neku realnu mrežu. U tab. 5. su vrijednosti sa kojima se računalo.

Tablica 5. Procentualni padovi napona elemenata mreže za proračun naponskih prilika na sekundaru transformatora 10,20/0.4 kV

Element mreže	Procentualni pad napona	
	maksimalni	prosječni
Transformator 35/10 kV	3, 5, 7	2.1; 3.5; 4.9
Transformator 10,20/0.4 kV		
- kabelska mreža	2.2; 4	1.54; 2.8
- nadzemna mreža	2.4; 3.6	1.68; 2,52
Dalekovod 35 kV	8	5.6
Kabelski vod 35 kV	2.8	1.2
Dalekovod 10,20 kV	8	5.6
Kabelski vod 10 kV	3.6	1.6
Kabelski vod 20 kV	1.8	0.8

Padovi napona iz tab. 5. nastaju za vrijeme vršnih opterećenja mreže. Noćna, odnosno minimalna opterećenja mreže iznosila su u proračunu 20% vršnih.
Rezultati proračuna nalaze se u tab. 6.

Tablica 6. Rezultati proračuna naponskih prilikana sekundaru transformatora 10,20/04 kV (nazivni napon 230 V, automatske regulacije na nazivnim naponima 10 kV i 35 kV)

Vrst transformacije	Vrst mreže	Padovi napona	Napon sekundara maksimum	Napon sekundara minimum	Razlika napona
110/35/10 kV	kabelska	maks.	225-222	204-192	21-30
		prosj.	227-225	216-207	11-18
	nadzemna	maks.	220-219	185-180	35-39
		prosj.	223-222	198-194	25-28
110/10 kV	kabelska	maks.	227-226	217-213	10-13
		prosj.	228	223-220	5-8
	nadzemna	maks.	225	206-204	19-21
		prosj.	227	212	15
110/20 kV	kabelska	maks.	228	221-217	7-11
		prosj.	229	225-222	4-7
	nadzemna	maks.	225	206-204	19-21
		prosj.	227	212	15

Naponi sekundara transformatora moraju se nalaziti u granicama 220 V i 242 V, pa znači da razlika napona uz korištenje regulacije napona ne smije biti veća od 22 V. Po tom kriteriju zadovoljavaju transformacije 110/10 kV i 110/20 kV za sve slučajeve, a transformacija 110/35/10 kV samo za kabelsku mrežu sa prosječnim padovima napona. Za našu praksu to znači potrebu provjere naponskih prilika cijele mreže, a ne samo planiranih vodova. To također potvrđuje potrebu većeg korištenja transformatora 35/10 kV s automatskom regulacijom napona.
Ako je razlika napona oko 22 V potrebno je povećanje napona pomoću regulacije preko 5%, što nije dobro za gubitke i jalovu snagu transformatora, pa je to možda prevelika razlika koja zahtijeva točna podešenja ručne regulacije napona.
Kod transformacije 110/10,20 kV sa kabelskom mrežom i prosječnim padovima napona razlike napona su male, pa se mogu dozvoliti i veći padovi napona u niskonaponskoj mreži. To je bio i razlog prijedloga iz [2] za kontrolom napona u cijeloj mreži. Za naše prilike teško je sada predložiti takav pristup, ali se na tu mogućnost ne smije zaboraviti.

4.2. Mjerenja napona

Mjerenja napona na sekundaru transformatora 10,20/0.4 kV napravljena su u mreži Zagreba. Mjerilo se pomoću traka, pa se dobro uoči rad automatkog regulatora napona. Zbog mjernih aparata moglo se mjeriti samo u kabelskim transformatorskim stanicama.
U dispečerskom centru prikupljeni su podaci o veličini napona na 10 kV izvodima i njihovim opterećenjima.
Prva mjerenja napravljena su od 14.6 do 18.6., a druga od 10.10 do 15.10, Za prva su izabrane transformatorske stanice 10,20/0.4 kV na počecima 10 kV izvoda, a za druga iz tzv. "sivih zona2, gdje su loše naponske prilike kod potrošača. Na kraju je napravljeno mjerenje za vrijeme Božića u jednoj iz "sivih zona".
U tab. 7. su osnovni rezultati tih mjerenja.
Razlika napona na sekundaru transformatora 10,20/.04 kV iznosi maksimalno 15 V, a minimalno 5 V u periodu mjerenja. Po danima su slični rezultati. Koliko je utjecaj neosjetljivosti regulatora napona ne može se odrediti, ali sigurno postoji. Apsolutne vrijednosti napona variraju izme-

Tablica 7. Osnovni rezultati mjerenja napona na sekundaru transformatora 10,20/0.4 kV i pojnim 10 kV izvodima u mreži Zagreba.

Mjerenja od 14.6. do 18.6. 1996.

TS 10/0.4 kV-pojna	Napon na 0.4 kV			Napona na 10 kV			Regul.
TS 30 ili 110 kV	min.	max.	razl.	min.	max.	razl.	napona
	V	V	V	kV	kV	kV	
304- Sesvete 30/10	227.5	242.5	15.0	9.87	10.53	0.66	-2.5%
1015-Dubrava 30/10	230.0	245.0	15.0	10.03	10.72	0.69	0
254-Kukuljev. 30/10	217.5	222.5	5.0	-	-	-	-
1056-Trnje 30/10	222.5	222.5	10.0	-	-	-	-
1335-Selska 30/10	225.0	237.5	12.5	9.89	10.63	0.74	-
708-Kršnjavi* 30/10	220.0	232.5	12.5	9.90	10.20	0.30	-
1090-Sopot 110-10	215.0	222.5	7.5	10.01	10.46	0.45	-
1841-Stenjev. 110/10	227.5	232.5	5.0	9.98	10.67	0.69	0
594-Ksaver 110/10	227.5	232.5	5.0	10.03	10.25	0.22	0
1694-Trpimir. 110/10	230.0	237.5	7.5	10.25	10.57	0.32	0

* automatska regulacija

Mjerenja od 10. 10 do 15. 10. 1996.

TS 10/0.4 kV-pojna	Napon na 0.4 kV			Napona na 10 kV			Regul.
	min.	max.	razl.	min.	max.	razl.	napona
	V	V	V	kV	kV	kV	
277-Selska 30/10	215.0	230.0	15.0	9.91	10.25	0.34	0
1015-Dubrava 30/10	230.0	240.0	10.0	10.18	10.62	0.44	0
1420-Žitnjak* 30/10	227.5	237.5	10.0	10.43	10.73	0.30	-2.5%
1493-Ksaver 110/10	217.5	222.5	5.0	9.96	10.32	0.36	0
1006-Ksaver 110/10	215.0	222.5	7.5	9.96	10.32	0.36	0
753-Ksaver 110/10	215.0	227.5	12.5	9.96	10.32	0.36	-5,0%
14332-Ksaver 110/10	225.0	230.0	5.0	9.96	10.32	0.36	0
610-Stenjev. 110/10	227.5	235.0	7.5	10.06	10.34	0.28	+2.5%
757-Sopot 110/10	230.0	240.0	10.0	10.03	10.51	0.48	+2.5%
1391-Dubec 110/10	220.0	230.0	10.0	10.51	10.84	0.33	0

* automatska regulacija

đu 215 V i 245 V, ali se odstupanja manja od 220 V i veća od 242 V javljaju samo kod nekih transformatorskih stanica. To je usko vezano sa položajem ručne regulacije napona. Kod mjerenja u "sivim zonama" (listopad) postoji, kod nekih transformatora, mogućnost povećanja napona barem za 2.5%. To pokazuje na potrebu sustavnog praćenja položaja kod te regulacije.

Naponi na 10 kV izvodima mjereni su u listopadu samo jedan dan, pa su mjerodavna mjerenja iz lipnja. Oni variraju između 9.87 kV i 10.72 kV, što se može prihvatiti. Međutim, razlike napona su između 0.22 kV i 0.74 kV, a neosjetljivost regulatora napona je maksimalno 0,3 kV. Razlog je vjerojatno u prevelikim naponima noću (što pokazuju satne veličine napona), pa je regulator došao na zadnji odcjep. Ovakve veličine ukazuju potrebu suradnje sa dispečerima prijenosa, jer takve pojave samo štete zbog gubitaka i jalovine, a i pregorjelih žarulja.

Opterećenja 10 kV izvoda bila su u normalnim granicama, a to znači manja od polovine dozvoljenog. Jedino je izvod koji napaja TS 1493 i 1006 odnosno podruje Šestina i Mikulića bio u listopadu opterećen i sa 4.4 MVA. Naponi tih transformatorskih stanica bili su u granicama 215 i 222.5 V, pa se to moglo riješiti povećanjem napona ručnom regulacijom.

Za vrijeme Božića 1996. g. izmjereni su naponi na TS 1006 (Talani, Mikulići). Oni su iznosili između 197.5 V i 212.5 V. To je smanjenje donje vrijednosti za 17.5 V u odnosu na mjerenja u listopadu, odnosno 7.9% prema nazivnom naponu. Pritom su 10 kV naponi na izvodu bili jednaki, a opterećenje 10 kV izvoda i manje. Naknadno se još provjerilo uklopno stanje, ali se ovakvo veliko smanjenje nije moglo objasniti. Naravno da su uz ovakve naponske prilike na sekundaru transformatora 10,20/0.4 kV kod potrošača bile još lošije.

5. ZAKLJUČAK

Problemi kvalitete napona danas su kod nas vezani za rješavanje područja sa vrlo lošim naponskim prilikama. To je i normalno, jer u takvim situacijama nema ispravnog korištenja aparata, oni se oštećuju i slično.

Zbog toga se manje pozornosti poklanja podešavanju automatske i ručne regulacije napona, a to je opet vezano uz vođenje mreže, odnosno uz dispečersku službu. To ne zahtijeva veće investicije, a može povećati kvalitetu napona te smanjiti gubitke i jalovu energiju.

Prijelaz na novi standard napona zahtijeva kvalitetniju mrežu, zbog postojećih i novih trošila izrađenih za dva različita nazivna napona.Osim toga se u budućnosti može očekivati smanjenje dozvoljenih odstupanja. Takvi zahtjevi ne mogu se riješiti bez sustavnog praćenja svih faktora vezanih uz kvalitetu napona.

Kod nas informatički sustav nije razvijen za proračun naponskih prilika kod potrošača, kao naprimjer u Francuskoj. U tu svrhu služe razna mjerenja, a u velikom mjeri i informacije potrošača. One su vrlo važne za rješavanje naponskih prilika pa je u takvim slučajevima također potrebno prikupljanje više podataka o naponu, situaciji u mreži i stanju konzuma.

Mjerenja napravljena u Zagrebu pokazuju relativno dobro stanje. Međutim, na nekim mjestima se ručna regulacija napona sigurno može bolje postaviti, naponi na sekundaru transformatora sa automatskom regulacijom previše variraju i slično. To sve navodi na zaključke o sustavnom pristupu tom problemu.

Konkretne mjere ovise o raznim faktorima vezanim uz određeno distributivno poduzeće, pa ih treba i ono samo odrediti.

LITERATURA

[1] V. FABRIS, I. RADEKA, A. PAVIĆ, D. DOKMANIĆ: "Novi normirani naponi distribucijske mreže HRN IEC 38", HEP DP "Elektra" Zagreb, 1996.

[2] Ph. HABERSTICH: "Politique de tenue de tension - Nouvelle normalisation de tension BT 230 V +6%/-10% - Adaption des methodes de planification et du reglage de tension", Convention technique electricite Reims Champgne du 11. au 14. avril 1995.

[3] R. SCHENNER: "Utjecaj nesimetrije opterećenja u niskonaponskim mrežama na proračun napona i gubitaka", III Savjetovanje HK CIGRE; Cavtat 1997.

[4] L. HEINHOLD: "Kabel und Leitungen fur Starkstrom", Siemens Aktiengeselischaft

[5] R. SCHENNER: "Neki problemi planiranja niskonaponske mreže", Energija, god., 44 (1995) 2, 89-94.

THE ANALYSIS OF INFLUENCE FACTORS ON VOLTAGE QUALITY IN THE DISTRIBUTION NETWORK

The problems of voltage quality are considered from the point of new norms (HRN IEC 38). The calculation results as well as voltage drop measurements in the network are presented. Possible measures aiming at the increase of voltage quality by consumers are also given.

ERÖRTERUNG DER GRÖSSEN VOM EINFLUSS AUF SPANNUNGSQUALITÄT IM NIEDERSPANNUNGSNETZ

Der Artikel bearbeitet den Fragenbereich der Spannungsqualität, vorerst bezüglich der neuen Norm (HRN IEC 38). Dargestellt sind die Berechnungsergebniße von Spannungsabfällen und deren Messungen im Netz und es wurde auf mögliche Maßnahmen zwecks Steigerung der Spannungsqualität bei den Kunden angewiesen.

Naslov pisca:

Mr. sc. Rihard Schenner dipl. ing.
Institut za elektroprivredu i energetiku,
Ulica grada Vukovara 37,
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1997-01-27.

DJELOTVORNOST KOORDINACIJSKIH ISKRIŠTA 220 kV UGRAĐENIH U DV POLJA POSTROJENJA

Stjepan Banić — mr. sc. Velimir Ilijanić, Zagreb

UDK 621.311.42:621
PREGLEDNI ČLANAK

U projektiranju prenaponske zaštite visokonaponskih postrojenja i odabira parametara koordinacije izolacije, stručnjaci računaju sa deklariranim karakteristikama koordinacijskih iskrišta. Članak opisuje djelotvornost koordinacijskih iskrišta u mreži 220 kV u ostvarivanju očekivane prenaponske zaštite visokonaponskih postrojenja. Analizira se utjecaj kratkog upadnog vala, nastalog povratnim preskokom, na kapacitivni mjerni transformator u DV polju.

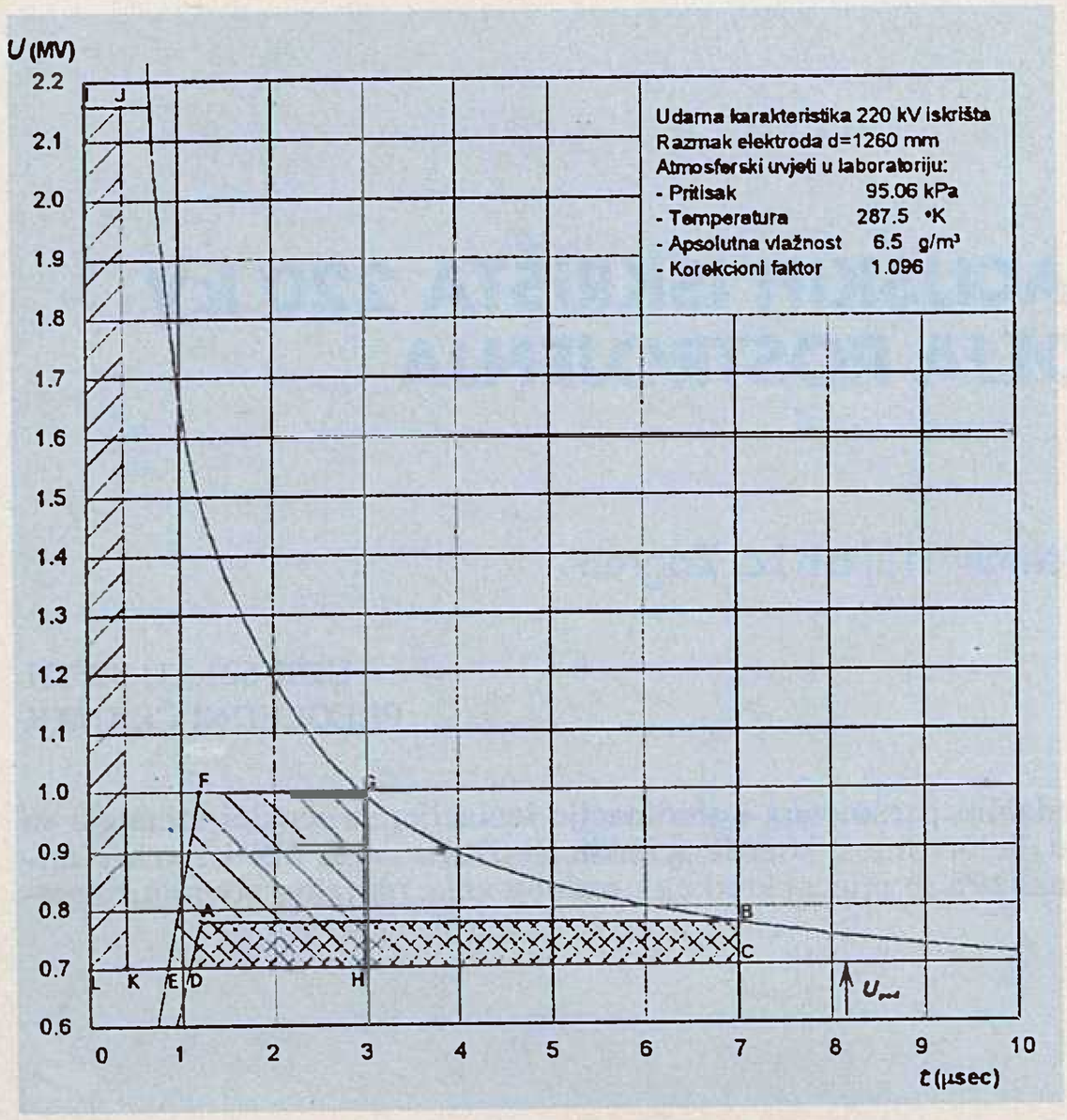
Ključne riječi: **atmosferski prenapon, amplituda, strmina, iskrište, djelotvornost, dalekovod, postrojenje, kratki val.**

1. UVOD

Prenaponi u mrežama visokog napona su neizbježni sudionik različitih događaja: sklopnih operacija, naglih promjena opterećenja, raznih kratkih spojeva, udara groma u postrojenja i dalekovode ili u blizini ovih postrojenja. Oni dovode do maksimalnih naponskih naprezanja izolacije i zato predstavljaju osnovu za dimenzioniranje izolacije, i presudno utječu na pouzdanost rada postrojenja i VN sustava kao cjeline. Zato su od nastanka prvih mreža, tijekom njihovog razvoja i danas, prenaponske pojave predmet istraživanja stručnjaka diljem svijeta.
Prenaponske smetnje atmosferskog porijekla, koje putem dalekovoda mogu naići na postrojenje, mogu nastati uslijed direktnog udara groma u fazni vodič dalekovoda ili uslijed povratnog preskoka na izolaciji voda, kod udara groma u zaštitno uže ili stup dalekovoda. Najveći broj prenaponskih smetnji događa se kao posljedica povratnog preskoka na dalekovodu, jer se oni ne mogu sasvim izbjeći niti kod malih vrijednosti udarnih otpora uzemljenja stupova. Prenaponi generirani povratnim preskokom na izolaciji dalekovoda su najopasniji po neobnovljivu izolaciju u postrojenju, jer su redovito vrlo strmi i gotovo okomitog čela. Povratni preskoci u trasi voda, udaljeni od postrojenja nisu opasni, jer su prigušeni uslijed korone.
Međutim, bliski povratni preskoci predstavljaju veliku opasnost po izolaciju postrojenja i zaslužuju maksimalnu pozornost.
U svezi sa ovim razvijaju se mnoge naprave, koje se uglavnom temelje na ideji o sklapanju određene impedancije između točaka, između kojih se ograničava prenapon.
Danas se koriste za ograničenje prenapona odvodnici prenapona i koordinacijska iskrišta, ugrađena na ulazu dalekovoda u postrojenja.
Fizikalnu sliku razvijanja električnog luka između elektroda autori su izložili u članku, Energija br. 6. 1996. god. "DJELOTVORNOST KOORDINACIJSKIH ISKRIŠTA 110 kV UGRAĐENIH U DV POLJA POSTROJENJA", tako da se ovdje neće ponavljati.

2. ANALIZA RADA ISKRIŠTA U 220 kV MREŽI

Da bi izolacija izdržala potrebne zahtjeve uveden je pojam koordinacija izolacije koja se sastoji u izboru dielektrične čvrstoće opreme u odnosu na prenapone koji se mogu pojaviti u mreži. Koordinacija izolacije predstavlja usklađenje izolacijskih i zaštitnih nivoa sa ciljem da se smanji ošećenje izolacije.
Najjednostavnija zaštita od prenapona su koordinaciona zaštitna iskrišta na izolatorskim lancima pri ulasku dalekovoda u potrojenja ili na prvom stupu od postrojenja.
Razmak elektroda koordinacionih iskrišta u 220 kV mreži, kreće se od 1100 mm do 1260 mm.
Razmaku 1260 odgovara 50% preskočni napon 782 kV, za standardni atmosferski val oblika 1,2/50 μsec.
Sa ovim preskočkin naponom ostvaruje se gornja granica faktora zaštite izolacije u elektroenergetskim postrojenjima, 220 kV mreže. Stručnjaci koji vode ovu poblematiku računaju sa ovim faktorom zaštite koordinacijskih iskrišta. Za manje razmake između elektroda dobiva se veći faktor zaštite. Kada bi iskrišta ograničavala amplitude atmosferskih prenapona prema postavljenim zahtjevima, mnogi problemi prenaponske zaštite bili bi riješeni.
Međutim, analizom ove problematike, opažaju se nedostaci u ostvarivanju očekivane zaštite neobnovljive izolacije u elektroenergetskim postrojenjima.
Na slici 1 prikazana je volt-sekundna karakteristika za razmak elektroda 1260 mm koji se može upotrijebiti u mreži 220 kV. Krivulja je dobivena eksperimentalnim oglednom u laboratoriju za visoki napon, a može se dobiti i računskim putem. Krivulja dobivena proračunom dobro se slaže sa eksperimentalnom krivuljom. Uobičajeni razmak koordinacijskih iskrišta u 220 kV mreži je 1100 mm. Ovim razmakom ostvaruje se bolji faktor zaštite štićene opreme. Podnosivi udari napon opreme, na standardni atmosferski val, u 220 kV mreži iznosi 950 kV. Sa faktorom zaštite 1.2 najveća vrijednost preskočnog napona iskrišta, na standardni udarni val, treba biti 791 kV. Međutim, sa slike 1 se vidi da za amplitudu napona 791 kV, vrijeme prorade iznosi



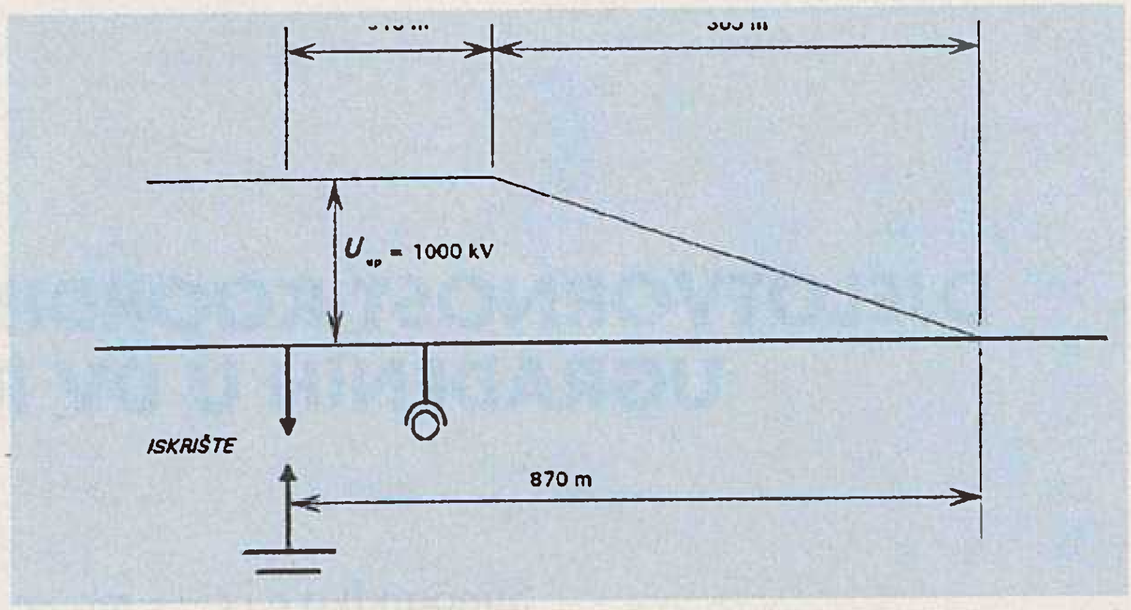
Slika 1. Eksperimentalna volt-sekunda karakteristika za razmak elektroda 1260 mm

oko 7 μsec. Stručnjaci u analizama prenaponske zaštite računaju da će veća amplituda upadnog vala od 791 kV biti ograničena koordinacijskim iskrištem.

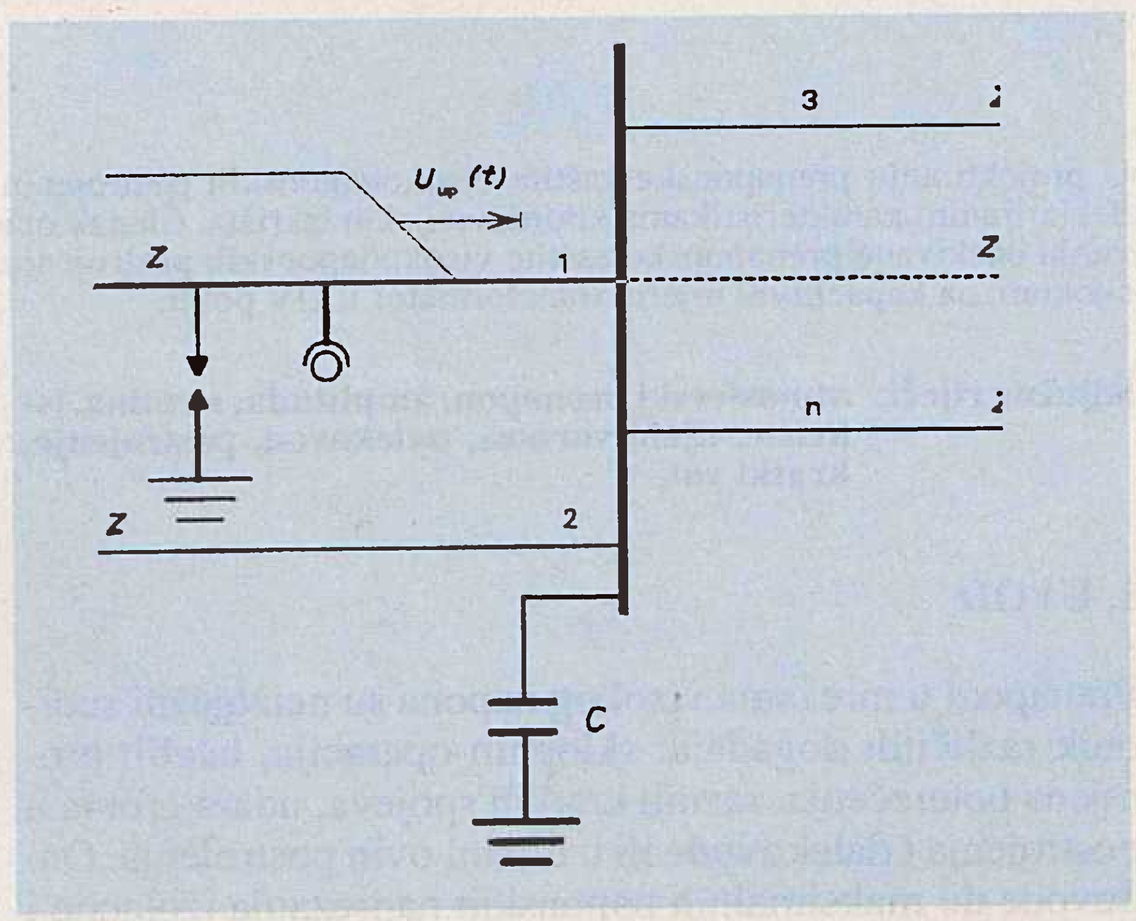
Analizom ove problematike dolazimo do spoznaje da iskrište zapravo ne ograničava amplitudu upadnog vala, nego samo njegovo trajanje na štićenoj opremi. Upadni val ne čeka proradu iskrišta, nego nastavlja kretanje dalje vodičem sve do mjesta refleksije, prelamanja ili poništenja vala. Na slici 1 vidimo da većoj amplitudi upadnog vala odgovara brža prorada iskrišta i obrnuto.

Sa slike 1 vidimo da amplituda upadnog standardnog vala treba biti oko 1600 kV da iskrište proradi za 1,2 μsec. Promatrajmo atmosferski val, standardnog oblika, amplitude 1000 kV koji dolazi faznim vodičem na ovo iskrište. Kada val stigne na mjesto ugradnje iskrišta, počinje naponsko opterećivanje između elektroda. Za amplitudu 1000 kV vrijeme prorade iskrišta je oko 2,9 μsec. Kako je brzina kretanja vala oko 300 m/μsec, val može proći dalje od iskrišta za 870 m prije no što iskrište proradi. Na slici 2 prikazana je naponska slika upadnog vala, neposredno prije prorade iskrišta. Vidi se da je pored iskrišta prošlo čelo vala, na vodiču dugom 360 m i puna amplituda upadnog vala 1000 kV na vodiču dugom oko 510 m. Oprema i sabirnice u postrojenju su udaljeni od mjesta ugradnje iskrišta i do 50 m, ako se iskrište ugradi na izlaznom portalu. Kako je brzina kretanja vala 300 m/μsec, a na vodiču imamo puni val od 1000 kV, jasno se vidi da će oprema u postrojenju biti izložena naponskom naprezanju koje je iznad podnosivog napona izolacije u postrojenju. Proradom, iskrište generira val suprotnog polariteta koji poništava upadni val. Kakva će se dalje naponska slika razvijati i koliko vremena će trajati prenapon na VN opremi, ovisi o uklopnoj shemi u postrojenju.

Kada val stigne do sabirnica postrojenja njegovo ponašanje ovisi od ekvivalentne valne impedancije u postrojenju. Za n priključnih vodova slika 3, iste valne impedencije, napon na sabirnicama iznosi:



Slika 2. Naponska slika na vodu neposredno prije prorade iskrišta



Slika 3. Dolazak vala na n priključnih vodova u postrojenju

$$U_s = \frac{2}{n} U_{up}\left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) \quad (1)$$

$$T = \frac{Z \cdot C}{n} \quad (2)$$

gdje je:

- U_s - napon na sabirnicama
- U_{up} - napon upadnog vala
- n - broj dalekovoda priključenih na sabirnice
- T - vremenska konstanta
- t - vrijeme
- C - kapaciteti priključen na sabirnice

Ako na sabirnice nije priključen veći kapacitet, kao u slučaju reguliranja cos φ, drugi član jednadžbe (1) je zanemarivo mali.

Tada jednadžba ima oblik:

$$U_s = \frac{2}{n} U_{up} \quad (3)$$

Napon na sabirnicama bit će utoliko manji ukoliko više vodova iz njih odlazi.

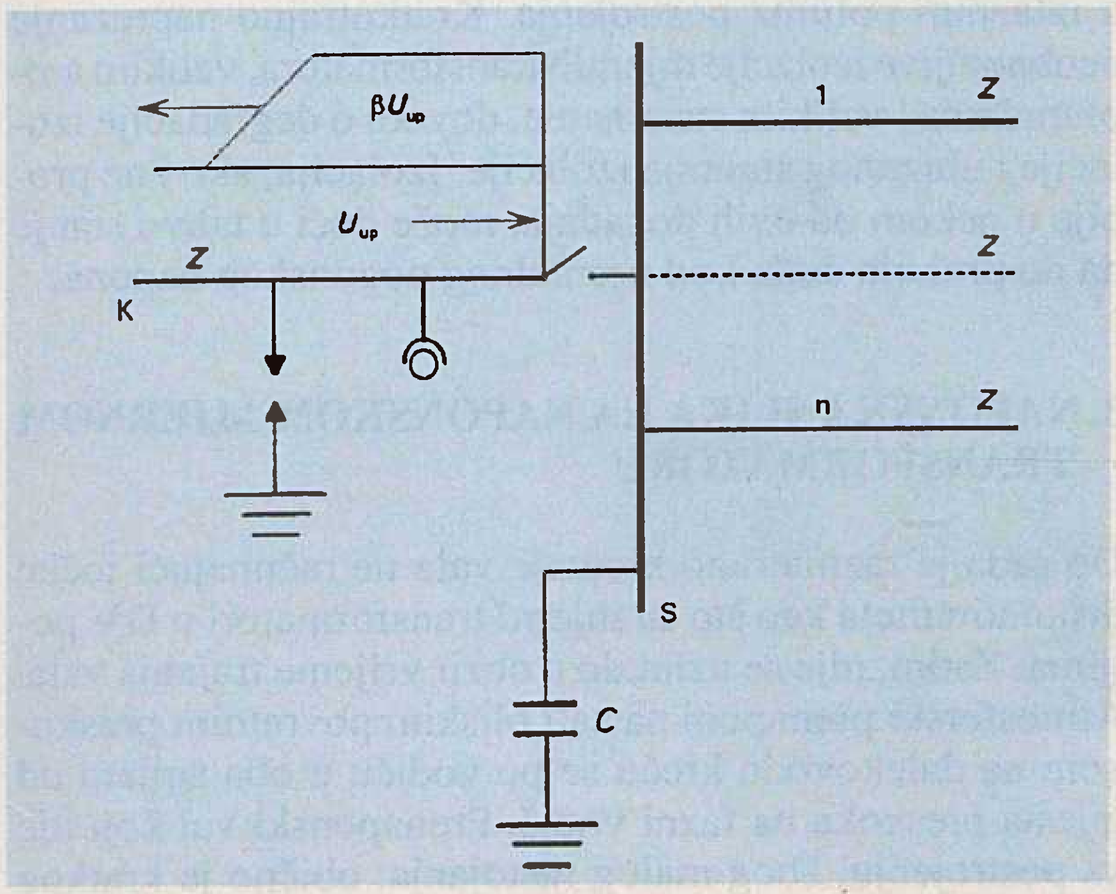
Reflektirani val iznosi:

$$U_{od} = U_{up}\frac{2-n}{n} = U_{up} \cdot \beta \quad (4)$$

$$\beta = \frac{2-n}{n} \quad (5)$$

Gdje je ß faktor refleksije i ovisi o broju vodova priključenih u postrojenju. Ako je broj vodova veći od 2, faktor refleksije je manji od jedinice i negativan je. Tada će re-

flektirani val smanjivati napon upadnog vala. Za upadni val koji ima veće trajanje čela odnosno manju strminu, upadni val će se poništiti i iskrište neće ni imati uvjete ni potrebe za proradu. Najgori slučaj je kada imamo samo jedan vod ili ako je vod otvoren na kraju. Tada je faktor refleksije pozitivan i jednak jedinici, što znači da bi se reflektirani val pribrojio upadnom valu. Tada imamo naponsku sliku kao na slici 4.



Slika 4. Dolazak standardnog vala na otvoreni vod

Vidi se da će napon iskrišta narasti do $2U_{up}$ odnosno 2000 kV i može se očekivati prorada iskrišta, kada reflektirani val stigne do iskrišta, prema slici 4. Najkraće vrijeme izloženosti opreme porenaponu od 1000 do 200 kV iznosi 0, 333 μsec, za udaljenost opreme od iskrišta 50 m. Za neobnovljivu izolaciju mjernih transformatora ovo je svakako veliko naponsko opterećenje. Ne može se ustvrditi da će doći do proboja sa ovako kratkim trajanjem prenapona, ali se može konstatirati da će doći do degradacije neobnovljive izolacije.

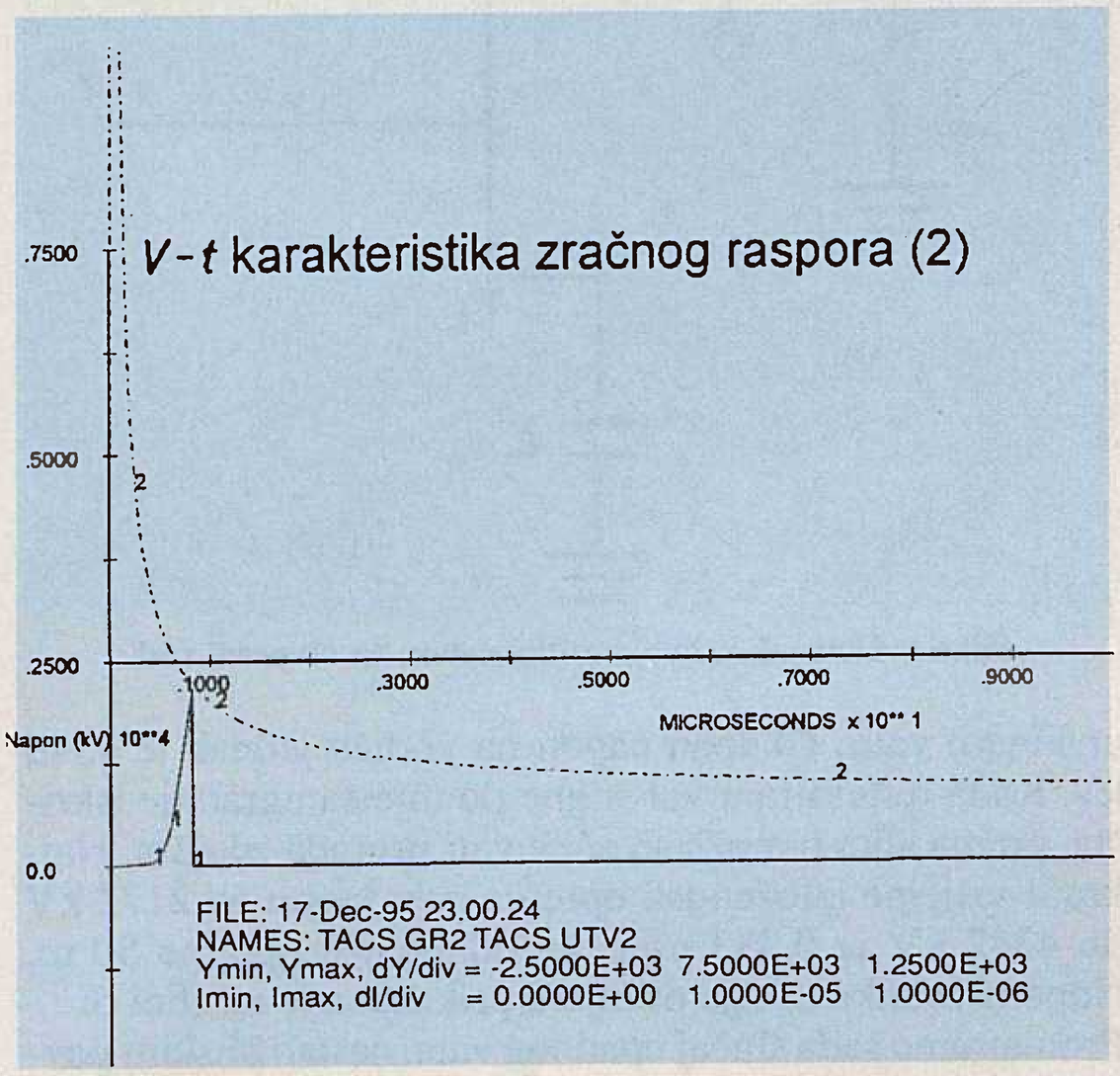
Izolacija neće izdržati više ovakvih prenapona ili će doći do proboja degradirane izolacije i pod normalnim pogonskim naponom.

Ipak, direktni udari struje groma u fazne vodiče su rijetki. Oni i nisu tako opasni jer redovito imaju relativno manju strminu. Prema elektrogeometrijskom modelu, mogući su direktni udari u fazni vodič struja groma do 10 kA.

Najveći broj prenaponskih smetnji događa se kao posljedica povratnog preskoka na dalekovodu, jer se oni ne mogu sasvim izbjeći niti kod malih vrijednosti udarnih otpora uzemljenja stupova. Prenaponi generirani bliskim povratnim preskokom na izolaciji dalekovoca su najopasniji po neobnovljivu izolaciju u postrojenju, jer su redovito vrlo strmi i gotovo okomitog čela.

Za potrebe analize prenaponske zaštite HE SENJ, autori su razvili postupak i modelirali u EMTP-u volt sekundnu karakteristiku zračnih razmaka na zaštitnim armaturama izolatorskih lanaca. Na ovaj način do povratnog preskoka dolazi kada napon U(t) presječe volt sekundnu karakteristiku modeliranog zračnog razmaka. Na ovaj način nastajanje povratnog preskoka isto je ili slično pojavi povratnog preskoka u svarnosti na dalekovodima Dobiva se potpuno druga kvalitativna slika u proračunima i analizama posljedica povratnog preskoka u odnosu na dosadašnji pristup. Dosadašnji pristup u analizama i proračunu je bilo kada napon na armaturama dostigne podnosivi napon 950 kV, dolazi do preskoka u zračnom razmaku.

Na slici 5 prikazano je naponsko stanje i preskok na izolatorskom lancu drugog stupa za udar struje groma u drugi stup dalekovoda u HE SENJ, sa modeliranim volt sekundnim karakteristikama u proračunu.

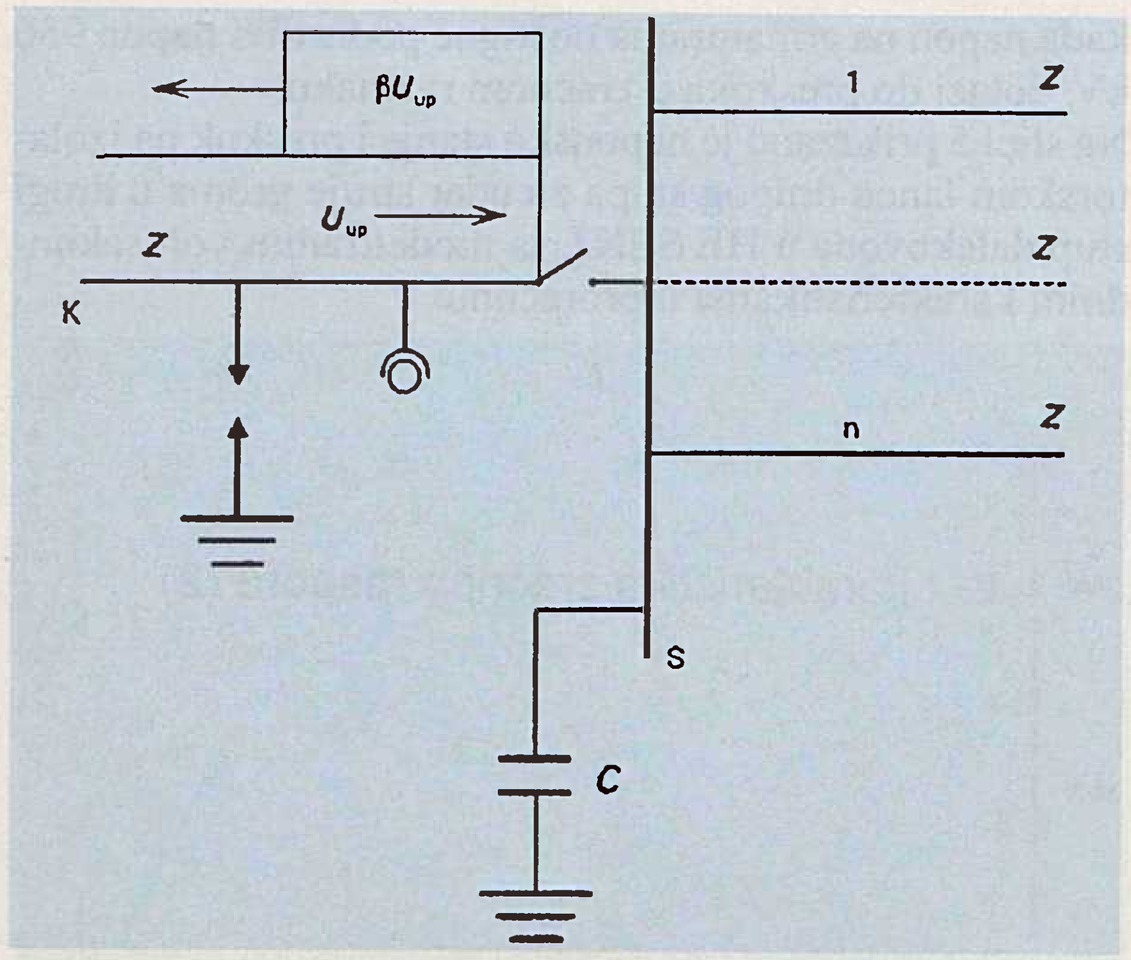


Slika 5. Naponska slika i preskok na armaturi izolatorskog lanca, na drugom stupu

Sa slike 5 se vidi da je preskok na armaturi izolatorskog lanca, na drugom stupu sa razmakom armatura 2192 mm, nastao poslije 0,7 μsec sa naponom 2173 kV!!! Amlituda vala nastalog povratnim preskokom je višestruko veća na faznom vodiču sa modeliranjem zračnog razmaka u omjeru sa amplitudom 950 kV, kada se uzima podnosivi napon izolacije kao preskočni napon. U proračunima se pokazuje da upadni val na faznom vodiču, izaziva ponovni preskok prema uzemljenim dijelovima na susjednim stupovima od mjesta preskoka prema dalekovodu. Tako se dokazuje da udari veće struje groma izazivaju višestruke preskoke na izolaciji dalekovoda. Uzimanje podnosivog napona izolacije kao preskočnog napona daje samo jedan preskok, odnosno ne daje vjernu sliku prenapona na karakterističnim točkama analiziranog postrojenja.

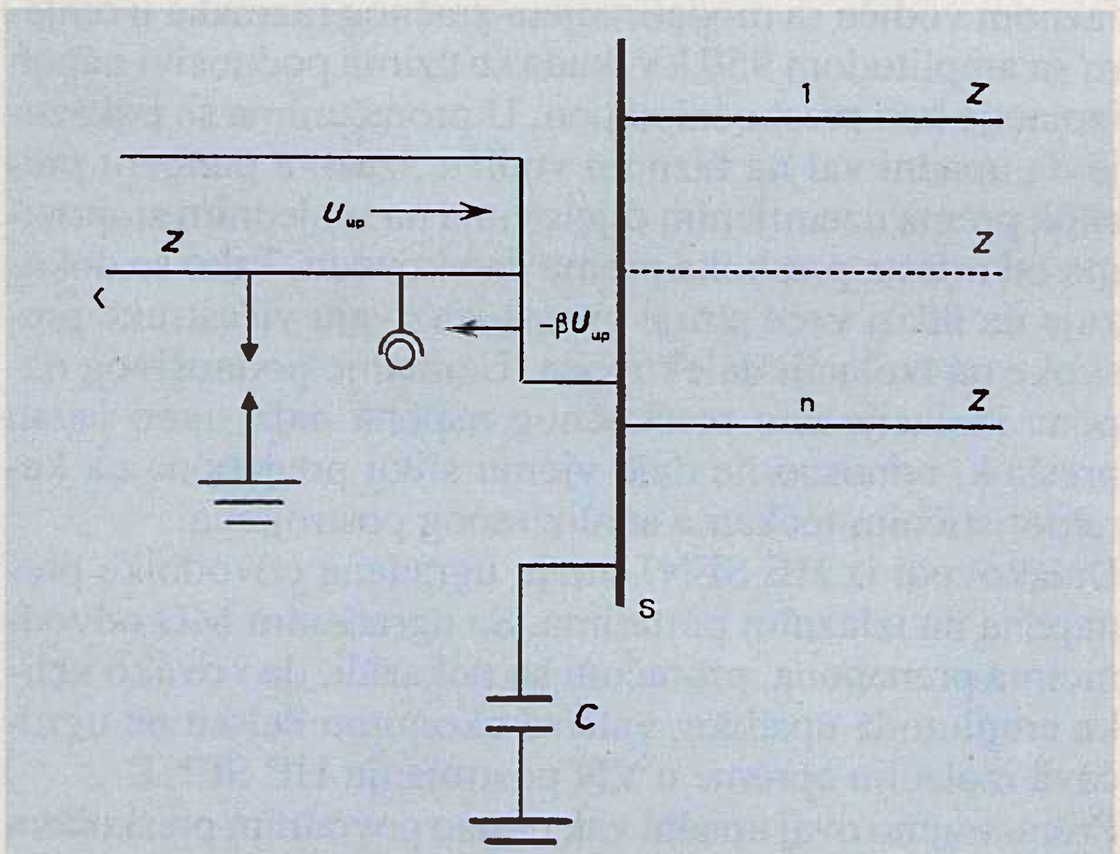
Dalekovodi iz HE SENJ imaju ugrađene odvodnike prenapona na izlaznim portalima. Sa ugrađenim MO odvodnicima prenapona, proračuni su pokazali, da i ovako velika amplutuda upadnog vala sa okomitim čelom ne ugrožava izolaciju opreme u VN postrojenju HE SENJ.

Promatrajmo ovaj upadni val, nastao povratnim preskokom na drugom stupu dalekovoda, amplutude 2173 kV sa okomitim čelom, kada na izlaznom portalu nemamo odvodnike prenapona već koordinacijska iskrišta sa razmakom 1260 mm. Utjecaj korone je zanemaren u ovom razmatranju zbog malog razmaka od postrojenja. Kada val dođe do iskrišta, sa razmakom elektroda 1260 mm, vrijeme preskoka odgovara točki J kada četverokut IJKL dostigne površinu četverokuta EFGH sa slike 1. Ovo vrijeme iznosi oko 0,4 μsec. Val amplitude 2173 kV će proći mjesto ugradnje iskrišta za oko 120 m. Ako imamo samo jedan vod ili ako je vod otvoren na svom kraju, faktor refleksije ß je pozitivan i jednak jedinici, kada imamo reflektirani val koji se zbraja



Slika 6. Dolazak vala okomitim čelom na otvoreni vod

upadnom valu. Ukupan napon na vodiču jednak je 4346 kV. Kada reflektirani val stigne do mjesta ugradnje iskrišta, prema slici 6 može se očekivati prorada iskrišta. Najkraće vrijeme izloženosti opreme prenaponu od 2173 kV do 4347 kV je 0,333 μsec, za udaljenost opreme 50 m. Naponska slika ovoga primjera prikazana je na slici 6.
Promatramo sada slučaj upadnog vala, nastao bliskim povratnim preskokom na dalekovodu, amplutude 1200 kV i okomitog čela koji dolazi dalekovodom na postrojenje sa n priključenih dalekovoda. Sa slike 1 se vidi da je iskrištu potrebno do prorade vrijeme oko 2 μsec. Val prolazi pored iskrišta i dolazi do sabirnica. Faktor refleksije ß negativan i reflektirani val poništava upadni val. Naponska slika prikazana je na slici 7.



Slika 7. Dolazak vala sa okomitim čelom na postrojenje sa n priključenih vodova

Upadni val amplutude 1200 kV, prema slici 7 prođe mjesto ugradnje iskrišta, i dođe do sabirnica. Neka imamo dovoljan broj dalekovoda na sabirnicama da faktor refleksije bude negativan i jednak jedinici. Tada reflektirani val potpuno poništava upadni val i iskrište neće stići proraditi. Ako je VN oprema udaljena od sabirnica oko 30 m, tada je najkraće vrijeme izloženosti opreme amplitudi prenapona 1200 kV jednako vremenu putovanja vala od mjesta ugradnje VN opreme do sabirnica i nazad. Ovo vrijeme iznosi oko 0,2 μsec.
Ovdje je analiziran atmosferski val amplutude 1200 kV. Za druge amplitude upadnog vala dobiju se slični rezultati samo sa različitim vremenima trajanja vala i različitim amplitudama rezultantnog vala.
Iz ove analize proizlazi, da bez obzira na uklopno stanje postrojenja, koordinacijska iskrišta ne zaštite VN opremu u izlaznim poljima postrojenja. Kratkotrajno naprezanje neobnovljive izolacije mjernih transformatora, velikim amplutudama i velikim strminama, dovodi o degradacije izolacije i ubrzanog starenja izolacije. Izolacija, ako i ne probije u nekom od ovih događaja, može doći u takvo stanje da do proboja dođe kod normalnog pogonskog napona.

3. NAPONSKA SLIKA NA NAPONSKOM MJERNOM TRANSFORMATORU

Do sada je razmatrano kretanje vala ne računajući točke diskontinuiteta kao što su mjerni transformatori u DV poljima. Zatim, nije se uzimalo u obzir vrijeme trajanja vala. Atmosferski prenaponi nastali bliskim povratnim preskokom na dalekovodu kreću se po vodiču u oba smjera od mjesta preskoka na fazni vodič. Prenaponski val koji ide ka postrojenju, zbog malog rastojanja, obično je kratkog trajanja. Bliski povratni preskoci smatraju se preskoci na prvim stupovima dalekovoda. Analize su pokazale da je interesantno promatrati udar struje groma i događanja do prvih 10 stupova od postrojenja. Tada su amplitude i strmine upadnog vala najopasnije za postrojenja. Neka je prosječni razmak stupova 280 m, deseti stup je udaljen od postrojenja 2800 m. Tako se dobiva da je trajanje vala nastalog povratnim preskokom reda 10 μsec, a za povratni preskok na izlaznom portalu i prvom stupu dalekovoda trajanje vala je reda 1-2 μsec. Poslije ovih vremena upadni val će nestati proradom iskrišta ili biti poništen reflektiranim negativnim valom od sabirnica ili proradom odvodnika pored transformatora snage. Koji će se slučaj dogoditi ovisi od ukupne sheme postrojenja i trenutnog uklopnog stanja.
Kada kratki val dođe do točke diskontinuiteta, odnosno naponskog mjernog transformatora, počinje naponski opterećivati mjerni transformator. Točka priključenja naponskog transformatora u DV poljima je na kraju dalekovoda, gdje se mijenjaju vrijednosti valnih impedancija zbog razlike visina vodiča dalekovoda i postrojenja.
Promjene napona u točki dikontinuiteta sa paralelno priključenim kapacitetom mjernog transformatora je:

$$U_2 = \frac{2U_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}\left(1 - e^{-\left(\frac{T_v}{T}\right)}\right) \qquad (6)$$

gdje je:

T_v - trajanje vala
T - vremenska konstanta kruga
U_2 - napon poslije točke diskontinuiteta
U_1 - napon prije točke diskontinuiteta
Z_1 - valna impedancija vodiča dalekovoda
Z_2 - valna impedancija vodiča u postrojenju

Vremenska konstanta kruga je:

$$T = \frac{Z_1 \cdot Z_2 \cdot C}{Z_1 + Z_2} \qquad (7)$$

Energija, god. 46 (1997) 3, 171-176

Vrijednost napona U_2 bit će manja što je omjer (T_v/T) u izrazu (6) manji. To znači: što je trajanje vala kraće, vremenska konstanta kruga je veća.

Vrijednosti valnih impedancija faznih vodiča na dalekovodu i postrojenju kreću se oko $Z_1 \approx 450\ \Omega$ i $Z_2 \approx 300\ \Omega$. Za uzete vrijednosti valnih impedancija i kapaciteta mjernog transformatora $C \approx 5000$ pF, vremenska konstanta kruga iznosi $T = 0{,}9$ µsec. Međutim, ovaj rezultat je dobiven promatranjem idealnog kapaciteta bez omskog otpora i parazitnih iduktiviteta kondenzatora.

Mjerni kapacitivni naponski transformatori u mreži 220 kV, proizvodnje "Energoinvest", imaju približno sljedeće karakteristike:

- rezonantna frekvencija > 500 MHz
- ekvivalentni omski otpor za frekvencije 40-500 kHz≈40 Ω
- ekvivalentni kapacitet za frekvencije 40-500 kHz ne odstupa više od 50% nominalnog kapaciteta $C = 5000$ pF
- tgδ ovisi o frekvenciji i reda je 10^{-3}

Za strme prenapone, nastale bliskim povratnim preskokom, frekvencija dostiže i 10 MHz. U tim uvjetima kapaciteti kondenzatora predstavljaju kratki spoj, a raspodjelu napona i vremensku konstantu određuju parazitni induktivitet i omski otpor kondenzatora. Ukupni parazitni induktivitet mjernog kapacitivnog transformatora može se izračunati iz minimalne rezonantne frekvencije mjernog transformatora.

Tada se parazitni induktivitet i omski otpor izračunava iz izraza:

$$L = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f_{rez})^2 \cdot C} \qquad (8)$$

$$R = \frac{tg\delta}{\omega \cdot C} \qquad (9)$$

Vremenska konstanta mjernog transformatora je $T = 2L/R$ i za iznijete podatke ima vrijednost reda 10 µsec. Većina kratkih valova, nastalih bliskim povratnim preskokom traju kraće od 10 µsec, a kada se povratni preskok dogodi na izlaznom portalu ili prvom stupu vrijeme trajanja vala može biti 1-2 µsec. Kako su bliski povratni preskoci praktično okomitog čela, cijela amplituda vala počinje opterećivati početak naponskog transformatora. Iz iznijetih vremena trajanja kratkog vala i vremenske konstante mjernog transformatora se vidi da val ne prođe cijeli slog kapaciteta mjernog transformatora. Koliko će val ući u transformator ovisi od omjera T_v/T_{mt}. Ako je trajanje vala $T_v = 2$ µsec, a vremenska konstanta mjernog transformatora $T_{mt} = 10$ µsec, val će proći petinu slogova kapaciteta mjernog transformatora. Poslije 2 µsec kratki val nestaje na vodiču, a dio vala koji je ušao u transformator bit će prigušen omskim otporom u transformatoru.

Iz ovoga primjera se vidi da može doći do degradacije samo gornjeg dijela kapacitivnog mjernog naponskog transformatora. Taj dio može kratkotrajno biti izložen amplitudama atmosferskog prenapona koje višestruko premašuju amplitudu podnosivog napona izolacije, iako imamo ugrađeno koordinacijsko iskrište ispred postrojenja. Ovdje je uzet primjer naponskog mjernog kapacitivnog transformatora, a slično se događa i sa drugom visokonaponskom opremom.

5. ZAKLJUČAK

1. Iznijeta analiza kazuje da prenaponi nastali pražnjenjem struje groma u fazne vodiče ili gromobransku zaštitu dalekovoda, ugrožavaju neobnovljivu izolaciju u postrojenju i pored ugrađenih koordinacijskih iskrišta. Posebno su ugroženi dijelovi VN preme do priključka pod napon.
2. Za postrojenja sa malim brojem priključnih dalekovoda, a posebno za krajnje postrojenje, opasnost od atmosferskih prenapona je veća, mada nije otklonjena i u postrojenjima sa više dalekovoda.
3. Prikazivanje koordinacijskih iskrišta sa svojom zaštitnom zonom, u obradi prenaponske zaštite i koordinacije izolacije, ovom analizom dovodi se pod sumnju.
4. Degradacija neobnovljive izolacije mjernih transformatora, koji su najviše ugroženi u iznijetoj analizi, može dovesti do kvara mjernih transformatora i kod normalnih pogonskih uvjeta.
5. U istraživanju uzroka kvara mjernih transformatora najčešće se ukazuje na kvalitetu proizvođača ili nebrigu u održavanju opreme. Mada su ovo važni faktori može se zaključiti da i pored dobre kvalitete ovih komponenata oprema može biti ugrožena.
6. Iz iznijetog proizlazi da je jedina prava zaštita od prenapona atmosferskog porijekla, primjena metalooksidnih odvodnika prenapona u dalekovodnim poljima.

LITERATURA

[1] M. PADELIN: "Tehnika visokog napona"

[2] A. J. ERIKSSON: "The incidence of lighting strikes to power lines", IEEE Trans, Vol. PWRD-2, No 3. July 1987.

[3] A. J. ERIKSSON: "An improved electrogeometric model for transmission lines shielding analysis", IEEE Trns, Vol. PWRD 2, No 3. July 1987.

[4] IEEE Working Group: "A Simplified Method for Estimating Lighting Performace of Transmission Lines", IEEE, PAS 1984, Washington, 17 July 1984.

[5] V. ILIJANIĆ, S. BANIĆ, M. MEHMEDOVIĆ: "Analiza i rješenje sistema prenaponske zaštite postrojenja HE Senj", Ožujak 1996.

[6] F. HOFBAUER: "The protection or high voltage substations against lighting"

[7] S. SADOVIĆ: "Određivanje prenaponskih karakteristika VN postrojenja i dalekovoda kod atmosferskog pražnjenja", Bled, Svibanj 1989.

[8] M. DARVENIZA: "Modeling for lightning performance calculations", IEEE Vol. PAS-98, No, 6 Nov./dec. 1979.

EFFICIENCY OF THE 220 kV COORDINATIONED GAPE DISTANCE BUILT IN THE SUBSTATION FEEDER BAY

When designing the overvoltage protection for the high-voltage substations and choosing the parameters for the insulation co-ordination, experts use declared characteristics of co-ordinated gape distances in the 220 kV network to obtain the expected evervoltage protection of the high voltage substations. The influence of the short impulse wave, caused by back flashover on the capacitive measurement transformer in the feeder bay, is also analysed.

DIE WIRKSAMKEIT DER ABGESTIMMTEN SCHUTZFUNKENSTRECKEN 220 kV IN FERNLEITUNGSFELDERN DER ANLAGEN

Beim Entwerfen des Überspannungsschutzes der Hochspannungsanlagen und der Auswahl von Parametern der abgestuften Isolation, rechnen die Fachleute mit den in technischen Unterlagen angeführten Merkmalen der Funkenstrecken im 220 kV - Netz um den erwarteten Überspannungsschutz der Hochspannungsanlagen zu erzielen. Erörtert wierd der Einfluss der kurzen, durch den reflektierten Überschlag entstandenen Einfallswellen, auf kapazitive Spannungsmesswandler in Fernleitungsfeldern der Anlage.

Naslov pisaca:

Stjepan Banić, dipl. ing.
mr. Velimir Ilijanić, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu i energetiku,
Ulica grada Vukovara 37,
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1996-12-16.

KRATAK OPIS I USPOREDBA DIGITALNIH TDMA SUSTAVA POKRETNE TELEFONIJE

Mr. sc. Dubravko Sabolić, Zagreb

UDK 654.153:621.396
PREGLEDNI ČLANAK

Opisane su osnovne tehničke karakteristike najvažnijih sustava pokretnih radiokumunikacija druge generacije. Dana je usporedba parametara njihove kvalitete i komunikacijskog kapaciteta. Ukratko su diskutirane potrebe posebnih korisnika, poput elektroprivrede, hitnih službi, transporta itd. za vlastitim mobilnim radijskim vezama, te je sugeriran mogući izbor takvoga sustava.

Ključne riječi: pokretna telefonija, TDMA, GSM, IS-54, TETRA.

Uvod

Zadnjih je godina mogućnost osobnog mobilnog komuniciranja dovela do velike potražnje tržišta za proizvodima koji će omogućiti ovu vrstu usluge praktički svakome. Prije petnaest do dvadeset godina, pojavom prvih bežičnih aparata, korisnici su tek osjetili prednosti određene, premda ograničene, slobode kretanja u odnosu na svoj fiksni telefonski priključak. Nedugo potom, čim je to tehnika omogućila, ostvarene su prve prave javne mobilne mreže, u kojima zemaljski priključak za korisnika više ne postoji, pa je on slobodan sa svojim aparatom gibati se na većim teritorijima, primjerice u granicama svoje matične države. Prva generacija pokretnih telefonskih mreža bazirala se na frekventnoj modulaciji (FM) i omogućila je uglavnom nacionalno pokrivanje. Kod nas je u funkciji FM sustav komercijalnog imena MOBITEL, koji je u stvari prerađena verzija nordijskog sustava NMT-450 (Nordic Mobile Telephony, 450 MHz), prebačena u frekvencijski opseg oko 410 MHz. Već iz tog razloga nije bilo moguće ostvariti slobodu gibanja izvan granica tadašnje države. U Europi je postojalo čak šest potpuno inkompatibilnih sustava mobilne telefonije FM generacije, tako da ni na općem europskom planu situacija nije bila ništa bolja. Zato je bilo samo pitanje vremena kada će biti razvijeni sustavi koji će omogućiti kontinentalno pokrivanje terena, veću kvalitetu usluge i mogućnost komuniciranja podacima srednjih brzina, a ne samo govorom. Takvi sustavi riješeni su u svijetu u nekoliko varijanti na principima digitalnog prijenosa, a u Europi je npr. popularan i sve traženiji GSM, koji kod nas egzistira pod komercijalnim imenom CRONET. Motivacija za napredak bila je čisto ekonomske naravi: ispostavilo se naime da je potražnja za mobilnim telefonima prerasla očekivanja, te da je zahvatila ne samo poslovnu i profesionalnu populaciju, već i najšire stanovništvo, posebice u Americi i nordijskim zemljama. Industrijski izvori cijene da je 1995. godine u svijetu bilo oko 50 milijuna korisnika celularnih sustava. Danas se tek otvaraju golema potencijalna tržišta (istočna Europa, Rusija, Kina i dr.), u kojima je prosječna platežna moć stanovništva još relativno niska pa se veliki porast potražnje očekuje tek za 5 do 10 godina. Razumljivo je stoga da industrija nastoji pratiti ove trendove i proširiti ponudu razvojem novih tehnologija. Pokretna komunikacija postaje potreba, a ne luksuz, tako da se pred nove sustave postavljaju komunikacijski zahtjevi koje je teško zadovoljiti. Ovaj će članak dati kratak pregled sustava druge generacije, koji i kod nas nezadrživo prodiru u široku poslovnu i osobnu uporabu. Opširnije informacije čitatelj može naći u [1-11].

1. TEHNIKE VIŠESTRUKOG PRISTUPA

Jedan fizički uređaj može se simultano obrađivati više informacija ako koristi neku od tehnika višestrukog pristupa, npr. FDMA (Frequency Division Multiple Access - višestruki pristup podjelom frekvencija), TDMA (Time DMA - višestruki pristup podjelom vremena) i CDMA (Code DMA - višestruki pristup podjelom kodova).
FDMA je principijelno jednostavna tehnika koja se mora primijeniti u analognom komuniciranju, a može biti iskorištena i u digitalnom (primjerice u CT-2 sustavu bežične telefonije). Najkraće rečeno, svakoj vezi dodijeljen je jedan dupleksni nosilac. U mobilnim sustavima primjena amplitudne modulacije ne dolazi u obzir radi veće osjetljivosti na šum, interferencije i fadig (pojava povremenog dubokog propada razine signala uslijed višestruke propagacije), pa je iskorištena frekventna. Kod TDMA pristupa pojedina informacija prospaja se samo u jednom dijelu standardiziranog vremenskog ciklusa koji se obično naziva okvirom (frame). To primjerice znači da će, ako je realiziran osmerostruki TDMA pristup, jedna mobilna stanica moći komunicirati s baznom samo tijekom jedne, i to uvijek iste, osmine vremenskog okvira. Traži se sinkronizam rada ova dva uređaja. Frekvencija RF nosioca pritom je za sve učesnike ista. TDMA je usvojen kao princip formiranja digitalnih sustava druge, sada aktualne generacije. CDMA koristi za sve poruke isti radio kanal i isto vrijeme, ali su bitovi informacije poslije modulacije na nosioc dodatno kodirani pseudoslučajnim signalom mnogo veće digitalne brzine. Na prijemnoj se strani signal propušta

kroz korelator, i ako nosi ispravan kod, te ako postoji sinkronizam, detektor će dobiti modulirani RF signal iz kojega će izdvojiti informaciju. U protivnom, poruka s drugačijim kodom pojavit će se na ulazu detektora kao pseudoslučajni šum. CDMA je metoda orjentirana očito samo na digitalne sustave.

Načelna usporedba spektralne efikasnosti pojedine od ovih metoda ne može nam odmah otkriti koja je od njih povoljnija. Ako je za prijenos jedne informacije potrebna širina pojasa B, tada će u FDMA sustavu za prijenos, npr. 12 takvih kanala trebati frekventni opseg od $12B$. U TDMA s 4 kanala po nosiocu (4 vremenska intervala u okviru) trebat će samo tri radijska nosioca, ali će oni zahtijevati 4 puta širi spektar jer se informacija mora prenijeti u realnom vremenu. Kako svaki korisnik ima na raspolaganju samo 1/4 ukupnog vremena, morat će svoje bitove sakupiti u memoriji i u danom trenutku ih poslati 4 puta brže. Rezultat je opet $12B$. Hipotetski CDMA sustav koji bi informacije kodirao 12 puta bržom sekvencijom raspršio bi energiju kanala na 12 puta širi spektar, dakle $12B$. Pošalje li se 12 takvih kanala iste energije, ukupna zračna energija bit će ista kao u prethodna dva slučaja. Dakle, opet se može prenijeti 12 kanala. Ovakva rasprava ne može uopće odlučiti koji od tri načina je najbolji za mobilne sustave. To ovisi o više faktora, poput načina kodiranja osnovnog govornog pojasa, metodi zaštite digitalnog sadržaja, metodi modulacije, otpornosti na smetnje, mogućnosti geografskog ponavljanja nosioca, itd. Ustanovljeno je da uz isti raspoloživi pojas frekvencija najmanje prometa mogu ponijeti FDMA sustavi, zatim TDMA, i na kraju CDMA. U tom smislu i ide tehnološki napredak.

2. SUSTAV GSM

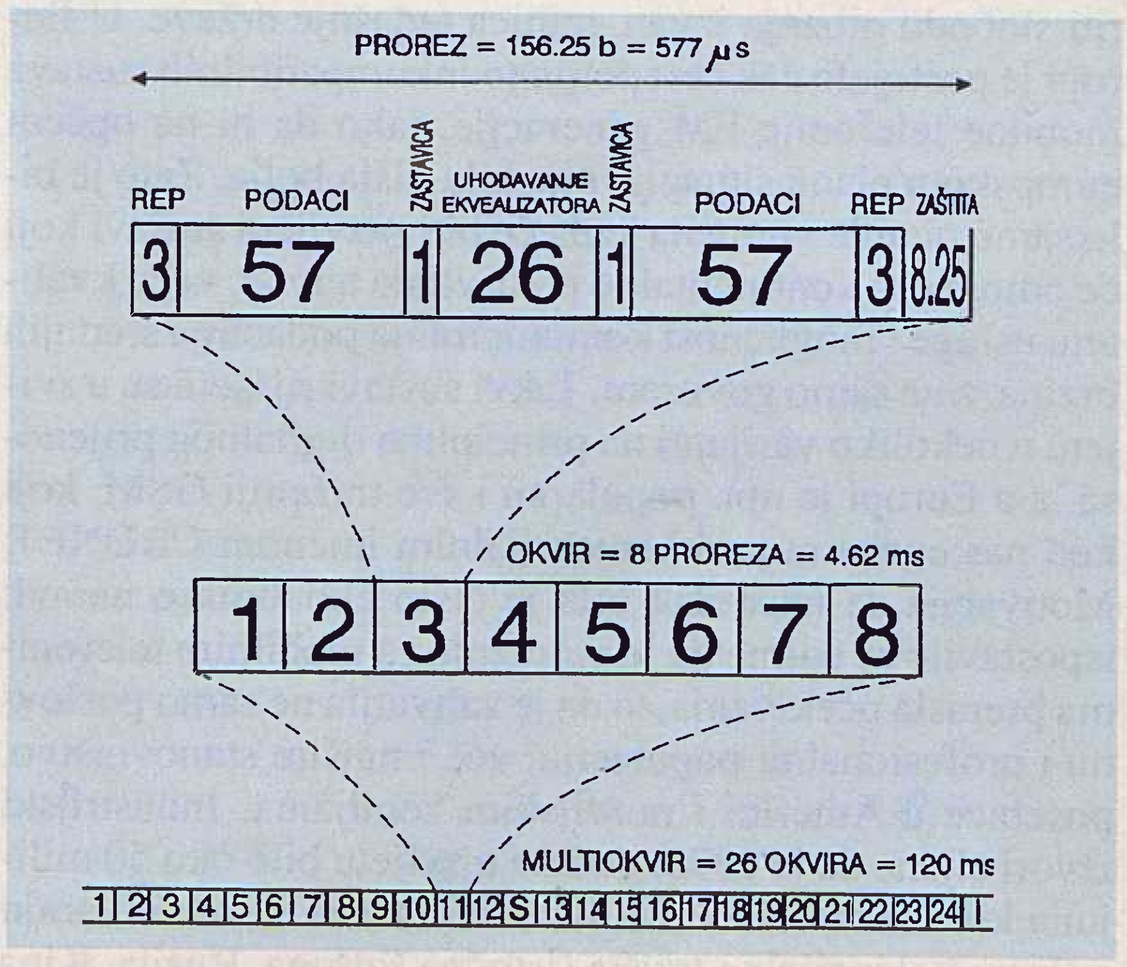
2.1. Nastanak standarda

Europska konferencija za poštu i telefoniju (CEPT, Conference of European Postal and Telecomm. administrations) osnovala je 1982. god. organizaciju Groupe Speciale Mobile - GSM, sa zadatkom ustanovljenja jedinstvenog standarda mobilne telefonije za korištenje u Europi, koji bi se primijenjivao od početka 90-ih godina. Ciljevi postavljeni pred grupu bili su: potpuno pokrivanje u svim državama, korištenje ručnih uređaja, te cijena, kvaliteta i efikasnost povoljnija nego u dosadašnjim sustavima. Nakon što su mnogi proizvođači predložili rješenja koja su koristila najrazličitije tehnike, GSM je 1986. proveo ispitivanja prototipova ponuđenih digitalnih priopredajnika i ostalih uređaja, i na osnovi laboratorijskih i terenskih mjerenja i procjene ekonomičnosti i tehnološkog rizika, slijedeće godine su ministri zemalja članica CEPT po preporuci GSM-a usvojili skup normi baziranih na TDMA postupku. Novom sustavu dodijeljeno je novo područje frekvencija podijeljeno na dva podopsega od po 25 MHz: 890-915 MHz za uzlaznu vezu i 935-960 MHz za silaznu. Razmak nosioca je 200 kHz, a modulacioni postupak je GMSK s pojasnim filtrom 3 dB – odreza na 81.25 kHz, što je 30% od brzine bitova, koja iznosi 270833 b/s [7]. Efikasnost načina modulacije je 1.35 b/s/Hz. U pojasevima ima mjesta za 125 dupleksnih radijskih kanala. Kako je upotrijebljen osmerostruki TDMA pristup, ukupan broj fizičkih kanala je 1000, uz pretpostavku kodiranja informacije punom količinom bita (full rate coding). Tehničko rješenje kodiranja govora dvostruko manjom količinom bita (half rate) tek se očekuje u primjeni, i očito će udvostručiti broj kanala sustava.

2.2. TDMA unutar jednog radijskog kanala

Sada ćemo se koncentrirati na organizaciju višestrukog pristupa podjelom vremena, prikazanu na slici 1. Ona se odnosi na svaki pojedini od 125 RF kanala, u oba smjera. To znači da za sve radio kanale vrijedi isti princip i da se u njima odvija isto multipleksiranje. GSM definira standardne vremenske intervale, koji se kreću od 0.9 μs za trajanje 1/4 bita, do 3h 28 min 53.760 s za kriptografski hiperokvir. Temeljni vremenski interval u kojem se prospaja veza mobilne i fiksne stanice zove se prorez (slot) i traje 577 μs. Osam takvih proreza čini okvir (frame), koji je prema tome dugačak 4.62 ms. Za to se vrijeme izreda osam korisnika promatranog radio kanala, i to tako da svaki od njih uvijek ima na raspolaganju isti prorez koji se ponavlja svakih 4.62 ms. Okvir čini prirodnu jedinicu TDMA ciklusa, i kao takav bi bio dostatan za organizaciju multipleksa. Unatoč tome, GSM rabi mnogo kompliciraniju shemu multipleksiranja. Detalji i razlozi se mogu vidjeti u [10].

Struktura vremenskog proreza. Prorez ima trajanje od 577 μs, što odgovara nizu od 156.25 bita, čiji se redoslijed vidi na slici 1. Prva tri nazivaju se repom (tail bits) i u osnovi služe zato da bi se izlazno pojačalo odašiljača stiglo podići na maksimalnu snagu, s obzirom da ne radi kontinuirano, već u navratima, svakih 4.62 ms. Njihova logička vrijednost uvijek je 0. Zatim slijedi 57 bita informacije koji završavaju još jednim bitom zastavice (stealing flag), koji se postavja u stanje 1 ako je prorez "ukraden" za potrebe hitne signalizacije. Slijedećih 26 bitova (training sequence) služe za uhodavanje parametara adaptivnog ekvalizatora, koji treba minimizirati utjecaje promjene karakteristika kanala uslijed gibanja. Ovi bitovi su uvijek istog sadržaja, a kao sekvencija imaju dobre autokorelacione osobine. Potom ide bit zastavice, koji opet dijeli uhodavajući niz od 57 bita informacije. Nakon njih dolaze tri repna bita i bezemisijski zaštitni interval trajanja 8.25 bita, koji služi kao zaštitna margina prilikom slučajnog pristupa mreži, dok mobilnoj stanici još nije poznat sinkronizam sustava.



Slika 1. Organizacija TDMA u GSM-u

Da nema tog intervala, završetak proreza korisnika udaljenog od bazne stanice mogao bi interferirati s početkom proreza bliskog.

Struktura vremenskog okvira. Osam proreza u vremenskom slijedu čine jedan okvir (slika 1). Nakon zadnjeg, osmog, dolazi opet prvi prorez slijedećeg okvira. To znači da ciklus prijenosa započinje iznova. Ako je nekom korisniku dodijeljen primjerice prorez 5 u okviru, tada će on uvijek svoje informacije odašiljati (i primati) u tom prorezu, s tim da je odašiljanje i primanje pomaknuto za 3 proreza kako se ne bi moralo odvijati u isto vrijeme, što jako pojednostavnjuje izlazne i ulazne sklopove. Na osnovi sinkronizacije bazna stanica zna po rednom broju proreza s kime trenutno komunicira.

Strktura multiokvira. Slika 1 prikazuje i vremenski slijed okvira. Prvih 12 okvira u multiokviru nosi informacije od osam dodijeljenih korisnika, kako je ranije objašnjeno. Slijedeći okvir, označen slovom S, sastoji se također od osam proreza, u kojima svaki korisnik razmjenjuje kontrolne podatke s baznom stanicom. Slijedi ponovno niz od 12 običnih okvira (13. do 24.), a na kraju multiokvira leži opet kontrolni interval označen sa I. On je u full rate sistemu uvijek slobodan (idle), dok će u half rate sistemu dobiti svoju namjenu, naime da prenosi *kontrolne podatke za polovicu korisnika,* za koju će interval S tada biti slobodan. Postojanje jednog potpuno slobodnog okvira u GSM sustavu od vrhunske je važnosti radi nekih mjernih procedura koje mobilna stanica mora obaviti, a koje zahtijevaju duže vrijeme.

Kodiranje i prijenos govora. Jedan od temeljnih problema digitalne mobilne telefonije je potreba za vrlo restriktivnim kodiranjem govora, koje zahtijeva izuzetno sofisticirane tehnike. Ton se mora prenijeti sa što većom kvalitetom, ali i sa što manjom brzinom bitova radi efikasnosti korištenja spektra. To su potpuno oprečni zahtjevi. Proces započinje uzorkovanjem signala govora 8000 puta u sekundi 13-bitnim PCM postupkom. U toku 20 ms, koliko traje temeljni definirani ciklus kodiranja govora, uzima se 160 uzoraka. S njima se vrši složena operacija kodiranja opisana grubo u [4], a detaljnije u [8,10]. Ona proizvodi ukupno 260 bitova koji reprezentira sekvenciju govora od 20 ms. Od toga se 182 bita s velikim značajem za kvalitetu reprodukcije svrstava u klasu 1 i zaštićuje s tri provjere pariteta, četiri repna bita i konvolucijskim kodiranjem tipa 1/2 [10], kako bi se na prijemnoj strani omogućilo korigiranje grešaka nastalih u prijenosu. To daje sekvenciju od 2* (182+3+4) = 378 bita. 78 bita klase 2 uopće se ne zaštićuju. Nastaje ukupno 456 bitova za svakih 20 ms govora, pa je prema tome brzina digitalnog koda govora 22.8 kb/s. Prije zaštite, na izlazu kodera, ona je iznosila 13 kb/s. Treba zamijetiti da je to izuzetno malo naspram klasičnog PCM-a (64 kb/s), uz sličnu kvalitetu prijenosa. Radi se očito o visokoj tehnologiji.

Bitovi kolektirani u toku dva osnovna intervala, tj. 40 ms, trebaju se ubaciti u vremenske proreze i emitirati. Pošto se za to vrijeme generira ukupno 912 bita, prva bi ideja mogla biti da se taj vremenski niz razdijeli u osam uzastopnih slijedova po 114 bita, koliko ih stane u jedan prorez (slika 1), i pošalje u osam proreza. Međutim, koristi se kompliciranija tehnika. Podijelimo slijed od 912 bita u mislima na 114 grupa od po 8 bita. Prvu grupu čine bitovi 1,2,3,4,5,6,7,8; drugu čine 9,10,11,12,13,14,15,16; itd, sve do 114. grupe koju čine 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911 i 912. Brojevi odgovaraju originalnom vremenskom slijedu pojave bitova. Uzmimo sada prvi bit iz svake grupe. Dobit ćemo niz od slijedećih 114 bitova: 1,9,17,....., 897, 905. Neka nam je dodijeljen npr. prorez broj 3 u svakom okviru. Potonji niz poslat ćemo dakle u prorezu 3 okvira broj 1. Slijedeći niz sadržavat će ove bitove: 2,10,8,....., 898, 906. Njega ćemo poslati u prorezu 3 okvira 2, i tako redom. Da bi se prenijelo 40 ms govora, treba dakle 8 dohvata veze. U toku jednog multiokvira vremenski prorez se dobija na raspolaganje 24 puta, što je trostruko više. Dakle, za jednog multiokvira može se prenijeti 120 ms govora, a on upravo toliko i traje. Upravo opisani postupak poremetnje stvarnog redoslijeda bitova naziva se u žargonu "interleaving" (engl. umetanje, misi se na slaganje niza bitova u matričnu formu). Cilj ove komplikacije je slijedeći: ako dugotrajna impulsna smetnja ošteti dosta bitova koji su u eteru susjedni, po izvršenju obratnog postupka u prijemniku oni će se raspršiti na 8 puta veću udaljenost, čime će se bitno olakšati posao ispravljanja greški konvolucijskom dekoderu. Primjerice, izgubi li se cijeli jedan prorez (114 bita poruke), bez interleavinga nije moguće ispraviti toliko uzastopnih pogrešnih bitova. Raspršenjem na 8 puta duži niz, udio pokvarenih binarnih znakova u njemu je samo 12.5%, što se lakoćom ispravlja. Treba primijetiti da operacija interleavinga uzrokuje kašnjenje prijenosa poruke od 80 ms.

2.3. Kontrolni kanali

U GSM – postoje kontrolni kanali koji su pandan analognim sustavima: difuzni (BCCH, Broadcast Control Channel), pozivni (PCCH, Paging CCH) i pristupni (RACCH, Random Access CCH). Posljednji je dvosmjeran, a ostala dva su predviđena samo za silaznu komunikaciju (bazna stanica se obraća mobilnoj). Pored toga, postoje i dvije vrste dvosmjernih dodijeljenih kontrolnih kanala, a to su spori (SACCH, Slow Associated CCH) i brzi (FACCH, Fast Associated CCH). SACCH se prenosi samo jednom u multiokviru (slika 1). Svaki korisnik ima isti prorez u SACCH intervalu kao i u ostalima. Poruka koja se prenosi ovim putem sadrži izvorno 184 bita, a nakon zaštitnog kodiranja 456, za što je potrebno točno 4 dohvata veze. To znači da se jedna SACCH informacija prenosi 480 ms, odakle slijedi njena ukupna brzina od 950 b/s, od čega na čistu informaciju otpada 383 b/s (ostalo je sigurnosni kod). Kada zatreba brža kontrola, prenosi se FACCH poruka tako da se prekine tok korisnikovih informacija u trajanju od 4 okvira, tijekom kojih se u dodijeljenom prorezu pošalje njezin sadržaj. Tada se zastavice (stealing flags, slika 1) aktiviraju u stanje 1 signalizirajući prijemnoj strani da je došlo do hitnog prijenosa signalizacije umjesto govora. Vrijeme potrebno za isporuku je očito 26 puta kraće nego za SACCH, tj. 5 ms, pa odatle i ime FACCH-u.

SACCH i FACCH kanali osmišljeni su kako bi mobilna stanica mogla tijekom slobodnog vremena, kojega ima radi prirode TDMA, mjeriti parametre sustava, djelomice ih obraditi, te poslati baznoj stanici, čime je rasterećuje i omogućuje joj efikasnije upravljanje mrežom, u prvom redu "handover" postupkom (prijelazom gibajuće stanice iz zone jedne ćelije u susjednu bez ikakvog ometanja korisnika koji razgovara). Preko BCCH mobilna stanica mjeri jako-

sti signala svoje trenutne i susjednih baznih stanica. Ukupna mjerna lista može ih sadržavati 32. Samo podaci 6 najjačih raportiraju se bazi putem SACCH ili FACCH kanala. Ti su podaci usrednjeni kroz 480 ms. Da bi se izbjegle mjerne pogreške uslijed interferentnih smetnji na kanalima, mobilni se uređaj mora nakratko sinkronizirati na BCCH ćelije koju mjeri i demodulirati podatke na njemu kako bi otkrio identifikacijski kod mjerene bazne stanice. Vrlo detaljan pregled ovih i drugih pojedinosti sustava GSM čitatelj može pronaći u poglavlju 1 u [10].

3. SUSTAV IS-54

Američka asocijacija telekomunikacijske industrije (TIA, Telecomm. Industry Association) 1988. je osnovala tehničku grupu za razvoj digitalnog celularnog standarda. Proces je tekao donekle slično kao u Europi, doduše nešto brže, da bi 1989. bio usvojen koncept dvomodnog sustava, a u slijedećoj godini utvrđen čitav standard pod imenom IS-54. Susreće se i naziv ADC (American Digital Cellular).

Vremenski prorezi i okviri. Strukturu višestrukog pristupa prikazuje slika 2. Okvir je razdijeljen u 6 proza, od kojih se po dva dodjeljuju jednom full rate korisniku. U tom slučaju evidentno postoji 2500 fizičkih kanala u pojasu od 25 MHz po smjeru. Prelaskom na half rate bit će na raspolaganju dvostruku veći broj. Sustav je očito od samog početka strukturiran za takvu primjenu.

Slika 2. Organizacija TDMA u IS-54

Prorez se razlikuje u uzlaznoj i silaznoj vezi. Kada mobilna stanica odašilje, on počinje intervalom u trajanju 6 bita tijekom kojega se ništa ne emitira (zaštitni ili "guard" interval), nakon čega slijedi 6 logičkih nula za podizanje snage pojačala (ramping time). Funkcija tih sekvenci je ista kao kod GSM-a. Kada odašilje bazna stanica one nisu potrebne, pa je njihovo trajanje rezervirano na kraju proreza za buduće namjene (RSVD bits). Ostali se podaci prenose u obje varijante proreza ali s ponešto različitim rasporedom, koji je vidljiv na ilustraciji. Tu postoji ukupno 260 bita kodirane informacije, 12 bita SACCH (koji se dakle prenosi u svakom okviru), 28 bita za sinkronizaciju i uhodavanje adaptivnog ekvalizatora i 12 bita "obojenog koda" (DVCC, Digital Vertication Color Code). Od toga 8 čini kodnu riječ, a ostali su bitovi zaštite. Svaka bazna stanica ima svoj kod, jedan od 256 mogućih, koji dekodiran u prijemniku spriječava njegovo sinkroniziranje na smetnju od udaljene istokanalne emisije. Trajanje intervala bita je 20.6 μs. Čitav okvir ima 40 ms, što znači da je prorezu dodijeljeno 6.67 ms. Brzina prijenosa je 48600 b/s. Upotrijebljena je modulacija π/4 DQPSK [7] s efikasnošpću od 1.62 b/s/Hz, što je oko 20% bolje nego kod GSM-a. Nedostatak postupka je u potrebi korištenja linearnih pojačala.

Kodiranje govora isto počinje A/D pretvorbom uz repeticiju od 8 kHz i 13-bitno uzorkovanje. Daljnji postupak procesiranja razlikuje se od GSM-ovog, a naziva se linearnom predikcijom pobuđenom vektorskom sumom (VSELP, Vector Sum Excited Linear Prediction). O njemu se osnovno može vidjeti u [4]. Nakon kolektiranja govornih podataka kroz dva bloka od po 20 ms (520 bita) oni se također odašilju u prorezima primjenom interleaving tehnike.

Kontrolni kanali. IS-54 zadržao je mnoge kontrolne mehanizme analognog američkog sustava AMPS (American Mobile Phone System) radi dvomodne koncepcije rada. Naime, radi jedinstvenosti starog sutava AMPS na cijelom sjevernoameričkom kontinentu, i radi izgrađenosti infrastrukture, odlučeno je napraviti meki prijelaz na novi sustav u istom frekventnom području. U Europi to nije bilo moguće. Bazna stanica razlučuje dvomodni uređaj (onaj koji može raditi i na staroj i na novoj mreži) od običnog po povećanom kontingentu poruka koje se šalju kontrolnim kanalima. Pri uspostavi poziva s dvomodnom stanicom sustav joj može dodijeliti digitalni ili analogni kanal. Također je predviđen handover mehanizam prebacivanjem na istovrsni ili drugačiji kanal. Time su dvomodne stanice u poziciji koristite sve kanale, dok analogne mogu samo svoje. Posjednici dvomodnih uređaja uživaju zato veću dostupnost kanala (manju vjerojatnost blokade), pa su time ljudi stimulirani nabavljati ovakve uređaje. Očekuje se da će tranzicija na potpuno digitalni rad proći brzo, za nekoliko godina.

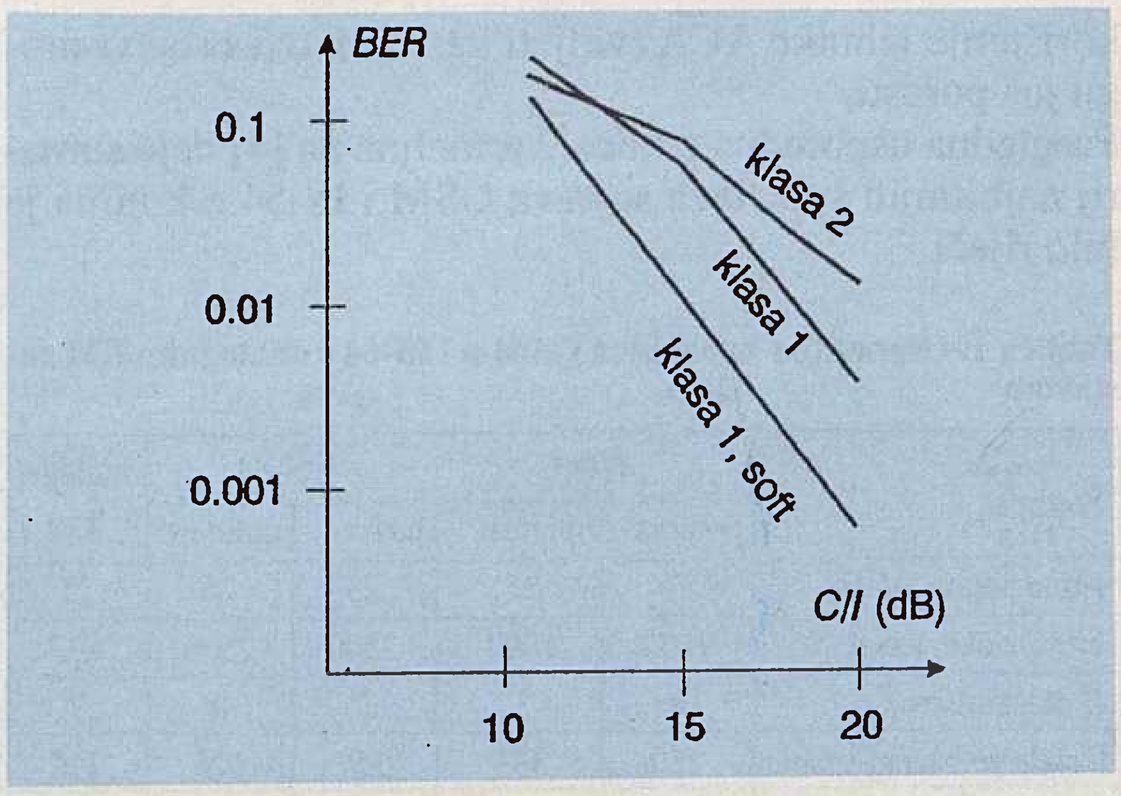
Kontrolne informacije u digitalnom dijelu sustava imaju duljinu od 65 bita i prenose se SACCH i FACCH intervalima. Velika razlika prema GSM-u je prisutnost SACCH-a u svim okvirima. Zaštitno kodiranje proizvodi ukupno 132 bita po poruci, koji se umeću u 12 proreza (6 okvira), radi čega je kašnjenje SACCH informacije 240 ms. Javi li se potreba bržeg prijenosa signalizacije, generira se FACCH niz od 260 zaštićenih bitova, i odašilje se u dva ukradena proreza umjesto korisnikove informacije. Kašnjenje FACCH-a prema tome iznosi 1 okvir = 40 ms.

4. PROCJENA I USPOREDBA KVALITETE

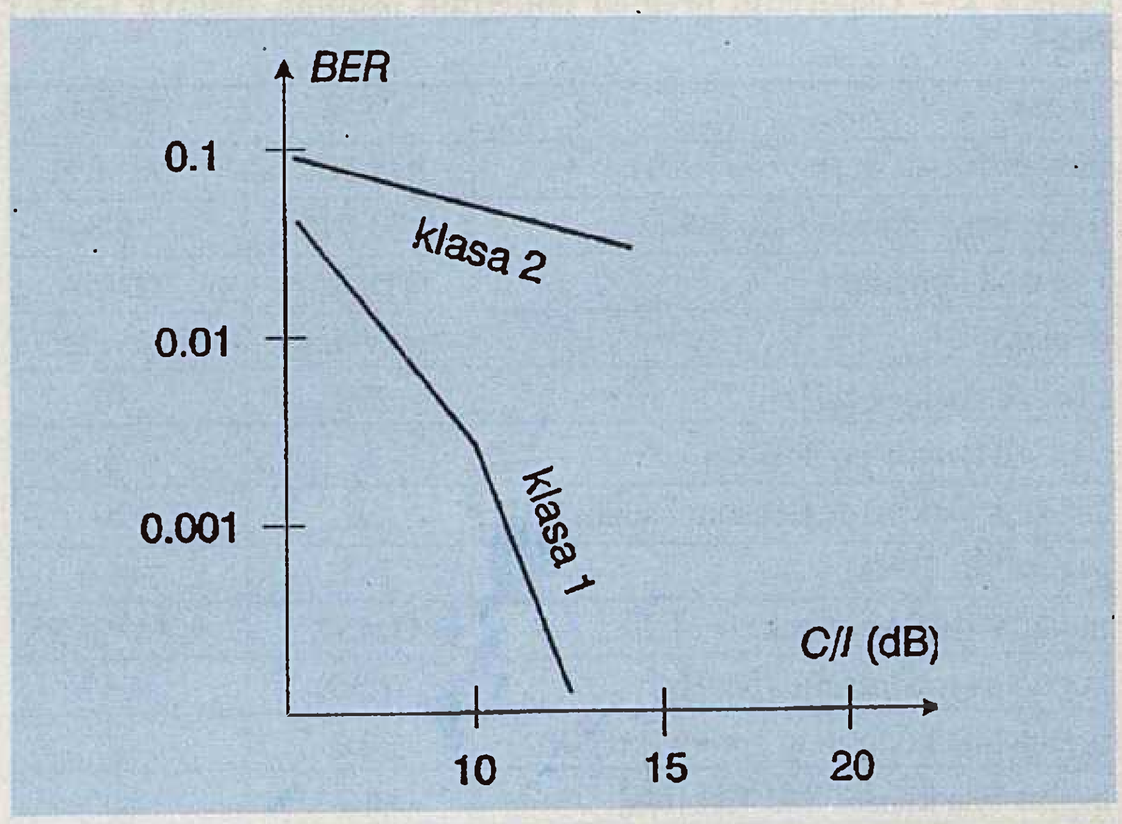
Mjerilo kvalitete i tržišnog uspjeha ovakvih sustava može biti jedino subjektivno mišljenje korisnika. Zato su provedena mjerenja u kojima su veće skupine zdravih slušatelja davale ocjene kao u školi, od 1 do 5, o kvaliteti prijenosa glasa koju je dao sustav. Ta su istraživanja prezentirana detaljno u [3], pa će se ovje dati izvadak s najvažnijim informacijama.

Kao referentna vrijednost za ocjenu 3.0 slušateljima je predstavljena kakvoća reprodukcije analognog FM susta-

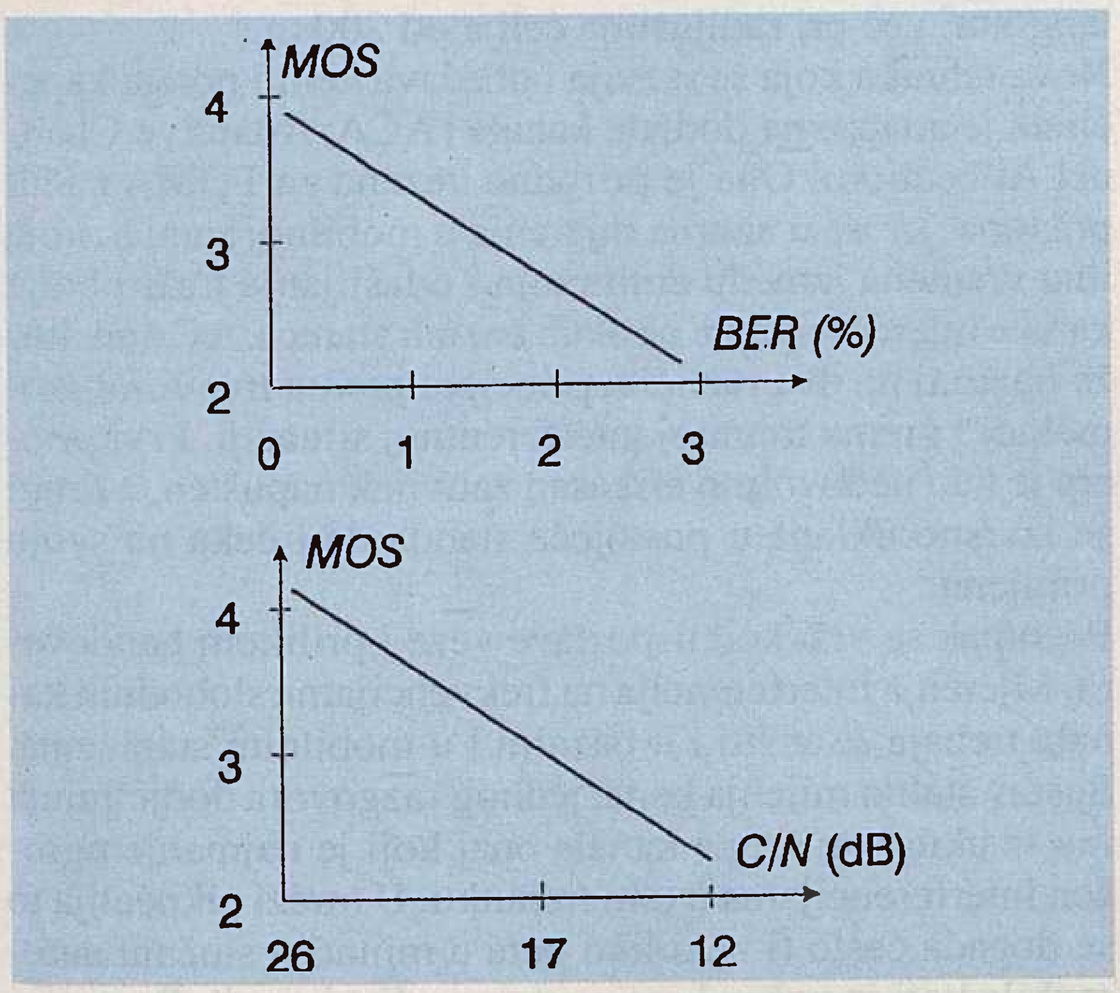
va uz odnos nosioca i smetnje C/I = 18 dB. To je trebalo usporediti s kvalitetom aparata ponuđenih od raznih proizvođača, i donijeti subjektivnu ocjenu. Usrednjavanjem iskaza svih slušatelja dobila se srednja ocjena mišljenja (MOS, Mean Opinion Score). Tako su u procesu standardizacije provjerena sva predložena rješenja. Utjecaji mobilnog okruženja simulirani su namjernim unošenjem pogrešaka u digitalne nizove prema prihvaćenim statističkim modelima šuma i Rayleighova fadinga uz različite brzine vozila. U slučaju jednog proizvoda vrste IS-54 simulacija je izvođena uz unošenje greške *BER* (Bit Error Rate – udio pogrešnih bitova) od 0%, 1% i 3%. Brzine vozila bile su 8,50 i 100 km/h. Soft informacije, koje inače nastaju u procesu adaptivnog filtriranja u prijemniku i imaju važnu ulogu u konvolucijskom dekoderu [10], nisu korištene u pokusu slušanja. Pokazalo se da su slušatelji teško zamjećivali razlike u performacijama pri promjeni brzine, pa je njen utjecaj eliminiran usrednjavanjem ocjena po brzinama. Usporedno se promatrala ovisnost ocjene analognog sustava o odnosu signal/šum (*C/N*). Slika 3 prikazuje glavne rezultate. Referentnu kvalitetu, jedanku onoj FM uređaja pri *C/N* = 17 dB (što odgovara približno *C/I* = 18 dB), sustav je postigao pri *BER* = 1.5%. Kvaliteta novog sustava ne bi smjela ići ispod te, pa je *BER* od 1.5% baza za utvrđivanje potrebnog odnosa C/I novog sustava. Računalna simulacija daje ovisnost detektiranog *BER*-a o *C/I* za primijenjeni digitalni sustav (ovdje IS-54). Napravljena je distinkcija između bitova klase 1 (zaštićenih), sa ili bez korištenja soft informacija, te bitova klase 2 (nezaštićenih). Slika 4 prikazuje rezultate za Rayleighov kanal i brzinu vozila od 8 km/h. Vidi se da soft informacije donose 3 dB pri *BER*-u od 1.5%, no kako one djeluju samo na bitove klase 1, realan dobitak je 2 dB. To znači da je minimalni zahtijevani *C/I* za američki sustav 16 dB.



Slika 4. BER = f (C/I) za IS-54, Rayleighov kanal i brzinu vozila od 8 km/h



Slika 5. BER = f (C/I) za GSM, Rayleighov kanal i brzinu vozila od 40 km/h



Slika 3. Srednje ocjene digitalnog i analognog sustava

Slika 5 prikazuje simuliranu ovisnost BER-a o C/I za GSM uz brzinu vozila od 40 km/h i frekventno skakanje (vidjeti kasnije), te vremensku disperziju mobilne sredine reda 1 μs, što je tipično za urbane zone. Usporedimo li performaciju bitova klase 1 GSM-a s klasom 1 (soft) u IS-54, vidimo da je BER kod GSM-a bitno povoljniji. Za BER = 0.4% potrebno je imati C/I od samo 9 dB. Pritom su subjektivna ispitivanja potvrdila da performacija bitova klase 2 gotovo i ne igraju ulogu. BER klase 2 od čak 8% snižava srednju ocjenu za manje od 0.8.

GSM i IS-54 mogu se usporediti po svojim bitnim komunikacijskim osobinama. Na prvi se pogled čini da je američki sustav 2.5 puta frekventno efikasniji, jer u istom rasponu frekvencija nosi 2500 govornih kanala, a GSM samo 1000. Međutim, radi korištene modulacione tehnike on pak zahtijeva veći odnos signal/šum, što znači de facto veće zračene snage, a malo čas smo utvrdili i da traži puno veći odnos C/I. Odnos signal/šum je kod GSM-a povoljniji oko 7 dB ili 5 puta, pa je sa stanovišta racionalnog trošenja frekventnih resursa GSM ukupno oko 2 puta bolji. Povećanje traženog C/I znači pak rjeđu geografsku ponovljivost frekvencija. Mjerilo informacijske učinkovitosti sustava na općoj razini je prostorna gustoća prometa izražena u Erlang/km^2, koju on može podnijeti. Usporedba po tom kriteriju dana je u odnosu na referentni FM sustav tablicom 1, koja govori da je ipak IS-54 u prednosti pred GSM-om za faktor nešto manji od 2. Korištenje half rate kodera govora povećat će kapacitete digitalnih sustava za faktor blizu 2, te se u odnosu na stare sustave može očekivati ukupni napredak od oko 10 puta u Americi, tj. 6 puta u Europi, no kvalitetnim mikroćelijskim planiranjem uz

korištenje tehnike ACA (vidjeti kasnije), ovi brojevi mogu još porasti.
Pregledna usporedna tablica 2 temeljna na [4] daje sumarij najbitnijih svojstava sustava GSM i IS-54 o kojima je bilo riječi.

Tablica 1. Usporedba kapaciteta GSM-a i IS-54 s analognim FM sustavom

Postupak	GSM		IS-54		analogni
	pesimist.	optimist.	pesimit.	optimist.	FM
širina pojasa [MHz]	25	25	25	25	25
broj fizičkih kanala	1000	1000	2500	2500	833
plan iskorištenja	4	3	7	4	7
kanala po baznoj stranici	250	333	357	625	119
kapacitet [Erlang/km^2]	27.7	40.0	41.0	74.8	11.9
dobitak kapaciteta	2.3	3.4	3.5	6.3	1.0

Tablica 2. – Usporedni pregled temeljnih osobina sustava GSM i IS-54

Sustav	GSM	IS-54
frekvencije uzlazne veze [MHz]	935-960	869-894
frekvencije silazne veze [MHz]	890-915	824-849
višestruki pristup	TDMA	TDMA
dupleks	frekventni	frekventni
razmak nosioca [kHz]	200	30
fizičkih kanala po nosiocu	8	3
širina pojasa po dupleksom kanalu [kHz]	50	20
brzina bita [kb/s]	271	48.6
modulacijski postupak	GMSK	π/4 DQPSK
korisnost modulacije [b/s/Hz]	1.35	1.62
brzina bita kodiranog goriva [kb/s]	22.8	13
brzina bita kanala SACCH [b/s]	967	600
dužina kontrolne poruke [b]	184	65
kašnjenje kontrolne poruke [ms]	480	240
traženi odnos C/I [dB]	9	18

5. FREKVENTNO SKAKANJE I ODVOJENI PRIJEM

IS-54 ima predviđenu uporabu jednostavnog bliskog antenskog odvojenog prijema (diversity), čak i na mobilnoj strani. Ova klasična metoda, koja vodi ka povećanju kvalitete radio prijema, smanjuje zahtjev sjevernoameričkog sustava za odnosom C/I na oko 12 dB, ali smo za uređaje koji imaju ugrađenu posebnu antenu.Zahtjev GSM sustava na C/I od 9 dB određen je uz primjenu skakanja frekvencije nosioca razgovora po svakom okviru radi smanjenja utjecaja kolebanja signala, koje je frekventno ovisno. No, neki od postojećih standarda analogne mreže u Europi koriste isto frekventno područje kao GSM, a kako ne mogu svi uređaji odmah biti odbačeni, GSM nije dobio čitav pojas od 25 MHz, radi čega je skakanje frekvencije ograničeno ili otežano. Pogoršanje uslijed toga je oko 2 dB, pa je traženi C/I u dotičnim zemljama 11 dB.

6. MAHO

MAHO (Mobile Assisted HandOver, handover pomognut mjerenjima u mobilnoj stanici) jedan je od najvažnijih postupaka koji se mora obavljati bez utjecaja na kvalitetu tekućeg razgovora ili alarmiranja pretplatnika. Smanjenjem veličine ćelija, što je dominantni trend, i povećanjem prometa u mreži, raste broj handovera, pa su zato razvijeni efikasni mehanizmi koji na temelju mjerenja što ih obavlja mobilna stanica vrše preuzimanje pokretne postaje od strane ćelije u koju ona upravo ulazi iz neke susjedne. Pomoću BCCH kanala, na kojemu se mora uvijek nešto emitirati, pokretni aparat mjeri okolne bazne stanice i preko SACCH-a (eventualno FACCH-a) dostavlja te podatke svojoj, s kojom trenutno radi. Zemaljski sustav na osnovi toga koordinira postupak handovera. Pomak u kvaliteti je u tome što mjerena stanja na kojima se temelje odluke o handoverima dolaze s mjesta na kojemu je trenutno mobilna stanica, što omogućuje i procjenu interferentnih, a ne samo propagacijskih prilika. Pogreške uslijed mjerenja neželjenih signala udaljenih baznih postaja reducirane su zahvaljujući kodiranju BCCH poruka. Efikasan MAHO postupak nužan je uvjet ostvarenja mreže mikro i pikoćelija, i ima velik utjecaj na kapacitet takve mreže.

7. ADAPTIVNA DODJELA KANALA

Redukcija veličine ćelija i zračenih snaga (tj. učestalije prostorno ponavljanje frekvencija) ne može sama po sebi riješiti pitanje povećanja kapaciteta mreže. S obzirom na teške propagacije uvjete u gradskim mikroćelijama, provedba fiksne podjele kanala nije laka jer su interferentne prilike teške i dosta nepredvidive. Radi potpunog pokrivanja potrebno je koristiti i tzv. kišobran ćelije (umbrella cells). Kapacitet neće stoga rasti recipročnim kvadratom polumjera ćelije. Ta se ovisnost u području 900 MHz za ćelije manje od 400 m pokazuje kao inverzna samo u prvoj potenciji, no u praksi dolazi do zasićenja od oko 280 Erlang/km^2 već pri radijusima ćelija od 200 m.
Nova tehnika koja se razvija i obećava veliki porast kapaciteta je adaptivna dodjela kanala (ACA, Adaptive Channel Allocation). Ona je prirodno vezana za TDMA način pristupa, jer traži ažurna mjerenja u mobilnoj stanici, koja ima vremena između emitiranja i odašiljanja tražiti bolje kanale mjereći signale okolnih baznih stanica. ACA se može bazirati na dva različita principa: prema trenutnoj prometnoj i prema treutnoj interferentnoj situaciji. Prvi princip je kao nedovoljno efikasan zauvijek napušten, a drugi se izvrsno uklapa u postojeće standarde i čeka na svoju primjenu.
Postupak se vrši kod uspostave veze i prilikom handovera. Mjerenja interferencija na frekvencijama slobodnih kanala trebaju se vršiti i u baznim i u mobilnim stanicama. Sustav stalno mijenja kanal jednog razgovora dodjeljujući mu iz ukupnog skupa kanala onaj koji je najmanje ugrožen interferencijama u tom trenutku. U mreži pikoćelija to se događa često (i nekoliko puta u minuti u slučaju automobila koji je vožen kroz gusto naseljeni grad). Po potrebi se radni kanal može zamijeniti i izvan procedure handovera. Na taj način se povećava broj kanala efektivno dostupnih mobilnoj stanici na nekoj lokaciji koja želi započeti razgovor, pa kvaliteta usluge raste radi statističkog poboljšanja bez zauzimanja novih kanala. Primjena ACA dovela bi do ukidanja potrebe za frekventnim planiranjem sustava, pošto bi sve frekvencije bile dostupne svugdje. Naime, kanal se adaptivno dodjeljuje pozivu, a ne fiksno

ćeliji. U istraživanjima je otkriven dobitak na kapacitetu od preko 50% u velikim, odnosno 200 do 300% u malim sustavima. Budućnost primjene ACA umnogome će ovisiti o dinamici razvoja sustava treće generacije, koji će biti sasvim sigurno bazirani na CDMA, odnosno o roku trajanja TDMA sustava. Gledajući eksplozivan rast pokretnih osobnih telekomunikacija, čini se da bi vijek sadašnjih digitalnih sustava TDMA generacije mogao biti i kraći nego što je bio život FM-a. To je dodatno potencirano i pitanjima elektromagnetske kompatibilnosti i biokompatibilnosti uređaja s pulsnom emisijom [10], koja se sve češće pojavljuju u stručnoj i širokoj javnosti.

8. TETRA – NOVI MOBILNI SUSTAV ZA PRIVATNE KORISNIKE

Osim javnih pokretnih radiokomunikacijskih sustava, koje kod nas posjeduje HPT, na tržištima se nude i tzv. privatni sustavi namijenjeni hitnim i civilnim službama, poput policije, vojske, hitne pomoći, vatrogasaca, elektroprivrede, plinoopskrbe, vodoopskrbe, cestovnog transporta, željeznice, javnog prijevoza, taxi službe itd. U posljednje vrijeme u svijetu postoji i potreba za unajmljivanjem male količine mobilne opreme i informacijskog kapaciteta od strane malih poduzeća ili čak pojedinačnih osoba na kratko vrijeme. Tako je, po uzoru na razvoj GSM-a kao paneuropskog sustava, nastala i ideja o normiranju nečega sličnoga za privatne korisnike, posebno one velike. Sada su u završnoj fazi definiranje novog sustava TETRA (Trans European Trunked Radio) i dogovori oko frekventnih područja rada, a u svijetu su puštena u rad tek dva manja sustava s djelomice eksperimentalnom namjenom. TETRA radi uskopojasnom TDMA tehnikom s 4 fizička kanala po radijskom nosiocu širine pojasa 25 kHz, uz modulacijski postupak $\pi/4$ DQPSK. U odnosu na GSM i slične javne mreže, TETRA ima pored takvih i druge specifične funkcionalnosti potrebne posebnim korisnicima. Spomenimo tu samo mogućnost dispečarskog poziva (jedan govori – svi slušaju), ili mogućnost direktnog razgovora dviju bliskih mobilnih stanica, bez posredovanja zemaljske mreže baznih stanica. Glavni način komunikacije je simpleksni, premda postoji opcija dupleksnog rada, što znači da se može ostvariti kontakt s dupleksnim (telefonskim) mrežama, što je od velikog značaja. S obzirom da kod nas ova vrsta telekomunikacijskih usluga postoji tek u svojim primitivnim oblicima, za očekivati je da će se mnogi potencijalni korisnici, možda i tako veliki kao HEP, HŽ, HV i drugi, zainteresirati za obnovu ovoga svojega resursa. Pri tome je bitno, kada se već ulazi u izgradnju novih mreža koje će se u većoj mjeri realizirati tek za nekoliko godina, odabrati suvremena rješenja, a ne zastarjele sustave na izdisaju, kakvih se mnoštvo i u kompatibilnih nudi na tržištu. Zato autor smatra da je TETRA, kao novi predstavnik dobro uhodane TDMA tehnologije, opcija izbora za ostvarenje suvremene i transparentne mreže za vlastite potrebe. Čitatelj koji se želi informirati o tržišnim i uporabnim aspektima TETRA-e može se poslužiti literaturom [11].

9. ZAKLJUČAK

Sustavi zemaljskih pokretnih radijskih komunikacija druge generacije, koja se bazira na tehnici višestrukog pristupa TDMA, donijeli su 5 do 10 puta veće informacijske kapacitete celularnih mreža, mjereno u ostvarivom prometu po četvornom kilometru teritorija. Kvaliteta prijenosa informacija u dobrim prijemnim i interferentnim uvjetima je približno ista kao kod analognih sustava, a u lošim je znatno poboljšana. Ipak, čini se da su ovi sustavi tek korak na putu prema ostvarenju mnogo efikasnijih osobnih pokretnih komunikacijskih sustava s mogućnošću širokopojasnog rada. U području privatnih pokretnih telekomunikacija danas se u Europi nameće sustav TETRA, Koji će omogućiti ostvarenje kvalitetnih i velikih mreža, pa svakako u planovima za buduću realizaciju treba ići na nabavku upravo toga, jedinog unificiranog potpuno digitalnog radijskog sustava ove namjene.

LITERATURA

[1] E. ZENTNER, "Radiokomunikacije", ŠKolska knjiga, Zagreb, 1989.

[2] R. L. FREEMAN, "Reference Manual for Telecommunications Engineering", chapters 13 & 16, 2nd ed, John Wiley & Sons Inc, New York, 1994.

[3] K. RAITH, J. UDDENFELDT, "Capacity of Digital Cellular TDM Systems", IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. 40, No 2, May 1991.

[4] D. J. GOODMAN, "Second Generation Wireless Information Networks", IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. 40, No 2, May 1991.

[5] W. C. Y. LEE, "Overwiev od Cellular CDMA, "IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. 40, No 2, May 1991.

[6] J. G. PROAKIS, "Adaptive Equalisation for TDMA DIgital Mobile Radio, "IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol. 40, No 2, May 1991.

[7] I. MODLIC, B. MODLIC, "Modulacije i modulatori", Školska knjiga, Zagreb, 1995.

[8] P. VARY et al, "Speech Codec for European Mobile Radio System," pages 227-230, Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing, New York, 1988.

[9] S. HAYKIN, "Communications Systems", 3rd ed, John Wiley & Sons, New York, 1994.

[10] D. SABOLIĆ, "Neki biomedicinski učinci uređaja mobilne telefonije druge generacije", magistarski rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, 1996.

[11] TETRA Civil, Second Interim Report, European Radiocomm. Office, 25 August 1995.

SHORT DESCRIPTION AND COMPERISON OF TDMA DIGITAL MOBILE TELEPHONE SYSTEMS

Basic technical characteristics of the most important mobile radio communications of the second generation are described offering a comparison between their quality and communication capacity. Yhe needs of special users e.g. electric supplu company, emergency service, transport etc. are briefly discussed considering their need for own mobile radio connections and a possible choice of the system is also suggested.

Energija, god. 46 (1997) 3, 177-184

KURZE BESCHREIBUNG UND VERGLEICH DIGITALER TDMA1 SYSTEME DES MOBILEN FERNSPRECHWESENS

Beschrieben sind technische Grundeigenschaften der wichtigsten mobilen Funkverbindungen der zweiten Generation. Gegeben wurde der Vergleich ihrer Qualitätskenngrößen und ihrer Übermittlungsfähigkeit. Der diesbezügliche Bedarf einzelner Benutzer z.B. der Elektrizitätswirtschaft, der Notdienste, der Transportdienste u.ä. nach eigenen mobilen Funkverbindungen wurde kurz besprochen und die mögliche Auswahl eines solchen Systems nahegelegt. 1TDMA=engl.: time Division mulitplex Access = Zeitlich verteilter merfacher Zugang

Naslov pisca:

mr. sc. Dubravko Sabolić, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda d.d.
Prijenosno područje Zagreb
Ulica grada Vukovara 37,
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1997-01-27.

VIŠENAMJENSKO KORIŠTENJE KONDENZATORSKIH BATERIJA

Nikola Vagić, Zagreb

UDK 621.3.007.8
STRUČNI ČLANAK

U članku su izloženi rezultati rada na projektu višenamjenskog korištenja kondenzatorskih baterija 10 kV u elektroenergetskom sustavu tvornice petrokemijskih proizvoda DINA - Omišalj.

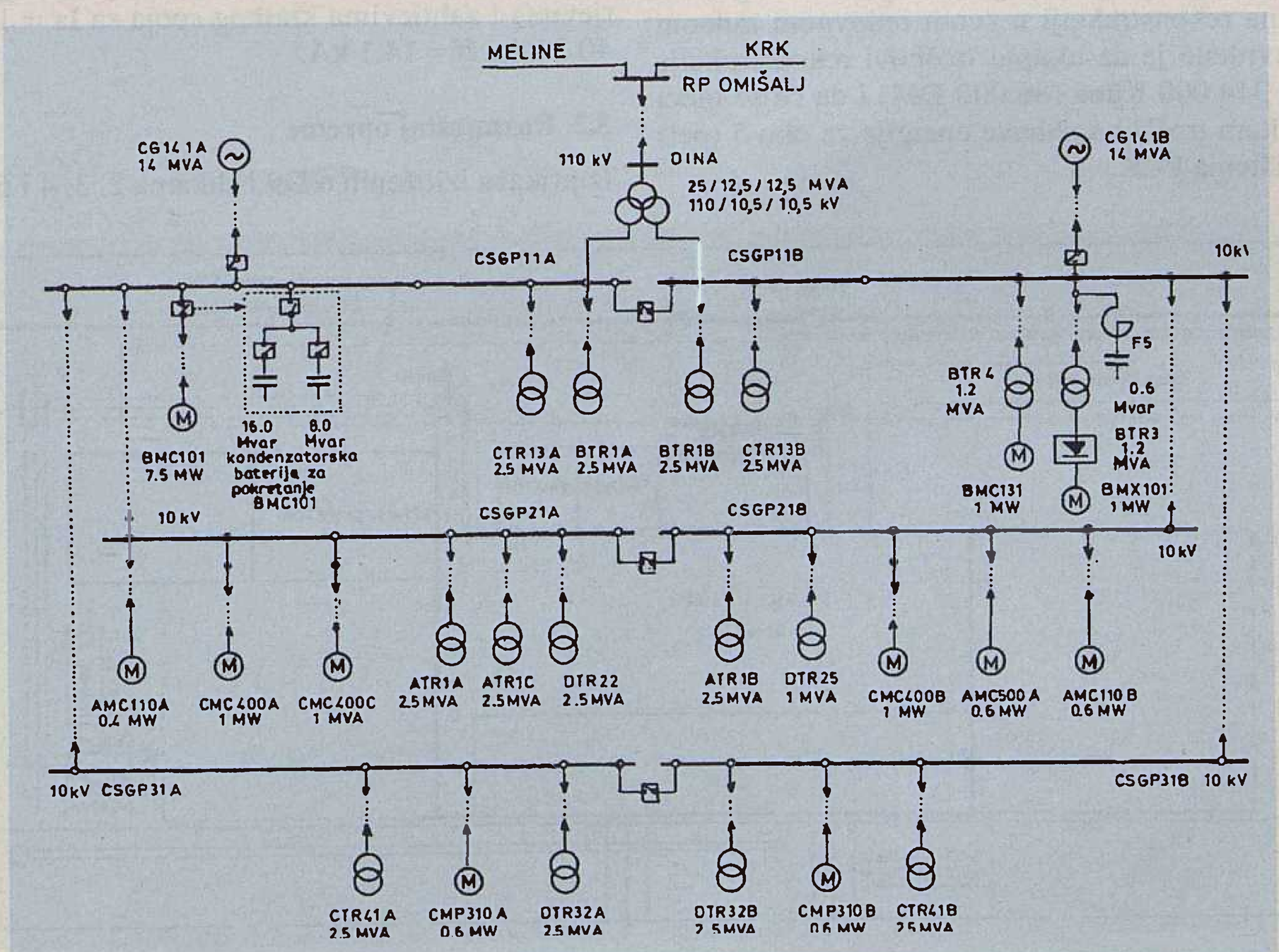
Ključne riječi: kondenzatorska baterija, rekonstrukcija, višenamjensko korištenje.

1. UVOD

Problematika korištenja kondenzatorskih baterija u elektroenergetskom sustavu tvornice petrokemijskih proizvoda DINA (DEES) u Omišlju obrađivana je u dokumentaciji D1 do D9 popisanoj na kraju članka. U D6 izloženo je rješenje kompenzacije padova napona kod pokretanja kompresorskog motora BMC 101 snage 7,5 MW, nazivnog napona 10 kV, u D1 do D5 obrađivana je problematika kompenzacije prekomjerno preuzimane jalove energije i filtriranja viših harmonika u DEES, a na osnovi u D5 izloženih pokazatelja o mogućnostima višenamjenskog korištenja kondenzatorskih baterija 10 kV instaliranih za potrebe pokretanja kompresorskog motora BMC 101 u D8 i D9 dano je rješenje za višenamjensko korištenje kondenzatorske baterije 10 kV smještene u kontejneru CMSC1.
Kako kod nas ima još dosta baterija koje bi se mogle višenamjenski koristiti autor se nada da će ovdje izloženi podaci potaći aktivnosti na realizaciji još nekog od tih projekata i time opravdati publiciranje ovog rada.

2. OSNOVA ZA IZVOĐENJE PROJEKTA

Prema podacima izloženim u D1 do D7 i slici 1 DINA svoje potrebe u energiji pokriva iz vlastite Dizelektrane (DE) 2x14 MVA, 10 kV ± 5%, 50 Hz, kondenzatorskih baterija (KB) snage 1,4 Mvar i transformacije (TR) 110/



Slika 1. Jednopolna shema DININA elektronergetskog sustava (DEES)

10/10 kV, 1x25 MVA vezane na elektroenergetski sustav (EES) Hrvatske elektroprivrede (HEP) u rasklopnoj stanici (RS) 110 kV Omišalj.

Za potrebe vlastite potrošnje u DEES koriste se naponi 660 V, 380 V i 220 V frekvencije 50 Hz, a za upravljanje, signalizaciju i zaštitu napon 220 V frekvencije 50 Hz.

Za kompenzaciju pada napona kod pokretanja kompresorskog motora 10 kV BMC 101, snage 7,5 MW, priključenog na sabirnice CSGP 11, DINA je izgradila posebno kondenzatorsko postrojenje (KPSM) 10 kV s dvije baterije; manja ima 8 Mvar i smještena je u kontejner CMSC-1, a veća ima 16 Mvar i smještena je u kontejner CMSC-2.

U redovnom pogonu, uz puno korištenje ranije instaliranih kondenzatorskih baterija 0,4 kV i 10 kV ukupne snage 1,4 Mvar DINA troši:

– između 6,8 i 20,1 MWh/h, odnosno između 235,4 i 482,6 MWh/dan i
– između 2,7 i 6 Mvarh/h, odnosno između 72,6 i 144,1 Mvarh/dan.

Energiju preuzetu od HEP-a DINA plaća u prosjeku 29,2 lipe/kWh (0.08 DM/kWh).

Analizom karakteristika elektroenergetskih potreba DINE i pogonskih prilika u DEES izloženih u D4, D5 i D8, utvrđeno je da se oprema smještena u kontejneru CMSC-1, nakon odgovarajućih promjena u postrojenju, može koristiti višenamjenski – primarno za start kompresorskog motora BMC 101 (čemu je služila do rekonstrukcije) i dodatno za kompenzaciju jalove snage potrebne svim konzumentima priključenim na CSGP 11.

Kako DINA uz već instaliranu opremu u kontejneru CMSC 1 ima i gotovo svu dodatnu opremu potrebnu za izvođenje rekonstrukcije i da njeni stručnjaci mogu izvesti gotovo sve radove na rekonstrukciji u svom redovnom radnom vremenu, utvrđeno je da ukupni troškovi rekonstrukcije neće prijeći 314.000 Kuna (86.000 DM) i da će se moći pokriti razlikom troškova nabave energije za oko 5 (pet) mjeseci korištenja PCK.

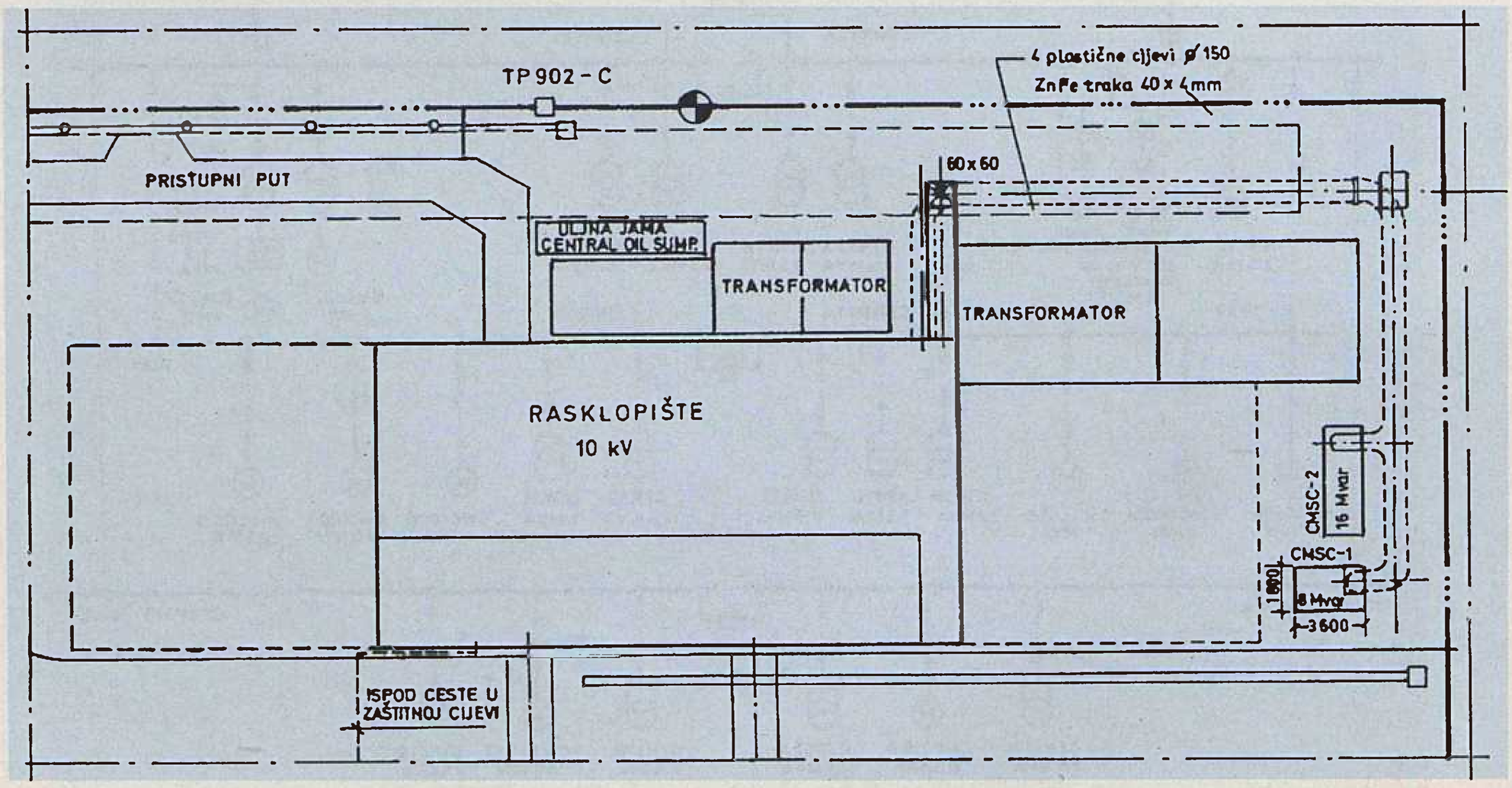
3. PROJEKTNO RJEŠENJE POSTROJENJA

3.1. Osnova rješenja

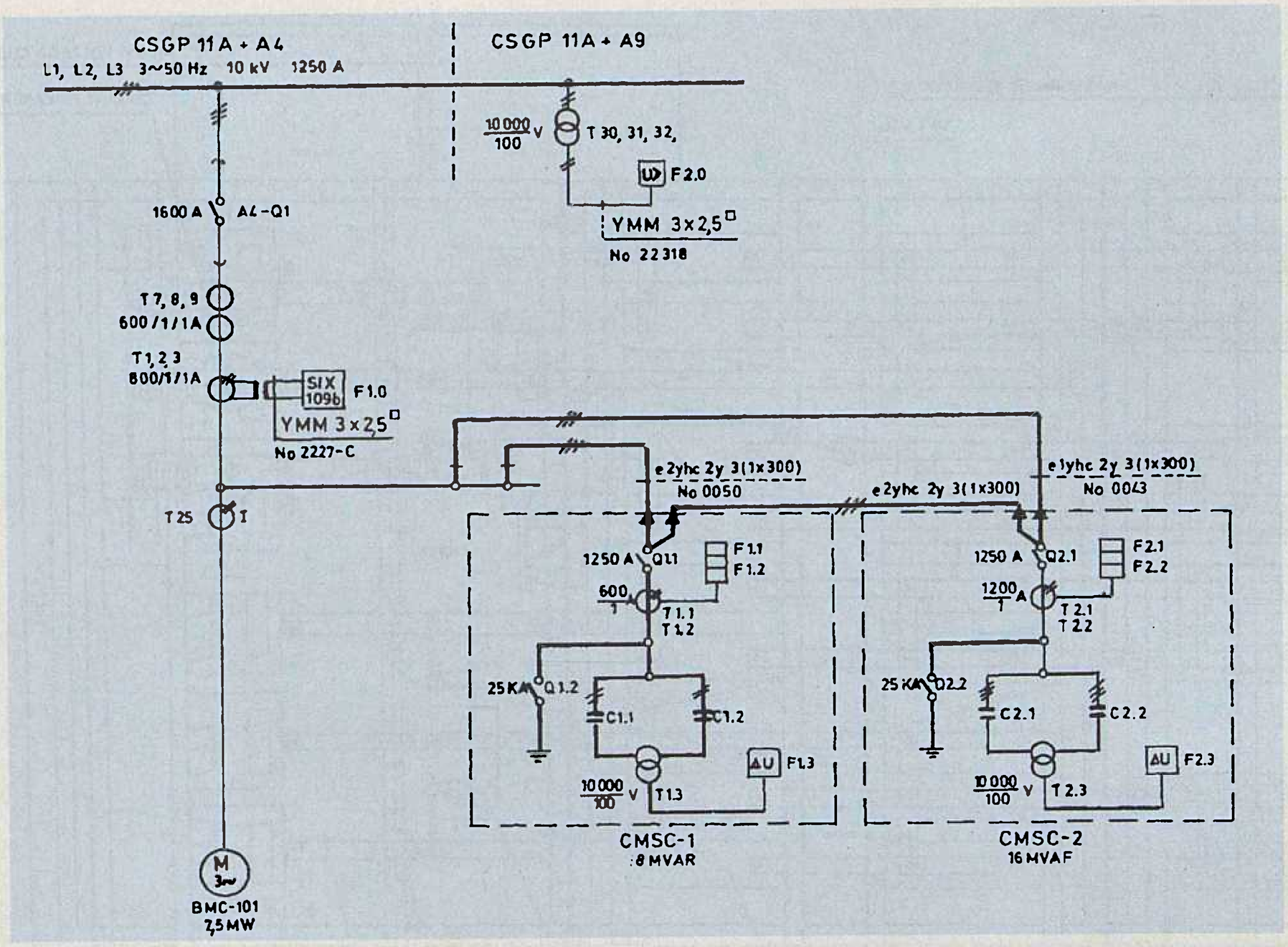
U skladu s podacima izloženim u D5, D8 i D9, te na slikama 2, 3, 4 i 5 raspoloživo kondenzatorsko postrojenje za pokretanje kompresorskog motora 10 kV BMC 101 (KPSM) smješteno u kontejnere CMSC 1 (8 Mvar) i CMSC 2 (16 Mvar) preinačeno je u višenamjensko kondenzatorsko postrojenje 10 kV (VKP).
U konfiguraciji KPSM /(16 + 7,2) Mvar/baterije će se koristiti za pokretanje kompresorskog motora, a u konfiguraciji PCK (bez baterije od 16 Mvar) za kompenzaciju jalove snage potrebne trošilima priključenim na sabirnice 10 kV CSGP 11.
Za izvođenje PCK predviđeno je korištenje prvenstveno opreme postojeće kondenzatorske baterije smještene u CMSC-1 i opreme instalirane u ćeliji +A3 i +B10 koje su izvedene u sklopu postrojenja 10 kV CSGP 11.
Da se udovolji zahtjevu višenamjenskog korištenja PCK u dijelu postrojenja smještenom u kontejneru CMSC-1 urađene su radikalne izmjene: umjesto jedne baterije s 8 Mvar, formirane su četiri "male" baterije, svaka s po 1,8 Mvar.
Ovo rješenje omogućava da se od dvije "male" baterije formira "velika" baterija snage 3,6 Mvar i da se od dvije "velike" (ili četiri "male") baterije formira "složena" baterija snage 7,2 Mvar.
Time maksimalna struja u polju KB1 može varirati u granicama između 130 A kada je uključena "mala" baterija i 520 A kada je uključena "složena" baterija, a u polju KB2 moći će varirati između 130 A u konfiguraciji "male" baterije i 260 A u konfiguraciji "velike" baterije.
Izbor dodatne opreme u PCK proveden je u skladu s podacima izloženim u D4, D6 i D7, a kontrolnim proračunima utvrđeno je da ona u cijelosti udovoljava pogonskim zahtjevima i zahtjevima kratkog spoja sa Ia = 16,1 kA, Is = 40,2 kA i If = 14,1 kA.

3.2. Razmještaj opreme

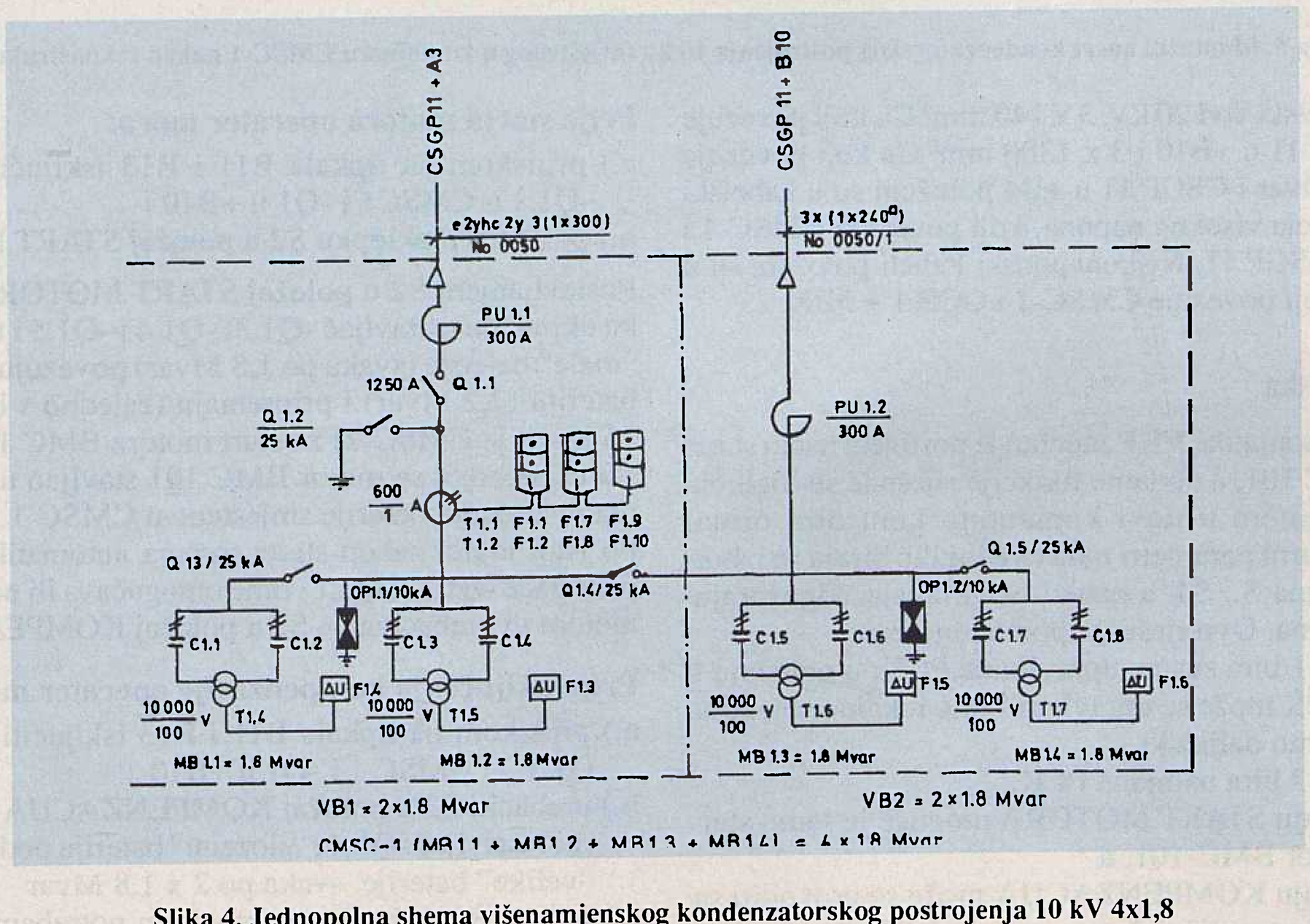
Iz prikaza izloženih u D9 i slikama 2, 3, 4 i 5 vidi se:



Slika 2. Situacija kondenzatorskih baterija CMSC-1 i CMSC-2



Slika 3. Jednopolna shema kondenzatorskog postrojenja za pokretanje motora 10 kV 7,5 MW

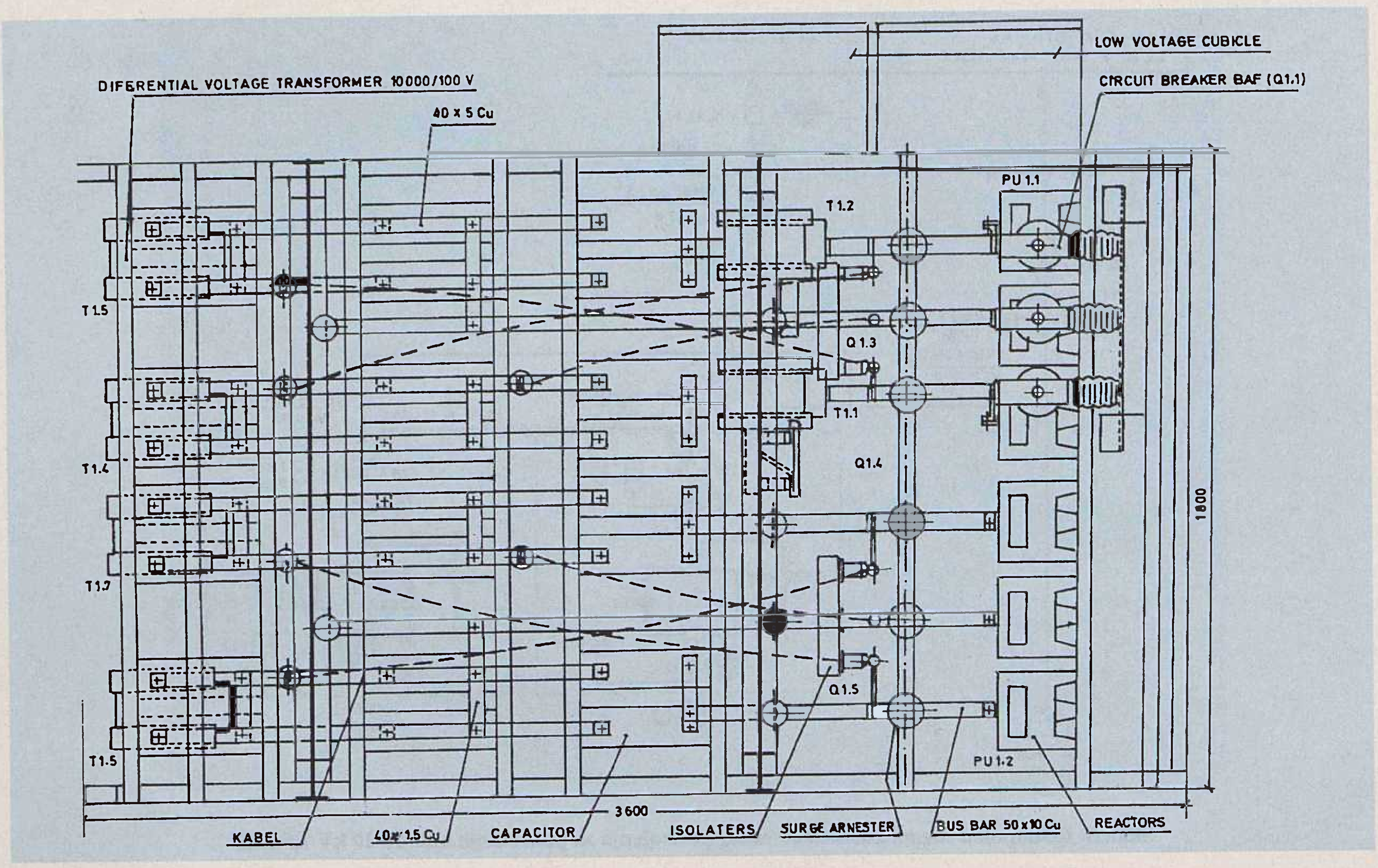


Slika 4. Jednopolna shema višenamjenskog kondenzatorskog postrojenja 10 kV 4x1,8 Mvar smještenog u kontejner CMSC1

– da je baterija smještena u CMSC-2, dodatno povezana s još jednim kabelom 3x300 mm^2 Cu s ćelijom +A4
– da je baterija smještena u CMSC-1, preinačena u postrojenje za centralnu kompenzaciju (PCK) s četiri "male" baterije, svaka po 1,8 Mvar ili dvije "velike" baterije (KB1 i KB2), svaka po 3,6 Mvar.
– da su u kontejner smješteni kondenzatori, sekcijski rastavljači, naponski trafoi za balansnu zaštitu, udarne prigušnice i katodni odvodnici za KB1 i KB2 te strujni mjerni transformatori i vakuumski prekidač za KB1.

Nova komandno upravljačka oprema smještena je u poseban komandno kontrolni ormar (KK01.1) postavljen na zadnju stjenku kontejnera CMSC-1 uz postojeći komandno kontrolni ormar (KK01).

Ostala oprema PCK smještena je u ćeliji 10 kV +A3 i +B10 koje su izvedene u sklopu postrojenja CSGP 11.



Slika 5. Montažni nacrt kondenzatorskog postrojenja 10 kv smještenog u kontejneru CMSC-1 nakon rekonstrukcije

Dodatni kabelski vod 20 kV, 3 x 140 mm^2 Cu koji povezuje KB2 i CSGP 11 u +B10 i 3 x 1300 mm^2 Cu koji povezuje bateriju 16 Mvar i CSGP 11 u +B4 položeni su u kabelski rov trase kabela visokog napona, koji povezuju CMSC-1 i CMSC-2 s CSGP 11. Niskonaponski kabeli položeni su u rov kabela koji povezuje CMSC-1 i CCB 1 + 5BX.

3.3. Automatika

U rješenju automatike VKP zadržan je postojeći način starta motora BMC 101, a dodatne funkcije riješene su logikom rada smještenom u novi komandno kontrolni ormar KK01.1. Izborni parametri rada ove logike biraju se izbornim sklopkama S.. S4, a nalozi osiguravaju odgovarajućim blokadama. Ovo rješenje podrazumijeva:

a.) da se sa S1 bira sustav upravljanja PCK; u položaju L radom PCK može se upravljati samo lokalno, a u položaju D samo daljinski

b.) da se sa S2 bira namjena PCK:
- u položaju START MOTORA moguće je samo start tati motor BMC-101, a
- u položaju KOMPENZACIJA može se provoditi sa mo kompenzacija jalove snage potrebne konzumen tima priključenim na CSGP 11.

c.) da se sa S3 i S4 biraju veličine baterija koje će se koristiti za potrebe kompenzacije;
- u položaju 1,8 Mvar mogu se koristiti samo "male" sekcije PCK snage 1,8 Mvar, a
- u položaju 3,6 Mvar mogu se koristiti samo "velike" sekcije PCK snage 2 x 1,8 Mvar.

U skladu s izloženim **operater je dužan da prije bilo koje intervencije na PCK provjeri njegovo pogonsko stanje.**

Prije starta motora operater mora:

a.) pritiskom na tipkala B11 i B13 isključiti prekidače -Q1.1 u CMSC1 i -Q1 u +B10 i

b.) postaviti preklopku S2 u položaj START MOTORA.

Postavljanjem S2 u položaj START MOTORA automatika uključuje rastavljač -Q1,3; -Q1.4 i -Q1.5 i time se četiri "male" baterije (svaka po 1,8 Mvar) povezuju u "složenu" bateriju (7,2 Mvar) i pripremaju (zajedno s baterijom od 16 Mvar iz CMSC-2) za start motora BMC 101 po logici starta po kojoj se motor BMC 101 stavljao u pogon prije rekonstrukcije baterije smještene u CMSC-1.
Po istoj logici nakon starta motora automatika isključuje prekidače -Q1.1 i -Q2.1 i time omogućava ili novo startanje motora ili prebacivanje S2 u položaj KOMPENZACIJA.

Prije uključenja kompenzacije operater mora:

a.) pritiskom na tipkala B11 i B13 isključiti prekidače -Q1.1. U CMSC 1 i -Q1 u +B10

b.) prebaciti S2 u položaj KOMPENZACIJA i time otvoriti rastavljač -Q1.4 i "složenu" bateriju podijeliti u dvije "velike" baterije, svaka po 2 x 1,8 Mvar

c.) na osnovi podataka o aktualnim potrebama u radnoj i jalovoj snazi konzumenata priključenih na CSGP 11 postaviti S3 i S4 u položaj 3,6 Mvar (za angažiranje "velikih" baterija) i

d.) pritiskom na signalna tipkala B10 i B12 uklopiti prekidače -Q1.1 u CMSC 1 i -Q1 u +B10 i tako uključiti KB1 i KB2 na CSGP 11.

Ako se želi povećati ili smanjiti iznos za kompenzaciju već angažirane snage PCK nužno je postupak uključivanja kompenzacije ponoviti preskačući pri tome samo drugi korak u proceduri prvog uključenja PCK.

3.4. Zaštita

Zaštita VKP provedena je višestruko, jednom preko zaštite samih baterija, a drugi put zaštitom sustava.
Kod prorade zaštite odgovarajuće blokade isključuju mogućost uključivanja prekidača -Q1 u +A4 i prekidača Q1 u +B10 dok se ne provede ispitivanje uzroka prorade zaštite, ukloni kvar i deblokira rad prekidača.

3.5. Signalizacija

Dodatna signalizacija i komandno-kontrolna oprema VKP smještena je u novi komandnokontrolni ormarić KKO 1.1 po veličini i konstrukciji identičan postojećem KKO 1. Novi KKO 1.1. postavljen je uz postojeći KKO 1 i s njim je bočno povezan kabelima tako da praktično čine jedan sustav.

3.6. Uzemljenje

Dodatno uzemljenje VKB izvedeno je galvanskim spajanjem svih električni vodljivih dijelova dodatne opreme postrojenja koji normalno nisu pod naponom, a u slučaju kvara mogu doći pod napon na već postojeći sustav uzemljenja DINE. Kako postojeće uzemljenje i spojni vodovi u sastavu uzemljenja kontejnera CMSC-1 i u njemu instalirane opreme u pogonu nije pokazalo nedostatke nužno je uzemljenje novih elemenata postrojenja za centralnu kompenzaciju izvesti s onim parametrima rješenja uzemljenja koje ima kondenzatorsko postrojenje za start BMC-101.
Na isti način nužno je uzemljiti i sve neuzemljene metalne dijelove elemenata PCK koji su smješteni u ćelijama +A3 i +B10, a normalno nisu pod naponom i sve galvanski spojiti na mrežu uzemljenja DINE na isti način kako je to izvedeno u susjednim ćelijama.

3.7. Mjerenja

Uz ampermetre za indikaciju opterećenja u strujnim krugovima KB1 i KB2 predviđena je ugradnja odgovarajućih dvotarifnih impulsnih brojila jalove energije koju će baterija proizvesti.

4. Zaključak

Rekonstrukcijom raspoložive kondenzatorske baterije koja je prije rekonstrukcije korištena samo za start kompresorskog motora, a nako rekonstrukcije koristit će se višenamjenski (za start motora i za kompenzaciju jalove snage potrebne konzumentima priključnim na centralne sabirnice 10 kV CSGP 11) povećano je vrijeme uporabe baterije sa nekoliko desetaka sekundi godišnje prije rekonstrukcije na oko 7.000 sati godišnje nakon rekonstrukcije. Računajući s odnosima u proizvodnji i nabavi energije kakvi su u DINI realizirani u vrijeme izrade projekta rekonstrukcije KPSM smatra se da bi se rekonstrukcija baterije isplatila za 5 mjeseci korištenja PCK i da je ovo vrlo rentabilna investicija.

KORIŠTENA DOKUMENTACIJA

D1 – 10 kV kompenzacija, idejni projekt, Tehprojekt, RIjeka, 1989.

D2 – 10 kV kompenzacija, projekt izvedenog stanja, Tehprojekt, Rijeka, 1989.

D3 – 0,4 kV kompenzacija snage 137,5 kVAr, Tehprojekt, Rijeka, 1989.

D4 – Rješenje kompenzacije jalove energije u 10 kV postrojenju DINA – OMIŠALJ, Institut za elektroprivredu, Zagreb, 1991.

D5 – Bilješke o potrošnji i mogućnostima kompenzacije jalove energije u DINI Omišalj, Arhiva Elektroprojekta, Zagreb, 1991.

D6 – Specifikacija MS 709-510005, Kondenzatorski uređaj za pokretanje motora BMC-101, DINA-Petrokemija Omišalj, 1981.

D7 – Glavni projekt električnog postrojenja dizelelektrične centrale, Knjiga 1 – Analiza sistema, Knjiga 3-10 kV postrojenje CSGP 11, R. KONČAR, Zagreb, 1981.

D8 – Idejno rješenje postrojenja centralne kompenzacije jalove snage DINE OMIŠALJ, Elektroprojekt, Zagreb 1991. Arhiva EB-EMI

D9 – Tehnička dokumentacija za izvođenje postrojenja za centralnu kompenzaciju jalove snage Petrokemijske industrije Omišalj, Elektroprojet, Zagreb, 1991.

MULTIPURPOSE USAGE OF CONDENSER BATTERIES

The results of the project on multipurpose usage of 10 kV condenser batteries in the electric power system of the petrochemical facility DINA Omišalj are presented.

DIE MEHRZWECKNUTZUNG VON KONDENSATORENBATTERIEN

Dargestellt sind die Ergebnisse des Entwerfens der Mehrzwecknutzung von 10 kV Kondensatorenbatterien im Stromversorgungssystem des Petrochemiewerkes DINA - Omišalj.

Naslov pisca:

Nikola Vagić, dipl. ing.
Elektroprojekt,
Ulica grada Vukovara 37,
10000 Zagreb,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1997-01-28.

DALEKOVOD d.d.

DALEKOVOD DANAS

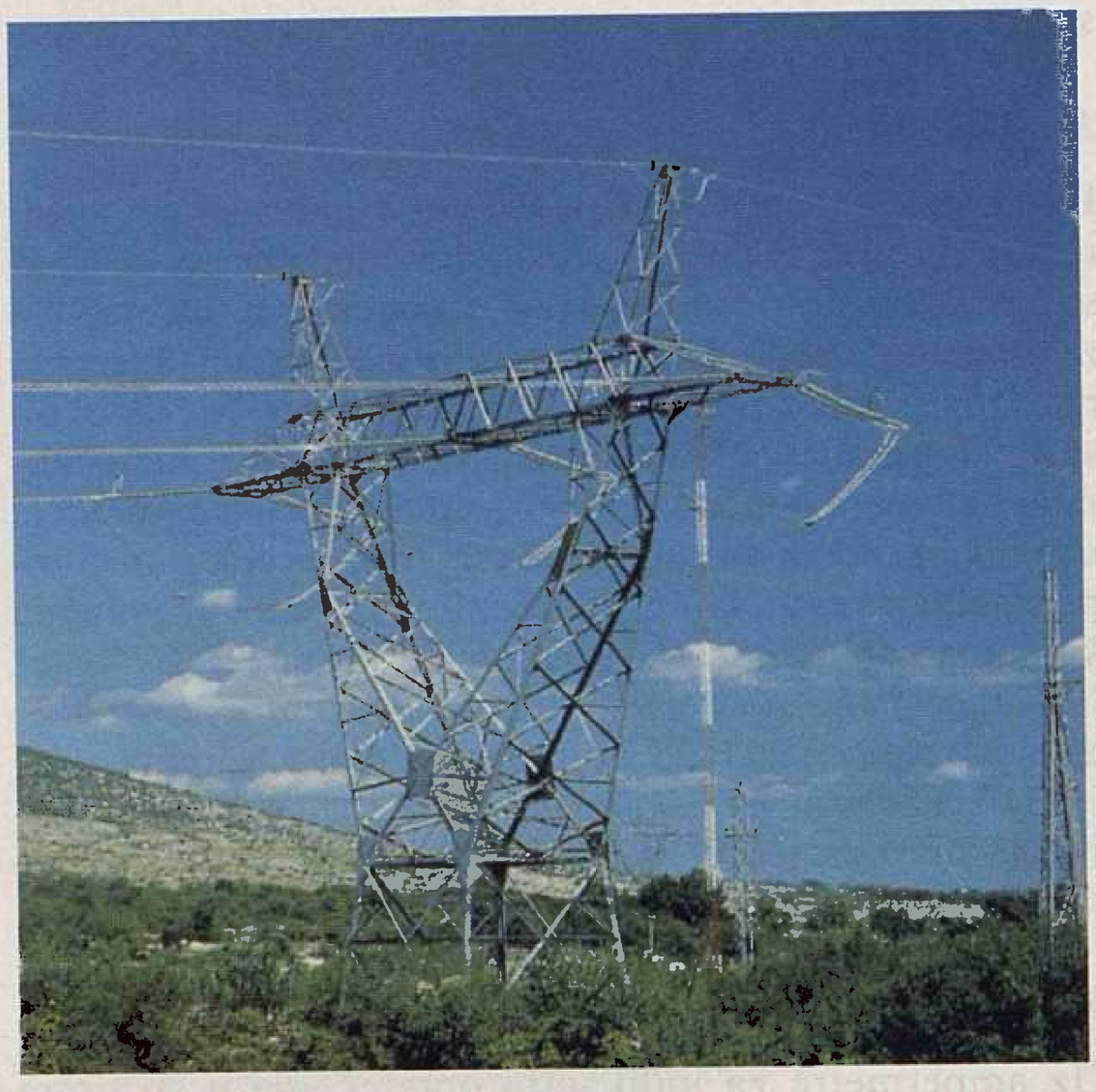
DALEKOVOD je dioničko društvo za inženjering, proizvodnju i gradnju. Za potrebe svog poslovanja utemeljio je:
— Tvrtku DALCOM sa sjedištem u FREILASSINGU — Njemačka
— Tvrtku DALEN sa sjedištem u LJUBLJANI — Slovenija
DALCOM i DALEN rade samostalno, ali s ograničenom odgovornošću.

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.



Ulica grada Vukovara 37
10000 ZAGREB — HRVATSKA
Tel.: ++385-1-6125-111, 511-325
Fax: ++385-1-530-606, 511-754

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 LS:91 (1/94)

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 LS:91 (1/94)

PRAVILNIK O IZMJENAMA PRAVILNIKA O TEHNIČKIM NORMATIVIMA ZA IZGRADNJU NADZEMNIH ELEKTROENERGETSKIH VODOVA NAZIVNOG NAPONA OD 1 kV DO 400 kV

U Narodnim novinama broj 24 od 28. veljače 1997. godine objavljen je Pravilnik o izmjenama Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV, koji je bio objavljen u Narodnim novinama broj 53/91.
Izmjene se odnose na članke 16., 29. i 53.

Izmijenjeni članak 16. glasi:

"Presjek užadi mora biti dovoljno velik da ukupna temperatura užadi zbog zagrijavanja ne bude viša od 80°C za klasičnu užad, a za specijalnu užad može biti i viša ako je za nju dokazana njihova mehanička postojanost."

Izmijenjeni članak 29. glasi:

Uvjeti opterećenja vjetrom (p)	*Sigurnosni razmak (cm) za nazivni napon Un (kV)*					
	10	*20*	*35*	*110*	*220*	*400*
1.	*15*	*25*	*35*	*75*	*150*	*280*
2.	*10*	*20*	*30*	*70*	*140*	*270*
3.	*10*	*10*	*10*	*30*	*50*	*90*

Sigurnosni razmaci računaju se za slučajeve opterećenja vjetrom;
1. p = 0 (neotklonjena užad i izolatorski lanci)
2. p = 0,15 Pmax
3. p = Pmax
gdje je Pmax (N/m²) - maksimalni tlak vjetra prema članku 10. ovog Pravilnika.

Članak 53 mijenja se i glasi:

Izolacija je električno pojačana ako se za kapaste izolatore, odnosno kapaste izolatore u izolatorskim lancima, stavi jedan članak više, neovisno o naponskoj razini.
Za potporne, masivne i štapne izolatore nije potrebno primjenjivati kriterij električki pojačane izolacije.

SBK

KORIŠTENJE STRUČNIH NAZIVA I AKADEMSKIH STUPNJEVA

Upute o korištenju stručnih naziva i akademskih stupnjeva objavljene su povodom izbora kandidata za zastupnike (Narodne novine broj 21 od 20. veljače 1997. godine). Utvrđeno je da izborno povjerenstvo uz ime i prezime kandidata označi slijedeće stručne nazivne i akademske stupnjeve:

- akademik (ispred imena kandidata), za redovne članove HAZU
- dr. sc. (ispred imena kandidata, koji su stekli doktorat znanosti)
- mr. sc. (ispred imena kandidata koji su stekli magisterij znanosti)
- Svi ostali stručni nazivi i zvanja (primjerice dr. med., dr. stom., dipl. iur., dipl. oec., dipl. ing. i slično) označit će se iza imena i prezimena kandidata.

SBK

NACIONALNA KLASIFIKACIJA DJELATNOSTI

Da bi se Republika Hrvatska uključila u međunarodnu razmjenu usporednih statističkih podataka mora uskladiti svoje statističke standarde i klasifikaciju s međunarodnim. Klasifikacija djelatnosti statistička je klasifikacija i jedan od temeljnih statističkih standarda posebno značajan za gospodarski sustav. Obuhvaća sve aktivnosti, od poljoprivrede do usluga. Služi za klasificiranje poduzeća, pogona, radnih mjesta. Primjenom Nacionalne klasifikacije djelatnosti osigurava se kompatibilnost podataka sa EU i ostalim zemljama te mogućnost za razmjenu podataka s međunarodnim organizacijama i tijelima. Nacionalna klasifikacije djelatnosti je uvedena zbog uspostavljanja integralnog sustava statističkih klasifikacija koji će omogućiti kvalitetnije i bolje korištenje podataka u ekonomskim analizama, jednostavnije i lakše sporazumijevanje, kako među statističarima tako i među svima onima koji se bave gospodarskom politikom, znanstvenicima i drugim korisnicima statističkih podataka.
Od 1977. godine u republici Hrvatskoj bila je na snazi Jedinstvena klasifikacija djelatnosti - JKD. S obzirom da više nije objektivno izražavala sadašnji stupanj gospodarske strukture i razvojne ciljeve zemlje, a temeljila se na socijalističkoj dogovornoj ekonomiji, 1. siječnja 1995. godine zamijenjena je novom Nacionalnom klasifikacijom djelatnosti - NKD. Početkom ove godine objavljena je u Narodnim novinama broj 3/97. i 7/97. nova odluka o Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti. Prema ovoj odluci dodana su tri nova razreda vezana za turističku djelatnost. Nova odluka o Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti i Metodološke osnove za Nacionalnu klasifikaciju djelatnosti - NKD temelje se na najnovijem izdanju EUROSTATA (Statistički ured EU) NACE Rev. 1., koja je obvezatna za sve članice EU.

Kod nas su dosada izdani slijedeći propisi za uvođenje i primjenu NKD;

- Zakon o nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti (Narodne novine, br. 98/94.),
- Odluka o Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti (Narodne novine, br. 6/95.)
- Pravilnik o razvrstavanju poslovnih subjekata prema Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti (Narodne novine, br. 22/95.)
- Odluka o Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti (Narodne novine, 3/97.)
- Ispravak odluke o Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti (Narodne novine, 7/97.)
- Metodološke osnove za Nacionalnu klasifikaciju djelatnosti - NKD (Narodne novine, br. 12/97.)

U Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti hijerarhijska razina ide ozgora prema dolje (top down) i nosi oznake kako slijedi:

- područja	-	jednoslovna oznaka	A-Q
- potpodručja	-	dvoslovna oznaka	CA - DN
- odjeljci	-	dvoznamenkasta brojka	01 -99
- skupine	-	troznamenkasta brojka	01.1 - 99.0
- razredi	-	četveroznamenkasta brojka	01.11 - 99.00
- podrazredi	-	peteroznamenksta brojka	01.11.1 - 99.00.0

U strukturi Nacionalne klasifikacije djelatnosti područje Opskrba električnom energijom zajedno sa plinom i vodom ima oznaku E. Odjeljak 40 odnosi se na Opskrbu električnom energijom, plinom, parom i toplom vodom. Ovaj odjeljak ima više skupina od kojih se skupina 40.1 odnosi na Proizvodnju i distribuciju električne energije, a skupina 40.3 na Opskrbu parom i toplom vodom. Razred 40.10 iz skupine 40.1 odnosi se na Proizvodnju i distribuciju električne energije. Razred 40.30 iz skupine 40.3 odnosi se na Opskrbu parom i toplom vodom. Razredi obuhvaćaju djelatnosti kako slijedi:

Područje:	E	OPSKRBA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM, PLINOM I VODOM
Odjeljak:	40	Opskrba električnom energijom, plinom, parom i toplom vodom
Skupina:	40.1	Proizvodnja i distribucija električne energije
Razred:	40.10	Proizvodnja i distribucija električne energije *Ovaj razred uključuje:* • *proizvodnju električne energije na bilo koji način uključujući termičku, nuklearnu, hidroelektričnu, pomoću plinskih turbina, dizelsku i alternativnu proizvodnju* • *prijenos i distribuciju električne energije*
Skupina:	40.3	Opskrba parom i toplom vodom
Razred:	40.30	Opskrba parom i toplom vodom *Ovaj razred uključuje:* • *proizvodnju, skupljanje i distribuciju pare i tople vode za grijanje, pogonske i ostale svrhe.* *Ovaj razred također uključuje:* • *proizvodnju i distribuciju hladne vode ili leda za hlađenje.*

SBK

PROGRAM STATISTIČKIH ISTRAŽIVANJA U 1997. GODINI

Kao i svake godine tako je i ove godine Zastupnički dom Sabora donio Program statističkih istraživanje RH za 1997. godinu. Ovaj program je objavljen u Narodnim novinama, br. 28/97. Prema Zakonu o državnoj statistici (Narodne novine, br. 52/94.) donosi se program, kojim se utvrđuju pojedina statistička istraživanja prema nositeljima poslova državne statistike. Pojedinim istraživanjem utvrđuje se njegov sadržaj, prostorni opseg, način obrade podataka, te određuju opseg izvještajne jedinice i njihove obveze s rokovima izvršenja.

Državni zavod za statistiku objavljuje rezultate statističkih istraživanja u priopćenjima, statističkim mjesečnicima, statističkim ljetopisima i ostaloj dokumentaciji.

Kao izabrani poslovni subjekt koji je proizvođač i distributer električne energije Hrvatska elektroprivreda ima obvezu provođenja istraživanja utvrđenih ovim programom. Izvodi iz Programa statističkih istraživanja za 1997. godinu koji se odnose na Hrvatsku elektroprivredu prikazani su u donjoj tablici. Tablica obuhvaća slijedeće podatke i informacije:

- naziv istraživanja
- sadržaj istraživanja
- periodičnost provođenja istraživanja
- razdoblje ili kritični datum
- tko je dužan dati podatke
- do kada treba dostaviti podatke
- način davanja podataka
- prvi rezultati i
- način objavljivanja.

Redni broj	Naziv istraživanja	Sadržaj istraživanja	Periodičnost provođenja istraživanja	Razdoblje ili kritični datum	Do kada treba dati podatke	Način davanja podataka	Prvi rezultati	Način objavljivanja
1.	Mjesečno izvješće industrije	Proizvodnja, realizacija i zalihe proizvoda; utrošak i zalihe sirovina, električne energije, goriva i toplinske energije; broj djelatnika	Mjesečno	Protekli mjesec	7. u mjesecu	Obrazac IND-1	14. u mjesecu	• Priopćenje • Dokumentacija • Statistički ljetopis
2.	Godišnje izvješće industrije	Svake godine: Realizacija i zalihe proizvoda, djelatnici i sati rada, podaci o smjenama, pogonski strojevi i motori, utrošak električne energije prema tehnološkoj namjeni; iskoristivost kapaciteta preko proizvoda (ostvarena i moguća proizvodnja; promjene u programu proizvodnje; uvoz, izvoz Periodično: fluktuacija djelatnika prema stupnju stručne spreme	Godišnje	Protekla godina	15.05.	Obrazac IND-21	28.09.	• Dokumentacija • Statistički ljetopis
3.	Godišnja bilanca proizvodnje i potrošnje električne energije	Proizvodnja, vlastita potrošnja i isporuka poslovnim subjektima za prijenos i distribuciju električne energije, kapacitet, uvoz, izvoz, prodaja značajnijim potrošačima	Godišnje	Protekla godina	17.04.	Obrazac ERG-21	5.07.	• Statistički ljetopis
4.	Godišnje izvješće o toplanama i kotlovnicama	Proizvodnja tople i vrele vode, proizvodnja vodene pare i električne energije, te potrošnja električne energije, krutih, tekućih i plinovitih goriva u toplanama i kotlovnicama, osim industrijskih	Godišnje	Protekla godina	17.04.	Obrazac ERG-23	5.07.	• Statistički ljetopis
5.	Mjesečno izvješće građevinarstva	Vrijednost ugovorenih i izvršenih radova, broj radnika na gradilištu, ostvareni sati rada	Mjesečno	Protekli mjesec	20. u mjesecu	Obrazac GRAĐ-21	14. u mjesecu	• Priopćenje • Mjesečno statističko izvješće
6.	Tromjesečno izvješće građevinarstva	Vrijednost ugovorenih radova, izvršeni radovi prema vrsti i lokaciji građevina	Tromjesečno	Proteklo tromjesečja	20.01. 20.04. 20.07.	Obrazac GRAĐ-31	14.02. 14.05. 14.08.	• Priopćenje • Mjesečno statističko izvješće
7.	Godišnje izvješće za građevinski objekt	Vrsta, građevinska veličina i lokacija građevina, vrijednost izvršenih radova, opremljenost zgrade instalacijama i dr.	Godišnje	Protekla godina	20.02	Obrazac GRAĐ-11	20.06.	• Priopćenje • Mjesečno statističko izvješće • Dokumentacija • Statistički ljetopis
8.	Mjesečno izvješće o cestovnom prijevozu za vlastite potrebe	Broj i kapacitet prijevoznih sredstava po vrstama vozila, prijevoz putnika i tereta u unutrašnjem i međunarodnom prijevozu, putnički i tonski kilometri, iskorištenost prijevoznih sredstava	Mjesečno	Protekli mjesec	20. u mjesecu	Obrazac PA/M-21	40 dana po isteku izvještajnog mjeseca	• Mjesečno statističko izvješće • Dokumentacija • Statistički ljetopis
9.	Godišnje izvješće o korištenju voda i zaštiti voda od zagađivanja u opskrbi električnom energijom	Korištenje vode, ispuštanje upotrebljene (ispuštene) vode, uređaji za korištenje i zaštitu voda od zagađenja	Godišnje	Protekla godina	1.05.	Obrazac VOD-1	1.04.	• Priopćenje • Statistički ljetopis

Redni broj	Naziv istraživanja	Sadržaj istraživanja	Periodičnost provođenja istraživanja	Razdoblje ili kritični datum	Do kada treba dati podatke	Način davanja podataka	Prvi rezultati	Način objavljivanja
10.	Izvješće o otpatcima iz opskrbe električnom energijom	Vrste i količine otpada, način i mjesto odvoza,način zbrinjavanja otpada	Trogodišnje	Protekla godina	30.08.	Obrazac OTP-1	15.11.	• Priopćenje • Statistički ljetopis
11.	Mjesečna izvješća o zaposlenima i plaći	Isplaćene neto i bruto plaće prema vrstama isplate, broju zaposlenih na koje se odnose isplate; broj zaposlenih na kraju prethodnog izvještajnog mjeseca; broj došlih i otišlih u tijeku izvještajnog mjeseca; broj zaposlenih žena na kraju izvještajnog mjeseca i broj zaposlenih na čekanju	Mjesečno	Protekli mjesec	1. u mjesecu	Obrazac RAD-1	20. u mjesecu	Priopćenje Mjesečno statističko izvješže Statistički ljetopis
12.	Godišnje izvješće o zaposlenima i plaći, ožujak	Broj zaposlenih ukupno i broj zaposlenih žena prema podacima kadrovske evidencije; struktura zaposlenih prema osnovnim ekonomskim i obrazovnim obilježjima (vrsta radnog odnosa, vrsta radnog vremena, starost, spol, sati rada, stupanj stručnog obrazovanja); distribucija zaposlenih prema visini neto plaće; prosječna neto plaća prema stupnju stručne spreme potrebne za rad na radnom mjestu	Godišnje	Ožujak	30.04.	Obrazac RAD-1G	31.12.	Priopćenje Dokumentacija Statistički ljetopis
13.	Godišnje izvješće o investicijama u dugotrajnu imovinu pravnih osoba	Isplate za investicije po oblicima financiranja i djelatnosti investitora, ostvarene investicije prema tehničkoj strukturi, karakteru izgradnje, namjeni ulaganja i području, predračunska vrijednost investicija po fazama izgradnje (aktivirane investicije, investicije u izgradnji)	Godišnje	Protekla godina	31.01.	Obrazac INV-P, magnetni medij, obrada	31.10.	Statistički ljetopis
14.	Mjesečno izvješće o cijenama industrijskih proizvoda pri proizvođačima	Prodajne cijene pri izabranim proizvođačima za oko 400 proizvoda odnosno potrebnog broj proizvoda i proizvođača za izračunavanje reprezentativnog indeksa cijena u razini područja i grana za RH	Mjesečno	Od 20. prethodnog do 20. tekućeg mjeseca	21. u mjesecu	Obrazac C-41	3. u mjesecu	Priopćenje Mjesečno statističko izvješće Dokumentacija Statistički ljetopis
15.	Priprema metodologije za izradu energetske bilance RH	Izrada i usvajanje metodologije za izradu energetske bilance RH. Usklađivanje s međunarodnom metodologijom za izradu energetske bilance.			1998. god.			
16.	Klasifikacija proizvoda po djelatnostima RH-KPD	Izrada i usvajanje Klasifikacije proizvoda po djelatnostima RH, sukladne klasifikaciji proizvoda EU-CPA 96 (Classification of Products by Activity) verziji za 1996.			1997. god.			
17.	Nacionalna momenklatura industrijskih proizvoda i usluga RH za godišnje i mjesečno snimanje industrijske proizvodnje NIPU 96 i NIPUM 96	Revizija i usklađivanje NIPU prema novoj verziji nomenklature proizvoda Europske unije - PRODOCOM list 1996. Izrada projekta publiciranja, rekonstrukcija vremenskih serija za pokazatelje na razini proizvoda sukladno zahtjevu Europske unije i nacionalnim potrebama. Izrada i uvođenje Nacionalne nomenklature industrijskih proizvoda i usluga - NIPUM, sukladne KPD 96 i NIPU 96 za mjesečno snimanje industrijske proizvodnje (područja C, D i E iz NKD-a) i izradi indeksa fizičkog obujma proizvodnje prema zahtjevu Europske unije i nacionalnim potrebama te izrada nomenklature sirovina. Pilot obrada, analiza rezultata i izrada konačnog projekta obrade i publiciranja i uvođenje u redovitu obradu			1997. god.			
18.	Godišnje izvješće o korištenju računala (EOP-1)	Izrada kategorizacije računala općih namjena i usklađivanje s međunarodnom kategorizacijom i metodologijom			1998. god.			
19.	Nacionalna klasifikacija djelatnosti RH	Priprema i izrada projekta za rekonstrukciju vremenskih serija podataka iz Jedinstvene klasifikacije djelatnosti - JKD na Nacionalnu klasifikaciju djelatnosti - NKD, i izrada tablica pretvorbi JKD - NKD, NKD - JKD			1998. god.			

SBK

PAROGENERATORI ZA NE KRŠKO

Troškovi sanacije starih parogeneratora su narasli toliko da ih se isplati zamijeniti. Slovenija je bez sudjelovanja predstavnika Hrvatske elektroprivrede raspisala međunarodni najtečaj za nabavu novih parageneratora. Polovicom siječnja ove godine prema NucNet-u narudžbu je dobio konzorcij Framatom - Siemens. Prema konstrukciji Siemens-a parogeneratori će biti isporučeni u 1999. godini. Vrijednost narudžbe iznosi oko DEM 50 milijuna. Još nije poznato tko će izvesti i obavljati nadzor zamjene.

SBK

TS 110/20 (10) kV ZADAR - CENTAR PUŠTENA U RAD

Gradnja ove transformatorske stanice započela je 1994. godine. Ona je završni objekt "Otočne veze" čime je osigurano napajanje Zadra električnom energijom preko Paga. Time se ujedno rješava energetski problem Zadra i okolice na duži period. Dosada je Zadar bio napajan samo iz jedne transformatorske stanice Zadar I, koja je nakon izgradnje prije 35 godine bila jednom rekonstruirana. Zbog povećane potrebe za električnom energijom bilo je potrebno izgraditi novu transformatorsku stanicu na odgovarajućoj lokaciji. TS 110/20(10) kV Zadar - Centar povezana je s KB/DV 110 kV sa transformatorskom stanicom Nin s jedne strane, a s druge strane KB 110 kV s transformatorskom stanicom Zadar I. U novu transformatorsku stanicu je ugrađena najsuvremenija oprema za upravljanje, zaštitu, mjerenje i signalizaciju. Visokonaponsko 110 kV postrojenje je kompaktno tropolno sklopno postrojenje oklopljeno metalom i izolirano plinom SF6. Investicija je vrijedna oko 17 milijuna DEM. U ovoj prvoj fazi izgradnje ugrađen je samo jedan transformator snage 40 MW, dok bi se u slijedećoj fazi trebao ugraditi još jedan transformator iste snage.

SBK

ZAMJENA SABIRNICA 400/110/30 kV TUMBRI BEZ PREKIDA NAPAJANJA

U proljeće 1995. godine došlo je do velike havarije u TS 400/110/30 kV Tumbri. Posljedica ove havarije bio je i djelimičan raspad elektroenergetskog sustava Hrvatske. Pri havariji je došlo do rušenja srednje faze pomoćnih sabirnica 400 kV. To se najprije dogodilo na dijelu između DV polja Meline i Krško 2. Zatim je došlo do kaskadnog loma te faze duž cijelog postrojenja 400 kV. Sanacija ove havarije završena je u svibnju 1995. godine. Kako je postojala mogućnost da se ponovo dogodi isto takva havarija, bilo je jasno da se mora nešto učiniti na poboljšanju tehničkog rješenja. To znači zamjena starog sabirničkog sustava 400 kV novim. Taj novi sustav mora biti jači, tj. mora imati kvalitetnije potporne izolatore, cijevi većeg presjeka, novi sustav učvršćenja i spajanja sabirnica antivibracijskim užetom i zamjenom cijevnih spojeva sabirničkih rastavljača užetom. Zapravo osnovni problem su bile vibracije i rezonancija cijevnih sabirnica.
Stručne analize su pokazale da je potrebno ugraditi cijevne sabirnice promjera ø220 mm i potporne izolatore prijelomne sile F=10 kN.
Radovi na definitivnoj sanaciji započeli su u srpnju 1996. godine. Tijekom izvođenja radova pogon praktički nije bio prekidan. Posao je dovršen krajem 1996. godine. O složenosti i veličini zahvata evo nekoliko podataka. Demontirano je 1943 metra ili 20 tona cijevnh sabirnica 160/144 mm. Zamijenjeno je 84 spojna sabirnička rastavljača i 97 potpornih izolatora 400 kV. Težina novih sabirnica je 40 tona. Ugrađeno je antivibracijsko uže Ač 490/65 mm² dužine 1300 metara (2,5 tona). Ostaje pogonsko iskustvo o pojavi vibracija cijevnih sabirnica pri vjetru male brzine i havarija pri vjetrovitom vremenu. Isto tako i potreba za istraživanjem i svestranom stručnom analizom ovih pojava.

SBK

SPORAZUM O POKRETANJU ENERGETSKIH PROGRAMA

Krajem ožujka potpisan je sporazum o provedbi devet energetskih programa:

- Program plinifikacije dijelova Hrvatske (PLINCRO), gdje nije provedena
- Program proizvodnje topline i struje (KOGEN) kod potrošača koji imaju veliku potrošnju topline
- Mreža industrijske energetske efikasnosti (MIEE)
- Program izgradnje malih hidroelektrana (MAHE)
- Program korištenja energije sunčeva zračenja (SUNEN)
- Program korištenja biomase, biotoplina i energije otpada (BIOEN)
- Program korištenja geotermalne energije (GEON)
- Program povećanja energetske efikasnosti u zgradarstvu (KUEN-zgrada), te
- Program povećanja energetske efikasnosti u centraliziranim toplinskim sustavima (KUEN-cts)

Sporazum su potpisali predstavnici:

- Ministarstva gospodarstva
- Ministarstva razvitka i obnove
- Ministarstva prostornog uređenja, graditeljstva i stanovanja
- Ministarstva poljoprivrede i šumarstva
- Državnog zavoda za mjeriteljstvo i normizaciju
- Hrvatske gospodarske komore
- Hrvatske elektroprivrede
- INA-e
- Hrvatskih voda
- Hrvatskih šuma
- Instituta za građevinarstvo.

Potpisivanje sporazuma treba osigurati da će državne institucije i poduzeća organizirano skrbiti o energetskoj efikasnosti kao osnovnom opredjeljenju strategije razvoja hrvatske energetike, korištenju obnovljivih izvora energije i zaštiti okoliša.

SBK

MEĐUNARODNI SEMINAR O SIGURNOSTI NUKLEARKI

Dvodnevni seminar o sigurnosti primjene nuklearne energije organiziralo je Ministarstvo gospodarstva i Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA) 25. i 26. ožujka ove godine. Hrvatska kao suvlasnik NE Krško zainteresirana je za sigurnost u korištenju nuklearne energije s obzirom da NE Krško radi u neposrednoj blizini. Uz raspravu o sigurnosti nuklearnih elektrana raspravljalo se i o miroljubivoj primjeni nuklearne energije, hrvatskim iskustvima u primjeni nuklearnih tehnika, te sudjelovanju javnosti i medija. Seminar, osim razmjene iskustava i novih saznanja, pridonio je boljem razumijevanju nuklearne problematike.

SBK

KONČAR - ELEKTRONIKA I INFORMATIKA ODRŽAO PREZENTACIJU ZA HEP

Na prezentaciji su predstavljeni proizvodi visoke tehnologije - sustavi uzbude, napajanja istosmjernim i izmjeničnim naponom, procesne informatike i mjerenja. Proizvodi su rezultat 25-godišnjeg vlastitog iskustva i suradnje na razvoj, s Končar - Elektrotehničkim institutom. Fakultetom elektrotehnike i računarstva, te licencijskim partnerima ABB-om i SICON-om.
Prisutni su upoznati s strateškim zadacima poduzeća Končar - Elektronika i informatika. Za ostvarenje proizvodnje kvalitetne i suvremene opreme strateški zadaci su:

- istraživanje i razvoj proizvoda
- primjena suvremenih tehnoloških rješenja u proizvodima
- unapređivanje tehnološkog procesa proizvodnje, te
- unapređivanje poslovnog procesa uključujući i privatizaciju

SBK

CIJENE HRVATSKIH NORMI

Ravnatelj državnog zavoda za normizaciju i mjeriteljstvo donio je odluku o cijenama posebnih izdanja hrvatskih normi. Ova odluka objavljena je u Narodnim novinama broj 55/96. Cijene hrvatskih normi, kao i normi preuzetih od međunarodnih, regionalnih i normizacijskih tijela drugih država, ako je tekst preuzetih normi sastavni dio hrvatske norme, utvrđuju se u kunama i prema broju stranica kako je prikazano u slijedećoj tablici:

Cjenovni razred	Broj stranica	Cijena u kunama
A	1-4	25,00
B	5-8	32,00
C	9-12	40,00
D	13-16	48,00
E	17-20	55,00
F	21-24	60,00
G	25-32	72,00
H	33-40	79,00
I	41-48	86,00
J	49-56	91,00
K	57-64	95,00
L	65-72	100,00
M	73-80	110,00
N	81-100	118,00
O	101-120	126,00
P	121-140	132,00
R	141-160	138,00
S	161-180	145,00
T	181-200	155,00
U	201-240	162,00
V	241-280	171,00
Z	281-320	183,00

Cijena hrvatske norme preuzete metodom prve stranice međunarodne ili regionalne norme koja ne sadrži tekst preuzete norme iznosi 8,00 kuna.

SBK

OBJAVLJENE HRVATSKE NORME

Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo izdao je i objavio slijedeće norme u prilogu Glasila zavoda broj 1-2/1997. (Službene obavjesti - B265-266):

Oznaka norme	Naziv i opis
HRN IEC 50 (426):1997	Međunarodni elektrotehnički rječnik 426. poglavlje: Električni uređaji za eksplozivne atmosfere (IEC 50 (426):1990)
HRN EN 60079-10:1997	Električni uređaji za eksplozivne atmosfere 10. dio: Klasifikacija ugroženog prostora (IEC 79-14:1995; EN 60079-10:1996)
HRN IEC 79-14:1997	Električni uređaji za eksplozivne plinske atmosfere 14. dio: Električne instalacije u ugroženim prostorima (osim rudnika) (IEC 79-14:1996)
HRN IEC 79-17:1997	Električni uređaj za eksplozivne atmosfere 17. dio: Pregled i održavanje električnih instalacija u ugroženim prostorima (osim rudnika) (IEC 79-17:1996)
HRN IEC 79-19:1997	Popravak i obnavljanje električnih uređaja rabljenih u eksplozivnim atmosferama (osim rudnika ili proizvodnje eksploziva) (IEC 79-19:1993)

SBK

JEDNOFAZNO BROJILO ELEKTRIČNE ENERGIJE TIP S1X6

Na zahtjev Elektre-Zagreb Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo izdao je rješenje o tipnom odobrenju mjerila za jednofazno brojilo električne energije tipa S1X6, proizvođača Schlumberger Industries iz Austrije. Tipskim ispitivanjem mjerila utvrđeno je da mjerilo zadovoljava mjeriteljske zahtjeve propisane Pravilnikom o meteorološkim uvjetima za indukcijska brojila za električnu energiju.
Prema rješenju odobrava se tip mjerila:

- Vrsta mjerila: Jednofazno brojilo električne energije
- Tvronička oznaka mjerila: S1X6
- Proizvođač mjerila: Schlumberger Industries
- Mjesto i država: Beč, Austrija
- Službena oznaka tipa mjerila: HR F-4-1006

Ovo brojilo je indukcijsko brojilo namijenjeno za mjerenje djelatne električne energije u jednofaznim sustavima izmjeničnog napona s dva vodiča. Brojčanik ima šest cijelih mjesta i jedno decimalno mjesto. Brojčanik s više decimalnih mjesta može imati jedno decimalno mjesto prekriveno natpisnom pločicom. Brojilo može biti jednotarifno ili dvotarifno.
Osnovna ploča i poklopac priključnice izrađeni su od crne plastične mase, a poklopac brojila od prozirne plastične mase. U bakelitni blok priključnice umetnute su mjedene stezaljke u koje su uvijeni čelični vijci za pričvršćivanje vodiča. Brojilo je opremljeno napravama za prilagođavanje kod velikog i malog opterećenja i napravom za prilagođavanje unutrašnjeg kuta.
Tehnički podaci jednofaznog brojila tipa S1X6 su slijedeći:

Referentni napon	230 V
Osnovna i najveća struja	10-60 A
Referentna učestalost	50 Hz
Stalnica brojila	375 o./kWh
Razred točnosti	2
Nazivni okretni moment	0,07 Ncm
Referentna temperatura	23°C
Masa brojila	1,7 kg

SBK

PRIDRUŽENO ČLANSTVO EUROPSKIM NORMIRNIM ORGANIZACIJAMA CEN I CENELEC

Kao nacionalna normirna ustanova Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo je 1995. godine postao pridruženi član europskih normizacijskih organizacija CEN i CENELEC. Pridruživanjem je stekao određena prava. Pridruženo članstvo europskoj organizaciji za normizaciju CEN omogućuje našim delegatima prisustvovanje Općoj skupštini CEN-a i sjednicama tehničkih odbora bez prava glasovanja. Međutim, ono osigurava dostavu dokumenata Državnom zavodu za normizaciju, a to su:

- svi prijedlozi europskih normi (prEN)
- potvrđenih europskih normi (EN)
- harmonizacijskih dokumenata (HD)
- europskih prednormi (ENV)
- izvješća (CR) i ostalih publikacija CEN-a
- mjesečnika CEN/CENELEC/ETSI Bulletin
- redovnih obavijesti
- Press Releasses Središnjeg tajništva CEN
- INFOPRO - mjesečnih obavijesti vezanih za implementaciju Smjernice Europske unije 83/189.

Od dana pridruživanja CEN-u u rujnu 1995. godine u Zavod stižu redovito sve publikacije općeg značaja (katalozi, statuti, Memento - detaljan prikaz svih tijela i tehničkih odbora, Technical Report - prikaz svih projekata u tijeku). Osim toga u Zavod se

redovito dostavljaju sve prihvaćene europske norme i prijedlozi normi (EN, ENV, HD).
Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo može europske norme umnožavati i prodavati samo ako su prihvaćene kao nacionalne norme.
Prodaju europskih normi prihvaćenih kao nacionalnih metodom prve stranice, odnosno metodom obavijesti o prihvaćanju, pridružene članice moraju ugovorno definirati s nacionalnom normirnom ustanovom koja je odgovorna za odabranu jezičnu verziju.
U budućem postupku primanja nacionalne normirne ustanove iz Hrvatske u pravo članstvo CEN-a procjenjivat će se i aktivnosti stručnjaka u radu europskih tehničkih odbora. Naime, svaka punopravna članica CEN-a mora aktivno pridonositi radu na europskoj razini i dokazati da je u stanju utvrditi tehničke stavove o raznim pitanjima u svojoj zemlji i iskazati ih u postupku donošenja europskih dokumenata, koje nakon njihova donošenja mora prihvatiti kao nacionalne dokumente.
U postupku priznavaja pridruženih članica za punopravne članice CEN-a procjenjuje se i broj europskih normi prihvaćenih kao nacionalnih. On mora biti najmanje 80% od ukupnog broja do toga trenutka objavljenih europskih normi, uz garanciju da će ostatak biti prihvaćen u razumnom roku (oko godinu dana). Europske norme prihvaćene kao nacionalne norme uvjet su izlaska na europsko tržište, a pravo članstvo u CEN-u jedan je od uvjeta i za pristup Europskoj uniji. Pridruženo članstvo u CENELEC-u se odobrava nacionalnom elektrotehničkom povjerenstvu (može biti samo jedno u zemlji). Za prodaju normirnih dokumenata iz područja elektrotehnike vrijedi isto što i za dokumente CEN-a.

SBK

SNAGA NJEMAČKIH ELEKTRANA JEDVA ĆE MALO PORASTI

Prema planu njemačke elektroprivrede iz 1996. godine do godine 2000. porast će instalirana snaga elektrana za samo 500 MW, premda su predviđene novogradnje i proširenja od oko 7 300 MW. U međuvremenu stavit će se izvan pogona stare i neekonomične elektrane, naročito u istočnom dijelu Njemačke, ukupne instalirane snage od 6 800 MW. Za usporedbu neka bude spomenuto da je Njemačka početkom 1996. godine raspolagala ukupnom instaliranom snagom elektrana od okruglo 100 000 MW.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 1-2

Mrk

OPTEREĆENJE CIJENE ELEKTRIČNE ENERGIJE U ŠVICARSKOJ

Danas različite daće, kojima je opterećena električna energija u Švicarskoj, iznose godišnje oko 2 060 milijuna CHF. To predstavlja četvrtinu cijene električne energije koju plaća krajnji potrošač. U prosječnoj cijeni od 0,1775 CHF/kWh na daće odlazi 0,0445 CHF/kWh. Fiskalno opterećenje nafte, kao najvažnijeg energenta, iznosi 49,5%, a struje 25%. U novcu, pak, iznosi su 0,036 CHF za naftu, 0,0445 za električnu energiju. To je u suprotnosti s javnim mišljenjem, da su naftni derivati, zbog cijene benzina, neobično visoko opterećeni nametima, dok elektrika nije, odnosno, da je čak subvencionirana. Gledajući na tendencije liberalizacije u području elektroprivrede, sve su za Švicarsku industriju zanimljivije međunarodne usporedbe cijena električne energije. Treba primijetiti, da je Švicarska među zemljama s najvišim cijenama struje za industriju. Ukoliko se, pak, prihvate prijedlozi o novim podavanjima, cijena električne energije mogla bi još porasti za nekih 16% do 30%.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 1-2

Mrk

PRAKTIČNA PRIMJENA VISOKOTEMPERATURNIH SUPRAVODIČA

Uređaj za ograničenje velikih struja, izrađen na bazi visokotemperaturnih supravodiča, ugrađen je u hidroelektranu na sjeveroistoku Švicarske. Uređaj je izradila tvrtkaf ABB i prvi je slučaj u svijetu da je takva vrsta supravodiča praktički primijenjena. Ovom ugradnjom provest će se dugovremeni test rada uređaja. Građen za snagu od 1 MW, najveći je u svijetu.
Supravodič pri niskim temperaturama provodi struju bez otpora i gubitaka. No, prijeđe li struja neku kritičnu granicu, supravodljivost u trenu nestane, struja teče uz otpor i time biva ograničena. Vrlo korisna pojava pri kratkom spoju u mreži.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 1-2

Mrk

NAJPOVOLJNIJE GRIJANJE STANOVA

U javnosti se općenito misi da je grijanje stana elektrikom preskupo. No, pri tome je uzeta u račun samo cijena goriva, što daje krivu sliku o troškovima. Pri usporedbi troškova treba također računati uporabne i pogonske troškove, te troškove uč svezi s investicijama, kao godišnje troškove kapitala.

Sveobuhvatnu studiju, uzimajući u obzir sve relevantne troškove, izradio je Institut za unapređenje gospodarstva u Münchenu, na primjer stana od 120 m2, za postojeće prilike u Bavarskoj. Kao najpovoljnije pokazalo se decentralizerano elektro-grijanje. Konkurentnim može se također pokazati i grijanje termocrpkama, osobito stoga, što je takva vrsta grijanja financijski potpomognuta. Uzimajući pak u obzir i zaštitu okoliša, grijanje termocrpkama moglo bi u budućnosti biti konkurentno i bez financijske potpore.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 1-2

Mrk

BERLINSKA KABELSKA DIJAGONALA

Zbog političke podjele Berlina grad je bio i elektroenergetski podijeljen na zapadni i istočni elektroenergetski sustav. Nakon pada berlinskog zida i sjedinjenja u jedinstveni grad pokazala se potreba i jakog elektroenergetskog povezivanja na razini 380 kV. Pokazalo se da je klasično polaganje kabela, razmjerno nisko ispod površine, teško izvedivo zbog gradskih instalacija i prometnica. Rješenje je nađeno tako da se na dubinu od 25 m ispod zemlje iskopa tunel, unutrašnjeg promjera 3 m, duljine 6,3 km. Tunel je za 1,1 km kraći od moguće klasične trase, a skraćuje se i vrijeme gradnje. Kabel će biti promjera 150 mm, mase 30 kg/m, izoliran umreženim polietilenom i hlađen zrakom. Prijenosna će moć kabela iznositi 1 100 MW, a to je 30% vrha opterećenja. Polaganje u tunel ima i te prednosti da je moguća vizualna kontrola i sigurnost od oštećenja kabela. Predviđa se da će tunel na cijeloj duljini biti završen od konca 1997., a stavljanje u pogon cijele instalacije u ljeto 1998. Ukupne se investicije kreću oko 400 milijuna DEM.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 1-2

Mrk

UGLJEN POSTAJE SVE ATRAKTIVNIJI ENERGENT

Na savjetovanju Saveza njemačkih inženjera "Pravci razvoja energije i tehnike elektrana" izneseno je da je liberalizacijom tržišta električne energije ugljen dobio na atraktivnosti. Prema prognozama, nafta i zemni plin će poskupjeti, a time će ugljen postati ekonomičniji. Upravo će zemlje u razvoju biti upućene na ugljen kao nosioca energije. Prema tome, zadaća je inženjera da pojačaju napore kako bi postupci smanjenja emisije štetnih plinova bili što ekonomičniji.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 1-2

Mrk

MALE ALI VAŽNE KOLIČINE NAFTE

Premda su količine nafte koje Njemačka crpi na svom teritoriju neznatne u usporedbi sa svjetskim, one ipak nisu zanemarive. Godine 1995. izvađeno je ukupno u Njemačkoj 2 958 milijuna tona nafte, većinom u Donjoj Saskoj i Schleswig Holsteinu. Procjenjuje se da zalihe iznose oko 52,5 miljuna tona. One leže sjeverno od Elbe i zapadno od Emse, a ostim toga, u području Odra-Nisa-Elba, Elba-Weser i Weser-Emsa, kao i u području gornje Rajne i predalpskom području.

Energie Spectrum, god. 12(1997), br. 1

Mrk

POVEĆANJE TRGOVINE TEKUĆIM ZEMNIM PLINOM

Prema godišnjem izvješću "LNG World Overview", trgovina tekućim zemnim plinom, u međunarodnim razmjerima, povećat će se do godine 2000. za 60%.

Energie Spectrum, god. 12(1997), br. 1

Mrk

ISKORIŠTENJE BIOOTPADA

U okrugu Recklinghausen (Njemačka) počela je gradnja prvog postrojenja za dobivanje bioplina iz kuhinjskih i vrtnih otpadaka, prema postupku IMK (integrirana mehanizacija i kompostiranje). Postupak je razvijen u Švicarskoj gdje je od travnja 1994. godine u pogonu takvo pilot-postrojenje. U prvom se stupnju otpaci dovođenjem zraka pretvaraju u kompost, a u drugom se stupnju dovod zraka prekine i stvara se gorivi bioplin.
Predviđa se da će od 1998. godine nadalje postrojenje prerađivati 18 000 t biootpada godišnje. Plin će se odvodidti u dvije bloktoplane, gdje će se proizvesti 3 000 MWh električne i 5 500 MWh toplinske energije godišnje.

Energie Spectrum, god. 12(1997), br. 1

Mrk

POTICAJI ZA KORIŠTENJE OBNOVLJIVE ENERGIJE

Obnovljivanje energije biva sve zanimljivija u regionalnoj i komunalnoj dobavi energije. Naročito su povoljne prilike za korištenje obnovljive energije u Austriji. Ona raspolaže ekofondom od oko 700 milijuna šilinga, koji mogu koristiti mala poduzeća i hoteli da preusmjere dobavu potrebne energije.
U Poljskoj stručnjaci iz instituta i ekocentra izrađuju odgovarajuće projekte za korištenje obnovljive energije, a postoje i financijski poticaji.

Energie Spectrum, god. 12(1997), br. 1

Mrk

ZEMNI PLIN KAO GORIVO ZA POGON VOZILA

Uporaba zemnog plina kao sredstva za pogon motornih vozila sve se više u Njemačkoj širi. U gradu Bremenu, od listopada 1996., u pogonu je uređaj za opskrbu vozila zemnim plinom. Uređaj je montiran uz postojeću benzinsku crpku uz investicije od 900 000 DEM. Punjenje osobnog vozila plinom traje nekoliko minuta, a teretnog vozila ili autobusa oko 10 minuta. Za sada na ulicama Bremena prometuje 14 vozila na pogon zemnim plinom, od čega polovica pripada gradskim poduzećima. Daljnjih 20 vozila ući će u promet tijekom godine. I neke druge tvrtke, među njima BMW i Mercedes-Benz žele uvesti vozila na plinski pogon.
Stanica za opskrbu vozila zemnim plinom otvorena je u Düsseldorfu, s mogućnošću da dnevno opskrbi plinom 400 vozila. Već oko dvije godine gradska poduzeća postupno koriste to gorivo. U prometu je oko 20 bivalentnih vozila i 6 plinskih automobila. Od početka 1996. prometuju 3 omnibusa na plinski pogon, u okviru pokusnog programa, uz potporu gradskih poduzeća.
Smatra se da se veća uporaba zemnog plina za pogon vozila može očekivati samo uz različite porezne olakšice, dobavom raspoloživih vozila i razgranatom infrastrukturom za opskrbu plinom. Prilikom stavljanja ovog uređaja u uporabu predstavnik tvrtke Esso AG. je naglasio, da oni ne bi ušli u realizaciju takve stanice da ne vide budućnost primjene automobila na pogon zemnim plinom u određenim prilikama.

Energie Spectrum, god. 12(1997), br. 1

Mrk

INFRACRVENO GRIJANJE

U Njemačkoj je razvijena nova tehnika grijanja električnom energijom. To je, ustvari, grijanje infracrvenim zračenjem, koje prema tvrdnji dobavljača, ušteđuje oko 30% troškova grijanja. Ova nova tehnika grijanja temlji se na činjenici da se pri jednakoj temperaturi zraka čovjek osjeća ugodnije ako istodobno bude ozračen toplim zrakama. Pri infracrenom grijanju temperatura zraka u prostoriji može biti mnogo niža, npr. 16°C do 19°C, a da ugodnost pri tome ne bude narušena.
Praktički je ovakav način grijanja izveden tako da se tanka samoljepiva PE-folija nevidljivo ugradi ispod tapeta, poda ili slično, što se može učiniti bez problema, kako ističu proizvođači. Grijanje se provodi istosmjernom strujom 24 V, pa ne može doći do elektrosmoga. Već je dosada u više objekata, stambenih i uredskih prostorija ugrađena ovakva vrsta grijanja.

Energie Spectrum, god. 12(1997), br. 1

Mrk

KAPCI BRANE OD SUNCA I PROIZVODE ČISTU ENERGIJU

Rešetkasti kapci (žaluzine, rebrenice), koje inače služe za zasjenjivanje i zaštitu od sunca, mogu također služiti kao izvor čiste energije. Švicarska tvrtka Colt Solar Technology AC. razvila je uređaj pod nazivom Shadovoltaik System, koji može ispuniti ove dvije zadaće.
Umjesto uobičajenih rešetkastih kapaka ugrade se staklene lamele izrađene kao fotovoltaički moduli. Najpovoljniji položaj lamela prema suncu regulira termohidraulički uređaj. Maksimalna snaga jedne lamele iznosi 49,3 W. Obloži li se takvim lamelama fasada zgrade površine 100 m^2, dobije se vršna snaga od 7,5 kW. Iako su lamele zatvorene, dostaje difuzno danje svjetlo da se unutrašnji prostor naravno osvijetli. Umjesto svjetlo i toplinski izvor izvor nisu potrebni. Prvi opisani uređaj ugradila je tvrtka Siemens u novogradnji stručne škole u Esslingeru.

Energie Spectrum, god. 12(1997), br. 1

Mrk

ISTRAŽIVAČKI CENTAR GTC ZA RAZVOJ PLINSKIH TURBINA

Tvrtka ABB Stahl AB, Finspong osnovala je sa tri švedska sveučilišta centar za razvoj plinskih turbina GTC (Gas Turbine Centre). Projekt istraživanja potaknulo je švedsko ministarstvo za industriju i tehnologiju i tehnološki razvoj, za razdoblje od slijedećih 5 godina. Istraživat će se i razvijati visokotemperaturne komponente budućih modela plinskih turbina. Ulazna temperatura u turbini trebala bi doseći 1 500°C, a odnos kompresije 30:1. Osim toga, istraživat će se mogućnost sniženja emisije NOx

Energie Spectrum, god. 12(1997), br. 1

Mrk

KOLIKO MORA RADITI INDUSTRIJSKI RADNIK DA ZARADI ZA 10 kWh

Odnos zarade njemačkog industrijskog radnika prema cijeni električne energije sve je veći. Da zaradi toliko da može platiti jednaki broj kWh morao je 1913. godine raditi 72,7 puta dulje nego 1995. To ukazuje na vrlo povoljan privredni razvoj. Plaće su mnogo brže rasle nego cijene električne energije. Godine 1949. industrijski je radnik u Njemačkoj zarađivao 1,2 DEM po satu, a kućanstvo je plaćalo 0,17 DEM po kWh. Do 1995. satnica se povećala skoro na 26 DEM, a kWh stoji 0,29 DEM, dakle niti dvos-

truko prema 1949. godini. Kako se po godinama skraćivalo vrijeme rada da industrijski radnik može platiti 10 kWh, vidi se iz slijedećeg pregleda:

Godine	1913.	treba raditi	509	minuta
Godine	1949.	treba raditi	85	minuta
Godine	1965.	treba raditi	19	minuta
Godine	1985.	treba raditi	9	minuta
Godine	1995.	treba raditi	7	minuta

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 4

Mrk

ELEKTRIČNA POLJA DALEKOVODA NISU OPASNA

Europska zaklada za energiju u Bruxellesu objavila je značajne stavove Sveučilišta u Helsinkiju i Američke akademije znanosti o djelovanju elektromagnetskih polja na ljudsko zdravlje. Oni su utvrdili da nema nikakvih uvjerljivih znakova da elektromagnetska polja štete ljudskom zdravlju.
Prilikom znanstvenog ispitivanja u Finskoj ispitano je 400 000 osoba koje žive u blizini visokonaponskih vodova. Nije nađena nikakva uzročna veza između električnih polja, raka ili leukemije.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 4

Mrk

UDIO NUKLEARNIH ELEKTRANA U PROIZVODNJI ELEKTRIČNE ENERGIJE

Od početka korištenja nuklearne energije, u zapadnom dijelu Njemačke, godine 1972., porastao je udio električne energije proizvedene u nuklearkama, prema ukupnoj proizvodnji javnih elektrana, od 4,6% na 38,3% u godini 1996. Iz urana je 1972. proizvedeno 9 TWh, a 1996. okruglo 160 TWh. U vremenskom razdoblju od 1972. - 1996. godina, ukupno je u zapadnom dijelu Njemačke u nuklearnim elektranama proizvedeno 2 255 TWh električne energije.
Postotak udjela proizvodnje nuklearnih elektrana u ukupnoj javnoj proizvodnji po godinama dan je (okruglo) u slijedećem pregledu:

Godina:	1972.	5 %
	1980.	14 %
	1986.	34 %
	1996.	38 %

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 4

Mrk

CIJENA ELEKTRIČNE ENERGIJE ZA KUĆANSTVA

U zapadnom dijelu Njemačke se računa da tročlano kućanstvo troši mjesečno prosječno blizu 300 kWh električne energije. Za taj potrošak mora platiti oko 90 DEM. Specifikacija ove svote izgledala bi ovako: cijena prema potrošnji 70,40 DEM, od potroška neovisna osnovna uplata 7,9 DEM, a porez na višak vrijednosti (15%) 11,90 DEM. Jedan ušteđeni kWh snizit će račun za 0,28 DEM. U istočnom dijelu Njemačke potrošak po kućanstvu je prosječno oko 20 % niži, što naravno snizuje i mjesečni račun.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 4

Mrk

DRŽAVNO SUBVENCIONIRANJE FOTOVOLTAIKE

Njemačka je Savezna vlada otklonila masovno subvencioniranje fotovoltaike, tj. izgadnje sunčevih elektrana, jer je to najskuplja varijanta korištenja obnovljive energije. Također ne dolazi u obzir financijsko poticanje projekta "100 000 krovova".
U Njemačkoj je 1995. ukupno u sunčevim elektranama proizvedeno 7 GWh električne energije, što iznosi 0,002% u zemlji proizvedene električne energije. Spomenutim bi projektom ovaj udio porastao na 0,04%. Ovakva je tehnika zanimljiva samo za nezavisna napajanja strujom. Zbog unapređenja ove tehnologije i prodiranja na svjetsko tržište, država financijski podupire istraživanja, pa je za 1997. predviđeno 64 milijuna DEM.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 5

Mrk

NATJECANJE NA SLOBODNOM TRŽIŠTU ELEKTRIČNE ENERGIJE

Danas u doba razvoja slobodnog tržišta i natjecanja u dobavi električne energije, može se predvidjeti, da će doći vrijeme kad će takvo natjecanje doprijeti i do krajnjeg potrošača.
Neke države bivšeg istočnog bloka već su priključene na europsku prijenosnu mrežu, a izgradnjom transeuropske mreže velike prijenosne snage osjetit će se jak pritisak na sniženje cijene električne energije. Istočnoeuropske zemlje imaju višak električne energije i njen izvoz bit će im znatan izvor deviza. Na sniženje cijene utjecat će nezavisni proizvođači (Independenr Power Producers, IPP). Pri izgradnji novih postrojenja treba težiti na kratkoročni povrat kapitala, graditi plinsko-parne agregate visoke ekonomičnosti. U Engleskoj se gase termoelektrane niže korisnosti od 39% i nadomještaju plinsko-parnim. Za potrošača je vrlo važna kvaliteta električne energije i pouzdanost njene dobave. Danas je u pogledu pouzdanosti u Europi na prvom mjestu Nizozemska, Švedska i Njemačka, dok Italija, Francuska, Velika Britanija, Španjolska i Norveška zaostaju za faktor 2 do 4. Učinkovitost u distribuciji još je jedna od mogućnosti za dobivanje prednosti na slobodnom tržištu. Npr., na 1000 konzumenata uposlenih djelatnika iznosi i u Španjolskoj 1,9, u Švedskoj 2,6, u Engleskoj i Njemačkoj 3,2, u Finskoj 3,6, a u Norveškoj 5,4.
Može se zaključiti da je za elektroprivredno poduzeće, u prilikama slobodnog tržišta, bitna politika cijena i orijentacija potrošača.
U lipnju 1997. Njemački savez elektrana (VDEW) organizira kongres na temu dobave električne energije na slobodnom tržištu (Stromversorger im Wettbewerb). Problem će se prikazati i prodiskutirati sa svih aspekata.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 5

Mrk

SAVEZ "ZELENIH" O USMJERENJU EUROPSKE ISTRAŽIVAČKE POLITIKE

Savez "zelenih" taži da 5. EU – istraživački program ne uzima kao prioritet interese velike industrije, već da se koncentrira na redukciju uporabe energije i resursa. Cilj istraživanja u suradnji znanstvenika različitih disciplina treba biti ušteda u području uporabe energije, vode, prostora i materijala.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 5

Mrk

STANJE U ELEKTROINDUSTRIJI NJEMAČKE

Stanje u elektroindustriji Njemačke posljednjih se godina lagano poboljšava. Raste promet i proizvodnja, ali pada broj uposlenih. Stanje u 1995. godini, promjene prema prethodnoj godini i stanje u 1996. dano je u slijedećem pregledu:

	1995.	Promjene u % prema prethodnoj godini	
		1995.	1996.
Promet u milijardama DEM	221,9	2,3	4,1
Ugovori, 1991.=100	98,2	0,4	2,8
Proizvodnja, 1991.=100	96,2	2,6	2,6
Cijena proizvodnje, 1991.=100	100,9	0,3	0,0
Djelatnici, broj	927 849	- 4,0	- 4,5
– radnici	526 306	- 2,1	- 5,8
– namještenici	401 537	- 6,4	- 2,7
Plaće u milijardama DEM	60,1	- 0,7	- 0,5
Radni sati u milijunima	791,2	- 2,8	- 7,1

ETZ, god. 118(1997), br. 6

Mrk

VISOKOTEMPERATURNI SUPRAVODIČI DANAS

Pronalazak visokotemperaturnih supravodiča (VTSV) omogućio je vrlo povoljan način hlađenja, ali prvenstveno zbog mehaničkih osobina tih materijala. To su keramike koje se tek skupim postupcima mogu proizvesti u trakama većih duljina i namotati u svitke.
Njihove mehaničke, a i električne osobine, trebaju se dulje poboljšavati. Industrijsko korištenje VTSV ovisi o napretku izrade pogodnih vodiča za namatanje. Dosadašnji rezultati u izradi žica mnogo obećavaju, pa se u svijetu intenzivno radi na prototipovima naprava, gdje bi se mogli koristiti VTSV. Primjena supravodljivih vodiča ne ušteđuje samo gubitke energije, već osjetjivo smanjuje dimenzije naprava, kao što su sinkroni generatori i transformatori, a kod kabela znatno mogu povećati prijenosnu snagu. Danas u prvom redu dolaze u obzir VTSV materijali bizmut-stroncij-bakarni oksid (tehnička oznaka Bi 2212) i itrij-barij-bakarni oksid (tehnička oznaka VBCO 123). Kod prvog kritična temperatura iznosi 92 K (-181°C), a kod drugog 110 K (-163°C). No oggraničenje supravodljivosti nije samo u kritičnoj temperaturi, već i u veličini magnetske indukcije i gustoće struje. Ove su tri veličine međusobno ovisne. Povećanjem indukcije ili gustoće struje pada kritična temperatura.
VTSV materijal Bi 2223 ima karakteristike koje se približuju karakteristikama potrebnim da se materijal može primijeniti u gradnji kabela i transformatora.

ETZ, god. 118(1997), br. 3

Mrk

SOLARNA ELEKTRANA NA KROVOVIMA VELESAJAMSKIH PAVILJONA

Poduzeće Bayernwerk AG. iz Münchena projektira za minhenski velesajam solarnu elektranu snage 1 MW, najveću takve vrste u svijetu. Solarne će ćelije biti smještene na krovovima 6 velesajamskih paviljona. Uređaj će biti doprinos velesajamskoj koncepciji, koja je orijentirana na zaštitu okoliša. Posjetitelji velesajma moći će se upoznati s tehničkim, gospodarskim i ekološkim osobinama fotovoltaike.
Izvedba projekta procijenjena je na 15 milijuna DEM, a investitori su osim spomenutog poduzeća i tvrtka Siemens koja će izvoditi radove, grad i država. U realizaciji projekta primijenit će se mnoga nova rješenja, a predviđeno je da pokusi pogon počne u jesen ove godine.
Proizvedena bi električna energija napajala mrežu 20 kV, te bi pokrivala 4% velesajmu potrebne električne energije.

ETZ, god. 118(1997), br. 4-5

Mrk

ENERGIJA VJETRA: SADAŠNJOST I BUDUĆNOST

Sa željom da se pokriju manjkovi električne energije velik broj zemalja u svijetu užurbano gradi vjetroelektrane i to kako one razvijene (Amerika, Velika Britanija, Danska, Francuska i dr.) tako i one vrlo siromašne (Kina, Egipat, Indija i dr.). Razvojem i tehnološkim unapređenjima cijena 1 kWh spuštena je na prihvatljiv nivo. Ukupna cijena jednog proizvodnog pogona relativno je mala, te je najveći broj vjetroelektrana u svijetu u privatnom vlasništvu. To i je tendencija koja sve više dobiva na važnosti, posebno kao segment privatizacije elektroprivrednih sustava svake zemlje. Evo činjenica:

Instalirani i planirani kapaciteti

Zemlja	Snaga vjetroelektrana (MW)	
	God. 1993.	Plan za 2000.
USA	1 814	3 000
Indija	40	3 000
Rusija	170	2 400
Egipat	2	1 250
Danska	534	1 000
Njemačka	650	1 000
Velika Britanija	130	740
Kina	15	600
Italija	5	600
Grčka	26	550
Nizozemska	130	450

Početkom 1995. godine u svijetu je bilo u pogonu oko 20 000 jedinica povezanih na mrežu s oko 2 500 MW.

Opće značajke pogona

Prema World Energy Councilu (WEC) teoretski iznos hidropotencijala na Zemlji je oko 34 230 TWh/god, od čega je ekonomski isplativo oko 8 830 TWh/god. Ukupni iznos vjetropotencijala je barem dvostruko veći od navedenog. Istraživanja o veličini vjetropotencijala su u tijeku u mnogim zemljama, a u nekim su završena. Na primjer, Velika Britanija procjenjuje svoj vjetropotencijal, na prihvatljivim lokacijama, na oko 380 TWh/god.
Dosadašnja iskustva pokazuju da se najbolji ekonomski efekt postiže ako se gradi veći broj jedinica na tzv. "vjetrofarmama". Na jednu farmu treba postaviti otprilike 100 jedinica, jedinične snage 300-500 kW, odnosno na 1 km² treba postaviti oko 10 MW instalirane snage. Efekti ovakvog pristupa su između ostalog:

- povoljna cijena priključka na elektroenergetski sustav
- niska cijena jedne jedinice je vrlo povoljna za privatizaciju (na primjer u Danskoj je 78% vjetroelektrana u privatnom vlasništvu).

Već sada je gradnja vjetroelektrana na određenim lokacijama najjeftiniji oblik ulaganja u proizvodnju energije. Očekuje se daljnje snižavanje cijene gradnje kao i tehnički napredak posebno na aerodinamičkim oblicima profila te ekstralaganim slitinama za krila. Izlazna snaga (oko 25%) ovisi direktno o primjeni prije navedenog.
Danska je najveći proizvođač vjetroelektrana u svijetu. Njezina kompanija "Vestas" pokriva 21% svjetske proizvodnje.

Kratki pregled planirane gradnje vjetroelektrana u svijetu

Velika Britanija:	1996. godine 23 farmi sa 1 460 MW, postignuta cijena koštanja energije je 1 cent/0,85 kWh
Španjolska:	U tijeku je realizacija pionirskog postrojenja 30 MW uz trošak US$ 50 milijuna
Maroko:	Kod Tetuana se završava gradnja vjetroelektrane 50 MW uz trošak US $ 60 milijuna

Egipat:	Raspisan je natječaj za privatnu gradnju 300 MW na 5 farmi kod Zaafarana
Izrael:	Pokrenute su aktivnosti za početak gradnje 1997., kapacitet od 100 MW.
Kazahstan:	1996. godine pokrenuta gradnja 320 MW na vjetrofarmama pod pokroviteljstvom Malezijskih kompanija.
Ukrajina:	Potpisan je ugovor 1993. godine sa američkim konzorcijem za gradnju vjetrokompleksa na Krimu, snage 500 MW. Međutim ovaj, projekt sporo napreduje.
Indija:	Odredila oko 70 pogonskih lokacija za ekonomičnu proizvodnju oko 26 GWh/god. Najbolji rezultati su postignuti u državi Tamil Nadu, gdje grade oko 6 MW svake godine. Vjetroenergija iz sustava ima cijenu od 6,165 centa/kWh.
Kina:	1996. godine u unutrašnjoj Mongoliji završena je gradnja 15 MW jedinice. U 1997. godini planira se postaviti uz sudjelovanje američke kompanije Flo Wind oko 52 vjetrojedinice, koje su dobavljene iz Nizozemske, Danske i USA.
Novi Zeland:	Postoje brojne vjetrofarme. U tijeku je vrlo ambicionzni projekt Tarana Range od 100 MW, vrijedan US $ 100 milijuna.
Australija:	Operacionaliziran je prema vlastitoj tehnologiji 10 MW projekt u državi Viktorija kao dio budućeg ukupnog kapaciteta vjetrofarme sa 40 MW.
USA:	Predviđa se da će u idućih 20 godina to biti jedno od najekspanzivnijih energetskih područja ulaganja. Stvaraju se nove kompanije i konzorciji za tu utrku. Neke kompanije, na primjer Zond Cooperation ima instalirano 2 400 vjetrogeneratora sa 2 600 MW kapaciteta uglavnom u Kaliforniji. Težnja je ovih kompanija da preuzmu primat u svijetu na tržištu vjetroelektrana.
Centralna Amerika:	Honduras, Costa Rica, Mexico i Gvatemala uz suradnju svjetske banke pokreću realizaciju većeg broja projekata sa više od 200 MW kapaciteta.
Ostali:	Također su značajni projekti u realizaciji u Argentini, Brazilu te Irskoj.

U idućih 5 godina u svijetu se planira gradnja oko 14 000 MW kapaciteta vjetroelektrana sa ulaganjima od oko US $ 16-18 milijardi direktno u kapacitete te najmanje još 50% te svote u infrastrukturu.

Global Private Power, 20, 1/97

SBK

ZBRINJAVANJE NISKORADIOAKTIVNOG OTPADA U BELGIJI

Belgijska agencija za nuklearni otpad ONDRAF provodi istraživanje o mogućnosti korištenja napuštenih vojnih objekata (bunkeri i podzemna skladišta) za skladištenje većih količina niskoradioaktivnog otpada. Dosad je istražena geološka stabilnost za oko 100 lokacija, a do sredine 1997. godine trebale bi biti istražene i preostale potencijalne lokacije koje su izabrane prije tri godine. To sve nije jednostavno za belgijsku vladu, jer je povjerenje javnosti u vladu ozbiljno narušeno. Naime, posljednjih godina neki belgijski političari bili su upleteni u seks-skandale, ubojstva i podmićivanja.
Međutim, stanovništvo nije dovoljno štititi od zračenja vlastitog nuklearnog otpada, pogotovo ako se susjedova nuklearka nalazi blizu granice. Taj problem ima južna belgijska pokrajina Namur. Regionalna vlast ove pokrajine postavila je sustav za otkrivanje radioaktivnosti oko francuskog reaktora Chooz smještenog prema Namuru na francuskoj granici. Ukupni troškovi iznose oko 20 milijuna belgijskih franaka, od čega će 90% biti potrošeno na postavljanje 46 sirena u dva polukoncentrična kruga na udaljenosti 10 i 15 km sjeverno od reaktora na području Chooza.
Francuske vlasti su već poduzele slične mjere sa južne strane Chooza. Uz dojavu one su uključile i raspodjelu jodnih paketa stanovništvu na području do 10 km udaljenosti od reaktora. Vlasti Namura traže od belgijskog ministra unutrašnjih poslova da učini to isto, te da uskladišti potreban jod za sve stanovnike do 30 km od Chooza.

Power in Europe, 241/10, 31 January 1997

SBK

POVEĆAN INTERES FINACA ZA GRADNJU NUKLEARKI

Prema novoj anketi krajem siječna ove godine Finci su pokazali veću naklonost prema gradnji novih nuklearki u svojoj zemlji. 46% Finaca podržava gradnju novih nuklearnih kapaciteta, dok je 50% protiv. Prema ispitivanju javnog mnijenja u 1996. godini izgradnju je podržavalo 38%, a 58% je bilo protiv. Iako je javno mnijenje ovog trenutka za gradnju novih nuklearki, no to još ne znači da se ono ne bi moglo promijeniti u suprotnom smjeru.
Socijaldemokratski predsjednik vlade Paavo Lipponen je izjavio da njegova koalicijska vlada ne bi nikako u parlamentu odobrila prijedlog o gradnji novih kapaciteta. Pronuklearnom lobiju u Finskoj otežava situacija u susjednoj Švedskoj, koja je odlučila da zatvori NE Barsebäcku I najkasnije 2001. godine. To bi moglo negativno utjecati na gradnju novih nuklearki u Finskoj.
Prema izjavi potpredsjednika Imatran Voima (IVO) odluka Švedske nije iznenađenje. On smatra da će to povećati cijenu električne energije u nordijskoj regiji. Ministar trgovine i industrije pak smatra da izbacivanje iz pogona ovog nuklearnog kapaciteta ide u prilog gradnji široke mreže plinovoda u ovoj regiji.
Lobiranje za gradnju plinova od Norveške do Finske sredinom 1980. godine nije imalo uspjeha, a i ekonomski se ne bi isplatila. U Finskoj se tada raspravljalo o kontravarijanti gradnje plinovoda od Rusije do Švedske i kontinentalne Europe preko Finske. NESTE koji je lobirao za plinovod u nordijskoj regiji i dalje je zainteresiran za razvoj te plinovodne mreže. Krajem siječnja dobio je 80 milijuna finskih maraka u 10% udjela u švedskom Naturgasu, od kojeg 51% kontrolira Vattenfall.

Power in Europe, 242/16, 14 February 1997

SBK

GRADNJA VJETROELEKTRANA U FRANCUSKOJ

Francuska će uskoro početi gradnju nove serije vjetroelektrana u obalom gradu Dunkerque blizu belgijske granice. Projekt, vrijedan 23,5 milijuna francuskih franaka (US $ 4,2 milijuna) podržali su državna uprava regije Nord-Pas-deCalais i belgijski podisporučitelji, koji namjeravaju sudjelovati u budućim projektima vjetroelektrana u Francuskoj.
Francuski dužnosnici, među njima i Marie-Christine Blandi, jedini zeleni političar na čelu regionalne uprave u Francuskoj, pustit će u pogon 9 tridesetmetarskih vjetroelektrana. Svaka od njih će imati 300 kW ili ukupno 2,7 MW, što je dovoljno za opskrbu 3 200 kućanstva.
Ovi pogoni će udvostručiti francuske vjetroenergetske kapacitete. U ovom poslu državna uprava ima 53%, a ostalo imaju privatne grupe, uključujući i belgijsku, projektno poduzeće za vjetroelektrane Windmaster, te podružnica Fromatoma Jeumont Industries iz belgijskog grada Maubeuge.
Proizvedena električna energija u vjetroelektranama prodat će se

Electricité de France po cijeni 0,16 Ffr/kWh ljeti i 0,50 Ffr/kWh zimi, iako je Njemačka ponudila cijenu od 0,60 Ffr/kWh za zimsku sezonu.
Vlasti Nord-Pas-de-Calaisa predviđaju skoru gradnju i drugih vjetroelektrana. Jedna od njih bi bila i divovska vjetroelektrana snage 1,5 MW, 67 m visokog tornja u zoni same luke Dunkerque. Isto tako predviđaju gradnju 9 malih tornjeva u novom vjetroparku u Boulogne, te tornjeve smještene uz ulaz u tunel La Manche kod Calaisa.

Power in Europe, 242/18, 14 February 1997

SBK

RWE ENERGIE PLANIRA TERMOELEKTRANU NA UGLJEN U SAARU

Najveći njemački proizvođač električne energije RWE Energie gradit će termoelektranu od 500 MW na ugljen u Ensdorfu u Saaru. Termoelektrana vrijedna DM 1,2 milijarde (US $ 717,6 milijuna) ući će u pogon 2004. godine. Ona će postupno zamijeniti 4 elektrane ukupne snage 900 MW koje su postupno na kraju životnog vijeka.
Ministar okoliša Saara očekuje značajno smanjenje emisije štetnih tvari u okoliš primjenom novih tehnologija, što bi otvorilo nove mogućnosti rudarske industrije Saara. Nova termoelektrana bit će izgrađena u blizini rudnika Saarbergwerke Ensdorfa. Za rudnik tvrde da je najmoderniji i najjeftiniji rudnik u Njemačkoj, opremljen da može opskrbljivati elektranu teškim saarskim ugljenom. Vereinigte-Saar-Elektrizitäts AG, čiji je većinski vlasnik RWE Energie, koristit će 100 MW.
Projektom je predviđeno da ova termoelektrana opskrbljuje saarsku regiju. Ovo nema veze sa Saarbergwerkovim planovima da se otvori nadregionalna termoelektrana od 750 MW na ugljen u Bexbacku. Međutim Saarbergwerke još nije osigurao prodaju električne energije elektroprivredi.

Power in Europe, 242/22, 14 February 1997

SBK

ZATVARANJE NUKLEARKI U ŠPANJOLSKOJ

Španjolska ENSA i Westinghouse obnovile su i proširile međusobnu suradnju u proizvodnji i servisiranju nuklearne opreme. Tu je uključen i izvoz opreme Westinghousa proizvedene u ENSA-inoj tvornici u Santanderu u sjevernoj Španjolskoj.
U izvješću nacionalne agencije za radioaktivni otpad (ENRESA) objelodanjeno je da će demontiranje nuklearne elektrane Vandellos I, zatvorene 1989. godine poslije velikog požara, proizvesti oko 400-500 kontejnera radioaktivnog otpada. Prema izvješću radioaktivnost ovog otpada će biti beznačajna. Demontiranje će se nastaviti u travnju nakon što se svo istrošeno gorivo ukloni. Nuklearna elektrana Zorita neće biti zatvorena sve do kraja ožujka kada će biti godišnja zamjena goriva. Vlasnik Union Fenosa je izjavio da će dati prednost zamjeni neispravnog reaktora na kojem je prije dvije godine otkriveno nekoliko pukotina. To je natjeralo elektroprivredu da poduzima skupe redovne kontrole.

Power in Europe, 242/27, 14 February 1997

SBK

U ŠVICARSKOJ NOVI ZAKON O SMANJENJU EMISIJE CO_2

Švicarska podupire naprijed plan smanjenja emisije CO_2. Novi CO_2 zakon usmjeren je na 10% smanjenje količine CO_2 u 1990. do 2010. godine. To znači 5% smanjenje u prometu i 15% u ostaloj emisiji kao što su loživa ulja. U obzir je također uzeto i smanjenje emisije u inozemstvu koje financira Švicarska kroz program pomoći, a odnosi se na proizvodnju čistog goriva u istočnoj Europi.
Efekti ovih mjera procjenjivat će se svake dvije godine. Ako četiri godine nakon usvajanja zakona ne bude postignut cilj, Bern će imati pravo da uvede porez, najviše Sfr 210/t (US$ 146/t) CO2 i isto tako SFr 0,5/l nafte i odgovarajućoj količini ulja za loženje.
Unatoč okolišu, području planiranja i energetska komisija donjeg doma parlamenta je izglasala sa 12 prema 4 u korist odobrenja novog federalnog zakona koji se temelji na dobrovoljnosti, a ne na obveznosti mjerenja. Glasovano je protiv odredbe koja bi dozvolila kantonima da zahtijevaju specijalno odobrenje za električno grijanje.

Power in Europe, 242/29 14 February 1997

SBK

ENERGETSKI POREZI U NIZOZEMSKOJ

Prema izjavi predstavnika potrošača snažan utjecaj studenata i kućanstava s niskim primanjima snizit će potrošnju električne energije kao posljedicu tzv. eko-poreza na energetsku potrošnju. Eko-porez, uveden 1. siječnja prošle godine, dio je napora nizozemske vlade da smanji potrošnju energije u kućanstvima, a odnosi se na potrošnju električne energije veću od 800 kWh.
Prikupljeni porez na potrošnju plina udvostručio se od početka ove godine. Cilj je da se godišnji prihod ostvaren prikupljanjem poreza vrati kućanstvima s niskim računima za potrošenu energiju na način da ih se oslobodi poreza. Udruženje potrošača općenito se slaže s takvom politikom, no neke socijalne grupe kao studenti i umirovljenici, neće osjetiti povlasticu povrata poreza. Studenti s visokim računima za energiju, osim onih koji ne moraju platiti porez, na primjer, mogu vidjeti da njihovi godišnji troškovi rastu za oko Dfl 300. Slična je situacija i sa kućanstvima sa malim primanjima i umirovljenicima s visokim troškovima energije čiji će računi, kako se očekuje, rasti godišnje za oko Dfl 145.

Power in Europe, 241/18 31 January 1997

SBK

NA SUD ZBOG PROPUSTA U PRIMJENI ZAKONODAVSTVA EU

Europska komisija priprema pokretanje zakonske procedure pred sudom protiv sedam država-članica za propuste u primjeni zakonodavstva EU na području energetike. Većina slučajeva proizlazi iz propusta primjene mjerenja sadržaja CO_2 emisije, koja su dio programa Europske komisije za energetsku efikasnost SAVE. Sudski postupci će se voditi protiv Luxemburga, Italije, Irske, Španjolske i Grčke.
Ukupno tri zemlje Italija, Njemačka i Belgija su bile izvan primjene direktive EU iz 1994. godine, koja se odnosi na potrošnju električne energije kućanskih aparata, kao što su hladnjaci i škrinje za duboko zamrzavanje. Direktiva zahtijeva obvezan sustav označavanja potrošnje energije aparata. Bruxelles je dao svim zemljama rok od dva mjeseca, do sredine ožujka da odgovore na njegovo mišljenje. Ako njihovi odgovori ne budu zadovoljavajući Komisija će pokrenuti zakonsku proceduru.

Power in Europe, 241/10 31 January 1997

SBK

LEUKEMIJA I NUKLEARNI OTPAD

Francuska ministrica za okoliš Corinne Lepage i ministar zdravstva Herve Gaymard obećali su novu studiju o radioaktivnom otpadu u području postrojenja za obnovu nuklearnog goriva u La Hague. Ovo obećanje je reakcija na studiju profesora Jean-Fran-

cois Viel i Dominique Pobel Viel iz odjela za javno zdravstvo u Besanconu objavljenu u publikaciji British Medical Journal. Studija sugerira zaključak da djeca koja žive u krugu do 35 km oko La Hague imaju 2,8 puta veći rizik obolijevanja od leukemije od druge djece. Studija, bazirana na istraživanju provedenom na 27 djece bolesne od leukemije, osporavana je. Profesor Viel samo postavlja pitanja na koja treba odgovoriti, no ne nalazi nikakve dokaze. To nije smetalo koordinatora za medicinu Cogem Jean-Marie Gelas da optuži profesora za širenje alarmantnih vijesti i stjecanje javnog publiciteta.
Neće biti lako pronaći odgovarajućeg eksperta i nezavisno tijelo za vođenje nove studije. Sa stajališta opozicije postojeća državna tijela bliska su industriji u vlasništvu države, dok nezavisan organ može biti u svezi s simpatizerima Greenpeaca.

Powewr in Europe, 240/18, 17 January 1997

SBK

DRVENI OTPAD – GORIVO ZA TERMOELEKTRANU

Distribucija jugoistočne Njemačke (PNEM) izgradila je dvije 10 MW elektrane na spaljivanje drva. Tako dobivena električna energija je doprinos različitim "zelenim" energetskim planovima koji sada pokrivaju oko 80% pokrajine. PNEM smatra da će dvije nove elektrane proizvesti dovoljno električne energije za 50 000 kućanstava. U sadašnjim "zelenim" planovima PNEM-a – za koje potrošači plaćaju premiju – opskrbljeno je električnom energijom iz vjetroelektrana 7 000 od njegovih 850 000 kućanstava.
PNEM i Državna uprava za šume zajednički financiraju posao (joint-venture) na osiguranju 200 000 tona drvene mase na godinu koja je potrebna novoj elektrani. Za tu potrebu će se koristiti drvena masa koja nastaje kao otpad kod obrade trupaca.
Distribucija također radi studiju iskoristivosti izgradnje dvije hidroelektrana na rijeci Maas na lokacijama Grave i Sambeek. One bi trebale osigurati električnu energiju za još 20 00 kućanstava.

Power in Europe, 240/23, 17 January 1997

SBK

PREBUČNA ELEKTRANA U ITALIJI

Rimsko poduzeće za opskrbu električnom energijom i vodom ACEA angažiralo je odjel fizike Rimskog sveučilišta La Sapienza za izradu studije o utjecaju buke uzrokovane radom elektrane Tor di Valle, smještene na jugozapadnom dijelu periferije grada. ACEA je stavila u pogon 25 MW plinsku turbinsku jedinicu 1982. godine. U tijeku jesenskog servisa prošle godine stavljena je u probni pogon druga jedinica od 115 MW. Stanovnici susjedne četvrti Torrino Sud su se žalili na buku i dim koji se pojavio u njihovom naselju. ACEA je ustanovila da su buka i dim bili uzrokovani radom agregata, te je dala jamstvo i odredila postavljanje zvučne zaštite.
Rezultat studije treba biti jedna akustička karta cijelog područja i mjerenje buke u okolici elektrane nakon izvršenog servisiranja. Prema tvrdnjama ACEA-e studija će biti "maksimalno objektivna" sa rokom završetka do kraja lipnja ove godine. Što više gradske vlasti su obećale lokalnom stanovništvu da će se u njoj posvetiti posebna pozornost okolišu.

Power in Europe, 240/22, 17 January 1997

SBK

CRYSLEROV NOVI AUTOMOBIL

Crysler je razvio metodu proizvodnje vodika iz benzina u motornim vozilima. Vozila osim što koriste gorive ćelije, koriste i postojeće benzinske crpke širom Amerike. Treći najveći proizvođač automobila u Americi tvrdi da će njegovi novi automobili postići koeficijent iskoristivosti od 50%, te da će taj model automobila biti gotov do 2005. godine.

Energy Economist, 183/32, January 1997

SBK

EUROPA NAJVAŽNIJI JUŽNOAFRIČKI UVOZNIK UGLJENA

Europa je ostala najvažniji uvoznik ugljena sa područja Južne Afrike (RSA). U 1997. godini od ukupno izvezenog ugljena išlo je prema europskim destinacijama 52% u usporedbi s 33% prema Dalekom Istoku, 8% prema Srednjem Istoku i 5% prema Južnoj Americi i ostatku Afrike. Južnoafrički izvoznici ugljena i dalje povećavaju izvoz u Europu. U 1996. godini ukupno je bilo izvezeno u Europu 32,1 milijun tona ugljena (antracit, koks, ugljen za loženje), a u 1995. godini 31,7 milijuna tona ugljena s porastom od 1,25%.
Prema podacima EUROSTAT-a dan je u tablici 1 prikaz uvoza ugljena (103 tona) iz Južne Afrike u europske zemlje za potrebe elektrana. U tablici se uspoređuju količine izvezene u prvih devet mjeseci 1996. godine i za isto to razdoblje u 1995. godini.
Južnoafrički izvoz u mediteranske zemlje Italiju, Španjolsku i Portugal 1996. godine u odnosu na 1995. godinu smanjen je za 2,5 milijuna tona. Na drugoj strani ukupni izvoz u 1996. godini u zapadnu Europu povećan je za 3,6 milijuna tona u 1996. godini. Najveće je povećanje izvoza za 1,5 milijuna tona u Dansku, a isto toliko povećanje u Francusku. Izvoz u Njemačku povećan je za 0,5 milijuna tona. Također je i izvoz u Nizozemsku povećan za 0,5 milijuna tona. Neznatno je povećanje izvoza u Belgiju i Irsku.
Interesantno je spomenuti da pokušaji danske vlade za većim korištenjem plina u termoelektranama nisu urodili plodom zbog niske cijene južnoafričkog ugljena.

Tablica 1.

Zemlja	Porast/pad/ izvoza (10^3 tona)	(I.-IX.) (10^3 tona)	(I.-IX:) (10^3 tona)
1. Belgija	/351/	1835	2186
2. Danska	997	3250	2253
3. Njemačka	880	3302	2422
4. Francuska	636	831	195
5. Irska	/65/	127	192
6. Italija	/314/	1925	2239
7. Nizozemska	143	1680	1546
8. Portugal	/549/	689	1238
9. Španjolska/1343/	2769	4112	
10. Velika Britanija	0	1009	1009
Ukupno:		17417	17392

Ugljen (10^3 tona) za potrebe proizvodnje energije, koji Europa uvozi, prikazan je u tablici 2.

ZATVOR ZA KRIJUMČARE NAFTE

U Švedskoj je donesena presuda kojom su "uvoznici" nafte osuđeni na 6 godina zatvora zbog neplaćanja enregetskog poreza za krijumčarenu naftu iz Finske u Švedsku. Za uvoz 6,3 milijuna m^3 nafte taj porez u Švedskoj iznosi oko 2,8 milijuna dolara. Ilegalna trgovina brzo je postala unosan biznis u sjevernoj Švedskoj. Švođani legalno kupuju naftu u Ylitorniou u Finskoj, te prevoze u Švedsku rent-a-car cisternama.
Švedska je obavijestila finske prodavače da trebaju platiti porez u Švedskoj, te da zbog toga ne moraju isti platiti VAT-u. Neplaćenjem VAT-u, a niti Švedskoj, ostvaruje se profit od najmanje

Tablica 2. 10^3 tona

	1996. (I.-IX.)	1995.	1994.	1993.	1992.	1991.	1990.
1. Južna Afrika	17417	24296	20295	19118	18824	15250	
2. USA	13340	19873	8548	10433	21189	26384	18873
3. Kolumbija	10762	8658	8229	9614	10204	8198	
4. Poljska	5552	6841	7400	5435	3867	3722	4475
5. Australija	1"670	4816	6798	6443	10315	9774	7927
6. Indonezija	1971	4816	6798	6443	10315	9774	7927
7. Bivši Sovjetski Savez	924	1249	983	1899	2054	2007	1318
8. Kina	1124	1450	744	550	1469	1726	1816
9. Venezuela	370	580	525	514	487	436	240
10. Kanada	246	0	321	437	1397	874	708
11. Nepoznato	767	1625	1935	1402	1517	838	551
Ukupno	54144	72015	58433	55938	72466	71810	59530

South Africa Coal Report, 3/97

SBK

70 000 Skr (US $ 10 000) po jednoj cisterni nafte. Švedske vlasti su u početku imale poteškoća u definiranju statusa kriminalne radnje zbog različitih mišljenja oko toga da li je ova trgovina bila u skladu sa zakonima EU. Policija se nada da će ovakav "tvrdi" stav zaplašiti druge krijumčare.

European Energy Report, 474/, 24 January 1997

SBK

RADNO VRIJEME

Sindikalni predstavnici servisne djelatnosti u poduzeću EdF – GdF započeli su ponovo pregovore o radnom vremenu njihovih 142 000 zaposlenika. Nadaju se da će fleksibilnije radno vrijeme pomoći tvrtki da postane učinkovitija. Bit prijedloga je u skraćenju radnog vremena te okretanju prema većoj fleksibilnosti osoblja u kontaktima s korisnicima. Zaposlenici su tražili četverodnevni radni tjedan od 32 sata sa plaćom za 34 sata umjesto sadašnjih 38 radnih sati u petodnevnom radnom tjednu.
Osim ovog zahtjeva glavni zahtjev središnjice sindikata je upošljavanje mladih ljudi. U svemu, nekih 40 000 zaposlenika bi trebalo osjetiti poboljšanje ovim promjenama. Poduzeće EdF – GdF je već odlučilo spustiti dobnu granicu za ranije umirovljenje sa 55 ili 60 godina (ovisno o vrsti posla) na 53 godine za osobe koje imaju 37,5 godina ukupnog radnog staža, a od toga 15 godina u ovom poduzeću.
Istodobno se u Francuskoj zahtijeva da se ide u mirovinu sa 55 godina života. Međutim, vodeći provladini političari pokušavaju uvjeriti stanovništvo da je zahtjev za umirovljenje u 55 godini nerealan.

European Energy Report, 24 January 1997

SBK

PIRELLI INVESTIRA US $ 200 MILIJUNA U ENERGETSKE IZVORE NA KRUTI GRADSKI OTPAD

Talijanski proizvođač automobilskih guma Pirelli planira proizvodnju električne energije iz gradskog smeća u gusto naseljenoj regiji sjeverne Italije Lombardiji (Milano - Pavia). U ovu investiciju planira uložiti oko US $ 196 milijuna u 1997. godini. Tijekom 1998. godine planira ulagati preko svojeg trećeg međunarodnog poduzeća Pirelli Ambiente.
Prvi veliki projekt, težak US $ 52 milijuna, bit će izrada postojenja za spaljivanje sa instaliranim kapacitetom od 17,6 MW, koje će koristiti oko 400 t/dan gradskog otpada. Financiranje projekta će se obavljati kroz konzorcij banaka, ali i angažiranjem lokalnog kapitala za uklanjanje smeća, prodajom električne energije nacionalnom poduzeću ENEL, kao i prodajom toplinske energije.

Kako u Italiji nisu neuobičajeni protesti protiv energetskih projekata Pirelli nastoji zadovoljiti i lokalne interese. Prema pisanju poslovnog dnevnika "Il Sole 24 Ore" Pirelli planira ponuditi besplatnu energiju stanovnicima tog područja. Isto tako je bila skrenuta pozornost kako je regija Lombardija, odnosno dvije provincije (Milano i Pavia) i ENEL već dale svoj blagoslov Pirellijevom većem zajedničkom ulaganju u energetske projekte. Za pretvaranje otpada u energiju prema riječima analitičara u Italiji postoje velike mogućnosti. Od gradskog smeća u Italiji se može bilancirati sa 5% u ukupnoj energiji za usporedbu s Velikom Britanijom gdje je to 17,6% ili Njemačkom sa 40% te Francuskom sa 42,3%.

Renewable Energy Report, 18/96, December 1996

SBK

ZÜRICHOV PROGRAM PROIZVODNJE I POTROŠNJE SOLARNE ENERGIJE

Grad Zürich je pristupio realizaciji svog programa korištenja solarne energije. Gradsko javno poduzeće EWZ ugovorom se obvezalo da će kupiti po fiksnoj cijeni svu solarnu energiju proizvedenu u instaliranim gradskim kapacitetimas snage 3 - 100 kW tijekom 20 godina. Prvi takav ugovor je potpisao Coop (lanac trgovina na malo), koji je izgradio postrojenje sa mogućom proizvodnjom od 20 MWh na godinu na vrhu silosa. Troškovi izgradnje su iznosili US $ 304 tisuće. Do kraja 1997. godine još je 12 investitora u obvezi da stave u pogon svoje solarne elektrane. Od anketiranih 3 500 potencijalnih potrošača njih 250 su zainteresirani za korištenje solarne energije. Osim ovih 250 potencijalnih potrošača iz ankete, 130 potrošača potpisalo je već ugovor za plaćanje Sfr 1,20/kWh iako je normalna cijena Sfr 0,16/kWh. Tako će prvi potrošači namirivati svoje potrebe sa najmanje 13 MWh. Ovaj jedinstveni sustav "proizvodnja - potrošnja" u Švicarskoj stimulira oboje, i potrošača i proizvođača. Seoska polovica kantona Basel - Land je najveći proizvođač solarne energije u Švicarskoj. Ovdje je stavljena u pogon vlastita mreža solarnih kolektora.
Basel - Land također prodaje solarnu energiju potrošačima voljnim da plate punu cijenu. Sustav sličan ovom u Basel - Landu postoji i u gradovima Interlaken i Neuchatel.

Renewable Energy Report, 18/3, 30 December 1996

SBK

CIJENA ELEKTRIČNE ENERGIJE PREMA EUROSTATU

Kućanstva su u prvoj polovici 1996. godine imala manju prosječnu cijenu električne energije u većini regija u 15 zemalja EU prema EUROSTAT-u. Od 36 regija snimljenih u tom razdoblju

31 je iskazala pad cijena. Najveći pad se dogodio u Grčkoj, gdje je bilo 15% sniženje za kućanstva do godišnje potrošnje od 7 500 kWh. Do potrošnje od 20 000 kWh u kućanstvu sniženje je iznosilo 9%. U Italiji za potrošače koji koriste manje od 1 200 kWh na godinu sniženje je iznosilo 14%. Najveće pak povećanje računa zbog cijena električne energije bilo je u Austriji i Irskoj.
Što se tiče industrijskih potrošača EUROSTAT izvješćuje o velikom padu u 33 od 39 regija u razdoblju siječanj-lipanj 1996. godine. Najveći pad cijena bio je u Hamburgu i Leedsu. Isto tako kao kućanstva i industrijski potrošači u Austriji su dobili povećane račune zbog porasta cijene električne energije. Najveća povećanja su bila u regijama Tirol i Gornja Austrija te oblast Beča.

Power in Europe, 240/16, 17 January 1997

SBK

GDJE ODLOŽITI NUKLEARNI OTPAD?

U Švicarskoj je odlagan nisko i srednje radioaktivni otpad u Wellenbergu u kantonu Nidwald. Antinuklearni aktivisti su osujetili daljnje planove za odlaganje na tom mjestu na referendumu 1995. godine, obrazlažući da u planovima nije isključena mogućnost da zemlje iz preostalog dijela Europe također odlažu ovdje svoj radioaktivni otpad.
Upozorili su ministra energetike Moritza Leuenbergera da su protiv ponovnog razmatranja planova koji nisu prihvaćeni na referendumu 1995. godine. Ministar Leuenberger je bio poznat po svojim antinuklearnim pogledima kada je bio izabran i imenovan ministrom energetike. Međutim, izgleda da sada prihvaća stavove Federalnog ureda za energiju (FEO), da bez obzira napušta li Švicarska ili ne nuklearnu energiju, rješenje za nuklearni otpad mora biti pronađeno.
Švicarska agencija za otpad (NAGRA) otpočela je novi program seizmičkog istraživanja geoloških slojeva površine 50 km^2 u vinogradarskom području južno od Schaffhausena između Rajne i rijeke Thur, koja će imati troškove oko US $ 4,2 milijuna.
Sa provedbom istraživanja treba se suglasiti oko 3 000 stanovnika tog područja.

European Energy Report, 14 February 1997, page 10

SBK

NOVI SKANDINAVSKI PLINOVOD ZA PLIN IZ RUSIJE

Poduzeća, ruski Gazprom i finski Neste potpisala su pismo namjere za osnivanje novog zajedničkog poduzeća (joint-venture) za izgradnju novog cjevovoda za dopremu ruskog plina u sjevernu Europu. Prema predviđanjima posao bi trebao biti završen do 2005. godine.
Inicijativa za izgradnju ovog plinovoda potekla je od Rusije, jer želi imati siguran, uz to i povećan izvoz plina na europski kontinent.
Gazprom je sa zabrinutošću gledao na udruživanje Nestea u finsku grupaciju, koja ima namjeru razvijati pan-nordijsku plinsku mrežu. Prema konačnoj verziji plana trebala bi se proširiti sjeverna trasa cjevovoda koja prolazi kroz Švedsku, Finsku i Dansku.
Prema riječima potpredsjednika Nestea, Tapio Harra, pripreme upravo započinju i trebat će nešto vremena da se završe formalnosti oko formiranja novog poduzeća.

European Energy Report, 3/8, 3 February 1997

SBK

UDK 621.31

ENJAAC 46 (4) — (1997) 207-280

ISSN 0013-7448

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

energija

Godište 46 (1997) Zagreb 1997 Br. 4

IZDAVAČI – PUBLISHER

Hrvatska elektroprivreda

POMOĆ U IZDAVANJU

Ministarstvo znanosti, tehnologije i informatike

IZDAVAČKI SAVJET – THE PUBLISHING COUNCIL

Mr. sc. Branko *Grgić*, dipl. ing. (predsjednik), HEP Split – Adrijano *Fišer*, dipl. ing., HEP Rijeka – Marijan *Kalea*, dipl. ing., HEP Osijek – Damir *Karavidović*, dipl. ing., HEP Osijek – Mr. sc. Mladen *Mandić*, dipl. oec., HEP Zagreb – dr. sc. Vladimir *Mikuličić*, dipl. ing., FER Zagreb – dr. sc. Niko *Malbaša*, dipl. ing., Ekonerg, Zagreb

UREDNIČKI ODBOR - EDITORIAL BOARD

Glavni urednik - Editor-in-chief: dr. sc. Zorko *Cvetković*, dipl. inž.

Urednik - Editor: Zdenka *Jelić*, prof.

Urednici rubrika – Contributing Editors: »Energetski sistemi«, dr. sc. Goran *Granić*, dipl. ing. – »Hidroelektrane«, Vladimir *Prizl*, dipl. ing. – »Termoelektrane i toplane«, Ivan *Vučetić*, dipl. ing. – »Prijenos električne energije«, mr. sc. Zdenko *Tonković*, dipl. ing. – »Razvoj, distribucija i potrošnja električne energije«, Mladen *Ježić*, dipl. ing. i Dasenko *Baldasari*, dipl. ing. – »Ekonomsko poslovanje i tarifna politika«, dr. sc. Jure *Šimović*, dipl. ecc., mr. sc. Mladen *Mandić*, dipl. ecc. i Marijan *Magdić*, dipl. ecc. – »Ekologija«, dr. sc. Niko *Malbaša*, dipl. ing. – »Informatika«, Nikola *Lastrić*, dipl. ing. – Tehnički urednik – Technical Editor: Branko *Mališ* – Lektor – Lingvistic Adviser: Šimun *Čagalj*, prof. – Metrološka recenzija – Metrologic review: mr. sc. Mladen *Zeljko*, dipl. ing.

Redakcija završena 1997 – 07 – 18

SADRŽAJ

Klepo M.: Modeli proizvodnih jedinica u modelu pouzdanosti i raspoloživosti elektroenergetskog sustava - model bazne jedinice (Izvorni znanstveni članak) 209

Kovačević T. - Tomšić Ž. - Feretić D.: Vrednovanje šteta po okoliš u elektroenergetici (Pregledni članak) 219

Majstrović M. - Goić R. - Sutlović E. - Mudnić E. - Bajs D.: Utjecaj parametara revitaliziranih agregata 1 i 2 u HE Zakučac na prijelaznu stabilnost elektroenergetskog sustava (Prethodno priopćenje) 229

Potočnik V.: Termoelektrane i industrijska ekologija (Pregledni članak) 243

Sabolić D.: Razvoj treće generacije sustava mobilnih komunikacija bazirane na tehnici raspršenog spektra (Pregledni članak) ... 247

Jakl A. - Jakl F: Posljedice zagrijavanja vodiča i zaštitne užadi nadzemnih vodova u uvjetima kratkog spoja (Izvorni znanstveni članak) 255

Vijesti iz elektroprivrede 261

Iz strane stručne literature 270

Fotografija na omotnoj stranici

TE RIJEKA

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 6125-641 i 6125-111/641, telefax 6170-438

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 A4 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 članka 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 prevoditeljske oči.
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 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, professional 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 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

MODELI PROIZVODNIH JEDINICA U MODELU POUZDANOSTI I RASPOLOŽIVOSTI ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA — MODEL BAZNE JEDINICE

Dr. Mićo Klepo, Zagreb

UDK 621.313.005:621.31.001
IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

U ovom radu izlažu se rezultati teorijsko-metodološkog istraživanja i razrade problema uključivanja proizvodnih jedinica u modele pouzdanosti i raspoloživosti elektroenergetskog sustava pri operativnim planiranjima njegova rada. Pri tom se uvažavaju njihove tehničke i energetske karakteristike, a posebno njihova mjesta i uloge u pokrivanju opterećenja i potrošnje sustava.

Ključne riječi: model pouzdanosti i raspoloživosti sustava, model proizvodne jedinice, model bazne jedinice vjerojatnost stanja.

1. UVOD

Pokazatelji pouzdanosti kao karakteristike najčešće iskazane vjerojatnošću nužno pripadaju određenim nosiocima - subjektima, bilo komponentama pojedinačno, bilo sustavu u cjelini. Pod komponentom ili jedinicom podrazumijeva se jedno postrojenje ili grupa postrojenja koji čine jedinstvenu funkcionalnu cjelinu, proizvodnu ili prijenosnu, odnosno cjelinu u pogledu prikupljanja i analize podataka, te cjelinu modeliranja pri proračunu pokazatelja pouzdanosti. Pod komponentom ili jedinicom podrazumijevaju se generator ili više generatora zajedno, blok kotao-generator-transformator ili više blokova zajedno, čitava elektrana ili više elektrana zajedno, odnosno dijelovi sustava kao cjeline. Isto tako, komponentom ili jedinicom smatra se rasklopno postrojenje, dalekovod, transformator, trafostanica, itd., odnosno njihove kombinacije u slijedu prijenosa energije do potrošača. Kod proizvodnih postrojenja najčešće će se kompomentom ili jedinicom smatrati elektrana i sva njoj pripadajuća oprema do točke vezanja na visokonaponsku mrežu, a kod prijenosnih cjelokupna oprema koja se nalazi između dviju odabranih točaka mreže.

Pod sustavom podrazumijeva se grupa ili niz komponenti ili jedinica povezanih ili udruženih na određeni način da bi se izvršila namijenjena funkcija, u ovom slučaju funkcija proizvodnje električne energije i njezinog prijenosa do potrošača. Time je i problem za uključivanje modela proizvodnih jedinica i modele pouzdanosti i raspoloživosti elektronskog sustava problem njihovih tehničkih i energetskih karakteristika, ali i problem njihova mjesta i uloge u pokrivanju opterećenja i potrošnje sustava. Navedeni problemi rješavaju se u više koraka.

Prvi korak uključuje promatranje ponašanja komponenti i sustava tijekom pogona i kvarova u prošlosti sa ciljem da bi se prikupili potrebni podaci te dobili osnovni modeli ponašanja tijekom pogona i kvarova. Problem koji redovito prati pvri korak jest ograničen broj podataka, nepotpunost ili potpuni nedostatak izvješća o kvarovima, te nemogućnost dobivanja potrebnih informacija.

U drugom koraku traže se metodološka rješenja za proračun pouzdanosti, na temelju kojih se formiraju odgovarajući računarski programi. U pravilu, obje navedene aktivnosti praćene su potrebom za znatnim pojednostavljenjima, bilo zbog nemogućnosti da se svi pogonski uvjeti ili akcije upravljanja i nadzora komponenti i sustava pretoče u odgovarajuće modele, bilo zbog ograničenih računarskih mogućnosti. To posebno vrijedi za kvarove i njihove posljedice, mjere za otklanjanje tih kvarova i njihovih posljedica, mjere za osiguravanje potrebnih rezervi u sustavu, te promjene i preraspodjele opterećenja sustava.

Treći korak znači računanje pokazatelja pouzdanosti korištenjem prethodno razvijenih programa. Pogreške koje pritom nastaju najčešće su posljedica potrebe da se ograniči broj varijanti i konfiguracija za proračun, kako zbog ograničenih računarskih resursa, tako i zbog trajanja proračuna, složenih računskih operacija, te zaokruživanja brojeva.

Konačno, četvrti korak čini predviđanje budućeg ponašanja komponenti i sustava, usporedba različitih planskih varijanti uz korištenje kriterija pouzdanosti i troškova za ocjenu prihvatljivosti rješenja. Pogreške četvrtog koraka najčešće su posljedica nesigurnosti predviđanja opterećenja i stohastička priroda pojave i trajanja kvarova, koji uz to imaju i vrlo malu učestalost pojave u visokopouzdanim sustavima kakav je i elektroenergetski sustav.

U ovom radu prvenstveno se nastoji riješiti problem modela proizvodnih jedinica elektroenergetskog sustava radi njihova uključivanja u modele pouzdanosti i raspoloživosti sustava.

2. O PROBLEMU MODELA PROIZVODNIH JEDINICA PRI OPERATIVNIM PLANIRANJIMA POGONA

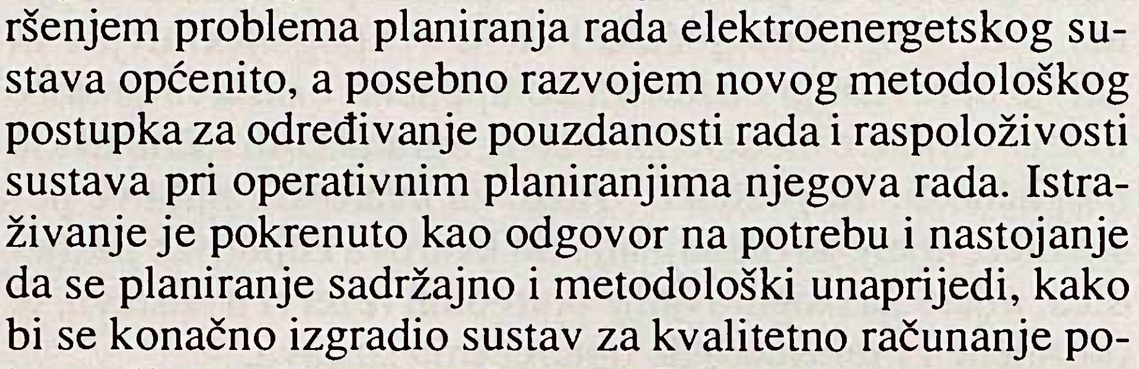
Kod planiranja eksploatacije pokazatelji koji se dobiju na temelju pretpostavke da je jedinica tijekom čitavog traja-

nja vremenskog podintervala (tjedna ili mjeseca) ili u stanju spremnosti za pogon ili u stanju kvara, mogu biti samo vrlo gruba mjera za ocjenu planova rada. Osnovni nedostatak toga pristupa nije u pogrešnoj procjeni rizika da jedinica ne bi mogla biti potencijalno raspoloživa u satima vršnog opterećenja ili za vrijeme trajanja potrebe za njezinim pogonom, nego da taj pristup nije dovoljno osjetljiv da bi prepoznao različite radne cikluse proizvodnih jedinica i njihove uloge u radu elektroenergetskog sustava. Naime, i sam način rada jedinice ima utjecaja na rizik da jedinica ne bude raspoloživa za pogon. Tako npr. česti ulasci i izlasci iz pogona i nagle promjene opterećenja mogu rizik neraspoloživosti jedinice znatno povećati.

Proračun pokazatelja pouzdanosti i raspoloživosti sustava temeljen na pretpostavci da je jedinica tijekom čitavog vremenskog podintervala planiranja ili spremna za pogon ili u kvaru kod planiranja izgradnje elektroenergetskog sustava može biti prihvatljiv jer se planiranje provodi za više godina unaprijed, a osobito jer se svi ostali parametri sustava računaju u svezi s vršnim opterećenjima sustava po vremenskim podintervalima, najčešće mjesecima. Zbog toga su za potrebe planiranja eksploatacije elektroenergetskog sustava razvijeni kriteriji i mjerila vrednovanja, odnosno postupci proračuna koji odgovaraju ili koje traže pojedine kategorije planiranja s obzirom na strukturu i vremenski interval obrade (kratkoročno, srednjoročno, dugoročno planiranje eksploatacije).

U ovom radu, odnosno u radovima koji slijede na temu modela pouzdanosti i raspoloživosti sustava i njegovih komponenti, izložit će se rezultati znanstveno-istraživačkog rada koji je rezultirao teorijsko-metodološkim dovršenjem problema planiranja rada elektroenergetskog sustava općenito, a posebno razvojem novog metodološkog postupka za određivanje pouzdanosti rada i raspoloživosti sustava pri operativnim planiranjima njegova rada. Istraživanje je pokrenuto kao odgovor na potrebu i nastojanje da se planiranje sadržajno i metodološki unaprijedi, kako bi se konačno izgradio sustav za kvalitetno računanje pokazatelja pouzdanosti rada i raspoloživosti elektroenergetskog sustava do razine upravljačkih djelovanja neposrednog vođenja sustava. Posebna pozornost posvećena je pogonskoj statistici kao podlozi za računanje parametara modela.

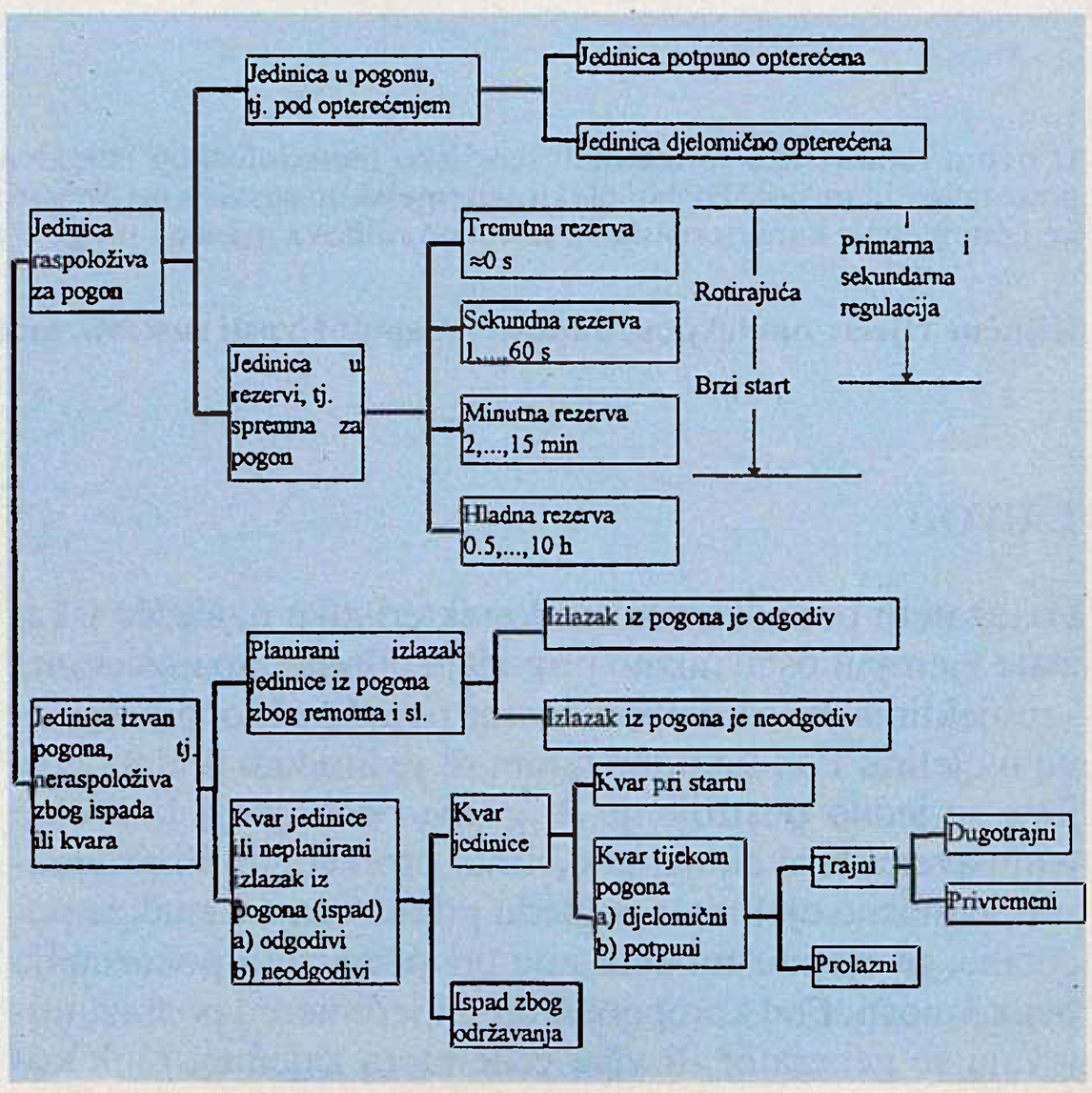
U najelementarnijem obliku uzeto je da se veza ukupne proizvodnje ili proizvodnih postrojenja i ukupne potrošnje ili potrošača u funkcionalnom smislu ostvaruje po jednostavnoj shemi tipa "proizvodnja–potrošnja", s tim da se proračunska simbolička veza ostvaruje preko odgovarajućeg dijagrama opterećenja potrošača kojeg trebaju pokriti proizvodna postrojenja (sl. 1.). Pritom se pretpostavljaju idealne mogućnosti prijenosa energije od ulazne točke G do izlazne točke P. Radi, se dakle, o određivanju potrebnih proizvodnih kapaciteta da bi se uz zadovoljavajuću pouzdanost i što manje troškove pokrile potrebe potrošača i izvela preventivna održavanja i remonti, odnosno izvršili popravci proizvodnih postrojenja.



Slika 1. Općenita shema sustava za proračun pokazatelja pouzdanosti i raspoloživosti

3. OSNOVNA STANJA PROIZVODNIH JEDINICA ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA

Pod stanjem proizvodne jedinice podrazumijeva se način na koji su u određeni trenutak raspoređeni njezini parametri ili atributi, a u svezi s funkcijom koju ta jedinica obavlja ili treba obaviti. Pritom svako stanje može biti složeno od stanja ili atributa konstitutivnih jedinica, s uključenim uvjetima okoline ili bez njih. Status jedinice može se u potpunosti opisati nizom međusobno isključivih stanja kao na sl. 2.

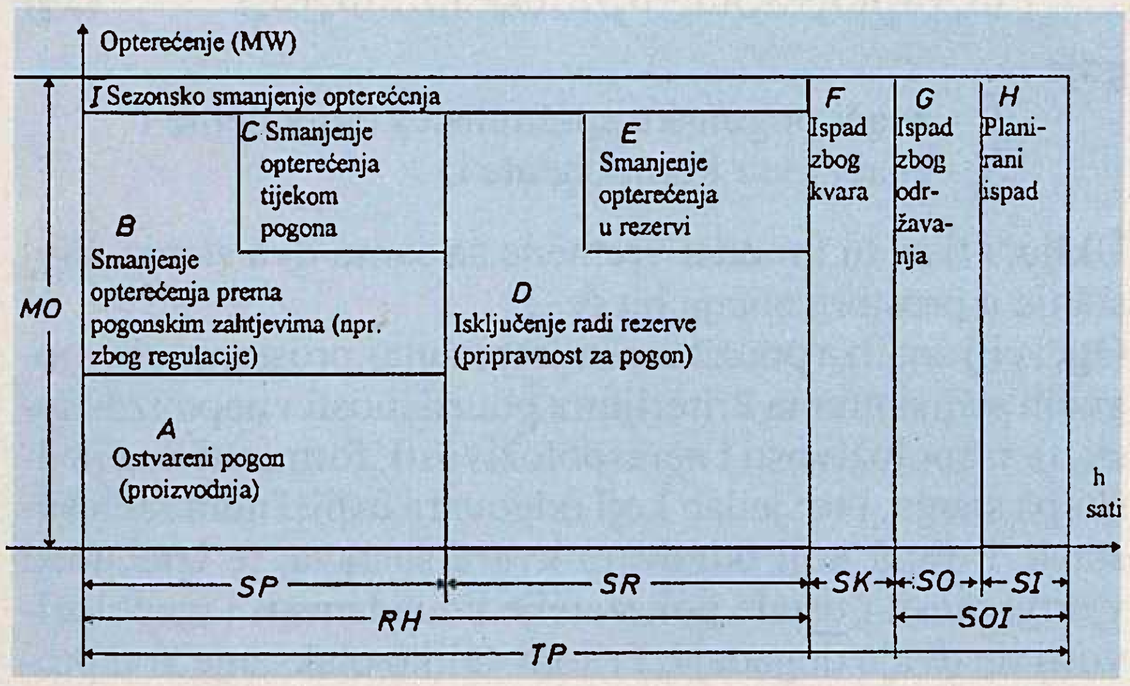


Slika 2. Osnovna podjela mogućih stanja proizvodnih jedinica

Osnovna podjela stanja proizvodne jedinice jest prema pogonskoj raspoloživosti ili neraspoloživosti. Raspoloživost podrazumijeva skup stanja kada je proizvodna jedinica opterećena ili može biti opterećena dijelom odnosno punim opterećenjem, tj. kada je rasterećena ili isključena radi rezerve ili ekonomskih razloga. Rezerva može biti primarna ili sekundarna. Pod primarnom rezervom ovdje se misli na slučaj da je proizvodna jedinica već u tzv. rotirajućem stanju ili da može vrlo brzo ući u pogon, uglavnom da može preuzeti opterećenje za vrijeme do deset minuta. Ako do početka preuzimanja opterećenja treba proći više od deset minuta, a do potpunog preuzimanja opterećenja i više od trideset minuta, rezerva se označava sekundarnom.

Neraspoloživost se odnosi na skup stanja kada je proizvodna jedinica ili sustav izvan pogona zbog planiranih ili neplaniranih ispada. Planirani ispadi poduzimaju se u slučaju potrebe za pregledima, inspekcijama, zamjenama goriva i dijeova, remonta, a ovisni su o veličini, gorivu i karakteristikma proizvodne jedinice. Neplanirani ispadi nastaju zbog nemogućnosti preuzimanja opterećenja zbog kvarova ili nedostatka primarne energije (pogonskog goriva, vode), kvarova tijekom pogona koji izazivaju djelomične ili potpune ispade, te nemogućnosti da se neki pre-

gledi, popravci ili zamjene dijelova odgode do sljedećeg planiranog izlaska iz pogona.
Svako stanje proizvodne jedinice karakterizira vrijeme trajanja, razina opterećenja, te iznos proizvedene energije. Na osnovi njih računaju se pogonski pokazatelji i karakteristike koji se mogu svrstati u pokazatelje pouzdanosti, raspoloživosti i produktivnosti. Kako je ranije već definirano, pod pouzdanošću se podrazumijeva sposobnost ili mjera sposobnosti da se jedinici ne dogodi ispad iz pogona, tj. da izvrši namijenjenu ili zadanu funkciju prema odgovarajućim standardima, u zadanom iznosu i u određenim uvjetima. Ta sposobnost najčešće se iskazuje vjerojatnošću, ali moguće ju je iskazati i srednjim vremenom do kvara. Pokazatelji raspoloživosti odnose se na sposobnost ili mjere sposobnost jedinice da dio vremena od ukupnog vremena bude spremna za pogon ili bude u pogonu. Pod ukupnim vremenom podrzumijeva se zbroj srednjih vremena do kvara i srednjih trajanja popravaka. Pokazatelji raspoloživosti uključuju ispade zbog kvarova i ispade zbog održavanja, tj. planirane i neplanirane ispade. Pokazatelji produktivnosti odnose se na izlaznu snagu jedinice, tj. na njezinu moguću proizvodnju, trajanje pogona pod punim ili djelomičnim opterećenjem, te iznos i trajanje ispalog opterećenja. Ti pokazatelji često su ekvivalentni pokazateljima raspoloživosti.



Oznake

MO	- maksimalno opterećenje	*SI*	- sati planiranih ispada (isključenja)
SP	- sati pogona	*RH*	- sati raspoloživosti za pogon
SR	- sati rezervnog isključenja	*SOI*	- ukupni sati planiranog isključenja
SK	- sati ispada iz pogona	*TP*	- trajanje perioda
SO	- sati ispada radi održavanja		

Slika 3. Prikaz stanja proizvodne jedinice za računanje pogonskih pokazatelja

Shematski prikaz stanja i osnova za računanje pogonskih pokazatelja dan je u dijagramu na sl. 3., čije su osi vrijeme i opterećenje. Pogonski pokazatelji prvenstveno zasnovani na trajanju perioda promatranja mogu se izraziti kao postotak od ukupne površine, i to:

a) **pokazatelji raspoloživosti:**

- faktor ispada iz pogona (kvara) $= \frac{F}{MP} \cdot 100$ (1)
- faktor ispada zbog održavanja $= \frac{G}{MP} \cdot 100$ (2)
- faktor neplaniranog ispada $= \frac{F+G}{MP} \cdot 100$ (3)
- faktor planiranog ispada $= \frac{H}{MP} \cdot 100$ (4)
- faktor neraspoloživosti $= \frac{F+G+H}{MP} \cdot 100$ (5)
- faktor raspoloživosti $= \frac{A+B+C+D+E+I}{MP} \cdot 100$ (6)

b) **pokazatelji produktivnosti:**

- faktor smanjenja opterećenja $= \frac{C+E}{MP} \cdot 100$ (7)
- faktor ekvivalentne neraspoloživosti $= \frac{C+E+F+G+H}{MP} \cdot 100$ (8)
- faktor ekvivalentne raspoloživosti $= \frac{A+B+D}{MP} \cdot 100$ (9)
- faktor sezonskog smanjenja opterećenja $= \frac{I}{MP} \cdot 100$ (10)
- faktor opterećenja $= \frac{A}{MP} \cdot 100$ (11)

Ukupno visinu dijagrama određuje maksimalno opterećenje (*MO*), a ukupnu širinu trajanje perioda promatranja (*TP*). Njihov produkt određuje ukupnu površinu dijagrama (*MP*) koja odgovara energiji koja bi se s maksimalnim opterećenjem mogla proizvesti tijekom perioda promatranja. Svi prethodni pokazatelji zasnovani su prvenstveno na ukupnom trajanju intervala i proizvedenoj energiji.
Za određivanje pokazatelja koji nisu prvenstveno zasnovani na ukupnom trajanju intervala treba znati i sljedeće podatke: broj ispada pri startu (*NPS*), broj prisilnih ispada tijekom pogona (NPP), ukupni broj prisilnih ispada ($NPI = NPS + NPP$), broj uspješnih ulazaka u pogon (*NUP*), ekvivalentni broj sati prisilnog smanjenja opterećenja tijekom pogona (područje C u dijagramu) (*NeC*), te ekvivalentni broj sati prisilnog smanjenja opterećenja tijekom rezervnog isključenja (područje E u dijagramu) (*NeE*). Najznačajniji od tih pokazatelja jesu:

- srednje vrijeme do prisilnog ispada (kvara) $= \frac{SP}{NPP} \cdot 100$ (12)
- srednje trajanje ispada (popravka) $= \frac{SK}{NPP} \cdot 100$ (13)
- vjerojatnost prisilnog ispada (kvara) $= \frac{SK}{SK+SP}$ (14)
- ekvivalentna vjerojatnost prisilnog ispada $= \frac{SK+NeC+NeC}{SP+SK+NeC}$ (15)
- vjerojatnost kvara pri startu $= \frac{NPS}{NUP+NPS}$ (16)

Važnost i značaj svakog pojedinog pokazatelja određuju preciznost i točnost kojima se mogu odrediti kao i namjena za koju služe. Svi navedeni podaci i pokazatelji koji se iz njih računaju podloga su za statističku obradu, a dalje i razvoj tehnike za proračun pouzdanosti i raspoloživosti sustava. Statističkom obradom dobije se čitav niz dodatnih parametara i pokazatelja koji se općenito mogu svrstati u tri kategorije: učestalost, frekvencija i/ili prosječno trajanje, te vjerojatnost pojave. Osnovna im je karakteristika da to nisu determinisitčke veličine nego očekivane ili srednje vrijednosti pripadajućih raspodjela vjerojatnosti, koje same po sebi mogu biti nepoznate budući da se najčešće određuju prema "sirovim" podacima, s pripadajućim standardnim devijacijama, te najvišim i najnižim graničnim vrijednostima.
Osnovu određivanja učestalosti nekog događaja čini odnos broja događaja i vremena tijekom kojeg se događaj može pojaviti, tzv. vrijeme izlaganja, dok se kod frekvencije broj događaja promatra u odnosu na ukupno trajanje ciklusa. Ako se sa *N* označi broj događaja, sa *E* vrijeme tijekom kojeg se događaj može pojaviti, a sa *T* trajanje ciklusa, tada su učestalost i frekvencija određeni sljedećim izrazima:

$$\lambda = N / E \quad (17)$$
$$f = N / T \quad (18)$$

Pod brojem događaja podrazumijeva se broj njegovih pojedinačnih pojava tijekom perioda promaranja. Za jednu jedinicu to određenje jasno je samo po sebi. Međutim, problem nastaje u slučaju kada se grupiraju podaci za više istovrsnih jedinica koje imaju različit broj ispada tijekom različitog trajanja pogona, i koje uz to rade u različitim uvjetima okoline. Osim toga, vrlo često isti uzroci mogu imati vrlo različite posljedice, i obrnuto. Zbog toga je bitno da se za sve jedinice uzme isti period promatranja. Vrijeme tijekom kojeg se događaj može pojaviti ili vrijeme izlaganja događaju ovisi o samom događaju. Tako npr. ako se računa učestalost kvara jedinice, vrijeme izlaganja uključuje samo vrijeme tijekom kojeg je jedinica u pogonu. Naime, smatra se da do kvara jedinice ne može doći tijekom popravka, održavanja, remonta, ili općenito tijekom stajanja, odnosno ako jedinica nije u pogonu. Kod računanja učestalosti popravaka vrijeme izlaganja uključuje samo ono vrijeme tijekom kojeg je jedinica na popravku. Općenito, odnos učestalosti i frekvencije određen je izrazom

$$f = \frac{E}{T}\lambda \quad (19)$$

Kada se radi o više jedinica, učestalosti i frekvencije računaju se prema sljedećim izrazima:

$$\lambda = \frac{\frac{N}{n}}{T - \frac{\sum r}{n}} = \frac{N}{Tn - \sum r} \quad (20)$$

$$f = \frac{N/n}{T} \quad (21)$$

gdje je

- n - broj jedinica
- N - broj događaja
- $\sum r/n$ - prosječno vrijeme u periodu promatranja kada jedinica nije izložena događaju
- $T-\sum r/n$ - prosječno vrijeme izlaganja jedinice.

Odnos trajanja perioda (T) i vremena izlaganja (E) upućuje na odnose λ i f, te moguća zanemarivanja kod njihova računanja. Naime, kada je $E << T$, što je čest slučaj npr. kod popravka jedinice, vrijedi da je $\lambda >>$ f, tako da se učestalost može uzeti veličinom koja najbolje opisuje događaj. Međutim, kada je $E=T$, tada je i $\lambda=f$, tako da se bez velike pogreške može uzeti da su te veličine iste, što znatno pojednostavljuje obradu događaja kada se jedinica dugo nalazi u jednom stanju, npr. pogonu. U tom slučaju događaj se najbolje opisuje frekvencijom, odnosno srednjim vremenom do promjene stanja.

Koncept prosječnog stanja zasniva se na odnosu ukupnog vremena provedenog u pojedinom stanju i broja događaja koji dovode do tog stanja. Kod jednostavnog modela pogon-kvar prosječno trajanje pogona, odnosno kvara iznose:

$$T_{pogon} = \frac{T_n - \sum r}{N} = \frac{1}{\lambda_{kvar}} \quad (22)$$

$$T_{kvar} = \frac{\sum r}{N} = \frac{1}{\lambda_{popravak}} \quad (23)$$

4. MARKOVLJEVI MODELI

4.1. Modeli prostora stanja

Markovljevi modeli predstavljaju općenit i vrlo točan matematički, dakle analitički pristup određivanju i procjeni različitih pokazatelja pouzdanosti i raspoloživosti, najprije komponenti, a zatim dijelova sustava kao grupe komponenti, te sustava u cijelosti. Temeljni je pristup da se prema funkcionalnom ili logičkom blok dijagramu pouzdanosti formira prostor stanja koji uključuje sva moguća stanja komponente ili sustava tijekom vremena, ali i kombinacije tih stanja koje mogu značiti raspoloživost ili neraspoloživost komponenti i sustava. Prostor stanja komponente može sadržavati stanja pogonske spremnosti, pogona i opterećenja, vruće ili hladne rezerve, kvarova tijekom starta i pogona, popravaka, održavanja, remonta, djelomičnih ispada iz pogona, utjecaja opterećenja, radnih uvjeta, vremenskih prilika, itd. Očito je da je već i sam prostor stanja komponente složen, pa će prostor stanja sustava najčešće biti iznimno složen. Npr. za sustav u čiji je blok dijagram uključeno n komponenti ili jedinica, od kojih svaka može poprimiti samo dva stanja, stanje ispravnog rada ili stanje kvara, prostor stanja sadrži 2^n mogućih stanja određenih produktom

$$(S_1+\bar{S}_1)(S_2+\bar{S}_2)(S_3+\bar{S}_3)\ldots(S_i+\bar{S}_i)\ldots(S_n+\bar{S}_n) \quad (24)$$

gdje

- S_i - znači pogonsku spremnost komponente i
- $\bar{S}_i$ - znači kvar komponente i.

Uključi li se tu i model vremena sa samo dva stanja, broj stanja u prostoru stanja bit će 2^{n+1}.

Opći cilj analiza pouzdanosti jest unutar prostora svih mogućih stanja prema kriterijima pouzdanosti i nepouzdanosti, tj. raspoloživosti i neraspoloživosti, formirati dva podskupa stanja, i to: jedan koji odgovara uspješnom radu sustava, i drugi koji odgovara kvaru sustava, te izračunati vjerojatnosti i ostale pokazatelje pouzdanosti i raspoloživosti tih dvaju događaja. Pritom veliko olakšanje kod proračuna predstavljaju pretpostavke o neovisnosti stanja komponenti, te ograničenje broja mogućih promjena stanja u jedinici vremena ili istovremenih promjena stanja. Teorija Markovljevih modela upravo osigurava koncepcijski okvir za procjenu točnosti tih pretpostavki, kao i točnosti približnih tehnika računanja pokazatelja pouzdanosti i raspoloživosti.

Markovljevi modeli kao funkcije dvije slučajne varijable, a to su vrijeme promatranja t i stanje komponente ili sustava X(t), mogu poprimiti četiri oblika, već prema tome uzimaju li se te dvije varijable diskretnima ili kontinuiranima. Kada se radi o elektroenergetskom sustavu, značajna su dva modela: model diskretnih stanja i kontinuiranog vremena, te model diskretnih stanja i diskretnog vremena. Prvi se naziva procesom i najčešće se koristi, a drugi lančanim modelom ili lancem. Svi su tipovi modela definirani nizom vjerojatnosti p_{ij} prijelaza iz bilo kojeg stanja i u bilo koje stanje j, pri čemu mora biti ispunjen osnovni uvjet svih Markovljevih modela, a to je da vjerojatnost prijelaza ovisi samo o tim stanjima (i,j), a neovisna je o svim prijašnjim stanjima.

Prvi korak temelji se na blok dijagramu pouzdanosti kao podloge za određivanje svih međusobno isključivih stanja u prostoru stanja Ω. Stanja u trenutku t=0 nazivaju se po-

četnim stanjima, a stanja ravnoteže konačnima. Vjerojatnosti prijelaza iz početnih u konačna ili ravnotežna stanja opisuju se sustavom jednadžbi, pri čemu moraju biti ispunjeni sljedeći uvjeti:

i) vjerojatnost prijelaza komponente ili sustava u vremenu Δt iz jednog stanja u drugo jednako je $z(t)\Delta t$, gdje je $z(t)$ učestalost prijelaza;
ii) vjerojatnost dva ili više prijalaza u vremenu Δt zanemariva je (≈ 0), bilo da se radi npr. o dva ili više kvarova, popravaka ili slično. Naime, veličina $z(t)\cdot\Delta t\cdot z(t)\cdot\Delta t$ predstavlja umnožak dviju iznimno malih veličina, te se kao veličina drugog reda zanemaruje. Budući da se taj uvjet odnosi na same događaje, a ne na njihove posljedice, njime se ne isključuju događaji koji za posljedicu imaju promjene stanja dvije ili više komponenti u sustavu, kao što su npr. kvarovi uslijed zajedničkog uzroka;
iii) učestalost prijelaza $z(t)$ konstantna je veličina, dakle $z(t)=\lambda$, jer jedino u tom slučaju vrijedi da je vjerojatnost prijelaza između stanja neovisna o svim prethodnim stanjima.

Treći uvjet zapravo znači da komponenta ili sustav imaju eksponencijalnu funkciju gustoće prijelaza, odnosno eksponencijalnu funkciju pouzdanosti, jer je jedino tada učestalost prijelaza između stanja konstantna. Vjerojatnosti prijelaza u tom slučaju osim o učestalosti prijelaza ovise samo još o trajanju vremenskog intervala, a ne i o prijašnjim stanjima. To je osobito važno kod elektroenergetskog sustava. naime, krivulje učestalosti kvarova komponenti elektroenergetskog sustava općenito imaju oblik kao na sl. 4., a najbolje se aproksimiraju koristeći Weibullov model kod kojeg funkcije gustoće kvara i pouzdanosti, ako su ispunjeni uvjeti $t>>y$, $\beta>0$, $\eta>0$, imaju oblike

$$f(t)=\frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t-y}{\eta}\right)^{\beta-1}e^{-\left(\frac{t-y}{\eta}\right)^{\beta}} \tag{25}$$

$$R(t)=e^{-\left(\frac{t-y}{\eta}\right)^{\beta}} \tag{26}$$

gdje je

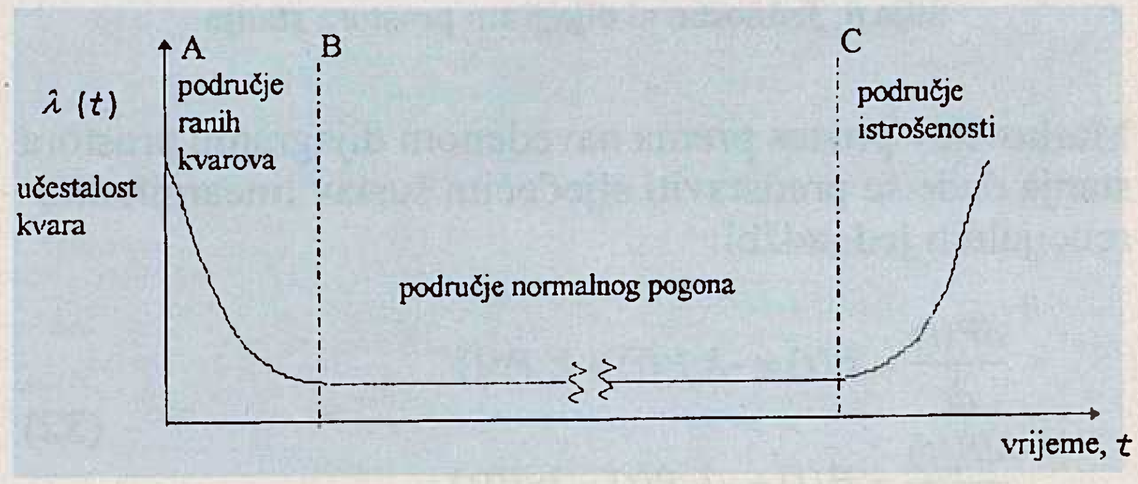
t - vrijeme kvara (≥ 0, $\geq y$)
y - parametar položaja, tj. vrijeme početka pogona (≥ 0)
β - parametar oblika
η - parametar mjerila.

Funkcija učestalosti kvara prema definiciji ima oblik

$$\lambda(t)=\frac{f(t)}{R(t)}=\frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t-y}{\eta}\right)^{\beta-1} \tag{27}$$

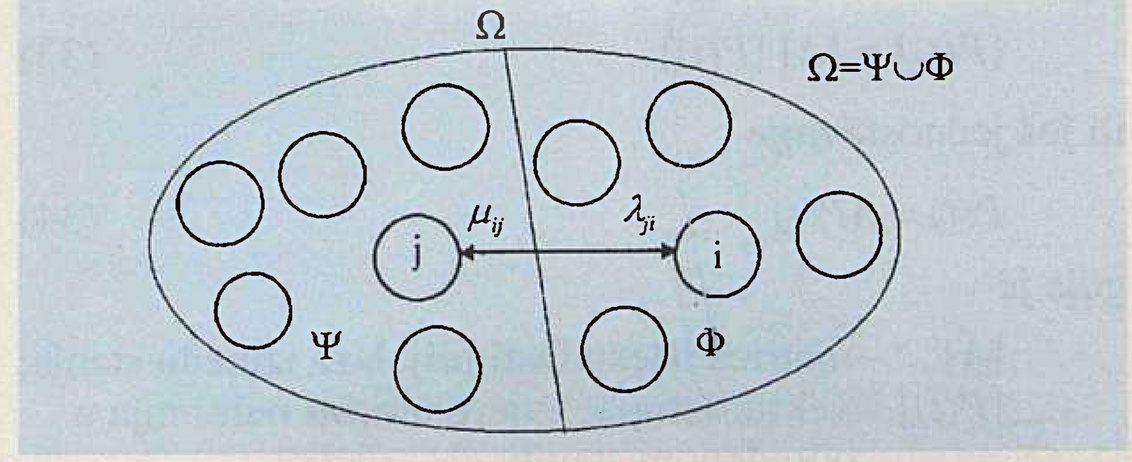
Oblik funkcija (26) i (27) ovisi o parametrima y, η i naročito β. Za svako područje krivulje učestalosti kvara parametri imaju odgovarajuće vrijednosti, i o njima ovisi kvaliteta aproksimacije. Elektroenergetski sustav čine komponente ili jedinice za koje se s dovoljnom točnošću može uzeti da područje ranih kvarova završava testiranjima i probnim pogonom, dakle s prvih nekoliko stotina sati rada, što je zanemarivo u odnosu na višegodišnji pogon, koji se i godišnje mjeri tisućama sati rada ili pripravnosti za rad. S druge strane, područje istrošenosti odgađa se redovitim pregledima, zamjenama, održavanjima i remontima, te nastupa pri samom kraju životnog vijeka koji je u pravilu vrlo dug. Zbog svega toga, sa zadovoljavajućom točnošću područje promatranja ograničava se na područje normalne eksploatacije (između točaka B i C na sl. 4). U tom slučaju parametri poprimaju vrijednosti: y=0, β=1. Vrijednost y=0 znači početak promatranja s početkom normalne eksploatacije (točka B na sl. 4), a s vrijednošću β=1 funkcija $\lambda(t)$ prestaje ovisiti o vremenu i postaje konsantna. To dalje znači da rspodjela prelazi u eksponencijalnu s parametrom $\lambda=1/\eta$=konst., a funkcija pouzdanosti poprima oblik

$$R(t)=e^{-\lambda t^{\beta}}=e^{-\lambda t} \tag{28}$$



Slika 4. Krivulja učestalosti kvara

Uz znatno pojednostavljivanje proračuna ispunjavaju se i osnovni uvjeti za primjenu Markovljevih modela. Kada je sve prethodno ispunjeno, u prostoru stanja radi se osnovna podjela stanja u podskupove stanja prema ranije navedenim kriterijima. Kao rezultat podjele prostora stanja Ω nastaju podskupovi stanja pogonske spremnosti Ψ i kvara sustava Φ (sl. 5.).



Slika 5. Podjela prostora stanja Ω u podskup stanja pogonske spremnosti F i podskup stanja kvara Φ

Kada se odrede vjerojatnosti stanja u podskupu Φ, tj. p_i, i $\in \Phi$, vjerojatnost kvara sustava jednaka je vjerojatnosti kombinacije stanja u tom prostoru stanja

$$P_{\Phi}=\sum_{i\in\Phi}p_i \tag{29}$$

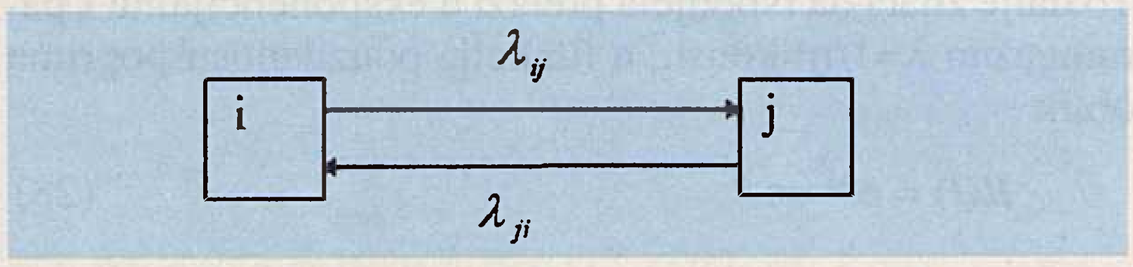
Frekvencija kvara sustava jednaka je frekvenciji složenog stanja podskupa Φ, i to kao suma vjerojatnosti stanja kvara sustava, svako pomnoženo sumom učestalosti prelazaka iz stanja kvara u bilo koje stanje podskupa Ψ, tj. učestalosti popravaka stanja i $\Rightarrow$j, μ_{ij}. Dakle, frekvencija je

$$f_{\Phi}=\sum_{i\in\Phi}p_i\sum_{j\in\Psi}\mu_{ij} \tag{30}$$

Srednje vrijeme trajanja kvara sustava odgovara srednjem trajanju stanja iz podskupa Φ

$$T_{\Phi}=\frac{P_{\Phi}}{f_{\Phi}}=\frac{\sum_{i\in\Phi}p_i}{\sum_{i\in\Phi}p_i\sum_{i\in\Psi}\mu_{ij}} \tag{31}$$

Općenito, za složeniju analizu nužno je poći od izgradnje matematičkog modela, tj. formiranja Markovljevih jednadžbi prema blok dijagramu komponente ili sustava. Postupak je prikazan na jednostavnom primjeru komponente čiji blok dijagram, odnosno prostor stanja ima samo dva stanja (sl. 6).



Slija 6. Jednostavni dijagram prostora stanja

Markovljev proces prema navedenom dijagramu prostora stanja dade se predstaviti sljedećim sustav linearnih diferencijalnih jednadžbi:

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = P_i(t) = -\lambda_{ij}P_i(t) + \lambda_{ji}P_j(t)$$
$$\frac{dP_j(t)}{dt} = P_j(t) = -\lambda_{ij}P_i(t) - \lambda_{ji}P_j(t) \qquad (32)$$

Sustav (32) predstavlja sustav linearnih diferencijalnih jednadžbi prvog reda, budući da je u račun uključeno samo prethodno stanje sustava s konstantnim koeficijentima. Zajedno s početnim uvjetima, u potpunosti su opisane vjerojatnosti prijelaza među stanjima tijekom vremena. Početni uvjeti dopuštaju uključivanje vjerojatnosti početnih događaja, tj. stanja prije početka promatranja i analiza. Sustav (32) može se prikazati i u matričnom obliku

$$[P(t)] = [A]\,[P(t)] \qquad (33)$$

ili još jednostavnije

$$P(t) = AP(t) \qquad (34)$$

gdje je

[A] - matrica učestalosti prijelaza između stanja;
[$P(t)$] - vektor (stupac) vjerojatnosti nalaženja u određenom stanju;
[$P(t)$] - vektor derivacija vjerojatnosti stanja.

Matrica učestalosti prijelaza između stanja ima opći oblik

$$\begin{bmatrix} -\sum_{j=2}^{n}\lambda_{jn} & \lambda_{2n} & \cdots & \lambda_{1n} \\ \lambda_{12} & -\sum_{\substack{j=1 \\ j\neq 2}}^{n}\lambda_{2j} & \cdots & \lambda_{n2} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \lambda_{1n} & \lambda_{2n} & \cdots & -\sum_{j=1}^{n-1}\lambda_{jn} \end{bmatrix} \qquad (35)$$

Sustav linearnih diferencijalnihjednadžbi (32) odnosno (34) najlakše se rješava primjenom Laplaceovih transformacija kojima se dobije novi sustav oblika

$$s[P(s)] = [A]\,[P(s)] + [P(0)] \qquad (36)$$

ili još jednostavnije

$$sP(s) = AP(s) + P(0) \qquad (37)$$

gdje je

[$P(s)$] - vektor vjerojatnosti stanja u Laplaceovoj domeni;
s - znak-varijabla Laplaceove transformacije;
[$P(0)$] - vektor vjerojatnosti stanja u trenutku 0, tj. vektor početnih uvjeta.

Budući da vrijedi

$$IP(s) = P(s) \qquad (38)$$

gdje

I - jedinična matrica, može se pisati

$$sIP(s) = AP(s) + P(0) \qquad (39)$$

Prema načelu linearnosti Laplaceove transformacije vrijedi

$$(sI\text{-}A)P(s) = (P(0) \qquad (40)$$

Konačno, vektor vjerojatnosti stanja u Laplaceovoj domeni ima oblik

$$P(s) = [sI\text{-}A]^{-1}\,P(0) \qquad (41)$$

gdje

- 1 znači inverziju matrice [sI-A].

Budući da se najčešće uzima da vektor početnih uvjeta $P(0)$ ima oblik

$$[P(0)] = [1, 0, 0, \ldots, 0], \qquad (42)$$

kod rješavanja ostaje zapravo problem inverzije matrice [sI-A], što kod složenijih sustava nije jednostavno. Zbog toga se uvode dodatna pojednostavljenja.

Općenito, broj linearnih diferencijalnih jednadžbi raste eksponencijalno u odnosu na broj komponenti, tako da već kod malo složenijih blok dijagrama stanja u prostoru stanja određivanje prijelaznih faza pouzdanosti i raspoloživosti pojedinih stanja postaje vrlo složeno i teško. Kako prijelazne faze završavaju vrlo brzo, a njihovo je trajanje ovdje zanemarivo u odnosu na trajanje razdoblja promatranja, znatno pojednostavljenje i olakšanje predstavlja određivanje samo stacionarnih vrijednosti pouzdanosti i raspoloživosti. Dakle, vektor derivacija vjerojatnosti izjednačava se s nulom ($P(t)$=0), tako da se stacionarne vjerojatnosti stanja dobiju rješavanjem sustava algebarskih jednadžbi oblika

$$[A][P(t)] = [0] \qquad (43)$$

uz uvjet da se komponenta ili sustav u svakom trenutku moraju nalaziti u jednom od stanja u prostoru stanja (jednadžba identiteta)

$$\sum_{i=1}^{n} P_i(t) = 1.0 \qquad (44)$$

odnosno, za stacionarno rješenje

$$\sum_{i=1}^{n} P_i(\infty) = 1.0 \qquad (45)$$

Raspoloživost stacionarnog stanja neovisna je o početnom stanju komponente ili sustava. O početnim uvjetima ovisi samo prijelazni član funkcije raspoloživosti. Kod određivanja raspoloživosti stacionarnog stanja izjednačavanjem derivacije stanja s nulom sustav jednadžbi (32), odnosno (34) postaje homogeni sustav, za čije je rješenje potrebno uvesti početne uvjete u obliku jednadžbe identiteta. Naime, traži se rješenje sustava linearnih jednadžbi koje nisu neovisne jer je N-ta jednadžba linearna kombinacija ostalih. Zbog toga, da bi se našlo rješenje sustava, jednu od jednadžbi treba zamijeniti jednadžbom identiteta (44), odnosno (45).

Komponente algebarskih jednadžbi sustava (43) jesu članovi oblika $\lambda_{ij}P_i$, koji zapravo određuju frekvenciju prijelaza iz stanja "i" u stanje "j" - f_{ij}, odnosno očekivani broj prijelaza u jedinici vremena u stacionarnom stanju. Time jednadžbe sustava (43) upravo kažu da je suma frekvencija prijelaza stacionarnog stanja jednaka nuli

$$\sum_{j=1}^{n} f_{ij} = 0,\ \mathrm{i} = 1,2,3,...,\mathrm{n} \qquad (46)$$

Frekvencija napuštanja stanja "i", što se zapravo odnosi na dijagonalne članove sustava (43), jednaka je sumi frekvencija prijelaza iz svih ostalih stanja u to stanje, a iznosi

$$f_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{n} \lambda_{ij} P_i = f_{ii} \qquad (47)$$

Srednje vrijeme boravka u stanju "i" određeno je izrazom

$$T_i = \frac{P_i}{f_i} = \frac{P_i}{\sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{n} \lambda_{ij}} = \frac{1}{\sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}} \lambda_{ij}} \qquad (48)$$

Dakle, srednje vrijeme boravka u stanju "i" određuje se kao recipročna vrijednost sume učestalosti napuštanja tog stanja.

4.2. Kombiniranje stanja u prostoru stanja

U nekim slučajevima, a osobito da bi se olakšao proračun pokazatelja pouzdanosti ili kada više stanja iz prostora stanja ima isto značenje za rad sustava ukupno, moguće je smanjiti broj stanja u prostoru stanja Markovljeva procesa komponente ili sustava, i to kombiniranjem ili udruživanjem dvaju ili više stanja u jedno kombinirano stanje. Kako se pri kombiniranju gube prijalazi između stanja koja ulaze u kombinaciju, slijedi osnovni uvjet da se osnovni parametri i odnosi prema ostalim stanjima ne smiju promijeniti ili znatnije narušiti u odnosu na početno stanje. Kombinacijom stanja nastaje novi proces s novim stanjima i prijelazima između tih stanja. najčešće taj novi proces nije i Markovljev proces budući da srednja vremena nalaženja u novim stanjima općenito nisu distribuirana eksponencijalno. Zbog toga je nužno dodatno osiguranje da bi novi proces bio proces s konstantnim učestalostima prijelaza između stanja. To se može postići uz uvjet da su učestalosti prijelaza u bilo koje drugo stanje ili grupu kombiniranih stanja iste iz bilo kojeg stanja grupe koja se promatra.

U najjednostavnijem slučaju kada prostor stanja čine samo dva stanja, stanje ispravnosti i stanje kvara, vjerojatnosti tih stanja jesu:

- vjerojatnost ispravnosti $P_0 = \frac{\mu}{\lambda+\mu} = \frac{g}{g+m} = \frac{g}{T} = \frac{1}{\lambda T} = \frac{f}{\lambda}$ (49)

- vjerojatnost kvara $P_1 = \frac{\lambda}{\lambda+\mu} = \frac{m}{g+m} = \frac{m}{T} = \frac{1}{\mu T} = \frac{f}{\mu}$ (50)

gdje je

λ - učestalost kvara komponente;
μ - učestalost popravka komponente;
g - srednje vrijeme do kvara komponente;
m - srednje vrijeme popravka komponente;
$T=m+g$ - trajanje ciklusa kvar-popravak;
$f=1/T$ - frekvencija ciklusa.

Iz prethodnih izraza slijedi izraz za frekvenciju ciklusa u stacionarnom stanju, a budući da se radi o samo dva stanja, to znači i frekvenciju ispravnog stanja i kvara

$$f = P_0\lambda = P_1\mu \qquad (51)$$

Prema tome, frekvencija stanje u stacionarnom stanju jednaka je umnošku stacionarne vjerojatnosti nalaženja u tom stanju i učestalosti izlaska iz tog stanja, odnosno umnošku stacionarne vjerojatnosti ne-nalaženja u tom stanju i učestalosti ulaska u to stanje.

Kod kombiniranja stanja primjenjuje se upravo navedeno pravilo. Dakle, ako je P_n stacionarna vjerojatnost stanja n, λ_+ učestalost prelaska u neko više stanje, λ_- učestalost prelaska u neko niže stanje, tada je frekvencija nalaženja u stanju n određena izrazom

$$f_n = P_n(\lambda_{+n} + \lambda_{-n}) \qquad (52)$$

Ako se sa P_n označi vjerojatnost kombiniranog stanja koje uključuje stanja n,n+1, n+2,..., tada je ta vjerojatnost jednaka kumulativnoj vjerojatnosti svih tih stanja. Uz pretpostavku o međusobnoj isključivosti stanja u prostoru stanja, ta vjerojatnost jednaka je sumi vjerojatnosti uključenih stanja:

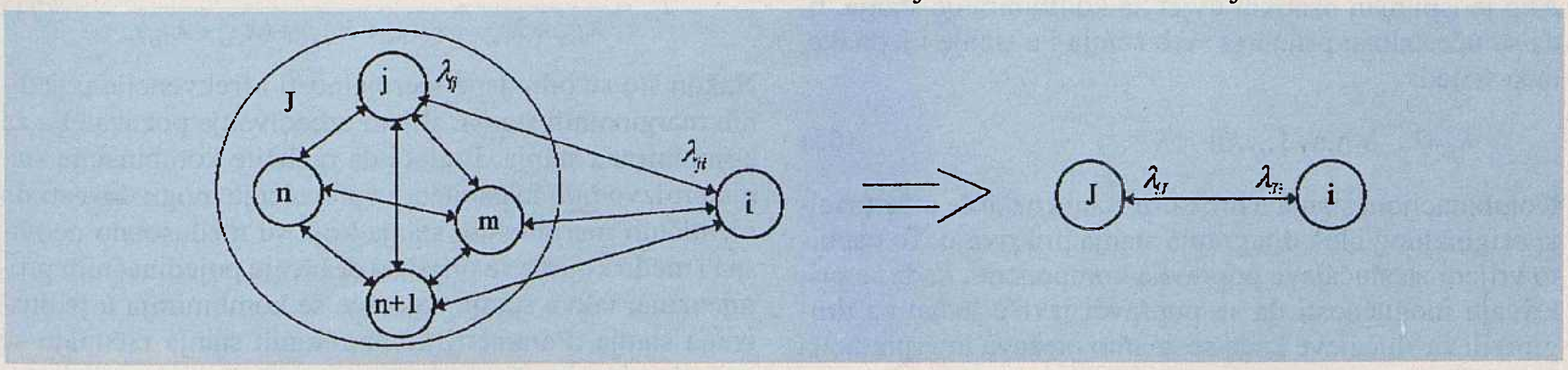
$$\begin{aligned} P^*_n &= P_n + P^*_{n+1} \\ (P^*_{n+1} &= P_{n+1} + P^*_{n+2}) \\ (P^*_{n+2} &= P^*_{n+2} + P^*_{n+3}),\ldots \end{aligned} \qquad (53)$$

Ako se sa f_n^* označi frekvencija kombiniranog stanja koje uključuje stanja n,n+1, n+2,..., tada je ta frekvencija jednaka kumulativnoj frekvenciji ili frekvenciji ulaska u sva stanja n i ispod, dakle

$$f_n^* = f^*_{n+1} + P_n(\lambda_{+n} - \lambda_{-n}) \qquad (54)$$

Komulativna frekvencija dva stanja jednaka je sumi frekvencija tih stanja umanjenoj za sumu frekvencija prelazaka iz jednog u drugo stanje.

Kao podlogu za proračun vjerojatnosti i frekvencije kombiniranog stanja uzmimo općenit primjer na sl. 7., gdje se niz međusobno isključivih stanja j=n,n+1, n+2,..., m kombinira u jedno ekvivalentno stanje J.



Slika 7. Kombiniranje stanja u prostoru stanja

Vjerojatnost kombiniranog stanja J prema (53) jednaka je sumi vjerojatnosti stanja koja ulaze u kombinaciju, a frekvencija kombiniranog stanja J prema (54) jednaka je ukupnoj frekvenciji prelazaka iz stanja j koja čine kombinaciju J u stanje i. Dakle, vrijede sljedeći izrazi:

$$P_J = \sum_{j=n}^{m} P_{ij} \tag{55}$$

$$f_J = \sum_{i \neq j} \sum_{j=n}^{m} f_{ji} = \sum_{i \neq j} \sum_{j=n}^{m} P_j \lambda_{ji} = \sum_{j=n}^{m} (P_j \sum_{i \neq j} \lambda_{ji}) \tag{56}$$

Učestalost prijelaza između kombiniranog stanja J i stanja i prema osnovnom uvjetu o jednakosti frekvencija mora biti jednaka frekvenciji prijelaza stanja j u stanje i prije kombiniranja, i obrnuto. Budući da vrijedi

$$f_{ij} = \lambda_{ij} P_i \tag{57}$$

$$f_i = \sum_{j=n}^{m} f_{ij} \tag{58}$$

može se pisati

$$f_i = P_i \lambda_{ij} = P_i \sum_{j=n}^{m} \lambda_{ij} \tag{59}$$

Prema izrazu (54) frekvencija kombiniranog stanja J jest

$$f_J = P_J \lambda_{JI} = \sum_{j=n}^{m} P_J \lambda_{ji} \tag{60}$$

Iz izraza (58 i (60) slijedi da su učestalosti prijelaza iz stanja i u kombinirano stanje J i obrnuto

$$\lambda_{IJ} = \sum_{j=n}^{m} \lambda_{ij} \tag{61}$$

$$\lambda_{Ji} = \frac{\sum_{j=n}^{m} P_j \lambda_{ji}}{\sum_{j=n}^{m} P_j} \tag{62}$$

Primijene li se oznake za viša i niža stanja, tada se izrazi (61) i (62) mogu pisati

$$\lambda_{+J} = \frac{\sum_{j=n}^{m} P_j \lambda_{+j}}{\sum_{j=n}^{m} P_j} \tag{63}$$

$$\lambda_{-J} = \frac{\sum_{j=n}^{m} P_j \lambda_{-j}}{\sum_{j=n}^{m} P_j} \tag{64}$$

Ako je ispunjen osnovni uvjet za kombiniranje stanja, tj. da su učestalosti prijalaza svih stanja j u stanje i jednake, tada vrijedi

$$\lambda_{Ji}=\lambda_{ji},\ j=n,n+1,\ldots m \tag{65}$$

Kombinacijom stanja u prostoru stanja neke se informacije originalnog blok dijagrama stanja prikrivaju. To osobito vrijedi za slučajeve popravka komponenti, kada se prikrivaju mogućnosti da se popravci izvrše jedan za drugim, ili za slučajeve kada se znatno otežava interpretacija konačnih rezultata.

Izloženi postupak može se primijeniti za računanje frekvencija i trajanja nekih stanja ispada kapaciteta kod više proizvodnih jedinica, kada različite kombinacije jedinica mogu tvoriti identična stanja proizvodnog kapaciteta. Budući da se zbog izuzetno male vjerojatnosti zanemaruju događaji istovremenih prijelaza među tim stanjima, bilo da se radi o popravcima ili kvarovima, broj direktnih veza među tim stanjima proizvodnih kapaciteta vrlo je mali. Vjerojatnosti i frekvencije kombiniranih stanja u tom slučaju jednostavne su sume vjerojatnosti, odnosno frekvencija pojedinačnih vrijednosti gotovo identičnih stanja. Kod velikih sustava kombiniranje stanja može znatno smanjiti složenost sustava, a time i trajanje proračuna, iako to ne znači da postoje opći izrazi za i već malo složenije sustave. Kod elektroenergetskog sustava karakteristično je npr. kombiniranje modela opterećenja, tj. stanja opterećenja L_i sa stanjem proizvodnog kapaciteta C_n u kombinirano (ili marginalno) stanje m_k, i to na sljedeći način:

$$m_k = C_n - L_i \tag{66}$$

Učestalosti prijelaza vezanih za marginalno stanje m_k određuju se na sljedeći način:

$$\lambda_{+mk} = \lambda_{+Cn} + \lambda_{-Li} \tag{67}$$

$$\lambda_{-mk} = \lambda_{-Cn} + \lambda_{+Li} \tag{68}$$

Budući da su isključene mogućnosti pojave dvaju ili više događaja u kratkom vremenskom intervalu, prijelaz iz jednog marginalnog stanja u drugo marginalno stanje može se ostvariti samo promjenom opterećenja ili samo promjenom proizvodnog kapaciteta. Učestalost prelaska prema višim stanjima (67) jednaka je sumi učestalosti prelaska proizvodnog kapaciteta u više stanje, tj. povećanja proizvodnog kapaciteta, i učestalosti prelaska opterećenja u niže stanje, tj. smanjenja opterećenja. Naravno, za učestalost prelaska prema nižim stanjima (68) vrijedi obrnuto. Raspoloživost marginalnog stanja produkt je odgovarajućih vjerojatnosti stanja proizvodnog kapaciteta i opterećenja

$$P_k = P_n P_i \tag{69}$$

Frekvencija marginalnog stanja produkt je stacionarne vjerojatnosti i sume učestalosti napuštanja tog marginalnog stanja

$$f_k = P_k(\lambda_{+mk} + \lambda_{-mk}) \tag{70}$$

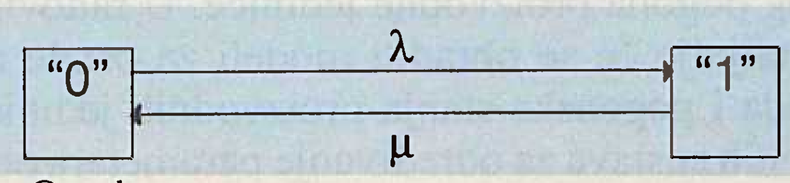
Srednje trajanje marginalnog stanja jednako je recipročnoj sumi učestalosti napuštanja toga stanja

$$T_{mk} = \frac{1}{\lambda_{+mk} + \lambda_{-mk}} = \frac{1}{(\lambda_{+Cn} + \lambda_{-Cn}) + (\lambda_{+Li} + \lambda_{-Li})} \tag{71}$$

Nakon što su određene vjerojatnosti i frekvencije pojedinih marginalnih stanja, slijedi određivanje pokazatelja za kombinirana stanja. Budući da različite kombinacije stanja proizvodnih kapaciteta i opterećenja mogu dovesti do identičnih marginalnih stanja koja su međusobno neovisna i među kojima se prijalazi dešavaju pojedinačnim promjenama, takva stanja najčešće se kombiniraju u jedinstvena stanja. Parametri kombiniranih stanja računaju se na već opisani način.

5. OSNOVNI MODEL PROIZVODNE JEDINICE - MODEL BAZNE JEDINICE

Model jedinice s dva stanja (sl. 8) najčešće je korišteni model budući da pored jednostavnosti i potrebnog malog broja podataka najbolje aproksimira neprekidan rad jedinice koja pokriva bazni dio dijagrama opterećenja.



Oznake:
"0" - stanje spremnosti jedinice za pogon
"1" - stanje nespremnosti jedinice za pogon (kvar)
λ - učestalost kvara jedinice
μ - učestalost popravka jedinice.

Slika 8. Shema modela bazne jedinice

Sustav linearnih diferencijalnih jednadžbi kojim se opisuje Markovljev proces prema tom jednostavnom modelu u općem obliku glasi

$$P_0(t) = -\lambda P_0(t) + \mu P_1(t) \tag{72}$$
$$P_1(t) = \lambda P_0(t) - \mu P_1(t)$$

Uz pretpostavku da je u t=0 jedinica u ispravnom stanju, početni uvjeti glase

$$P_0(0)=1;\ P_1(0)=0 \tag{73}$$

U svakom trenutku mora biti ispunjen uvjet izražen jednadžbom identiteta, tj.

$$P_0(t)+P_1(t)=1 \tag{74}$$

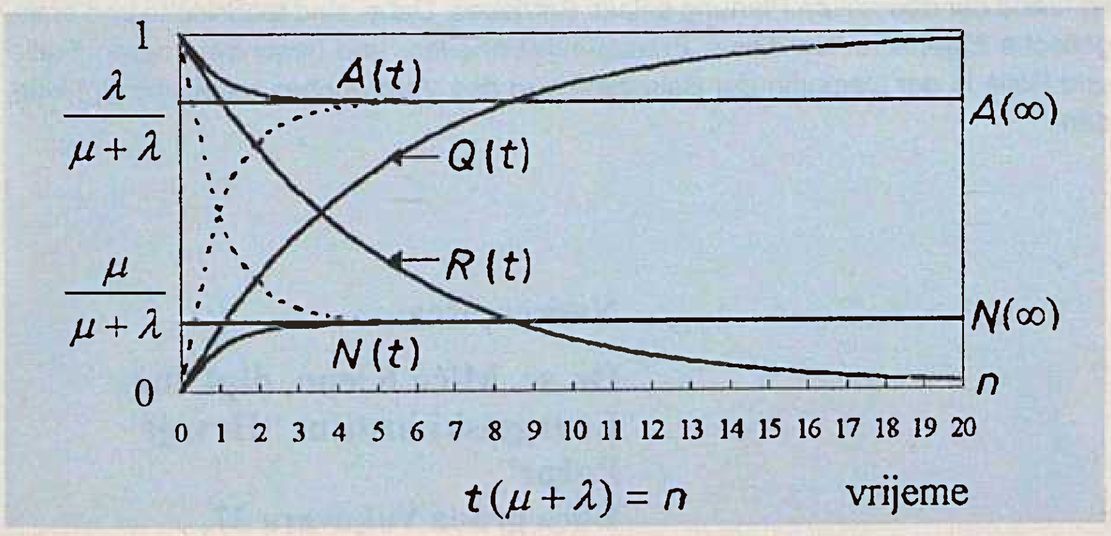
Gornji sustav linearnih diferencijalnih jednadžbi uz početne uvjete (71) ima sljedeće rješenje:

- raspoloživost $$A(t) = P_0(t) = \frac{\mu}{\lambda+\mu} + \frac{\lambda}{\lambda+\mu} e^{-(\lambda+\mu)t} \tag{75}$$

- neraspoloživost $$N(t) = P_1(t) = \frac{\lambda}{\lambda+\mu} - \frac{\lambda}{\lambda+\mu} e^{-(\lambda+\mu)t} \tag{76}$$

Ako se pretpostavi da nema popravaka, tj. ako se uzme μ=0, tada izrazi (75) i (76) jednostavno prelaze u odgovarajuće izraze za pouzdanost, odnosno nepouzdanost:

- pouzdanost $R(t)=P_0(t)=e^{-\lambda t}$ (77)
- nepouzdanost $Q(t)=P_1(t)=1-R(t)-e^{-\lambda t}$ (78)



Slika 9. Tijek funkcija raspoloživosti, neraspoloživosti, pouzdanosti i nepouzdanosti jedinice

Na sl. 9. prikazan je opći oblik funkcija $A(t)$, $N(t)$, $R(t)$ i $Q(t)$. Na istoj slici isprekidanim linijama prikazan je opći oblik funkcija $A(t)$ i $N(t)$ za slučaj kada je jedinica u početnom trenutku t=0 u kvaru. U svakom slučaju, s vremenom se utjecaj početnih uvjeta smanjuje. kako $t\to\infty$, funkcija pouzdanosti $R(t)\to 0$, a funkcija raspoloživosti $A(t)\to \frac{\mu}{\lambda+\mu}$. Dakle, može se pisati

$$\lim_{t\to\infty} R(t) = 0 \tag{79}$$

$$\lim_{t\to\infty} A(t) = \frac{\mu}{\lambda+\mu} \tag{80}$$

Prijelazni dio funkcije raspoloživosti vrlo brzo teži k nuli, a vremenski trenutak kada se može zanemariti prijelazni dio funkcije u odnosu na stacionarni dio ovisi o veličini učestalosti popravka μ.

Općenito, može se uzeti da prijelazno stanje završava nakon vremena $n=t(\lambda+\mu)=4$. Prijelazno stanje završava i prije ukoliko je μ>λ, što je kod proizvodnih jedinica elektroenergetskog sustava redovito ispunjeno. Zbog toga se u svim praktičnim proračunima koriste izrazi za stacionarne vrijednosti raspoloživosti i neraspoloživosti, jer se uz zanemarivu pogrešku postiže znatno pojednostavljenje proračuna. Svi daljnji proračuni u ovom radu bit će vezani i odnosit će se na stacionarne vrijednosti raspoloživosti, odnosno neraspoloživosti općeg oblika

$$P_0 = \lim_{t\to\infty} A(t) = \frac{\mu}{\lambda+\mu} = A(\infty) \tag{81}$$

$$P_1 = \lim_{t\to\infty} N(t) = \frac{\mu}{\lambda+\mu} = N(\infty) \tag{82}$$

Pritom u svakom trenutku mora biti ispunjen osnovni uvjet iz jednadžbe identiteta

$$A(t)+N(t)=1 \tag{83}$$

Izraz za raspoloživost jedinice može se napisati i u obliku

$$A(\infty) = \frac{1}{1+\frac{\lambda}{\mu}} = 1 - \frac{\lambda}{\mu} + \ldots \approx 1 - \frac{\lambda}{\mu}, \tag{84}$$

što kod visokoraspoloživih jedinica predstavlja vrlo dobru aproksimaciju raspoloživosti.

Parametri modela bazne jedinice u stacionarnom stanju mogu se izračunati iz podataka o pogonu jedne ili više jedinica tijekom dužeg vremenskog perioda. Tako, uvažavajući podatke i njihove oznake prema sl. 3., procijenjene vrijednosti parametara za bazni model jedinice jesu:

$$\hat{\mu} = \frac{N}{SK} \tag{85}$$

$$\hat{\lambda} = \frac{N}{SP} \tag{86}$$

$$\hat{P}_0 = \frac{\frac{N}{SK}}{\frac{N}{SK}+\frac{N}{SP}} = \frac{SP}{SK+SP} \tag{87}$$

$$\hat{P}_1 = \frac{\frac{N}{SP}}{\frac{N}{SK}+\frac{N}{SP}} = \frac{SK}{SK+SP} \tag{88}$$

Očito je da raspoloživost odnosno neraspoloživost jedinice prema izrazima (87) i (88) ne ovise o broju ispada iz pogona, tako da se njihove vrijednosti mogu procijeniti direktno iz vremena ostajanja ili zadržavanja u pojedinim stanjima tijekom promatranog vremenskog intervala. U

modelu dva stanja vrijeme održavanja uvijek se isključuje iz određivanja rizika ispada iz pogona.
Izraz (88) najčešće se naziva "rizikom ispada iz pogona" (Forced Outage Rate - FOR) i predstavlja procjenu vjerojatnosti ispada iz pogona u bilo koji slučajno odabrani trenutak vremena. Kvaliteta te procjene najviše ovisi o tipu pogona, tako da statistika pogonskih podataka mora uključivati i vrstu pogona. To dalje znači da bi primjena tog jednostavnog modela kod jedinica koje rade u vršnom dijelu dijagrama opterećenja, jedinica koje se češće uključuju i isključuju iz pogona (ciklički rad), jedinica u rezervi ili pripravnosti za pogon, tj. u svim uvjetima koji ne znače kontinuiran pogon pod opterećenjem, dovela do neadekvatne procjene rizika ispada iz pogona.
Međutim, vrlo često neraspoloživost odgovarajućih podataka o pogonu proizvodnih postrojenja potrebnih da bi se izračunalo parametre složenijih modela uvjetuje primjenu upravo tog jednostavnog modela dva stanja, bez obzira što se pogon znatno razlikuje od konstantnog. Jedan od načina da se smanje problemi i netočnosti primjene modela dva stanja koji pri tom nastaju jest da se iz promatranja isključe trajanja pripravnosti jedinice za pogon ili stanja rezerve. U tom slučaju sati ispada iz pogona reduciraju se samo na sate ispada iz pogona tijekom vremena potrebe za pogonom.
Parametri prema izrazima (85) i (86) računaju se bez sati rezervnog isključenja. Izraz za rizik ispada iz pogona dobiva novi oblik:

$$\hat{P}_{1,\mathrm{mod}} = \frac{SK(d/24)}{SP + SK(d/24)} \qquad (89)$$

Prethodni izraz podrazumijeva 24-satni ciklus potrebe za pogonom, tj. d sati potrebe za pogonom svaka 24 sata. Općenito, za bilo koji ciklus vrijedit će izraz

$$\hat{P}_{1,\mathrm{mod}} = \frac{k*(SK)}{SP + k*(SK)} \qquad (90)$$

gdje je

$k = d/(d+v)$ - faktor korekcije;
d - sati potrebe za pogonom tijekom ciklusa koji traje $d+v$ sati
v - vrijeme koje jedinica provede u rezervi između perioda potrebe za pogonom.

Faktor korekcije k uvodi se kako bi se pri proračunu parametara uvažila pretpostavka da ispad jedinice iz pogona, tj. njezin kvar može započeti samo tijekom vremena opterećenja jedinice.

Važno je pri proračunu parametara uvažiti pretpostavku da ispad jedinice iz pogona, tj. njezin kvar može započeti samo tijekom vremena opterećenja jedinice.

6. ZAKLJUČAK

U članku se izlažu osnovni elementi za izgradnju modela pouzdanosti i raspoloživosti proizvodnih jedinica elektroenergetskog sustava radi njihova uključivanja u model pouzdanosti i raspoloživosti tog sustava pri operativnim planiranjima njegova rada, tj. planiranjima pogona dan, tjedan, više tjedana, ili godinu dana unaprijed. Zbog složenosti problema, a i nastojanja autora da se svim mogućim pogonskim stanjima posveti adekvatna pažnja, u ovom prvom dijelu detaljno se izlaže model bazne jedinice, kao najšire i najčešće korišteni model, tj. kao model koji se primjenjuje na pogone i uvjete rada koji su bitno drugačiji od baznog pogona proizvodne jedinice. U radovima koji sljede detaljnije će se obraditi modeli za ostale moguće načine rada i pogonska stanja proizvodnih jedinica, ali i jednostavnih sustava za određivanje parametara pojedinih modela.

LITERATURA

[1] J. ENDRENYI: "Reliability Modeling in Electric Power Systems", Wiley & Sons, New York, 1978
[2] V. MIKULIČIĆ: "Matematički modeli pouzdanosti i raspoloživosti u elektroenergetskom sustavu", Doktorska disertacija, Elektrotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1981.
[3] V. MIKULIČIĆ: "Matematički model pouzdanosti komponente", Elektrotehnika, 1981.
[4] S. NIKOLOVSKI: "Funkcionalno ovisni strukturirani modeli pouzdanosti opskrbe električnom energijom", Doktorska disertacija, Elektrotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1993.
[5] R. BILLINTON, W. LI: "A System State Transition Sampling method for Composite System Reliability Evaluation", IEEE Trans. on power Systems, vol. 8, No. 3, 1993
[6] M. KLEPO: "Pouzdanost i raspoloživost elektroenergetskog sustava pri operativnim planiranjima rada", Doktorska disertacija, Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1996.

PRODUCTION UNIT MODELS IN THE MODEL OF ELECTRIC POWER SYSTEM RELIABILITY AND AVAILABILITY - BASE UNIT MODEL

The results of theoretical and methodological research and elaboration of incorporating production units in to the models of electric power system reliability and availability by operations planning of its work are presented. Thereby their technical and energy characteristics are kept with special emphasis on their place and role in meeting load and system consumption.

MODELLE DER ERZEUGUNGSEINHEITEN IN MODELL DER ZUVERLÄSSIGKEIT UND DER VERFÜGBARKEIT DES ELEKTROENERGETISCHEN SYSTEMS - EIN MODELL DER GRUNDEINHEIT

Dargestellt werden die Ergebnisse der theoretisch - methodologischer Forschungen und des Durcharbeitens der Fragen der Einschaltung von Erzeugungseinheiten in Modelle der Zuverläsigkeit und der Verfügbarkeit des elektroenergetischen Systems während der operativen Planung seines Betriebes. Dabei sind technische und energetische Eigenschaften dieser Erzeugungseinheiten, und besonders deren Stelle und Rolle in der Deckung der Belastung und des Verbrauches berücksichtigt worden.

Naslov pisca:

Dr. sc. Mićo Klepo, dipl. ing.
Energetski institut "Hrvoje Požar"
Ulica grada Vukovara 37,
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1997-02-27.

VREDNOVANJE ŠTETA PO OKOLIŠ U ELEKTROENERGETICI

Tea Kovačević — mr. sc. Željko Tomšić — prof. dr. sc. Danilo Feretić, Zagreb

UDK 621.31.004.6:577.4
PREGLEDNI ČLANAK

Objašnjava se pojam eksternalija (šteta po okoliš i/ili zdravlje), prikazuju metode za vrednovanje eksternalija, tj. ocjenu eksternih troškova, navode mjere zaštite okoliša, od kontrolnih do tržišno orijentiranih, kao i mogućnost njihove primjene u praksi. Konačno se daje kritički osvrt pretpostavki na kojima se temelje studije utjecaja na okoliš, gledano sa stajališta kako ekonomista tako i ekologa.

Ključne riječi: energetske eksternalije, eksterni troškovi, energetski lanac, vrednovanje eksternalija, mere zaštite okoliša, studije utjecaja na okoliš.

UVOD

Proizvodnja električne energije, osnovnog preduvjeta gospodarskog i cjelokupnog razvitka suvremenog društva, ima i svoju negativnu stranu, a to je štetan utjecaj na okoliš i zdravlje ljudi. Štete po okoliš izazane proizvodnjom električne energije i ostalih oblika energije zovu se energetske eksternalije, a troškovi koji se mogu pridružiti tim štetama nazivaju se eksterni troškovi. Međutim, eksternalije se ne pojavljuju samo u proizvodnji energije, nego uvijek kad tržišna cijena neke aktivnosti ne održava stvarne troškove koje ta aktivnost uzrokuje, tj. kad aktivnost donosi učinke koji nisu uračunati u njezinu tržišnu cijenu.
Iako je pojam eksternalija u energetiku uveden prije dvadesetak i više godina, tek se početkom 90-ih godina počelo intenzivnije razmišljati o konkretnim mjerama za smanjenje i saniranje štetnih utjecaja na okoliš. Njihov raspon može biti od izravnih mjera kontrole zagađenja, kao što su propisivanje ekoloških standarda i opremanje proizvodnih postrojenja kontrolnim tehnologijama za redukciju emisija, preko ekoloških poreza, pa sve do tržišno orijentiranih mjera poput ekoloških dozvola i formiranja tržišta eksternalijama. Preduvjet za uvođenje sustava zaštite okoliša je vredovanje eksternalija. U svijetu su izrađene brojne studije učinaka na okoliš koje su za cilj imale uspostaviti jedinstveni princip vrednovanja eksternalija i pripremiti osnovu za donošenje ekološki i ekonomski prihvatljive energetske strategije. No, budući da eksternalije i antropogeni utjecaji na okoliš i ljudsko zdravlje predstavljaju složeno područje koje osim znanstveno-tehnološke ima i svoj društvenu i političku pozadinu, još uvijek se o eksternalijama i njihovom ispravnom tretiranju vode rasprave.
Treba napomenuti da će se u okviru ovog članka dati teoretska podloga o eksternalijama i njima srodnim pojmovima, u namjeri da konkretni proračuni utjecaja na okoliš s konkretnim brojčanim vrijednostima budu razumljiviji. Naime, na Zavodu za visoki napon i energetiku Fakulteta elektrotehnike i računarstva u Zagrebu provedene su analize utjecaja na okoliš za hrvatska elektroenergetska postrojenja. Rezultate tih analiza, provedenih metodom Svjetske banke, planiramo prikazati u jednom od sljedećih brojeva.

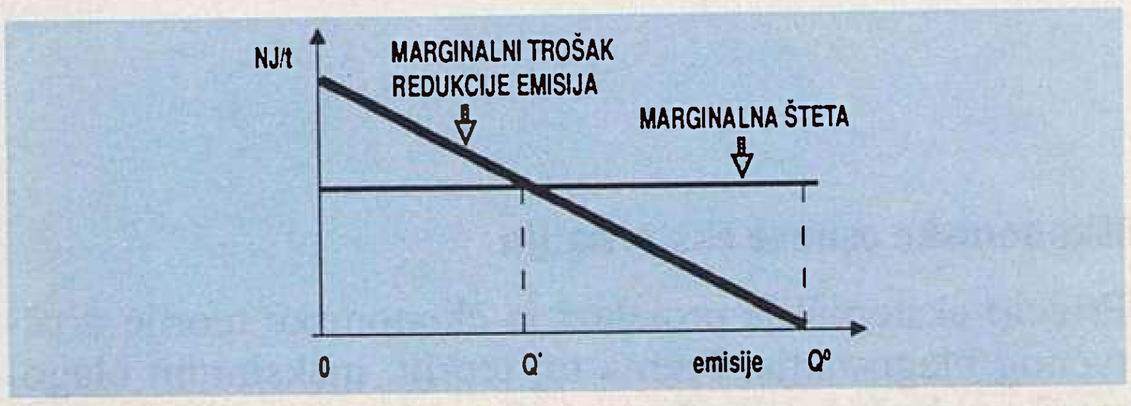
Ekonomske osnove eksternalija

Princip eksternalija proizlazi iz ekonomske teorije društvenog blagostanja. Prema toj teoriji, maksimum blagostanja u društvu postiže se jedino ako na tržištu postoji savršena konkurencija, tj. ako je marginalna cijena nekog dobra jednaka njegovom marginalnom trošku. (Marginalna vrijednost nekog dobra jest vrijednost dodatne jedinice tog dobra.) Izjednačavanjem marginalnog troška i marginalne cijene proizvoda postiže se maksimum ekonomske efikasnosti tržišta.
Općenito uzevši, eksternalije mogu biti pozitivne i negativne. Pozitivna eksternalija nastaje kad ulaganje u jednu aktivnost za posljedicu ima nekompenziranu dobit u nekoj drugoj aktivnosti. Slikoviti primjer pozitivne eksternalije je sljedeći: pretpostavimo da se u nekoj regiji plantažno uzgajaju jabuke te da se u susjedstvu nalazi pčelinjak. Povećanje ulaganja u uzboj jabuka (rada, kapitala ili zemljišta) dovest će ne samo do željenog povećanja proizvodnje jabuka, nego i do većeg cvjetanja stabala jabuka, što će rezultirati neočekivanim porastom proizvodnje meda. U ovom slučaju uzgajivač jabuka donosi pčelaru besplatnu dodatnu dobit pa se govori o pojavi pozitivne eksternalije. Nasuprot tome, negativna eksternalija javlja se kad povećanje ulaganja u jednu aktivnost rezultira nekompenziranim negativnim učincima na drugu aktivnost. Ako se npr. praonica rublja nalazi u blizini cementare, dim i prašina iz cementare prljat će obješeno rublje i predstavljati negativnu eksternaliju.

→Dakle, eksternalija je sporedni proizvod neke aktivnosti koji nije uključen u proračun tržišne cijene osnovnog proizvoda.

U elektroenergetskom sustavu može se dogoditi da tržišne cijene električne energije ne održavaju u potpunosti stvarne proizvodne troškove i da su niže nego kad bi se u proizvodnu cijenu električne energije uključili eksterni troškovi. Niže cijene uzrokuju povećanu potrošnju električne energije, tj. neprikladnu raspodjelu resursa, a to vodi do smanjene ekonomske efikasnosti u društvu i negativnih utjecaja na društvo. Prema ekonomskoj teoriji društvenog blagostanja, zagađenje okoliša uzrokovano proizvodnjom

električne energije trebalo bi svesti na ekonomski efikasne razine i time ukloniti deformacije tržišta uzrokovane eksternalijama. Ekonomski efikasna razina zagađenja bila bi ona pri kojoj je proizvodna cijena električne energije jednaka marginalnom društvenom trošku proizvodnje električne energije, a taj uključuje i eksterne troškove proizvodnje električne energije.
U analizi ekoloških eksternalija pretpostavlja se da je marginalna šteta konstantna [1], bez obzira na razinu emisija. Naime, u praksi se pokazuje da su koncentracije polutanata u prihvatnim medijima (tzv. imisije) u pravilu linearno ovisne o emisijama dotičnih polutanata, a štete po okoliš/zdravlje su pak linearno ovisne o imisijama. To znači da su konačne štete po okoliš/zdravlje za većinu polutanata proporcionalne emisijama, tj. da su njihove marginalne štete konsantne. U tom slučaju su prosječne štete jednake marginalnim i također konstantne (sl. 1).



Slika 1. Ekološka šteta i trošak njenog smanjenja

Za razliku od marginalnih šteta, marginalni troškovi redukcije štete to su veći što je razina zagađenja manja. To znači da je za redukciju sljedeće jedinice emisije potrebno veće dodatno ulaganje ako je ukupna razina emisija manja.
Ekonomski optimalna razina emisija dobiva se izjednačenjem marginalne štete i marginalnih troškova za redukciju tih emisija. Pretpostavimo (sl. 1) da Q^0 predstavlja nekontroliranu emisiju nekog polutanta (bez primjene ikakvih kontrolnih mjera), dok je u ishodišnoj točki ta emisija jednaka nuli. Ako je razina emisija veća od Q^*, isplati se ulagati u njihovu redukciju, jer se tako ostvaruje dobit koja je veća od troškova potrebnih za njeno ostvarenje. Naprotiv, ako je razina emisija ispod Q^*, ulaganje u tehnologije za redukciju emisija nije isplativo, jer će postignuta dobit biti manja od troškova koji su bili potrebni za njenu realizaciju. Prema tome, Q^* je ekonomski idealna razina emisija, i ako se proizvođač nalazi upravo na toj razini, ne bi smio plaćati naknadu za preostalu emisiju Q^*, tj. ne bi se smio teretiti dodatnim eksternim troškovima. Ekonomski gledano, šteta zbog preostale emisije tada se ne bi trebala smatrati stvarnim eksternim (nekompenziranim) troškom, već bi se moglo reći da je eksterni trošak uključen u troškove proizvodnje, a time i u tržišnu cijenu električne energije.

→ U nedostatku jedinstvenog mišljenja, najjednostavnije je sve štete po okoliš i zdravlje nazivati eksternalijama, odnosno eksternim troškovima, iako to ne mora značiti da ih treba uračunati u ukupne troškove.

U praksi, proizvođač će biti motiviran da svoje nekontrolirane emisije svede na ekonomski optimalnu razinu ako mu se nametne porez na emisiju, i to u visini marginalne štete koju dotični polutant uzrokuje. Na primjer, pretpostavimo da elektrana ispušta štetnu tvar za koju nije definirana nikakva obvezna kontrolna mjera. Ako se eksterni trošak te štetne tvari procijenjeni na 5 novčanih jedinica po toni, jedan način uračunavanja eksternih u ukupne troškove bio bi teretiti elektranu pristojbom u visini procijenjenog eksternog troška, dakle pristojbom od 5 novčanih jedinica po toni emitirane štetne tvari. Takva bi pristojba natjerala elektranu da ugradi uređaj za smanjenje dotične emisije, ali samo dok su troškovi opreme niži od eksternih troškova koji će se ugradnjom opreme izbjeći. Međutim, neke ostatne emisije postojat će i nakon ugradnje kontrolnog uređaja, jer bi njihova eliminacija bila preskupa i neisplativa. Na toj razini, elektrani se više isplati platiti pristojbu koja joj se nameće, nego eliminirati preostale emisije.

Energetski lanci i eksternalije

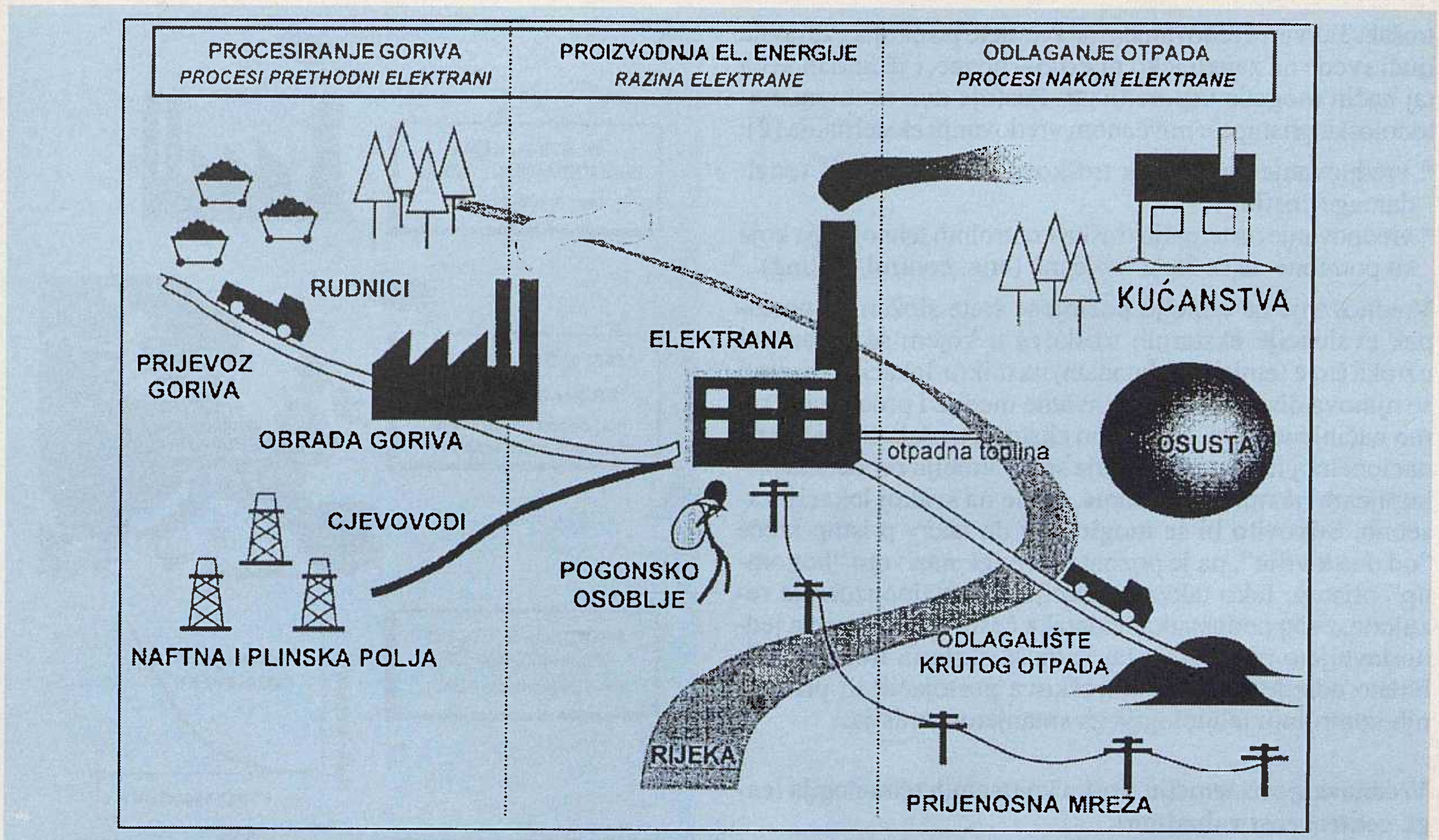
Teret po okoliš i/ili zdravlje predstavlja svaku tvar koja izaziva ili bi mogla izazvati bilo kakav utjecaj na okoliš ili ljudsko zdravlje. Najznačajniji tereti po okoliš, uzrokovani proizvodnjom električne energije, nastaju na lokaciji elektrane. Tako su npr. elektrane na fosilna goriva odgovorne za sljedeće terete:

* zagađivače zraka: sumporni dioksid (SO_2), dušikovi oksidi (NO_x), krute čestice i teški metali
* plinove staklenika: ugljični dioksid (CO_2), metan (CH_4), klorofluorougljikovdici (CFC)
* otpadnu toplinu
* krute i tekuće otpade
* zauzeće zemljišta

Glavni utjecaji na okoliš/zdravlje (tj. glavne štete) uzrokovani sagorijevanjem fosilnih goriva, a koji se javljaju kao posljedica tereta emitiranih na lokaciji elektrane jesu:

* utjecaji zagađenja atmosfere na ljudsko zdravlje, materijale, usjeve, šume i ekosustave
* posljedice globalnog zagrijavanja
* toplinski utjecaj na vode i vodena staništa.

Ipak, u najnovijim istraživanjima inzistira se na sustavnoj analizi svih energetskih procesa i objekata koji su vezani uz proizvodnju električne energije (a ne samo elektrana) i pokušavaju se odrediti njihovi učinci po okoliš. Drugim riječima, nastoje se analizirati cijeli energetski lanci za proizvodnju električne energije. Energetski lanac električne energije (sl. 2) obuhvaća sve procese koji prethode proizvodnji električne energije u elektranama, dakle pridobivanje, poboljšavanje i prijevoz goriva, te zbrinjavanje otpada nakon izgaranja u elektranama. Osim toga, energetski lanac uključuje i proizvodnju pomoćne energije i potrebnog materijala za bilo koju fazu energetskog lanca. Svaka faza energetskog lanca ima veći ili manji utjecaj na okoliš, tj. generira određene eksternalije.
S obzirom na izvor nastanka, eksteranalije mogu generirati procesi koji prethode elektrani u energetskom lancu, kao i procesi nakon nivoa elektrane. Tako npr. u energetskom lancu ugljena, eksternalije koje prethode elektrani odnose se na ugljenokope, poboljšavanje i dopremu ugljena do elektrane, a u dijelu energetskog lanca nakon elektrane eksternalije su vezane uz odlaganje otpada iz elektrane (deponije šljake i pepela, ostaci čišćenja dimnih plinova), klimatske promjene (emisije ugljičnog dioksida, tj. doprinos efektu staklenika), kisele kiše i prijenosnu mrežu (elektromagnetska polja i zauzimanje značajne površine za dalekovodnu trasu). U nuklearnom energetskom lancu postoji (iako mala) vjerojatnost ozbiljnih akcidenata, uz ostale štete od iskapanja i procesiranja goriva, a posebno odlaganja



Slika 2. Ilustrativni primjer energetskog lanca za proizvodnju električne energije

otpada. Proizvodnja električne energije u hidroelektranama također uzrokuje eksternalije, kao što su poplavljivanje korisnog zemljišta za potrebe akumulacijskih bazena, erozija, narušavanje režima podzemnih voda i ugrožavanje usjeva, opasnost za životinjski svijet i pojedina staništa, te estetsko neuklapanje u prirodnu sredinu u kojoj su izgrađene.

Budući da svi procesi u energetskom lancu bilo kojeg primarnog energenata trebaju pogonsku energiju, a ona se uglavnom dobiva izgaranjem fosilnih goriva, u gotovo svakoj fazi lanca emitira se ugljični dioksid. Prema tome, ukupnoj emisiji ugljičnog dioksida ne pridonosi samo elektrana, već i energetski objekti koji su indirektno vezani uz proizvodnju električne energije. Promatrajući cjelokupni energetski lanac, obnovljivi izvori energije također štetno utječu na okoliš. Tako npr. u lancu solarne energije na okoliš štetno utječe proizvodnja materijala, a problem su i velike površine potencijalno obradivog zemljišta koje bi trebalo pokriti kolektorima ako se želi dobiti iole veća snaga takve slolarne elektrane. Problem zauzeća zemljišta javlja se i kod vjetroelektrana ("farme" vjetrenjača).

Osim negativnih, postoje i pozitivne eksternalije uzrokovane proizvodnjom električne energije, a to su poboljšanje kvalitete života, mogućnost zaposlenja, porast produktivnosti i konkurentnosti na tržištu, i doprinos državnoj sigurnosti.

U posljednje se vrijeme razne studije bave energetskim lancima za proizodnju električne energije i njihovim eksternalijama. Iako svaka faza energetskog lanca uzrokuje određene eksternalije, ipak najveći doprinos dolazi od samih elektrana, pa se eksternalije iz ostalih faza lanca još uvijek u većini slučajeva ne uzimaju u obzir.

Eksternalije i integrirano planiranje resursa

Pri analizi i vrednovanju budućih resursa za proizvodnju električne energije odnedavna se koristi princip "integriranog planiranja resursa". To znači da će kao način podmirenja buduće električne potražnje ne razmatra samo proizvodna strana (dakle gradnja novih proizvodnih postrojenja), već se u obzir uzimaju i intervencije na strani potrošača (npr. racionalnija uporaba električne energije, veća efikasnost konačne potrošnje, upravljanje opterećenjem pomoću stimulirajućeg tarifnog sustava). Uz upravljanje potrošnjom, u razvojne opcije uključuju se napredne tehnologije (kogeneracija i kombinirani plinsko-parni ciklusi), kao i ovi obnovljeni izvori energije. Osim toga, kao jedna od komponenta pri odlučivanju o budućim resursima pojavljuju se i eksterni troškovi proizvodnje električne energije.

Princip uključenja eksternih u ukupne troškove pri integriranom planiranju resursa proizlazi iz činjenice da proizvodnja električne energije uzrokuje štete po okoliš i društvo, koje nisu uključene u tradicionalno planiranje (pod tradicionalnim se misli na planiranje s ciljem minimizacije izravnih troškova). Osim toga, postoji realna mogućnost da u budućnosti na snazi budu mnogo stroži ekološki standardi koje će planirana postrojenja morati zadovoljiti. Zato se preporuča već danas, u fazi izbora resursa, razmišljati o potrebnim ekološkim mjerama kako u razdoblju eksploatacije novih postrojenja, dakle kroz idućih 30 do 40 godina, ne bi bilo nepotrebnih izdataka i promašenih investicija.

METODE ZA VREDNOVANJE EKSTERNIH TROŠKOVA

Značaj uvažavanja eksternalija je nesumljiv, ali postavlja se pitanje kako ih vrednovati. U pravilu se svakom učinku na okoliš/zdravlje – svakoj eksternaliji – nastoji pridružiti ekvivalentna novčana vrijednost koja se naziva eksterni

trošak. Takvim vredovanjem se sve štete po okoliš i zdravlje ljudi svode na zajedničko mjerilo – novac, i jedino ih je na taj način moguće uspoređivati. Postoje dva osnovna metodološka pristupa u novčanom vredovanju eksternalija [2]:

* vrednovanje na temelju troškova štete po okoliš (engl. damage costing)
* vrednovanje na temelju troška kontrolnih tehnologija koje su potrebne da se šteta izbjegne (eng. control costing).

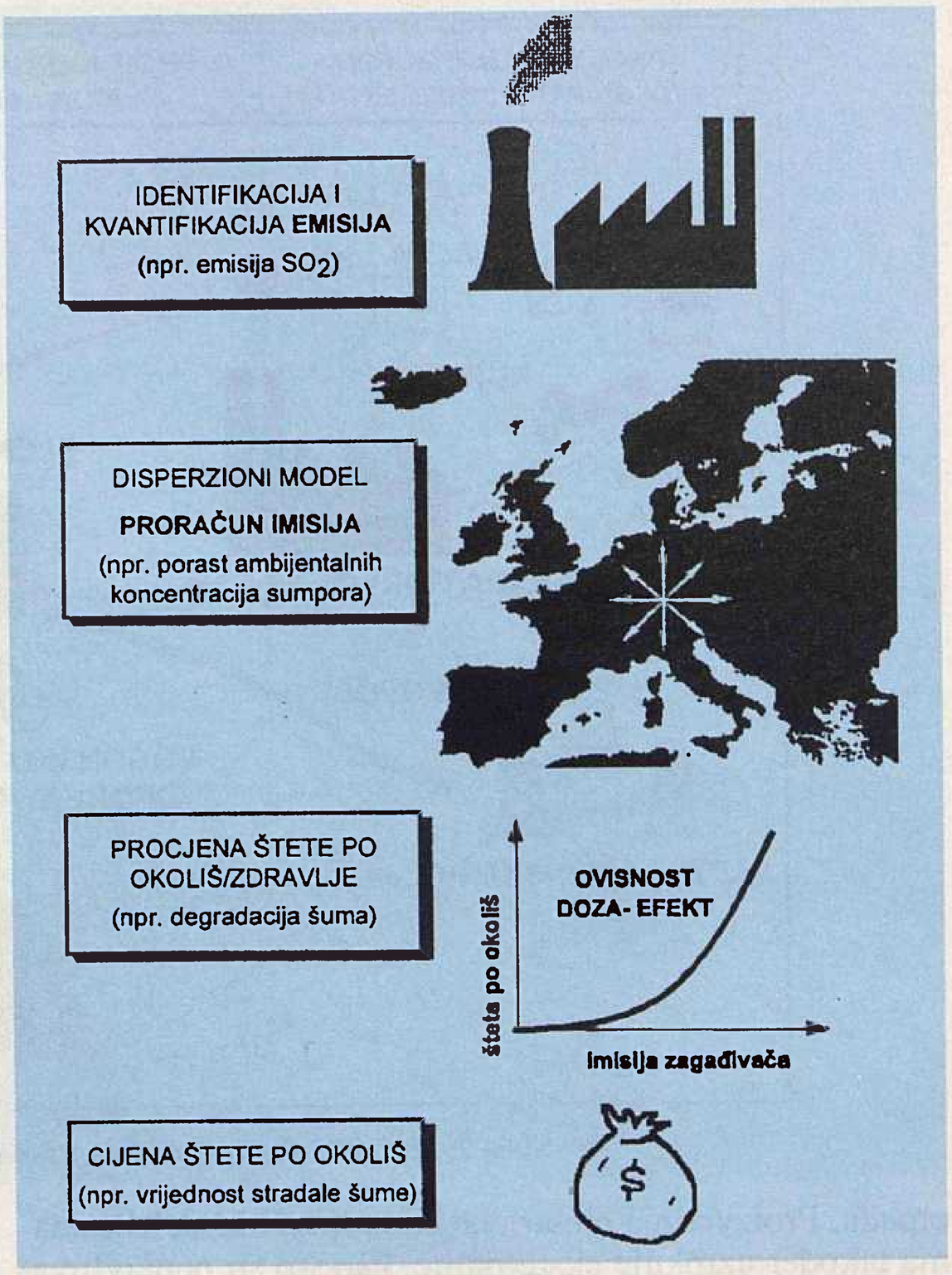
Vrednovanje na temelju počinjene štete složeni je postupak evaluacije eksternih troškova u kojem se polazi od uzroka štete (emisije polutanata) na mikro-lokacijama, prati se njihova distribucija u prihvatne medije i procjenjuje tamo načinjene štete, kao i njen eksterni trošak. Situacija na nacionalnoj razini procjenjuje se na temelju prodataka prikupljenih na mikro razinama, dakle na svakoj lokaciji zasebno. Slikovito bi se moglo reći da takav pristup kreće "od dna k vrhu", pa je poznat pod engl. nazivom "bottom-up" pristup. Iako takva evolucija daje najpouzdanije rezultate, zbog nedostatka podataka često se pribjegava jednostavnijem principu, a taj je da se eksterni troškovi približno odrede na temelju troškova postojećih ili planiranih kontrolnih tehnologija za smanjenje emisija.

Vrednovanje na temelju troška kontrolnih tehnologija (engl. control cost valuation)

Metoda troška kontrolnih tehnologija određuje eksterne troškove na osnovu propisanih ili budućih ekoloških standarda. Eksterni trošak polutanta jednak je omjeru ukupnog troška kontrolne tehnologije i pozitivnog učinka vezanog uz njenu primjenu. Tako se npr. eksterni trošak sumpornog dioksida računa kao omjer troška za odsumporavanje i količine sumpornog dioksida koja se time reducira. Eksterni trošak izražava se u novčanim jedinicama po količini zagađivača (npr. USD po toni SO_2).
Neke važnije studije koriste ovu jednostavnu metodu za procjenu eksternih troškova ugljičnog dioksida, što je inače iznimno težak zadatak. Na ovaj način eksterni troškovi CO_2 mogu se izračunati kao troškovi potrebni za uzgoj šume koja bi kompenzirala emisiju CO_2 ili se pak mogu procijeniti iz troškova za protupoplavni sustav brana kojima bi se obalno područje zaštitilo od porasta morske razine.

Vrednovanje na temelju troška štete po okoliš

Metoda troška štete sastoji se od nekoliko faza, kao što prikazuje sl. 3.
Prije nego se nekoj šteti po okoliš pridruži novčana vrijednost, potrebne su opsežne analize i istraživanja, jer najprije treba identificirati emisije uzrokovane proizvodnjom električne energije. U procesu kvantifikacije određuje se količina prethodno identificiranih emisija (nazovimo ih "teretima" po okoliš), npr. količina ispuštenog sumpornog dioksida iz elektrane na ugljen. Disperzija emisija i njihova koncentracija u prihvatnom mediju (zraku, vodi, tlu, ljudima) određuju se pomoću odgovarajućeg disperzionog modela, tj. pomoću odnosa doza-efekt. Na temelju koncentracije polutanta u prihvatnom mediju računa se šteta po okoliš i/ili ljudsko zdravlje. Naposljetku se kvantitativna šteta po okoliš/zdravlje novčano vrednovanje. U tabl. 1 dan je primjer pridruživanja novčanog iznosa emisiji sumpornog dioksida, odnosno zakiseljavanju šume.



Slika 3. Proces novčanog vrednovanja eksternalija

Tablica 1. Primjer pridruživanja novčane vrijednosti jednoj šteti po okoliš

Eksterni trošak		Količina		Doza-efekt		Cijena štete
Cijena degradacije šume ($/GWh)	=	emisija SO_2 (t SO_2/GWh)	*	degradacija šume (m^3/tSO_2	*	cijena drveta ($/$m^3$)

Količina predstavlja kvantificirane utjecaje proizvodnje električne energije (npr. količinu emitiranog SO_2 iz elektrane), efekt je šteta koju jedinica kvantificiranog utjecaja (tj. doza) nanese okolišu (npr. volumen drvene mase koja strada zbog kiselih kiša, tj. zbog jedne tone ispuštenog SO_2), a cijena se odnosi na cijenu jedinice štete (npr. cijena kubičnog metra stradale drvene mase).

Načini vrednovanja dobara

U tabl. 1 u posljednjem stupcu navedena je cijena štete. Ta kategorija je za određivanje novčane vrijednosti štete, ali izaziva dosta kontroverzi. Naime, nemaju sva dobra definiranu tržišnu vrijednost i ne može se za svako dobro odrediti cijena njegove degradacije. Osim toga, može se desiti da tržišna cijena ne iskazuje pravu vrijednost dobra. Na primjer, mnogi će se složiti da je vrijednost prašuma veća od cijene drveta koje se dobiva sječom tih prašuma, ili da je vrijednost rijetkih životinjskih vrsta veća od tržišne cijene njihovog krzna. Zato postoji još nekoliko metoda za procjenu vrijednosti netržišnih dobara. Te metode sastoje se u ispitivanju javnog mnijenja o spremnosti plaćanja za redukciju neke štete (princip **WTP**, engl. willingness to pay) ili o spremnosti prihvaćanja rizika (princip **WTA**, en-

gl. willingness to accept risk): U nastavku će biti riječi o dvije najčešće metode: metoda individualne procjene i metoda vezanih učinaka.

Metoda individualne procjene (CVM, engl. contingent valuation method)

U nekim studijama se u posljednjem koraku vrednovanja štete primjenjuje metoda individualne procjene. Ona se temelji na pojedinačnom anketiranju svakog potrošača o vrijednosti koju bi pridružio pojedinoj šteti po okoliš i/ili zdravlje. U tipičnoj anketi, ispitaniku se izloži hipotetski program za zaštitu okoliša, a ispitanik treba reći koliko bi bio spreman platiti za realizaciju jednog takvog programa. Cilj ankete je doći do što realnije vrijednosti koju pojedinac polaže na neki ekološki program ili resurs. Važnost metode individualne procjene je u tome što je to jedina metoda za procjenu tzv. "neuporabnih" vrijednosti dobara. Neuporabne vrijednosti predstavljaju značajan izvor podataka o ekološkim štetama i njihovim troškovima, pogotovo zato što u kreiranju neuporabnih vrijednosti odlučuje javnost, dakle oni koji će u konačnici snositi troškove ekoloških programa (i to u vidu poreza i/ili većih cijena električne energije).

(Neuporabnu vrijednost ima dobro kojemu pridružujemo neku vrijednost, iako od tog dobra nećemo profitirati, tj. ono nam neće donijeti nikakvu materijalnu korist. Resurs ima neuporabnu (kaže se i "pasivnu") vrijednost ako se ostavlja i zaštićuje za eventualnu buduću uporabu (kaže se i "pasivnu") vrijednost ako se ostavlja i zaštićuje za eventualnu buduću uporabu, ili ako se želi sačuvati za buduće generacije, iii pak vrijedi samim time što postoji. Primjer resursa s neuporabnom vrijednosti je nacionalni park.)

Bez obzira na svoje pozitivne strane, metoda individualne procjene nije općenito prihvaćena jer nije pouzdana. Naime, dobiveni rezultati ovise o načinu anketiranja, redosijedu pitanja, uvjerljivosti anketara, naobrazbi ispitanika, itd. Velik je problemšto velika većina ispitanika zna vrlo malo o zaštiti okolša i srodnim znanostima, pa se od njih i ne mogu očekivati suvisle procjene štete po okoliš, odnosno procjene doprinosa što bi ga bili spremni izdvojiti za zaštitu okoliša.

Metoda vezanih učinaka (engl. hedonic valuation method)

Osim metode individualne procjene, primjenjuje se i metoda vezanih učinaka, pomoću kojih se eksterni trošak nekog polutanta računa posredno, poznavajući njegovu vezu s učinkom čija je tržišna cijena poznata. Tako se na primjer cijena rizika, tj. vrijednost koja se polaže na osobnu sigurnost, može izračunati usporedbom plaća u rizičnom zanimanju (npr. rudarenju) s plaćama u srodnom, ali manje rizičnom zanimanju. Pozitivna strana ove metode je njena vjerodostojnost, jer se troškovi nekog učinka temelje na odluci potrošača. Nedostatak je što mora uzeti u obzir sve faktore koji mogu utjecati na eksterni trošak promatranog štetnog učinka, a to je često puta i teoretski i praktički neizvedivo.
Iako je vrednovanje šteta po principu "bottom-up" vrlo temeljito, takav pristup je zbog nepoznavanja mnogih podataka (ponajprije odnosa doza-efekt) i zbog prevelike specifičosti proračuna ponekad neprimjenjiv u praksi. Zato se u studijama utjecaja na okoliš primjenjuje se i tzv. "top-down" ili makro pristup. Top-down pristup u proračunu eksternalija analizira eksternalije na nivou cijele države ili regije i za polazište uzima ukupne emisije polutanata. Najprije se odrede ukupne emisije nekog polutanta na nacionalnom ili regionalnom nivou i pomnože s težinskim faktorom koji ovisi o toksičnosti polutanta. Zatim treba procijeniti udio promatranog izvora u ukupnoj šteti uzrokovanoj zagađenjem zraka (koja je poznata), i na osnovi težinskog faktora za toksičnost izračunati štetu uzrokovanu promatranim polutantom. Šteta koja potječe od promatranog polutanta može se dalje kategorizirati prema prihvatnom mediju kao što je flora, fauna, ljudi, materijali i klima. Šteta se izražava po proizvedenom kWh električne energije, za svaku od kategorija receptora posebno.
Takav pristup, iako značajan za daljnja istraživanja u evaluaciji eksternalija, ima niz nedostataka: relativni faktori toksičnosti su vrlo nepouzdan podatak u proračunu, a zbog makro-razine analize zanemaruju se razlike u gustoći naseljenosti i koncentraciji zagađivača na pojednim mikrokikacijama. Međugranični transport zagađivača također se ne uzima u obzir.

MJERE ZA ZAŠTITU OKOLIŠA

Od ranih 70-ih godina, kad se u svijetu probudila svijest o ograničenosti i iscrpivosti resursa, te o sve većoj degradaciji okoliša, u vezu su dovedene energetika, ekonomija i okoliš. Međutim, tek se početkom 90-ih godina počelo intenzivnije razmišljati o konkretnim mjerama za smanjenje i saniranje štetnih utjecaja na okoliš. Definiranje ipočetak provođenja strategije u zaštiti okoliša odvija se u dva koraka. U prvom koraku treba donijeti deklarativne zakone o zaštiti okoliša kao i prateću regulativu koja će te standarde konkretizirati. U drugom koraku cilj je uspostaviti mehanizme za provedbu zakona i njihovu implementaciju u praksi.
Problem eksternalja može se riješiti na nekoliko načina:

* kontrolnim mjerama: kontrolom količine zagađenja i propisivanjem standarda
* ekološkim porezima
* formiranjem tržišta eksteralijama.

Kontrolne mjere

Pod kontrolnim mjerama podrazumijevaju se standardi o emisijama koji propisuju maksimalno dozvoljene emisije štetnih tvari po proizvedenoj količini električne energije (npr. t/GWh). U kontrolne mjere ubraja se i primjena kontrolnih tehnologija (tj. opremanje elektrane uređajima za redukciju emisija) koje će osigurati zadovoljenje ekoloških standarda. Standardi izravno kontroliraju razine emisija, ali ne potiču minimizaciju troškova kontrole pa nisu ekonomski efikasna mjera.

Ekološki porezi

Ekološki porez je zapravo porez na emisiju polutanta, tj. novčana kazna po jedinici ispuštenog polutanta iz nekog izvora. U pravilu, svaki će izvor reducirati svoje emisije na razinu pri kojoj su marginalni troškovi kontrolnih mjera jednaki porezu na emisije. Takav pristup potiče proizvođače da minimiziraju troškove kontrolnih mjera, pa se ekološki porezi smatraju ekonomski efikasnijom mjerom

zaštite okoliša nego što su kontrolne tehnologije za redukciju emisija. Prema namjeni razlikuju se tri tipa ekoloških poreza: porezi za pokriće troškova, poticajni porezi i fiskalni porezi. Njihove karakteristike su sljedeće:

* porezi za pokriće troškova uključuju troškove saemalijamaloških šteta u tržišnu cijenu dobara i usluga koji uzrokuju te štete, i terete proizvođača proporcionalno zagađenju koje uzrokuje (primjer ovog tipa poreza je naknada za saniranje otpadnih voda)
* poticajni porezi potiču proivođača i potrošača na ekološki efikasniju uporabu resursa, stimuliraju nove i čistije proizvodne tehnologije (pod uvjetom da se porezi nametnu na zagađenje, a ne na proizvedenu količinu) i potiču održivi razvoj
* fiskalni porezi ostvaruju dobit koja se može upotrijebiti za daljnje unapređenje zaštite okoliša.

Formiranje tržišta eksternalijama

Tržišni pristup kontrole zagađenja, tzv. ekološke dozvole, omogućuju zakonodavnim vlastima da imaju kontrolu nad ukupnom razinom zagađenja i ujedno da se kontrola zagađenja postigne uz minimalne troškove. Po tom principu, svaki izvor (proizvođač) treba dozvolu za svaku jedinicu emisije, a ukupan broj izdanih dozvola, koji je ograničen, odgovara maksimalno dozvoljenoj ukupnoj razini emisija. Ako proizvođač ocijeni da je tržišna vrijednost dozvole veća od troškova potrebnh za neke tehničke zahvate (kao što su prelazak na gorivo koje manje zagađuje ili opremanje elektrane uređajima za kontrolu emisije), dobivenu dozvolu neće iskoristiti već će je sačuvati ili prodati najboljem ponuđaču. Dakle, proizvođač može standard zadovoljiti na dva načina: ili tehničkim rješenjima za smanjenje emisije, ili pak korištenjem ekoloških dozvola. Budući da su marginalni troškovi kontrole jednaki za sve proizvođače, ukupan trošak kontrole emisija bit će minimalan. Zato je tržište eksternalijama ekonomski najefikasnija metoda kontrole zagađenja. Jedino ostaje pitanje na koju razinu treba propisati ukupnu dozvoljenu emisiju.
S primjenom ekoloških dozvola treba biti oprezan. Naime, za učinkovitu regulativu u zaštiti zraka važne su karakteristike zagađivača, tj. da li je zagađivač lokalnog, regionalnog ili globalnog karaktera. Programi kontrole zagađenja bolje uspijevaju za globalne zagađivače, nego za lokalne i regionalne, jer globalni zagađivači jednako djeluju bez obzira na lokaciju izvora, tako da je dovoljno regulirati njihovu ukupnu emisiju. Pri regulaciji lokalnih i regionalnih zagađivača, uz ukupnu emisiju treba regulirati i lokalnu emisiju, tj. treba poznavati lokacije izvora, lokalne klimatske prilike, kao i uvjete okoliša unutar dosega polutanta. Da bi ekološke dozvole imale efekta, trebalo bi u obzir uzeti i lokalne uvjete, što je vrlo teško izvedivo pa može doći do neprimjerenih ograničenja na lokalne emisije. Ako se sustav dozvola primjenjuje na lokalne zagađivače, trebalo bi odrediti opsege područja izvan kojih bi trgovina dozvolama bila zabranjena. Tako bi se spriječilo da manje razvijeni dijelovi zemlje (koji manje zagađuju) prodaju svoje dozvole razvijenijim dijelovima (koji puno više zagađuju), te da se zagađenje prekomjerno povećava u ionako ugroženim dijelovima zemlje.

PRETPOSTAVKE U STUDIJAMA EKSTERNIH TROŠKOVA

Svaka studija o eksternim troškovima provodi se u okviru niza pretpostavki i metodoloških smjernica, koje mogu postati predmet javne rasprave i izvor nesuglasica. Naime, još uvijek ne postoji dogovor o jedinstvenoj metodologiji za kvantitativnu procjenu eksternh troškova, a niti o najprikladnijem sustavu njihove naknade. Takva neujednačenost metoda i rezultata istraživanja samo otežava donošenje odluka mjerodavnh zakonodavnih tijela o tretiranju eksternih troškova. Razmimoilaženja međutim nisu samo tehničke i metodološke naravi, već se radi o neslaganju stručnjaka u temeljnim cijljevima koji se namjeravaju postići uvažavanjem eksternih troškova. Zato se u pretpostavkama pri izradi studije eksternih troškova ogledaju strateška pitanja u području zaštite okoliša, a to su:

Koji je cilj strategije zaštite okoliša? – Najčešći cilj je postizanje optimalne ekonomske efikasnosti; ostali implicitni ili eksplicitni ciljevi jesu održivi razvoj, zaštita zdravlja i sigurnosti.

Koji je značaj procjene eksternih troškova za energetsku strategiju zemlje? – Značaj može biti u korekciji tržišne cijene energetskh dobara, u kompenzaciji nanesene štete po okoliš, ili u tome što procjena eksternih troškova može biti podloga za donošenje propisa o zaštiti okolišač.

Kako se određuje iznos eksternih troškova? – Eksterni troškovi mogu se vrednovati na temelju postojećih propisa u području zaštite okoliša, na temelju istraživanja ekosustava ili pak tržišnog ponašanja potrošača.

Odluke o metodologiji procjene eksternih troškova donose se u kontekstu strateških ciljeva energetike i društva u cjelini. Najčešće rasprave vode se oko sljedećih pitanja:

* kvantifikacija i novčano vredovanje
* troškovi štete ili troškovi kontrolih mjera
* prosječni troškovi ili granični troškovi
* uračunavanje eksternih u ukupne troškove
* diskontiranje
* nesigurnost parametara i rezultata.

Svako od navedenih spornih pitanja komentirat će se u sljedećim poglavljima.

Kvantifikacija i novčano vredovanje

Studije eksternih troškova redovito barataju s različitim učincima po okoliš koji se ne daju međusobno uspoređivati i svoditi na zajednički nazivnik, a potječu od istog procesa proizvodnje električne energije. Ipak, te učinke treba na neki način sumirati u jedan ekvivalentni učinak na okoliš koji se može pripisati promatranm praocesu. Da bi se različiti procesi proizvodnje električne energije mogli međusobno uspoređivati, njihov učinak na okoliš mora biti izražen u uniformiranim jedinicama, dakle u novčanim vrijednostima. U suprotnom se može desiti da se uspoređuju "kruške i jabuke".
Međutim, nikad nije moguće kvantificirati, a niti monetizirati sve učinke na okoliš, pa se u nekim studijama nekvantificirani, odnosno nemonetizirani učinci jednostavno zanemaruju. Tu postoji opasnost da se podcijeni ukupan utjecaj na okoliš nekog procesa, naprosto zbog nemo-

gućnosti jednostavnog vrednovanja nekog možda značajnog učinka.
Protivnici isključive monetizacije, kojom se ignoriraju učinci čiji je novčani ekvivalent teško ocijeniti, naglašavaju da učinci na okoliš ne bi smjeli biti karakterizirani samo očekivanom štetom, već i nizom drugih pokazatelja kao što su:

- **vjerojatnost i posljedice štete:** štete na okoliš/zdravlje mogu se razlikovati u vjerojatnosti pojave štete kao i u posljedicama štete ako se ona zaista dogodi. Tipičan primjer je tretiranje nuklearne energije u nekim studijama. Naime, zbog malo vjerojatnih reaktorskih akcidenata (koji doduše imaju teške posljedice) nuklearnoj energiji pridružuju se visoki eksterni troškovi, a ne uzima se u obzir vjerojatnost tog rizika. Drugačiji rizici, npr. nezgode u rudnicima, mnogo su vjerojatniji, ali imaju relativno manje posljedice. Pri usporedbi takva dva rizika trebalo bi voditi računa o njihovim vjerojatnostima i mogućim posljedicama.
- **razmjeri štete:** gdje, kada i koga pogađaju štetni učinci? Primjerice, industrijske nezgode su lokalnog i privremenog karaktera, te pogađaju samo radnike u toj industriji. Za razliku od toga, emisija ugljičnog dioksida izaziva globalne promjene, te može utjecati na buduće generacije iako one neće imati nikakve koristi od električne energije čijaproizvodnja je izazvala te globalne promjene.
- **mogućnost osobnog utjecaja:** vjerojatnost nekih šteta može se smanjiti ispravnim ponašanjem ugroženih pojedinaca (npr. rudara). Nasuprto tome, na pojavu nekih šteta ugroženi pojedinac ne može utjecati (npr. na zagađenje zraka).
- **ireverzibilnost štete:** posljedice nekih štetnih učinaka mogu se ispraviti, posljedice drugih nažalost ne. U ovu drugu kategoriju spada degradacija ekosustava čije su štete trajne i nepopravljive.

Troškovi štete ili troškovi kontrolnih mjera?

Zbog jednostavnosti se eksterni troškovi učinaka na okoliš ponekad ugrubo procjenjuju na temelju troškova kontrolnih tehnologija. Kritičari tog pristupa obično su ekonomisti koji tvrde da bi glavni cilj regulative u zaštiti okoliša trebao biti optimum ekonomske efikasnosti.
Umjesto uvriježene sheme po kojoj propisani standard rezultira ugradnjom zahtijevnih kontrolnih tehnologija, trebalo bi formirati tržište eksternalijama i trgovinu ekološkim dozvolama, ime bi se postigla ekonomska efikasna razina emisija. S druge strane, ekologisti smatraju da osnovni cilj mjera zaštite okoliša treba biti zaštita zdravlja, sigurnost i održivi razvoj, a ekonomska efikasnost je u drugom planu.
Rasprave se vode i oko toga tko treba biti mjerodavan za vrednovanje učinaka na okoliš – da li vlast ili pak potrošači električne energije koji će na kraju platiti te troškove. Metoda troškova kontrolnih tehnologija ne dozvoljava konačnom potrošaču da izrazi svoju volju, za razliku od metode troškova štete koja to omogućuje. U takvim raspravama dolazi do izražaja uska veza između tehničkih pitanja i temeljnih postavki o društvu i pravu glasa.

Prosječni troškovi ili granični troškovi?

Utjecaj na okoliš pojedinačne elektrane može se promatrati kroz prosječne vrijednosti, ili pak kroz granične vrijednosti. Prema prvom pristupu, doprinos jedne elektrane nekoj emisiji (npr. emisiji SO2, izražen u tonama po kWh), računa se kao prosječna vrijednost doprinosa svih elektrana (bez obzira na njihovu starost) u promatranom elektroenergetskom sustavu. Drugi način je računati samo s emisijama koje potječu od novih i planiranih elektrana. Takav je pristup korektniji, jer ne tretira jednako postojeće elektrane koje su možda već pri kraju svog životnog vijeka, i tek sagrađene elektrane s novim tehnologijama i u pravilu manjim emisijama.
I ekonomisti i ekolozi slažu se da treba razmatrati granične efekte na okoliš, a ne prosječne. Pritom ekolozi smatraju da prosječni efekti podcjenjuju, a ekonomisti pak da prosječni efekti procjenjuju stvarne učinke po okoliš. U prilog ekolozima ide postavka da učinci na okoliš ne moraju uvijek biti linearno proporcionalni razini zagađenja. Naime, može se desiti da ekosustav do određene razine zagađenja uspijeva psorbirati neku štetnu tvar bez značajnije štete, ali da nakon tog "praga" zagađenja dođe do neočekivane eskalacije štetnih posljedica. Zato bi granični (marginalni) prirast te štetne tvari bio daleko opasniji od prosječnog. Dakle, prema shvaćanju ekologa, troškovi prosječnih učinaka na okoliš su premali te bi ispravno bilo analizirati granične troškove.
Suprotna teza, da prosječne štete procjenjuju stvarne učinke po okoliš, objašnjava se time što se u proračun prosječnih šteta uzimaju u obzir stare i manje efikasne tehnologije, koje uzrokuju veće zagađenje po proizvedenom kWh električne energije u odnosu na nove tehnologije koje se tek namjeravaju graditi ili su netom puštene u pogon. Baziranje na prosječnim troškovima bi, u skladu s viđenjem ekonomista, umjetno povisilo troškove stvarnih učinaka na okoliš i zbog toga bi valjalo uzimati u obzir samo granične troškove.

Uračunavanje eksternih troškova – da ili ne?

Pri procjeni troškova po okoliš, ekonomisti obično analiziraju jesu li eksterni troškovi uračunati u tržišnu cijenu dobra, tj. jesu li "internalizirani", te upozoravaju da ispravno postavljeni standardi o emisijama i ekološki porezi kompenziraju ekološke štete mnogih zagađivača. Zbog toga, smatraju ekonomisti, nema potrebe plaćati za preostalu emisiju ako je ona ispod ekonomski efikasne razine (vidi sl. 1). Ako je standard postavljen tako da uravnotežuje socijalne troškove i socijalne dobiti, tada je razina emisija optimalna, a troškovi redukcije emisija prenose se na potrošače. Naprotiv, ako propisi ne uspijevaju izjednačiti socijalne troškove i dobiti, javljaju se ili ekološke ili ekonomske eksternalije, i to ekološke eksternalije ako je standard postavljen prenisko, a ekonomske eksternalije ako je standard postavljen previsoko. Nasuprot tome, postoji mišljenje da bez obzira da li postavljeni ekološki standard uravnotežuje socijalne štete i koristi ili ne, preostale neeliminirane emisije ipak jesu eksternalije i da ih treba odgovarajuće tretirati.

Neke eksternalije obično se inkorporiraju (internaliziraju) u cijenu energije. Na primjer, smatra se da osobni dohoci i beneficirani radni staž u rudarstvu i građevinarstvu moriviraju radnike da prihvate relativno visok rizik kojemu su u tim djelatnostima izloženi. Njihove plaće uključene su u tržišnu cijenu energije, tj. u interne troškove energije, i ne

traba ih dodatno internalizirati. U ovom primjeru, prava eksternalija može nastupiti samo ako radnik nije informiran o riziku posla kojeg obavlja ii ako zbog straha od ezaposlenosti naprosto ne može naplatiti taj rizik.

Diskontiranje

Diskontiranje omogućuje usporedbu novčanih tokova (tj. trošova i dobiti) koji nastupaju u različitim vremenskim trenucima. Pozitivna diskontna stopa znači da 10 novčanih jedinica danas. Diskontiranjem se može izraziti vremenska preferencija novca, umnažanje vrijednosti nekih resursa s vremenom, rizik koji donosi budućnost i napredak u tehnologiji. Tako se npr. može očekivati da će štete po okoliš koje su počinjene danas u budućnosti biti manje, zahvaljujući napretku tehnologija za ublažavanje tih šteta.

U većini studija utjecaja na okoliš, diskontiraju se samo neki dugoročni efekti, kao što su globalno zagrijavanje uzrokovano emisijom ugljičnog dioksida i dugročni rizici od nuklearnog otpada. Ako ti efekti imaju značajan udio u ukupnim ekološki troškovim, diskontiranje ima smisla. Podijeljena su mišljenja oko visine diskontne stope. Neki smatraju da bi "ekološke" diskontne stope trebale biti slične onima za kapitalne investicije (čak 6 do 8%), čime bi se olakšao izbor primarnih energenata za buduće elektrane. Međutim, u tom slučaju postoji opasnost da se troškovi učinaka koji će se desiti u dalekoj budućnosti gotovo anuliraju. Ipak, pristaše visokih diskontnih stopa vjeruju da će budući tehnološki napredak donijeti jeftinija i pristupačnija rješenja za saniranje dugoročnih učinaka (npr. za saniranje emisije ugljičnog dioksida) od rješenja koja su danas na raspolaganju.

S druge strane, mnogi smatraju da treba računati s niskim diskontnim stopama, jer se na taj način budući učinci na okoliš tretiraju ravnopravno sadašnjima. Tu opet postoji opasnost da relativno sigurni učinci u bliskoj budućnosti budu zasjenjeni nesigurnijim dugoročnim efektima. Pristaše niskih diskontnih stopa ne žele se oslanjati na tehnološki napredak koji će možda ublažiti buduće štete, kad znaju da se te štete mogu spriječiti već danas.

Nesigurnost parametara i rezultata

Nesigurnost podataka za vrdnovanje eksternalija može biti rezultat niza razloga: nedovoljnog poznavanja odnosa doza-efekt, ekstrapolacije odnosa doza-efekt s jedne zemljopisne lokacije na drugu, vremenskog razdoblja u kojem se učinci na okoliš trebaju promatrati, ili karaktera eksteranlije (neki se učinci uopće ne daju kvantificirati). Problem nesigurnosti ulaznih podataka provlači se kroz cijelu studiju utjecaja na okoliš, umnaža se i još izrazitije pojavljuje u konačnim rezultatima.

Analitičari nisu jedinstveni u načinu tretiranja nesigurnih podataka. Neki smatraju da nesigurne efekte treba potpuno isključiti iz razmatranja, tj. pridijeliti im vrijednost nula, kako ne bi umjetno povisili troškove utjecaja na okoliš. Drugi vjeruju da je bolje u obzir uzeti što više efekata, čak i ako njihova procjena nije pouzdana, nego nepouzdane efekte potpuno zanemariti. U principu, nesigurni podaci se procjenjuju na jednu, i to najvjerojatniju vrijednost, a kvantitativni raspon rezultata daje se rijetko. Primjer visokog stupnja nesigurnosti je nepouzdan učinak ugljičnog dioksida ne globalnu klimu.

PRIMJERI TRETIRANJA EKSTERNALIJA U SVIJETU

Kako se eksternalijama pristupa u SAD?

U Sjedinjenim Američkim Državama se o okolišu počelo razmišljati u još 6-tim godinama, kada je izrađena i prva strategija zaštite okoliša. U početku su inicijative prvenstveno bile usmjerene na zaštitu ljudskog zdravlja. U novije vrijeme izrađene su brojne studije, s ciljem kvantificiranja i monetiziranja utjecaja na okoliš. Iak se svi slažu da proizvodnja električne energije uzrokuje znatne štete po okoliš i zdravlje, tzv. eksternalije, još uvijek ne postoji općeprihvaćeni dogovor o metodi evaluacije tih šteta. Uključenje eksternih troškova u tržišnu cijenu električne energije ("internalizacija") još uvijek nije naišla na širu primjenu u praksi. Kvantifikacija eksternalija obvezna je u samo sedam država u SAD: California, Massachusetts, Minnesota, Nevada, New York, Oregon i Wisconsin [3]. Monetarne vrijednosti eksternalija u tim državama dane su u tabl. 2. Ostale države ili uopće ne razmatraju eksternalije ili ih razmatraju samo kvalitativno. Negdje je razlog tome nedostatak zakona pa čak i zakoodavnih tijela, negdje se ne može postići dogovor oko metode internalizacije, a negdje naprosto nedostaje pouzdanih procjena štete po okoliš.

Tablica 2. Vrijednosti eksternalija, izražene u 1992 USD/t

Država u SAD	Zagađivač				
	SO_2	NO_x	Čestice	Volatili	CO_2
California	4486	9120	4608	4236	9
Massachusetts*	1700	7200	4400	5900	24
Minnesota	150	850	1274	1190	9,8
Nevada	1716	7480	4598	1012	24
New York	1437	1897	333	–	1
Oregon	0	3500	3000	–	25
Wisconsin	–	–	–	–	15

* Prema odluci Vrhovnog suda u državi Massachusetts od 22. 12. 1994, proizvođači električne energije neće morati uključivati eksterne troškove u planiranje resursa.

– nije definirana vrijednost eksternalije

U navedenih sedam država praovedene su probne akcije uključivanja eksteranlija u odabir budućih resursa za proizvodnju električne energije. Nakon početne debate oko metode i opsega proračuna, za vredovanje eksternalija odabrana je metoda troškova kontrolnih tehnologija ("cost of control"). Nadalje, nije promatran cijeli energetski lanac za proizvodnju električne energije već samo eksternalije koje potječu s lokacije elektrane. Pozitivne eksternalije, kao što su nova radna mjesta i poboljšanje kvalitete života, nisu uzete u obzir nedostatka pouzdanih podataka.

Pokazalo se da je internalizacija eksternalija vrlo malo utjecala na odabir resursa, ali je potaknula tehnologije izgaranja s većim stupnjem djelovanja (npr. kombinirani plinsko-parni ciklus). Zahvaljujući tehnološkom napretku i cijenama fosilnih goriva, prirodni plin pokazuje se kao ekonomski (i ekološki) najpovoljnije buduće gorivo, naravno ukoliko njegove zalihe budu dovoljne za buduće potrebe. Internalizacija eksteranlija sama po sebi nije potaknula konkurentnost noivh obnovljenih izvora energije (sunca, vjetra, itd), kao ni širu primjenu metoda za upravljanje potro-

šnjom. Kao razlozi što su opcije za proizovodnju električne energije praktički neosjetljive na uključenje esternalija u proračun troškova, navode se sljedeći:

* stalan pad cijena fosilnih goriva umanjuje isplativost ostalih proizvodnih opcija, čak i kad se uračunaju eksterni troškovi
* elektroprivredna poduzeća nemaju dovoljno iskustva s nadolazećim obnovljivim izvorima energije (sunce, vjetar i dr.)
* investitor se teško odlučuje za nove obnovljive izvore jer ne jamče ekonomsku prednost
* eksterni trošak nije dovoljno visok da umanji prednosti konvencionalnih tehnologija
* nedostatak regulatornih vlasti koje bi ozakonile uračunavanje eksternalija u ukupnu ekonomsku kalkulaciju.

Primjer uspješnih ekoloških poreza u nekim zemljama Europske unije

U Švedskoj je 1991. godine uveden porez na količinu sumpora u gorivu, s ciljem da se reducira emisija tog polutanta iz procesa izgaranja u proizvodnji električne energije [4]. Porez na sumpor trebao bi potaknuti uporabu goriva s manjim sadržajem sumpora te odsumporavanje dimnih plinova iz procesa izgaranja u kojima se koristi gorivo s nedozvoljeno visokim sadržajem sumpora. Porez je propisan za sva goriva s više od 0,1% sumpora i iznosi 40 SEK po kilogramu sumpora (8 DEM/kg S). Pokazalo se da je porez učinkovit, jer je prosječni sadržaj sumpora u teškom loživom ulju pao s 0,65% na 0,4% u proteklih pet godina, dok je lakom lož ulju taj iznos sveden ispod 0,1% pa se niti ne oporezuje. Emisija sumpornog dioksida (SO_2) smanjena je za oko 70%. Uspjeh ove fiskalne mjere i njen poticajni karakter objašnjavaju se time što je visina poreza bila čak četverostruko veća od potrebnih ulaganja u kontrolne tehnologije za redukciju emisija SO_2. Osim sumpora, u Švedskoj se od 1992. godine uspješno oporezuje i emisija dušikovih oksida (NO_x) iz velikih energetskih postrojenja, po cijeni od 40 SEK/kg NO_x. Kao rezultat ove mjere prosječna emisija dušikovih oksida pala je za nekih 35% (s prijašnjih 160 mg/MJ na 100 mg/MJ).

Godine 1991. je u njemačkoj pokrajini Baden-Wuerttemberg uveden porez na opasni otpad, zahvaljujući kojemu je količina opasnog otpada reducirana za 40% u samo dvije godine. Smanjeni su i planirani kapaciteti novih spalionica, a uz visoko postavljenu tarifu od 100 do 300 DEM po toni otpada, ovisno o ptencijalnoj opasnosti otpada i troškovima zbrinjavanja, namaknuta su i značajna novčana sredstva.
Početkom 90-ih godina je u Švedskoj, Norveškoj, Finskoj, Danskoj i Nizozemskoj uveden porez na ugljični dioksid. Međutim, većina energetski intenzivnih gospodarskih grana oslobođena je oporezivanja, tako da učinci poreza nisu naročiti. Ipak, u Norveškoj je zabilježen pad ukupne emisije CO2 za 3-4% u razdoblju od 1991.-1993., a u Švedskoj je porasla potražnja za bio-gorivima u toplinskom sektoru i povećana je konkurentnost kogeneracije u proizvodnji električne energije.

ZAKLJUČAK

Štete po okoliš izazvane proizvodnjom električne i ostalih oblika energije zove se energetske eksternalije, a njihove ekvivalentne novčane vrijednosti jesu eksterni troškovi. U objašnjenju pojma eksternalija pomoći će nekoliko kratkih tvrdnji:

* Eksternalija je sporedni proizvod eke aktivnosti koji nije uključen u proračun tržišne cijene osnovnog proizvoda, a može biti pozitivna i negativna.
* Ekonomski uzrok eksternalija je postojanje razlike između individualnih i društvenih marginalnih troškova, što dovodi do neefikasnosti tržišta i pojave eksternalija.
* Najočitija energetska eksternalija je zagađenje okoliša (zraka, vode, tla, itd).
* Ne treba očekivati da će proizvođač električne energije bez ikakve prisile ili motivacije htjeti smanjiti emisije štetnih tvari na ekonomski efikasne razine. Efikasna razina zagađenja nikad nije jednaka nuli.

Tri su osnovna načina za rješavanje problema eksternalija: kontrolne mjere (tj. kontrola količine zagađenja i propisivanje standarda), ekološki porezi i formiranje tržišta eksternalijama. Ekološki porezi obećavaju mnogo, a već su se u pokazali uspješnima u nekim zemljama Europske unije. Preduvjet za ispravno tretiranje eksternalija i uvođenje učinkovitog sustava zaštite okoliša jest novčano vrednovanje eksternalija, koje se može temeljiti bilo na troškovima štete po okoliš bilo na troškovima za redukciju emisija primjenom bilo na troškovima štete po okoliš bilo na troškovima za redukciju emisija primjenom kontrolnih tehnologija. Prvi način – metodom troškova štete – je znanstveno utemeljen i relativno pouzdan, ali vrlo zahtjevan, dok je drugi način – metodom troškova kontrole – jednostavan, ali ujedno i manje točan.
U studijama utjecaja na okoliš nemoguće je definirati općenito važeći "ispravan" skup pretpostavki, jer taj ovisi ne samo o metodologiji vrednovanja eksternalija, već i o strateškim ciljevima energetike. Budući da se energetika i zaštita okolša tiču cijelog društva, mnogo će pitanja vezanih uz eksternalije trebati raspraviti na javnoj sceni.

LITERATURA

[1] "ExternE – Externalities of Energy", European COmission, Directorate-Teneral XII (Science, Research and Development), Brussels, 1995.
[2] "Studies of the Environmental Costs of Electricity", Office of Technology Assessment, U.S. Congress, 1994.
[3] "Electricity Generation and Environmental Externalities (Case Studies)", EIA – Energy Information Administration, Washington DC, 1995.
[4] "Environmental Taxes", European Environment Agency, Copenhagen, 1996.

EVALUATION OF ENVIRONMENTAL DAMAGES IN ELECTRIC ENERGY SUPPLY

The meaning of externalities is elaborated including the approach to their evaluation in the electric energy supply. It is explained what externalities are and their influence on the environment.

Energija, god. 46 (1997) 4, 219-228

DURCH DIE ELEKTROENERGETIK VERURSACHTE UMWELTSCHADEN UND DEREN BEWERTUNG

Es wird der Begriff von Externalien und deren Bewertung in der Elektroenergetik erklärt. Es wird auf sie hingedeutet und ihr Einfluss auf die Umwelt erklärt.

Naslov pisaca:

Tea Kovačević, dipl. ing.
mr. sc. Željko Tomšić, dipl. ing.
prof. dr. sc. Danilo Feretić, dipl. ing.
Fakultet elektrotehnike i računarstva,
Zavod za visoki napon i energetiku
Unska 3, 10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1997-02-11

UTJECAJ PARAMETARA REVITALIZIRANIH AGREGATA 1 i 2 U HE ZAKUČAC NA PRIJELAZNU STABILNOST ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA

Dr. sc. Matislav Majstrović - mr. sc. Ranko Goić - mr. sc. Elis Sutlović - E. Mudnić, Split
- Davor Bajs, Zagreb

UDK 621.311.21:621.3.016.35
PRETHODNO PRIOPĆENJE

Ispituje se utjecaj pojedinih parametara revitaliziranih generatora 1 i 2 HE Zakučac, kao i primijenjenog sustava uzbude, na prijelaznu stabilnost elektroenergetskog sustava u različitim režimima rada. Na osnovi simulacije rada sustava tijekom prijelaznih stanja uzrokovanih tropolnim i jednopolnim bliskim kratkim spojevima za različite vrijednosti utjecajnih parametara revitaliziranih generatora nacrtane su krivulje njihanja i izračunate granične vrijednosti kritičnih vremena.

Ključne riječi: revitalizacija HE Zakučac, prijelazna stabilnost elektroenergetskog sustava, krivulje njihanja generatora, granične vrijednosti kritičnih vremena.

1. UVOD

Elektroenergetski sustav ima zadatak da u svakom trenutku osigura potrošačima kvalitetnu električnu energiju. Pod tim se podrazumijeva da se svakom trošilu osigura odgovarajući iznos napona sinusoidalnog valnog oblika i frekvencije. Pored toga isporuka mora biti pouzdana. U skladu s tim treba voditi računa o životnoj dobi svakog elementa sustava.

Poznato je da se elektrostrojarska oprema HE Zakučac iz I. faze nalazi u eksploataciji već više od 30 godina. Zbog ograničenja životnog vijeka te velikog tehnološkog napretka u proizvodnji opreme potrebno je izvršiti njenu modernizaciju.

HE Zakučac je jedan od ključnih objekata u elektroenergetskom sustavu (EES) Hrvatske i to zbog tri bitna momenta:

- svojom mogućom godišnjom proizvodnjom ona značajno sudjeluje u pokrivanju godišnjih potreba električne energije
- kao vršna i regulacijska elektrana velike snage, Zakučac omogućava vrlo efikasnu regulaciju radne snage, odnosno frekvencije u EES-u Hrvatske, ali i šire
- treći bitni moment u važnosti Zakučca je regulacija napona u mreži i tokova jalove snage.

Važnost i uloga koju HE Zakučac ima u elektroenergetskom sustavu dodatno opravdavaju potrebu njene što skorije revitalizacije.

Jedna od analiza koje se provode prilikom uklapanja novih ili revitalizacije starih agregata je i analiza prijelazne stabilnosti EES-a, da bi se provjerilo ponašanje generatora prilikom nastanka velikih poremećaja u visokonaponskoj mreži. Najopasniji za gubitak prijelazne stabilnosti su elektranama bliski kratki spojevi što je u slučaju HE Zakučac posebno važno budući da su dalekovodi koji je povezuju s elektroenergetskim sustavom na kraškom terenu gdje postoji velika učestalost udara gromova i nastanka kratkih spojeva.

Pojedina elektrana utječe na stabilnost elektroenergetskog sustava preko električnih i mehaničkih konstanti generatora i pogonskih strojeva (nazivna snaga, reaktancije, momenti tromosti . . .), regulatora uzbude (napona) generatora i turbinskih regulatora (regulatora brzine vrtnje), koji zajedno s postojećim vezama među generatorima u sustavu, odnosno parametrima dalekovoda, određuju hoće li sustav ostati stabilan prilikom određenog poremećaja ili ne. Radi toga je bitno provjeriti prirodne (najekonomičnije) vrijednosti parametara generatora i njihov utjecaj na ponašanje generatora tijekom prijelaznih stanja, te ukoliko se pokaže potreba konstruirati generator izmijenjenih parametara (veći GD^2gen, manja X_d') da bi se, po potrebi uz primjenu i drugih mjera, osigurao njegov sinkroni rad u svim uvjetima.

Proračun stabilnosti EES-a uz revitalizaciju agregata 1 i 2 u HE Zakučac izvršen je za odgovarajuće pogonsko stanje u modeliranoj mreži, pri čemu su kao referentne vrijednosti parametara sinkronih generatora 1 i 2 HE Zakučac poslužile vrijednosti određene u Končaru - Institutut za elektrotehniku (tablica 1). Vrijednosti pojedinih parametara su varirane u određenom rasponu da bi se provjerio njihov utjecaj na granične vrijednosti kritičnih vremena (najduže vrijeme unutar kojega se mora otkloniti kvar koji je uzrokovao poremećaj, a da genrator ostane stabilan). Posebno je određena vrijednost potrebnog GD^2 agregata (generator+turbina) sa stanovišta stabilnog rada na mreži, odnosno pripadna mehanička vremenska konstanta T_m.

Uzbudni sustavi revitaliziranih generatora u HE Zakučac modelirani su prema prijedlogu Instituta za elektrotehniku koji je predložio dvije varijante statičkog tiristorskog sustava uzbude: sustav nezavisne uzbude i samouzbude bez kompaundacije, te je na osnovi vrijednosti kritičnih vremena i stanja sustava pri djelovanju postojeće zaštite

predloženo povoljnije rješenje uzbudnog sustava sa stajališta očuvanja stabilnosti čitavog EES-a, kao i njegovih parametara.

Turbinski regulatori sva četiri agregata HE Zakučac modelirani su prema tehničkom opisu "TURBINE GOVERNOR, FRVA - Technical Description, CONTROL PRINCIPLES", "Izvještaju o ispitivanju turbinskog regulatora ASEA agregata III" iz 1979., i "Izvještaju o izvršenim mjerenjima karakteristika turbinske regulacije agregata 1 i 2 na HE Zakučac" iz 1990., koje su obavili INSTITUT ZA TURBINSKE STROJEVE i LITOSTROJ iz Ljubljane.

Ostali generatori u ispitivanome sustavu modelirani su ovisno o njihovom položaju u mreži i utjecaju tijekom prijelaznih pojava zbog kvarova u "utjecajnoj okolini" HE Zakučac jednostavnijim ili detaljnim modelima. Opterećenja na 110 kV naponskoj razini su modelirana kao naponski ovisna (P = 50% I + 50% Z, Q = 100% Z). Proračun stabilnosti je izvršen pomoću ABB-og programskog paketa POSCOLAB, odn. programom MANISTA.

2. PARAMETRI REVITALIZIRANIH GENERATORA I MOGUĆA RJEŠENJA SUSTAVA UZBUDE

Parametri revitaliziranih generatora 1 i 2 HE Zakučac, kako ih je predložio Institut za Elektrotehniku, su prikazani u tablici 1.

Tablica 1. Polazni parametri revitaliziranih generatora 1 i 2 u HE Zakučac

Veličina		Mjerna jedinica	
Nazivna snaga	S_n	MVA	161
Nazivna brzina vrtnje	n	1/min	333
Nezasićena sinkrona reaktancija u X-osi	X_d	%	95.7
Zasićena sinkrona reaktancija u d-osi	X_{dzas}	%	91.5
Nezasićena sinkrona reaktancija u q-osi	X_q	%	57.6
Nezasićena prijelazna reaktancija u d-osi	X_d'	%	33.0
Nezasićena početna reaktancija u d-osi	X_d''	%	20.0
Nezasićena početna reaktancija u q-osi	X_q''	%	21.4
Nezasićena inverzna reaktancija	X_2	%	20.7
Nezasićena nulta reaktancija	X_0	%	12.4
Početna vremenska konstanta u d-osi	T_d''	s	0.13
Početna vremenska konstanta u q-osi	T_q''	s	0.09
Vremenska konstanta uzb. namota u praznom hodu	T_{d0}'	s	8.9
Prijelazna vremenska konstanta	T_d'	s	3.07
Vremenska konstanta statorskog namota	T_a	s	0.34
Mehanička vremenska konstanta	T_m	s	7.56

Uz predloženu snagu i brzinu vrtnje generatora promatrani su utjecaji zadanih parametara agegata na stabilnost sustava, pri čemu je ispitano ponašanje sustava u slučaju promjena međusobno ovisnih veličina GD^2, mehaničke vremenske konstante T_m, i brzine vrtnje n, kao i prijelazne sinkrone reaktancije u d-osi X_d'.

S obzirom da su generatori 1 i 2 trenutno uzbuđivani sustavom elektrostrojne nezavisne uzbude nužna je zamjena postojećih novim, modernijim sustavima uzbude. Kao moguća rješenja razmatrani su sustavi statičke tiristorske uzbude i to:

1. **Sustav nezavisne uzbude** (napajanje uzbude iz osovinskog generatora konstantnog napona)
2. **Sustav samouzbude** (napajanje uzbude od stezaljki generatora preko ispravljačkog transformatora bez kompaundacije).

Generatori 3 i 4 u HE Zakučac opskrbljeni su statičkim tiristorskim sustavom nezavisne uzbude s regulatorom napona tipa ARN i uzbudnikom poduzeća Končar, čija je blokovska shema prikazana na slici 1.

Podešene konstante na generatorima 3 i 4 su:

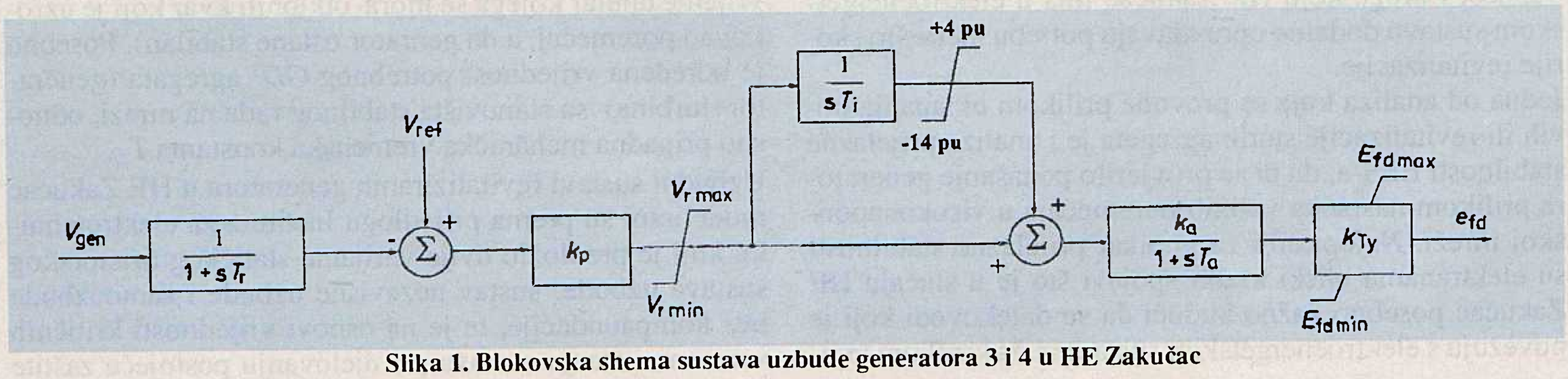
T_f = 25 ms
K_p = 100 p.u./p.u. (podesivo na 10, 20, 30, 50, ili 100 p.u./p.u.)
$V_{r\,max}$ = 14 p.u.
$V_{r\,min}$ = –14 p.u.
T_i = 3 s (podesivo na 2, 3, 4, ili 5 s)
K_i = 1 za $U_g \geq 0.65$ p.u.
= 0 za $U_g < 0.65$ p.u.
$k_a x k_{Ty}$ = 1
T_a = 2 ms
$E_{fd\,max}$ = 4,3 p.u.
$E_{fd\,min}$ = –3,5 p.u.

Blokovska shema mogućeg rješenja sustava nezavisne uzbude na generatorima 1 i 2 identična je gornjoj shemi, dok je blokovska shema sustava samouzbude prikazana na slici 2.

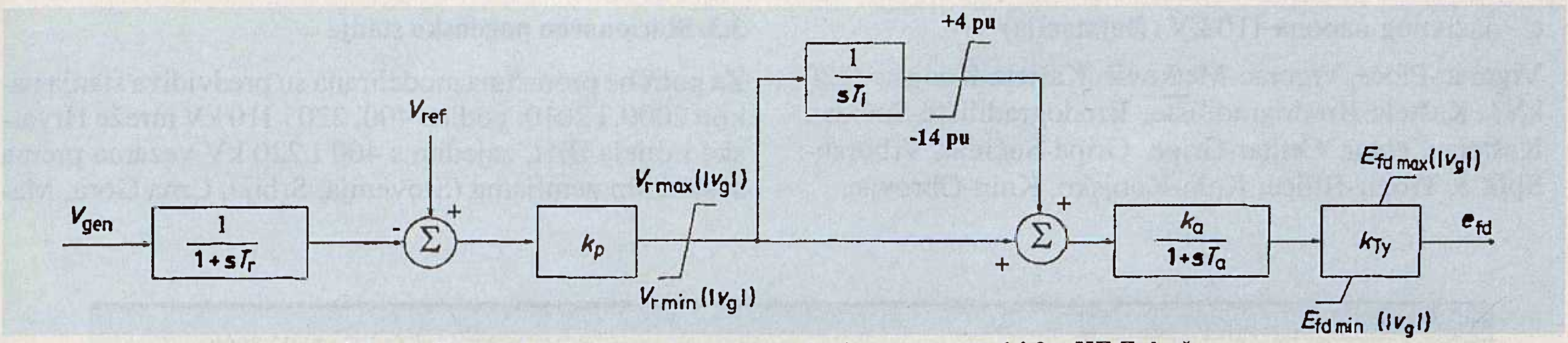
Kod nezavisnog sustava uzbude energiju za uzbudu osigurava osovinski generator konstantog napona koji napaja uzbudu glavnog generatora preko tiritorskog usmjerivača, za razliku od sustava samouzbude, kod kojega se napajanje uzbude glavnog generatora obavlja preko uzbudnog transformatora priključenog na sabirnice generatorskog napona.

Pri modeliranju oba sustava korišteni su modeli s PI regulatorom (ARN), pri čemu su i armatura izmjeničnog uzbudnika kod sustava nezavisne uzbude, i uzbudni transformator kod samouzbude, te usmjerivač u oba slučaja, opisani zateznim članom prvog reda.

Bitna razlika između dva predložena sustava uzbude je



Slika 1. Blokovska shema sustava uzbude generatora 3 i 4 u HE Zakučac



Slika 2. Blokovska shema sustava samouzbude generatora 1 i 2 u HE Zakučac

(ne)ovisnost karakteristika uzbude, posebno karakteristika forsiranja, o naponu generatora, odnosno stanju u mreži. Kod sustava nezavisne uzbude vrijednosti stropnih napona (maksimalni i minimalni napon uzbude) ne ovise o naponu generatora, za razliku od sustava samouzbude gdje s padom napona generatora, padaju i vrijednosti stropnih napona, što dolazi do izražaja u slučajevima bliskih kratkih spojeva kada prijelazna stabilnost sustava iz toga razloga može biti ugrožena.

Pri odabiru sustava uzbude generatora ne smije se zanemariti ni ekonomska strana problema, budući da razlika u cijenama između razmatranih rješenja nije zanemariva. Prema [4] orijentacijske cijene se kreću oko 1,680,000 DEM za sustav nezavisne uzbude odn. 1,200,000 DEM za sustav samouzbude.

Tijekom proračuna ispitivani su utjecaji oba sustava uzbude na prijelaznu stabilnost elektroenergetskog sustava prilikom bliskih tropolnih i jednopolnih kratkih spojeva u neposrednoj blizini sabirnica 220 kV ili 110 kV HE Zakučac, te je na osnovi ponašanja sustava tijekom smetnji predložena povoljnija varijanta sustava uzbude generatora 1 i 2 u HE Zakučac s obzirom na povećanje prijelazne stabilnosti čitavog elektroenergetskog sustava.

3. KONFIGURACIJA ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA HRVATSKE U RAZMATRANIM GODINAMA

Analiza prijelazne stabilnosti i određivanje utjecaja parametara revitaliziranih agregata 1 i 2 u HE Zakučac izrađeni su za dva karakteristična stanja elektoenergetskog sustava Hrvatske. Prvo stanje se odnosi na blisku, a drugo na dalju budućnost. U skladu s tim su definirane dvije nazivne godine i to: 2000. i 2010. godina. Proračuni su izvršeni za cjelovit elektroenergetski sustav u paralelnom radu sa susjednim EES-om bez značajnih međusobnih razmjena, te za otočni rad elektroenergetskog sustava Dalmacije karakterističan za protekle ratne godine. Ukupno opterećenje u modeliranom sustavu (Hrvatske + susjedni EES) nazivne 2000. iznosi 10.013 GW od čega Prp Split sudjeluje s 462.7 MW, a nazivne 2010. godine ukupno opterećenje iznosi 16.749 GW uz opterećenje Prp Split u iznosu od 683.5 MW. Generatori HE Zakučac angažirani su na slijedeće načine:

	2000. god.	2010. god.
G1	140 MW/25 MVAr	145 MW/63 MVAr
G2	140 MW/21 MVAr	145 MW/57 MVAr
G3	120 MW/18 MVAr	135 MW/55 MVAr
G4	120 MW/22 MVAr	135 MW/64 MVAr

3.1. EES "Nazivne 2000. godine"

Pod pojmom "nazivna 2000. godina" podrazumijeva se karakteristična godina s aspekta izgrađenosti (strukture) elektroenergetskog sustava u bliskoj budućnosti (prilog 1). U ovoj godini, odnosno bolje rečeno do ove godine, ne predviđa se izgradnja nekog značajnijeg objekta u prijenosnoj mreži, već samo osposobljavanje i stavljanje u funkciju ratom razrušenih u elektroenergetskom sustavu Hrvatske, a naročito Bosne i Hercegovine, tako da će elektroenergetski sustav Hrvatske biti potpuno povezan sa elektroenergetskim sustavima susjednih zemalja preko 400, 220 i 110 kV vodova.

Budući da se analiziraju električne prilike u utjecajnoj okolini HE Zakučac 110 kV mreža električki bližeg dijela Bosne i Hercegovine je uzeta u cijelosti, a udljenijeg je ekvivalentirana. Prijenosna mreža nazivnog napona 400 kV i 220 kV uključena je u cjelosti sa svojim relevantnim parametrima. Elektroenergetski sustavi ostalih susjednih zemalja su prikazani pomoću odgovarajuće (ekvivalentirane) 400 i 220 kV mreže (vodovi, elektrane, trafostanice i opterećenja).

3.2. EES "Nazivne 2010. godine"

Karakteristična godina s aspekta izgrađenosti elektroenergetskog sustava Hrvatske u dalekoj budućnosti nosi radni naslov "nazivna 2010. godina" (prilog 2). Od "nazivne 2000. god." do ove predviđa se, prema planovima Sektora za razvoj HEP-a, izgradnja značajnijih objekata u prijenosnoj mreži kao što su:

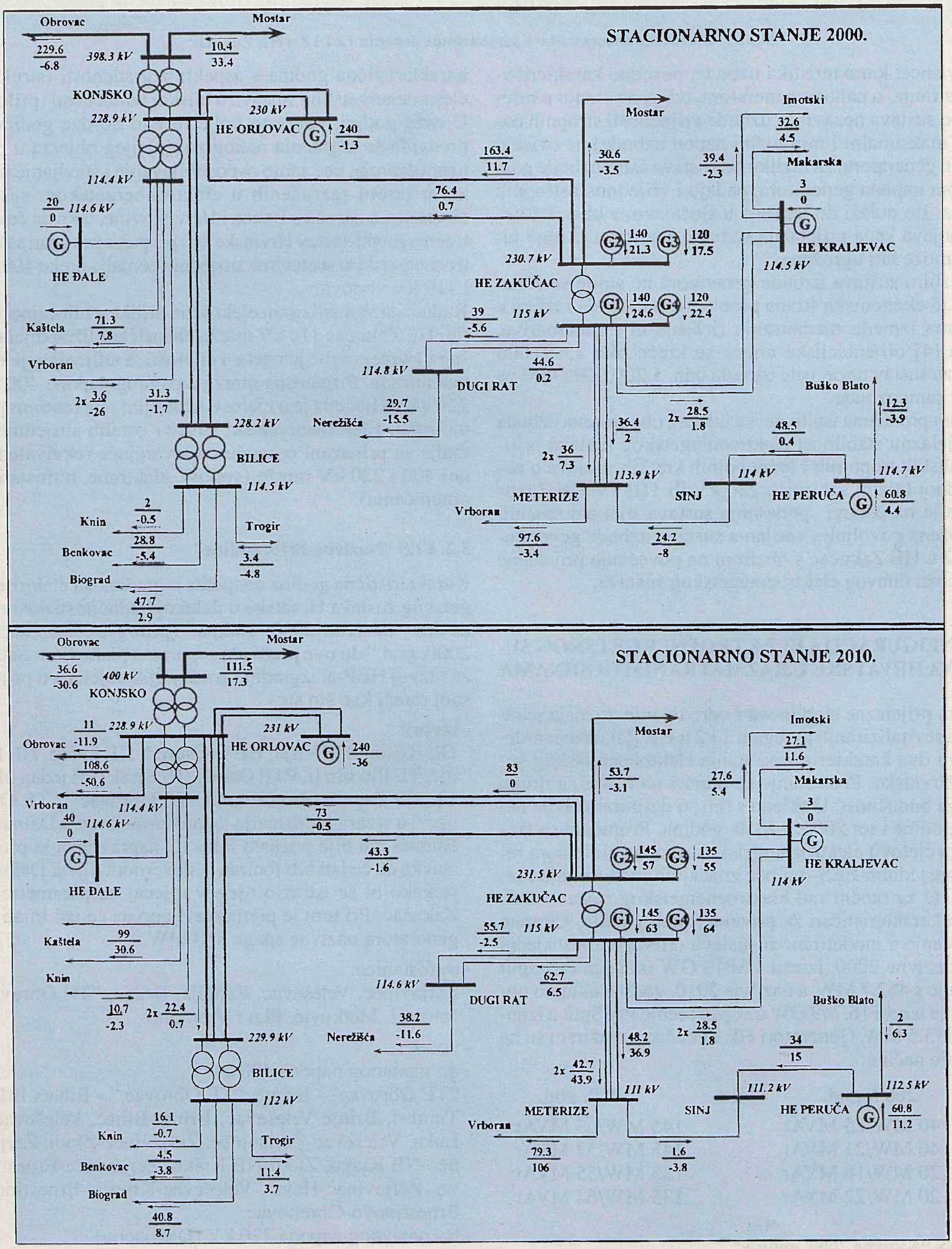
- izvori:
  HE Kosinj, HE Virje, HE Podsused, HE Lešće, HE Drenje, TE Plomin II, PTE Osijek, TE Sisak (još jedan blok), TE-TO Zagreb (dva bloka) i "TE Obrovac". "TE Obrovac", u stvari, predstavlja jedan termo izvor u Dalmaciji. Budući mu nije poznata lokacija napravljena je pretpostavka da će isti biti lociran u sjevernom dijelu Dalmacije kako bi se istražio njegov utjecaj na parametre HE Zakučac. Pri tom je pretpostavljeno da će isti imati dva generatora nazivne snage 350 MW.
- trafostanice:
  Žerjavinec, Veleševac, Krndija, Brinje, "TE Obrovac", Imotski, Metković, Plat i Vrboran.
- vodovi
  a - nazivnog napona 400 kV
  "TE Obrovac" - Brinje, "TE Obrovac " - Bihać, Brinje-Tumbri, Brinje-Veleševac, Brinje-Bihać, Veleševac-B. Luka, Veleševac-Žerjavinec, Žerjavinec-Zlodi, Žerjavinec-NE Krško, Zlodi-NE Krško, Žerjavinec-Ernestinovo, Žerjavinec-Heviz, Veleševac-Krndija-Ernestinovo, Ernestinovo-Obrenovac.
  b - nazivnog napona 220 kV (Dalmacija)
  Plat-Metković, Metković-Imotski, Imotski-Jablanica, Zakučac-Konjsko, Metković-Čapljina.

c - nazivnog napona 110 kV (Dalmacija)

Vrgorac-Ploče, Vrgorac-Metković, Kaštela-Konjsko (220 kV), Kaštela-Brodogradilište, Brodogradilište-Sućidar, Kaštela-Centar, Centar-Gripe, Gripe-Sućidar, Vrboran-Split 3, Trogir-Bilice, Knin-Konjsko, Knin-Obrovac.

3.3. Stacionarno pogonsko stanje

Za potrebe proračuna modelirana su predvidiva stanja nakon 2000. i 2010. godine 400, 220 i 110 kV mreže Hrvatske i dijela BiH, zajedno s 400 i 220 kV vezama prema susjednim zemljama (Slovenija, Srbija, Crna Gora, Ma-

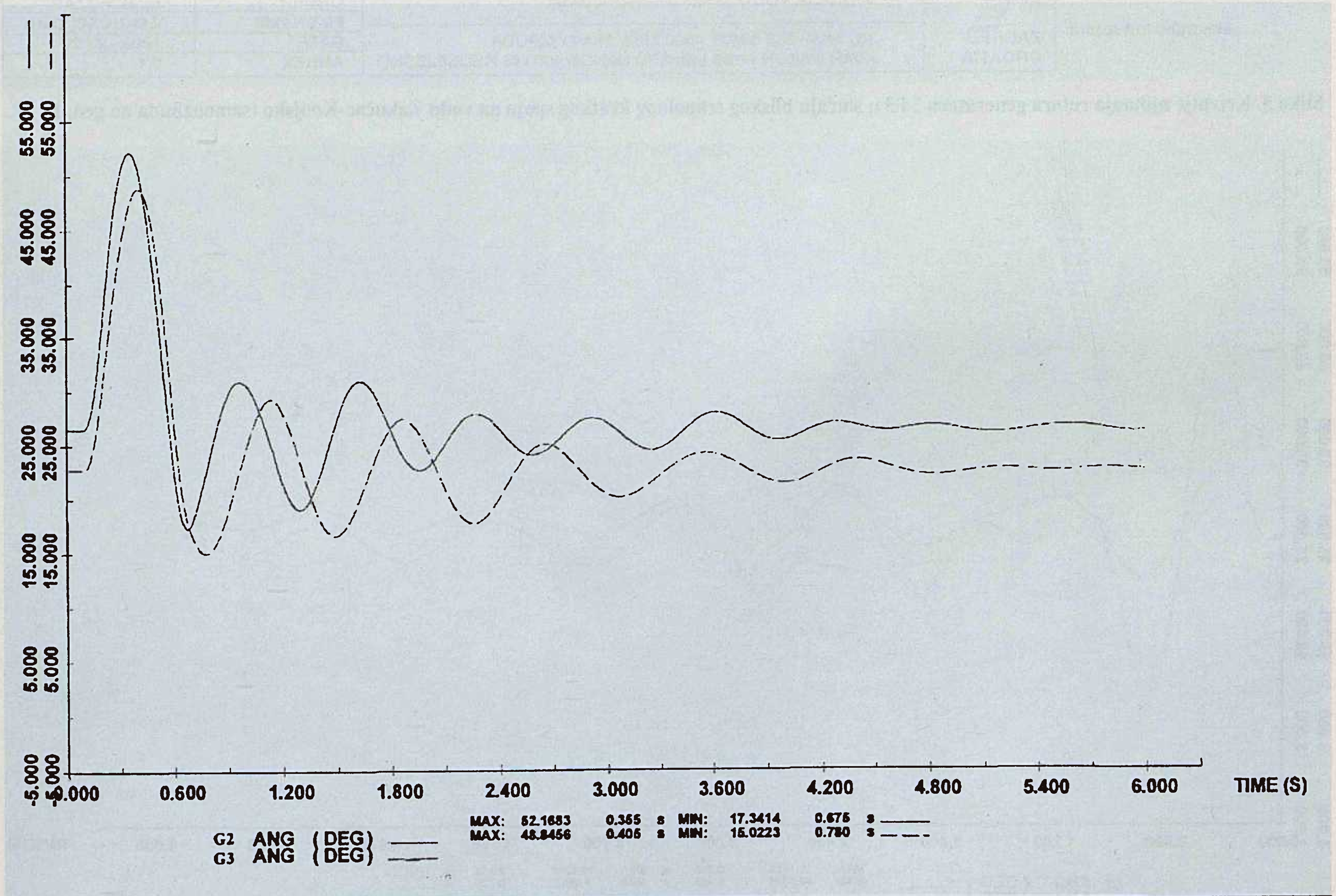


Slika 3. Stacionarni tokovi snaga u dijelu mreže za razmatrane godine

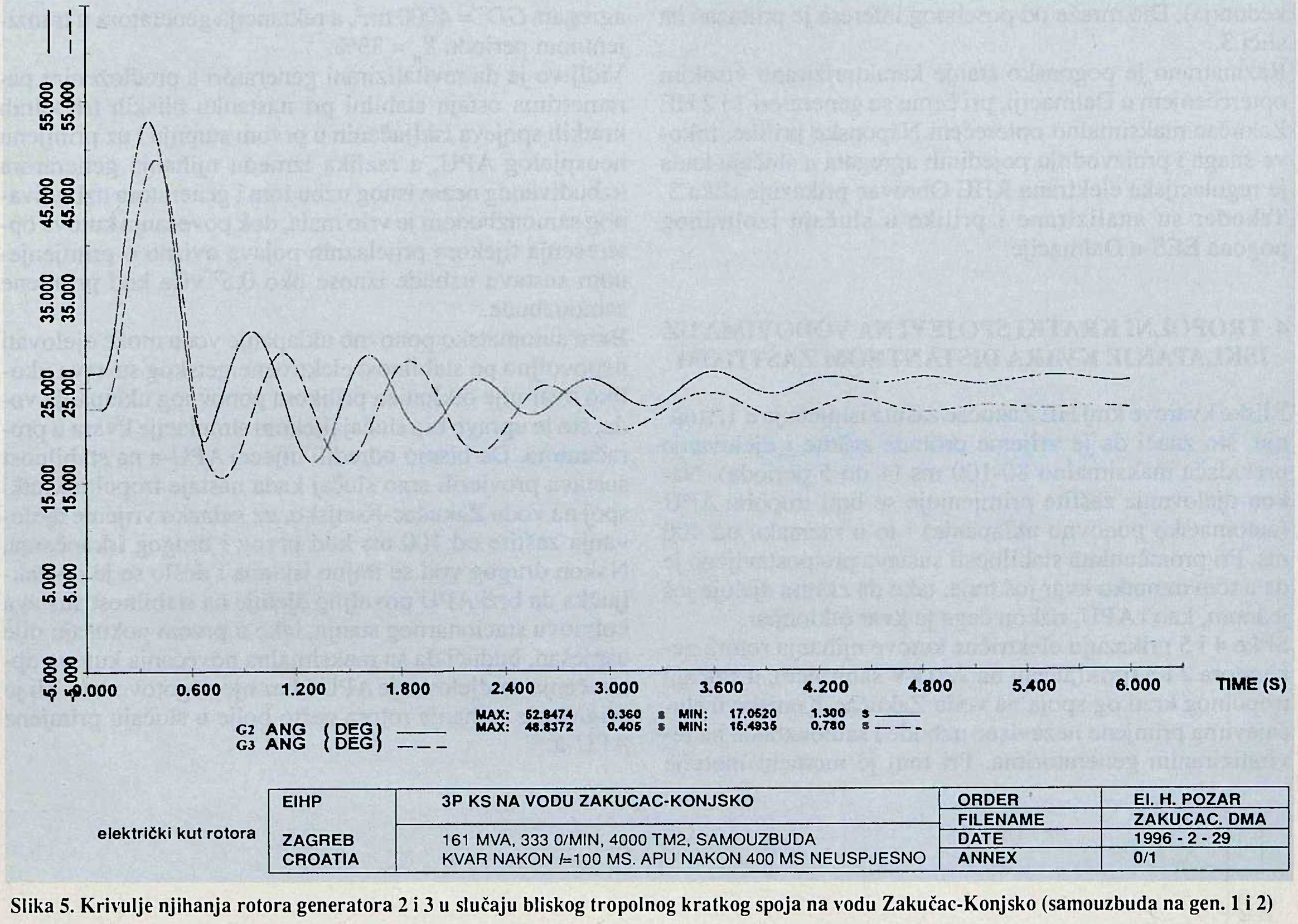
kedonija). Dio mreže od posebnog interesa je prikazan na slici 3.
Razmatrano je pogonsko stanje karakterizirano visokim opterećenjem u Dalmaciji, pri čemu su generatori 1 i 2 HE Zakučac maksimalno opterećeni.Naponske prilike, tokove snaga i proizvodnju pojedinih agregata u slučaju kada je regulacijska elektrana RHE Obrovac prikazuje slika 3. Također su analizirane i prilike u slučaju izoliranog pogona EES-a Dalmacije.

4. TROPOLNI KRATKI SPOJEVI NA VODOVIMA UZ ISKLAPANJE KVARA DISTANTNOM ZAŠTITOM

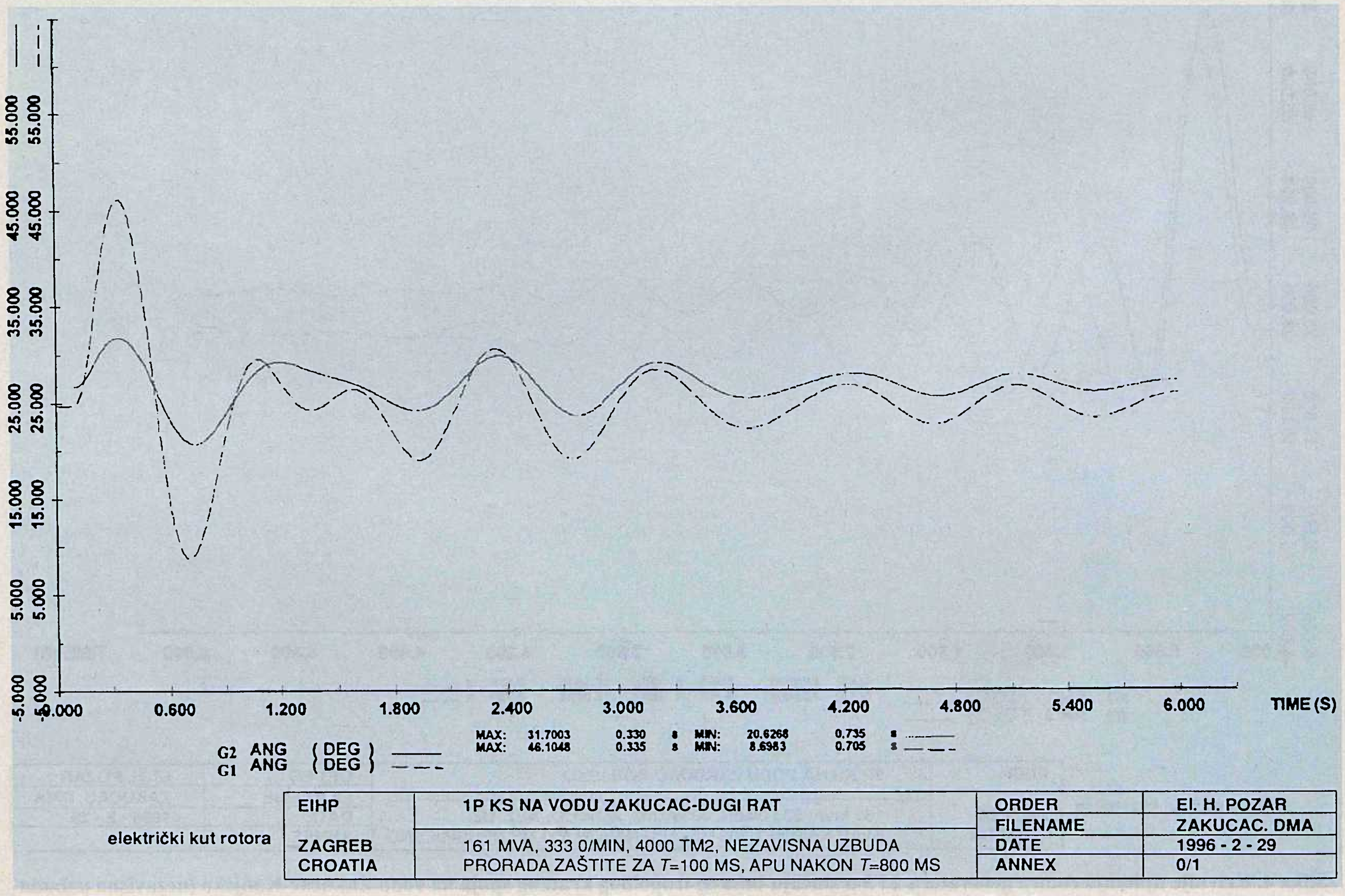
Bliske kvarove kraj HE Zakučac zaštita isključuje u 1. stupnju, što znači da je vrijeme prorade zaštite i djelovanja prekidača maksimalno 80-100 ms (4 do 5 perioda). Nakon djelovanja zaštite primjenjuje se brzi tropolni APU (automatsko ponovno uklapanje) i to u razmaku od 400 ms. Pri proračunima stabilnosti sustava pretpostavljeno je da u tom trenutku kvar još traje, tako da zaštita djeluje još jednom, kao i APU, nakon čega je kvar otklonjen.
Slike 4 i 5 prikazuju električne kutove njihanja rotora generatora 2 i 3 (priključeni na 220 kV sabirnice), u slučaju tropolnog kratkog spoja na vodu Zakučac-Konjsko u slučajevima primjene nezavisne uzbude i samouzbude na revitaliziranim generatorima. Pri tom je moment inercije agregata $GD^2 = 4000$ tm^2, a rektancija generatora u tranzijentnom periodu $X_d = 33\%$.
Vidljivo je da revitalizirani generatori s predloženim parametrima ostaju stabilni pri nastanku bliskih tropolnih kratkih spojeva isključenih u prvom stupnju i uz primjenu neuspjelog APU, a razlika između njihanja generatora uzbuđivanog nezavisnog uzbudom i generatora uzbuđivanog samouzbudom je vrlo mala, dok povećanja kutova opterećenja tijekom prijelaznih pojava ovisno o primjenjenom sustavu uzbude iznose oko 0.5^0 više kod primjene samouzbude.
Brzo automatsko ponovno uklapanje voda može djelovati nepovoljno po stabilnost elektroenergetskog sustava ukoliko kvar nije otklonjen prilikom ponovnog uklapanja voda, što je upravo bio slučaj tijekom simulacije kvara u proračunima. Da bismo odredili utjecaj APU-a na stabilnost sustava provjerili smo slučaj kada nastaje tropolni kratki spoj na vodu Zakučac-Konjsko, uz jednako vrijeme djelovanja zaštite od 100 ms kod prvog i drugog iskapčanja. Nakon drugog vod se trajno isklapa i došlo se je do zaključka da brzi APU povoljno djeluje na stabilnost sustava i obnovu stacionarnog stanja, iako u prvom pokušaju nije uspješan, budući da su maksimalna povećanja kutova opterećenja uz djelovanje APU i bez njega gotovo ista, ali je prigušenje njihanja rotora nešto bolje u slučaju primjene APU-a.



Slika 4. Krivulje njihanja rotora generatora 2 i 3 u slučaju bliskog tropolnog kratkog spoja na vodu Zakučac-Konjsko (nezavisna uzbuda na gen. 1 i 2)



Slika 5. Krivulje njihanja rotora generatora 2 i 3 u slučaju bliskog tropolnog kratkog spoja na vodu Zakučac-Konjsko (samouzbuda na gen. 1 i 2)



Slika 6. Krivulje njihanja rotora generatora 1 i 2 u slučaju bliskog jednopolnog kratkog spoja na vodu Zakučac-Dugi Rat (nezavisna uzbuda na gen. 1 i 2)

5. JEDNOPOLNI KRATKI SPOJEVI NA VODOVIMA UZ ISKLAPANJE KVARA DISTANTNOM ZAŠTITOM

Provjeren je utjecaj jednopolnih kratkih spojeva na vodovima u neposrednoj blizini sabirnica HE Zakučac. Razlika u odnosu na simulaciju kod tropolnih kratkih spojeva je u primjeni jednopolnog, u ovom slučaju uspješnog APU, čije je vrijeme djelovanja duže i iznosi 800 ms. Slika 6 pokazuje da je stabilnost sačuvana i u ovom slučaju. Razlike u ponašanju generatora uzbuđivanog sustavom nezavisne uzbude i generatora uzbuđivanog sustavom samouzbude i u ovom su slučaju zanemarive.

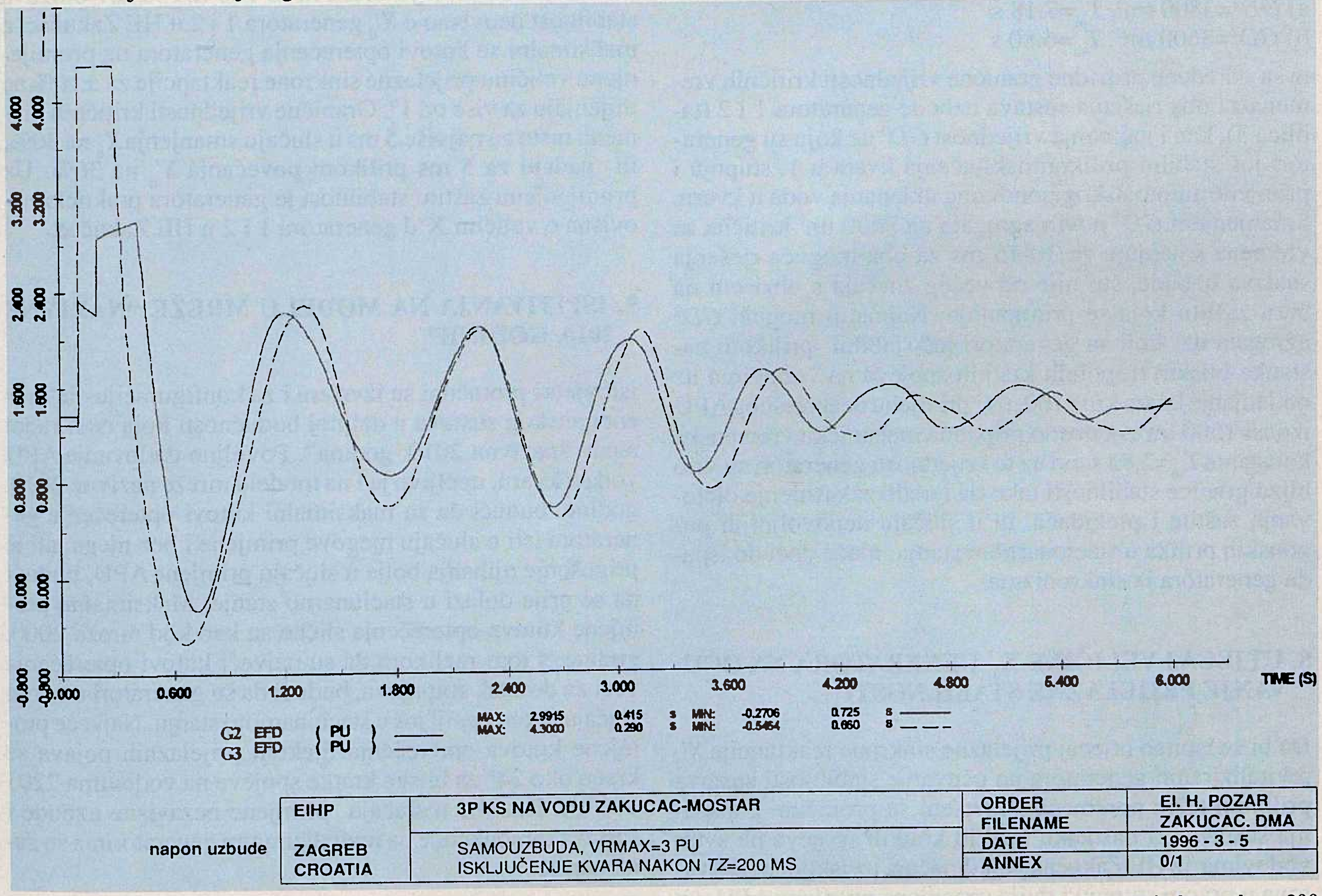
Tablica 2. Granične vrijednosti kritičnih vremena T_{kr} za bliske kratke spojeve na vodovima uz osnovne parametre revitaliziranih generatora (GD^2 = 4000 tm², X_d' = 33%)

Vod prema	T_{kr} (ms)			
	Tropolni kratki spojevi		Jednopolni kratki spojevi	
	nazivna uzbuda	samouzbuda	nezavisna uzbuda	samouzbuda
Mostar	265	260	315	310
Konjsko	265	260	310	310
Bilice	270	265	310	310
Dugi Rat	270	265	295	290
Kraljevac	270	265	295	290
Meterize	265	260	295	290

6. UTJECAJ PRIMIJENJENOG SUSTAVA UZBUDE GENERATORA 1 i 2 NA PRIJELAZNU STABILNOST EES-a

Da bi generator nastavio sinkroni rad na mreži nakon nastanka većih poremećaja nužno je održati postojanost magnetskog toka u rotoru forsiranjem uzbude. Radi toga su osnovni pokazatelji koji određuju ponašanje sustava uzbude tijekom prijelaznih pojava faktor stropnog napona i brzina odziva napona uzbude u forsiranju. Nakon ispitivanja prijelaznih pojava uzrokovanih nastankom tropolnih i jednopolnih kratkih spojeva vidljivo je da su razlike u krivuljama njihanja generatora uzbuđivanog sustavom nezavisne uzbude i generatora uzbuđivanog sustavom samouzbude vrlo male. Očito je da prijelazna sabilnost EES-a u ovim slučajevima nije ugrožena pa primijenjeni sustavi uzbude na revitaliziranim generatorima nemaju odlučujuću ulogu. To je vidljivo i iz graničnih vrijednosti kritičnih vremena (tablica 2) koje su u slučaju primjene sustava samouzbude na generatorima 1 i 2 svega 5 ms manje od onih koje se izračunaju s primijenjenim sustavima nezavisne uzbude.

S obzirom da je kod ispitivanja uzbudnih sustava kroz problem prijelazne stabilnosti kao referentan poslužio model uzbude na generatorima 3 i 4 kod kojega je vremenska konstanta impulsnog uređaja i regulatora napona vrlo mala (2 ms), i kao takva zadovoljava zahtjeve u vezi brzine odziva napona uzbude, provjerili smo ponašanje uzbudnog sustava pri povećanju vremenske konstante na standardnu vrijednost od 30 ms, koja se također pokazala zadovoljavajuća u svim proračunima prijelazne stabilnosti sustava, kako pri djelovanju postojeće zaštite, tako i kod dužih vremena isključenja kvara.



Slika 7 - Naponi uzbude generatora 2 i 3 u slučaju bliskog tropolnog kratkog spoja na voduZakučac-Mostar pri isključenju kvara kroz 200 ms, uz stropni napon uzbude EFD MAX=3 p.u. i sustav samouzbude na novim generatorima

U svim proračunima računato je sa stropnim naponima uzbude, kako kod nezavisne, tako i kod sustava samouzbude, jednakim $E_{FD\,MAX}$=4.3 p.u. (E_{FD}), gdje je 1 p. u. E_{FD} napon uzbude potreban za proizvodnju nazivnog napona generatora uz topli uzbudni namot. Daljnjim proračunima provjeren je utjecaj smanjenja stropnih napona uzbude na očuvanje stabilnosti generatora, te na granične vrijednosti kritičnih vremena. Pokazalo se da je kod stropnog napona $E_{FD\,MAX}$=3 p.u. (E_{FD}) taj utjecaj skoro nezamijetljiv, jer se granične vrijednosti kritičnih vremena ne mijenjaju, a pri djelovanju brze zaštite sustav ostaje stabilan uz mala povećanja u maksimalnim kutovima opterećenja generatora, pa iako se uz forsirne karakteristike po naponu uzbude jednakim 4.3 p.u. postiže jednakost statičkih i tranzijentnih karakteristika sustava uzbude svih generatora u HE Zakučac, moguće je primijeniti i manje stropne napone uzbude.

7. UTJECAJ VELIČINE GD² AGREGATA NA OČUVANJE PRIJELAZNE STABILNOSTI

Budući da je u osnovnoj varijanti revitaliziranih generatora (S_n=161 MVA, n=333 min^{-1}, X_d=33%), i GD^2=4000 tm² stupanj stabilnosti elektroenergetskog sustava zadovoljavajući, nameće se potreba ispitivanja utjecaja manjeg GD^2 na očuvanje stabilnosti generatora prilikom kvarova u okolini HE Zakučac.

Ispitivani su slučajevi bliskih tropolnih i jednopolnih kratkih spojeva na vodovima uz iskapčanje voda kroz 100 ms i primjene neuspješnog APU, za dvije manje vrijednosti GD^2:

a) GD^2=3800 tm², T_m=7.18 s
b) GD^2=3600 tm², T_m=6.80 s

te su određene pripadne granične vrijednosti kritičnih vremena za oba rješenja sustava uzbude generatora 1 i 2 (tablica 3), kao i najmanja vrijednost GD^2 uz koju su generatori još stabilni prilikom isključenja kvara u 1. stupnju i primjene automatskog ponovnog uklapanja voda u kvaru. Smanjenjem GD^2 novih agregata na 3600 tm² kritična se vremena smanjuju za 10-15 ms za oba moguća rješenja sustava uzbude, što nije od većeg značaja s obzirom na brzu zaštitu koja se primjenjuje. Najmanji mogući GD^2 agregata uz koji su generatori još stabilni prilikom nastanka bliskih tropolnih kratkih spojeva na vodovima uz otklanjanje kvara kroz 100 ms i primjenu neuspješnog APU iznosi 1500 tm², odnosno pripadna mehanička vremenska konstanta T_m=2.83 s, no uz te vrijednosti generatori su vrlo blizu granice stabilnosti tako da i malo zakašnjenje djelovanja zaštite i prekidača, ili u slučaju nepovoljnijih pogonskih prilika u stacionarnom stanju, može doći do ispada generatora iz sinkronizma.

8. UTJECAJ VELIČINE X_d' GENERATORA NA OČUVANJE PRIJELAZNE STABILNOSTI

Da bi se ispitao utjecaj prijelazne sinkrone reaktancije X'_d revitaliziranih generatora na očuvanje stabilnosti sustava prilikom težih poremećaja izvršeni su proračuni ponašanja sustava pri nastanku bliskih kratkih spojeva na svim vodovima iz HE Zakučac pojedinačno, uz isključenje kvarova u prvom stupnju i dvije uzastopne primjene APU, uz 10% više i niže vrijednosti osnovne veličine X_d'=33%, te su određene granične vrijednosti kritičnih vremena u tom slučaju.

Tablica 3. "Granične vrijednosti kritičnih vremena za bliske tropolne kratke spojeve na vodovima pri smanjenim GD^2 agregata 1 i 2

	T_{kr} (ms)			
	Nezavisna uzbuda		Samouzbuda	
Vod prema	GD^2=3800 tm²	GD^2=3600 tm²	GD^2=3800 tm²	GD^2=3600 tm²
Mostar	260	255	255	250
Konjsko	260	255	250	245
Bilice	265	255	255	250
Dugi Rat	265	255	255	250
Kraljevac	260	255	255	250
Meterize	260	250	255	250

Tablica 4. Granične vrijednosti kritičnih vremena u slučaju bliskih tropolnih kratkih spojeva na vodovima uz promijenjenu X_d' generatora 1 i 2

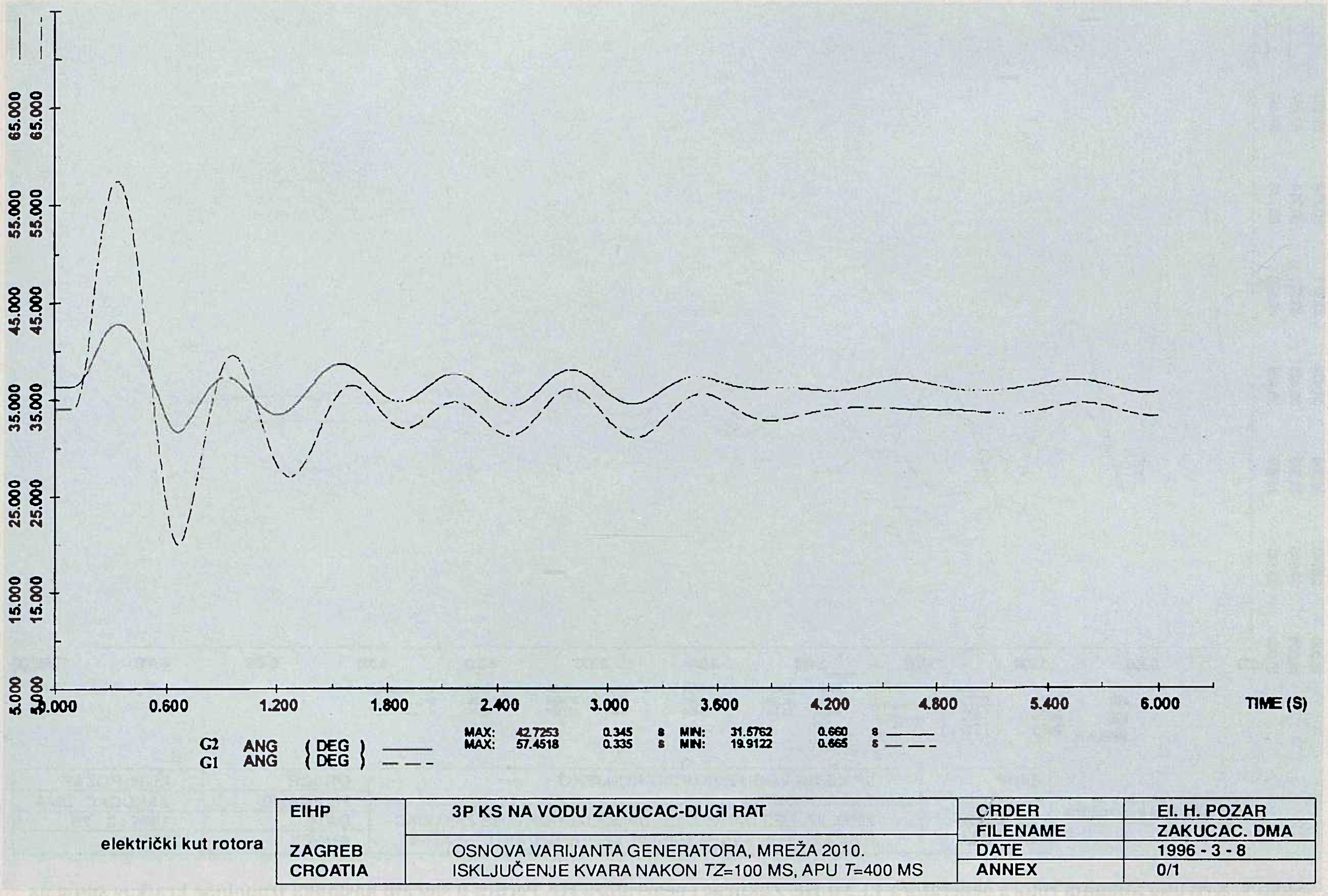
	T_{kr} (ms)			
	Nezavisna uzbuda		Samouzbuda	
Vod prema	X_d'=36%	X_d'=30%	X_d'=36%	X_d'=30%
Mostar	265	270	255	265
Konjsko	260	270	255	265
Bilice	270	275	265	270
Dugi Rat	265	275	260	270
Kraljevac	270	275	260	270
Meterize	265	275	260	270

U slučaju isključenja kvara kroz 100 ms sustav održava stabilnost neovisno o X'_d generatora 1 i 2 u HE Zakučac, a maksimalni se kutovi opterećenja generatora uz promijenjenu veličinu prijelazne sinkrone reaktancije za ±10% ne mijenjaju za više od 1°. Granične vrijednosti kritičnih vremena rastu za najviše 5 ms u slučaju smanjenja X_d na 30%, ili padaju za 5 ms prilikom povećanja X'_d na 36%. Uz primijenjenu zaštitu stabilnost je generatora praktički neovisna o veličini X'd generatora 1 i 2 u HE Zakučac.

9. ISPITIVANJA NA MODELU MREŽE "NAZIVNE 2010. GODINE"

Istovjetni proračuni su izvršeni i za konfiguraciju elektroenergetskog sustava u daljnoj budućnosti koja nosi radni naziv "nazivna 2010. godina". Povoljno djelovanje APU voda u kvaru, uočljivo je i na modelu mreže nazivne 2010. godine, budući da su maksimalni kutovi opterećenja generatora isti u slučaju njegove primjene i bez njega, ali je prigušenje njihanja bolje u slučaju primjene APU, budući da se prije dolazi u stacionarno stanje. Maksimalne promjene kutova opterećenja slične su kao kod mreže 2000. godine, s tom razlikom da su najveći kutovi opterećenja veći za desetak stupnjeva, budući da su generatori u ovom slučaju opterećeniji još u stacionarnom stanju. Najveće promjene kutova opterećenja tijekom prijelaznih pojava se kreću oko 24° za bliske kratke spojeve na vodovima 220 i 110 kV. Razlike u slučaju primjene nezavisne uzbude i sustava samouzbude na revitaliziranim generatorima su zanemarive.

Granične vrijednosti kritičnih vremena se značajnije ne mijenjaju, a generatori ostaju u sinkronizmu, ukoliko je



Slika 8. Krivulje njihanja rotora generatora 1 i 2 u slučaju bliskog tropolnog kratkog spoja na vodu Zakučac-Dugi Rat (nezavisna uzbuda na gen. 1 i 2, mreža 2010. god.)

kvar isključen kroz vrijeme od najduže 260 ms, kao i na mreži nazivne 2000. godine. I u ovom slučaju za gubitak stabilnosti generatora nepovoljniji su bliski tropolni kratki spojevi. S obzirom na zahtjeve elektroenergetskog sustava u svezi očuvanja stabilnosti kod težih kvarova, i za predviđenu mrežu 2010. godine predloženi GD^2=4000 tm^2 zadovoljava, a uz djelovanje brže zaštite koja isključuje kvar kroz najduže 100 ms, i GD^2 od 1500 tm^2 bi zadovoljavao budući da bi stabilnost generatora bila sačuvana, iako na samoj granici tako da bi svaki dodatni poremećaj uzrokovao ispad generatora iz sinkronizma. U slučaju konstrukcije agregata s GD^2 od 3800 tm^2, ili 3600 tm^2 oblik, kao i svi bitni pokazatelji prijelazne pojave ne bi se značajno promijenili.

Za prijelaznu reaktanciju X_d' također vrijede svi, na modelu mreže nazivne 2000. godine, izvedeni zaključci, a i uz minimalne stropne napone uzbude od 3 p.u., i kod nezavisne, i kod samouzbude, generatori uz djelovanje zaštite u prvom stupnju održavaju sinkronizam kod bliskih tropolnih i jednopolnih kratkih spojeva. Na modelu mreže 2010. godine provjeren je utjecaj i ostalih parametara (X_d, X_q, X_d'', X_q'', T_d', T_d'', T_q'') na ponašanje generatora tijekom prijelaznih stanja, tako da su proračuni stabilnosti izvršeni sa 10% većim i manjim vrijednostima, posebno za svaku veličinu. Utjecaj svih tih parametara je zanemariv, a jedino promjenom početne sinkrone reaktancije u *d*-osi X_d'' dobivamo 5 ms duže (X_d''=18%) ili kraće (X_d''=22%) granične vrijednosti kritičnih vremena.

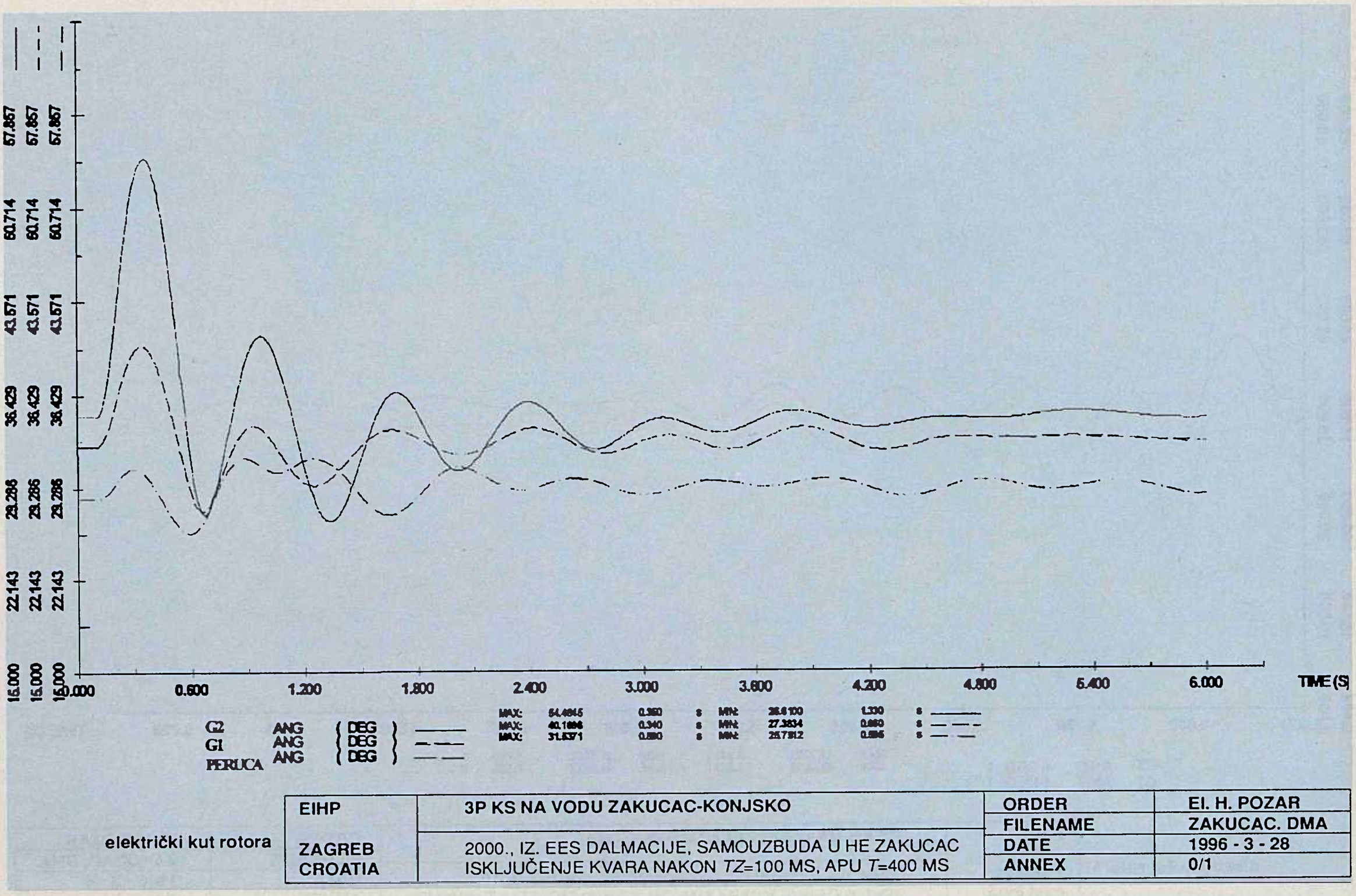
Budući da u pogledu očuvanja prijelazne stabilnosti generatora, kao i elektroenergetskog sustava, svi bitni parametri revitaliziranih agregata u HE Zakučac zadovoljavaju, provjerili smo slučaj nastanka bliskog tropolnog kratkog spoja na vodu Zakučac-Mostar uz vrijeme isključenja kvara kroz 100 ms, s tim da smo sve bitne parametre generatora 1 i 2 promijenili u odnosu na početne, u pogledu utjecaja

Tablica 5. Granične vrijednosti kritičnih vremena za bliske tropolne kratke spojeve na vodovima, mreža 2010.

Vod prema	T_{kr}(ms)					
	Nesavisna uzbuda			Samouzbuda		
	GD^2=4000	GD^2=3800 tm^2	GD^2=3600	GD^2=4000	GD^2=3800 tm^2	GD^2=3600
Mostar	270	265	255	265	255	250
Konjsko	270	260	255	265	255	250
Bilice	270	265	255	265	260	250
Dugi rat	265	260	250	260	255	250
Kraljevac	270	260	250	265	255	250
Meterize	265	260	250	265	255	250

Tablica 6. Granične vrijednosti kritičnih vremena u slučaju bliskih tropolnih kratkih spojeva na vodovima ovisno o Xd' revitaliziranih generatora, mreža 2010.

Vod prema	T_{kr} (ms)			
	Nezavisna uzbuda		Samouzbuda	
	X_d=36%	X_d=30%	X_d=36%	X_d=30%
Konjsko	265	275	260	270
Dugi Rat	260	270	255	265



Slika 9. Krivulje njihanja rotora generatora 1 i 2 u HE Zakučac i generatora HE Peruča u slučaju nastanka tropolnog kratkog spoja na vodu Zakučac-Konjsko, u otočnom radu EES-a Dalmacije naz. 2000. g. (samouzbuda generatora 1 i 2 u HE Zakučac)

na prijelaznu stabilnost u nepovoljnijem smislu, tako da smo računali s GD^2 = 3000 tm^2, X_d=40%, i $E_{FD\ MAX}$=3 p.u.(E_{FD}), pri čemu su i u ovom slučaju svi generatori ostali stabilni, no uz veće kutove opterećenja i različite forsirne karakteristike generatora na 220 kV, i generatora na 110 kV sabirnicama.

10. ISPITIVANJA NA MODELU EES DALMACIJE U OTOČNOM RADU

Da bismo provjerili ponašanje agregata HE Zakučac tijekom prijelaznih stanja uzrokovanih velikim poremećajima u mreži i odredili najpovoljnija rješenja parametara revitaliziranih agregata i sustava uzbude generatora u slučaju otočnog rada unutar EES-a Dalmacije, izvršili smo proračune stabilnosti elektroenergetskog sustava Dalmacije pri nastanku tropolnih kratkih spojeva u neposrednoj blizini HE Zakučac na vodovima: Zakučac-Konjsko, Zakučac-Kraljevac i Zakučac-Meterize. Analizirana je prijelazna stabilnost sustava nazivne 2000. i 2010. godine uz različite vrijednosti parametara revitaliziranih agregata u HE Zakučac, kod njihove maksimalne proizvodnje i pri vršnom opterećenju u Dalmaciji.

Analiza stabilnosti elektroenergetskog sustava Dalmacije 2000. godine odnosi se na pogonsko stanje prije poremećaja karakterizirano vršnim opterećenjem P_{MAX}=631 MW, i ukupnom proizvodnjom u HE Zakučac od P_g=350 MW. I u otočnom radu na elektroenergetski sustav Dalmacije generatori HE Zakučac ostaju u sinkronizmu prilikom nastanka njima bliskih tropolnih kratkih spojeva na vodovima, bez obzira na primijenjeni sustav uzbude revitaliziranih generatora. Razmatrane veličine potrebnog GD^2 agregata u HE Zakučac (3600-4000 tm^2) i u ovom slučaju zadovoljavaju potrebe u svezi očuvanja prijelazne stabilnosti izoliranog EES-a Dalmacije. Najmanja veličina GD^2 revitaliziranih agregata uz koje generatori ostaju u sinkronizmu uz isključenje kvara u 1. stupnju, ne mijenja se u odnosu na pogon cijelovitog elektroenergetskog sustava Hrvatske, a iznosi 1500 tm^2.

Tablica 7 - Proizvodnja HE Zakučac te prijenos vodovima u otočnom radu nazivne 2000. i 2010. godine.

	Mreža 2000.			Mreža 2010.	
HE Zakučac	agregat	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)
	1	140	40,8	145	68,5
	2	140	27,1	145	59,5
	3	35	19,7	135	57,9
	4	35	34,5	135	69,1
prijenos prema	r.broj				
TS Bilice	1	50,7	1,4	51,6	0,8
TS Konjsko	1	104,3	18,9	107,2	2
	2	-	-	94,3	1,3
TS D. Rat	1	25,3	4,8	50,8	-1,4
	2	27,5	9,6	57	6,9
TS Kraljevac	1	-1,3	11,3	0,2	12,8
	2	-1,3	11,3	0,2	12,8
TS Meterize	1	48	10,1	64,1	46,2
	2	48	10,1	64,1	46,2
	3	48,5	3	69,5	36,1

Tablica 8. Granične vrijednosti kritičnih vremena (ms) za bliske tropolne kratke spojeve na vodovima iz HE Zakučac u izoliranom pogonu ees-a Dalmacije 2000. godine

	T_{kr} (ms)			
	Nezavisna uzbuda		Samouzbuda	
Vod prema	GD^2=4000 tm^2	GD^2=3600 tm^2	GD^2=4000 tm^2	GD^2=3600 tm^2
Konjsko	295	275	290	270
Bilice	300	280	295	275
Dugi Rat	310	290	305	285
Kraljevac	310	290	305	285
Meterize	310	290	305	285

Tablica 9. Granične vrijednosti kritičnih vremena (ms) za bliske tropolne kratke spojeve na vodovima iz HE Zakučac u izoliranom pogonu ees-a Dalmacije 2010. godine

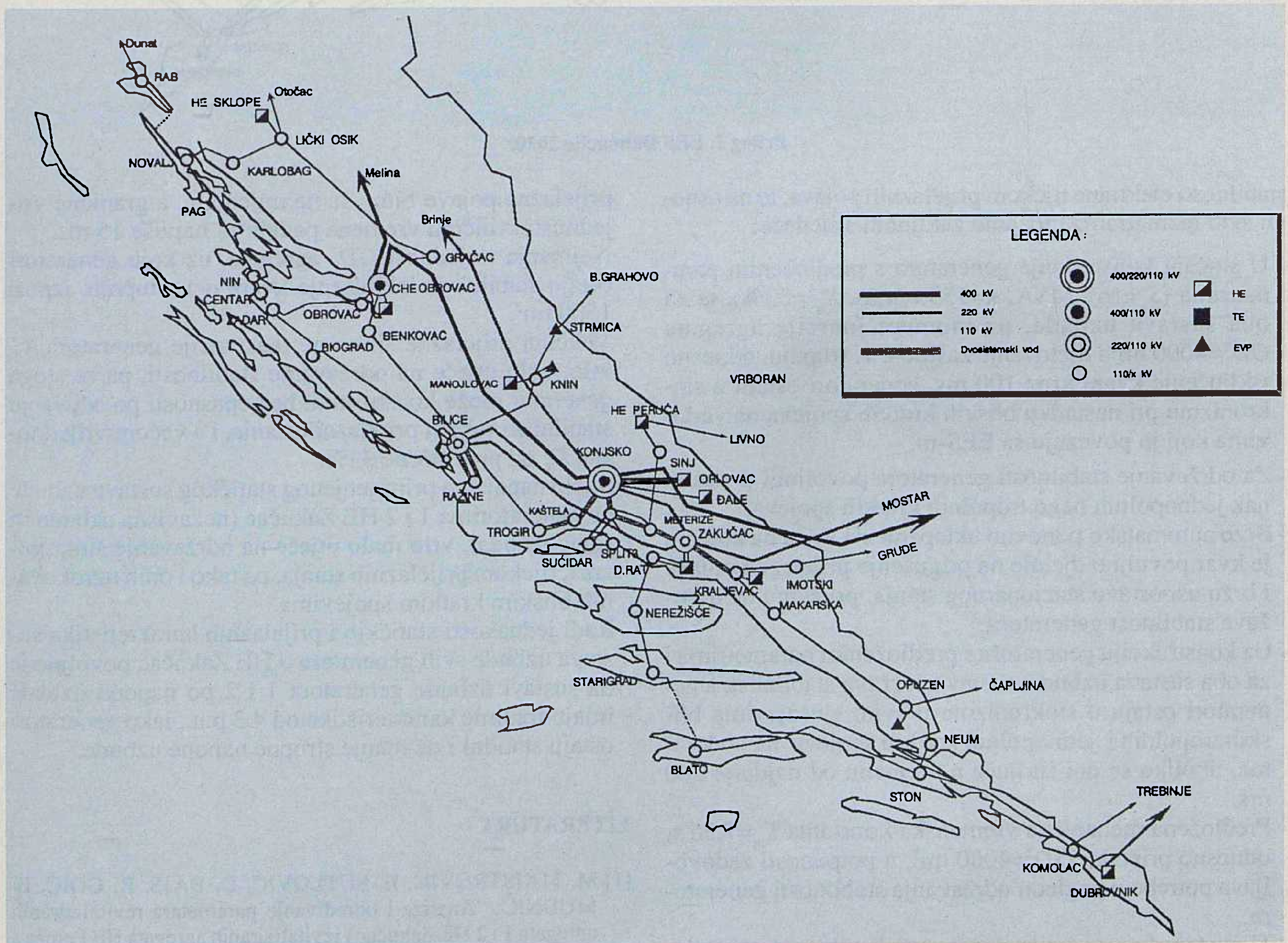
	T_{kr} (ms)			
	Nezavisna uzbuda		Samouzbuda	
Vod prema	GD^2=4000 tm^2	GD^2=3600 tm^2	GD^2=4000 tm^2	GD^2=3600 tm^2
Konjsko	275	260	270	255
Bilice	280	265	275	260
Dugi Rat	285	270	280	265
Kraljevac	285	270	280	265
Meterize	285	270	280	265

Radi zadovoljenja vršnog opterećenja od P_{MAX}=987 MW u otočnom radu na EES Dalmacije "nazivne 2010. godine" angažirana je snaga HE Zakučac od 550 MW. Ispitivanja pokazuju da je prijelazna stabilnost izoliranoga elektroenergetskog sustava Dalmacije 2010. godine u slučaju nastanka bliskih tropolnih kratkih spojeva uz isključenje kvara u 1. stupnju očuvana, bez obzira na primijenjene sustave uzbude generatora 1 i 2. Prije razmatrane veličine GD^2 revitaliziranih agregata zadovoljavaju i u ovom slučaju.

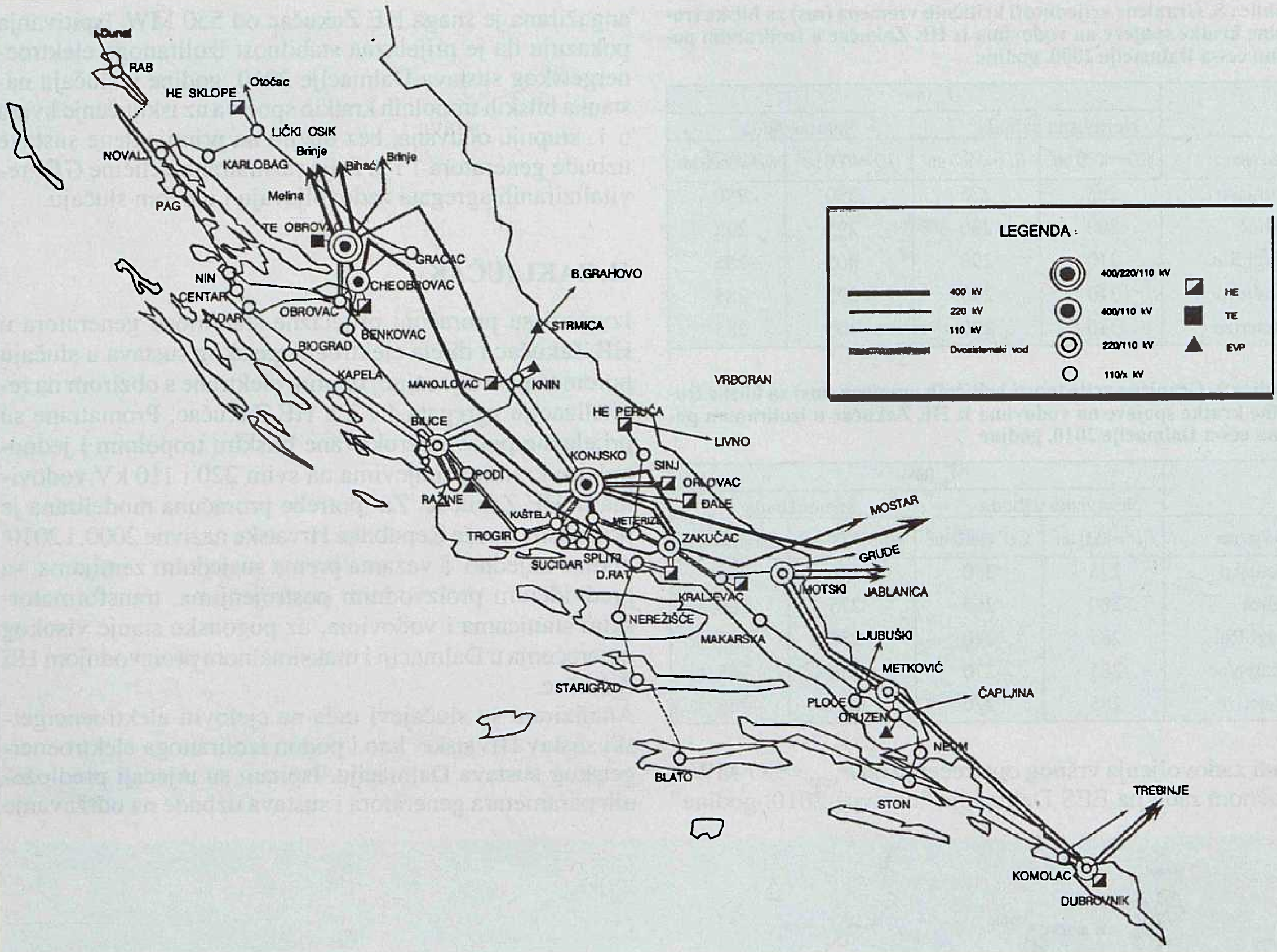
11. ZAKLJUČAK

Izvršeni su proračuni prijelazne stabilnosti generatora u HE Zakučac i dijela elektroenergetskog sustava u slučaju poremećaja u utjecajnoj okolini elektrane s obzirom na revitalizaciju agregata 1 i 2 u HE Zakučac. Promatrane su prijelazne pojave uzrokovane bliskim tropolnim i jednopolnim kratkim spojevima na svim 220 i 110 kV vodovima iz HE Zakučac. Za potrebe proračuna modelirana je prijenosna mreža Republike Hrvatske nazivne 2000. i 2010. godine zajedno s vezama prema susjednim zemljama, sa predviđenim proizvodnim postrojenjima, transformatorskim stanicama i vodovima, uz pogonsko stanje visokog opterećenja u Dalmaciji i maksimalnom proizvodnjom HE Zakučac.

Analizirani su slučajevi rada na cjeloviti elektroenergetski sustav Hrvatske, kao i pogon izoliranoga elektroenergetskog sustava Dalmacije. Ispitani su utjecaji predloženih parametara generatora i sustava uzbude na održavanje



Prilog 1. EES Dalmacije 2000.



Prilog 2. EES Dalmacije 2010.

stabilnosti elektrane tijekom prijelaznih pojava, te na osnovu svih razmatranja možemo zaključiti slijedeće:

- U slučaju konstrukcije generatora s predloženim parametrima (S_n=161 MVA, n=333 o/min, X_d'=33%), te za oba sustava uzbude, uz moment inercije agregata GD^2=4000 tm^2 i djelovanje zaštite u 1. stupnju, odnosno isključenje kvara kroz 100 ms, generatori ostaju u sinkronizmu pri nastanku bliskih kratkih spojeva na vodovima koji ju povezuju sa EES-m.
- Za održavanje stabilnosti generatora povoljniji je nastanak jednopolnih nego tropolnih kratkih spojeva.
- Brzo automatsko ponovno uklapanje na vodu na kojemu je kvar povoljno djeluje na prigušenje prijelazne pojave i bržu uspostavu stacionarnog stanja, pri čemu ne ugrožava stabilnost generatora.
- Uz konstrukciju generatora s predloženim parametrima i za oba sustava uzbude, sustav zadržava stabilnost, a generatori ostaju u sinkronizmu u svim slučajevima bliskih tropolnih i jednopolnih kratkih spojeva na vodovima, ukoliko se oni isključe u vremenu od najdulje 260 ms.
- Predložena mehanička vremenska konstanta T_m=7.56 s, odnosno pripadni GD^2=4000 tm^2, u potpunosti zadovoljava potrebe u pogledu održavanja stabilnosti generatora.
- U slučaju konstrukcije generatora i turbine s ukupnim GD^2 od 3800 ili 3600 tm^2, oblik, kao i svi pokazatelji prijelazne pojave bitno se ne mijenjaju, a granične vrijednosti kritičnih vremena padaju za najviše 15 ms.
- Najmanja vrijednost GD^2 agregata, uz koju generatori ostaju stabilni uz isključenje kvara u 1. stupnju, iznosi 1500 tm^2.
- Veličina prijelazne sinkrone reaktancije generatora X_d' vrlo malo utječe na održavanje stabilnosti, pa se stoga generator može konstruirati, bez opasnosti po očuvanje stabilnosti tokom prijelaznih stanja, i s većom vrijednošću X_d' od predložene 33%.
- Način napajanja primijenjenog statičkog sustava uzbude na generatorima 1 i 2 HE Zakučac (nezavisna uzbuda ili samouzbuda), vrlo malo utječe na održavanje sinkronizma, tijekom prijelaznih stanja, pa tako i onih uzrokovanih bliskim kratkim spojevima.
- Radi jednakosti statičkih i prijelaznih karakteristika sustava uzbude svih generatora u HE Zakučac povoljno je da sustavi uzbude generatora 1 i 2 po naponu uzbude imaju forsirne karakteristike od 4.3 p.u., iako generatori ostaju stabilni i uz manje stropne napone uzbude.

LITERATURA

[1] M. MAJSTROVIĆ, E. SUTLOVIĆ, D. BAJS, R. GOIĆ, E. MUDNIĆ: "Analiza i određivanje parametara revitaliziranih agregata 1 i 2 HE Zakučac i revitaliziranih agregata HE Peruča s obzirom na zahtjeve elektroenergetskog sustava", EI "Hrvoje Požar", Zagreb, lipanj 1996.

[2] TOKSwin, Fractal Split, 1995.
[3] POSCOBAL, ABB High Voltage Technologies, Zurich/Switzerland, 1995.
[4] "Idejni projekt revitalizacije sinkronih generatora, sustava uzbude, blok transformatora i vn kabela u hidroelektrani Zakučac", Končar Institut za elektrotehniku, Zagreb, travanj 1995.
[5] P. KUNDUR: "Power system stability and control", Mc Graw - Hill, 1994.
[6] "Turbine governor, FRVA - TEchnical Description, CONTROL PRINCIPLES"
[7] "Izvještaj o ispitivanju turbinskog regulatora ASEA agregata III" iz 1979., Institut za turbinske strojeve i Litostroj, Ljubljana
[8] "Izvještaj o izvršenim mjerenjima karakteristika turbinske regulacije agregata 1 i 2 na He Zakučac" iz 1990., Institut za turbinske strojeve i Litostroj, Ljubljana
[9] Excitation system and voltage regulators for synchronous machines - Reference list, Končar Inem, Zagreb

THE INFLUENCE OF HPP ZAKUČAC RECONSTRUCTED UNITS 1 AND 2 PARAMETERS ON ELECTRIC POWER SYSTEM TRANSIENT STABILITY

The influence of certain parameters of HPP Zakučac reconstructed units 1 and 2, as well as of applied excite system, on the transient stability of the electric power system under different operation circumstances is tested. Based on simulation results of transient states caused by three-phase and phase-to-phase near faults for different values of influence parameters of reconstructed units, swing curves are drown and boundary values of critical times are calculated.

EINFLUSS DER KENNGRÖSSEN ERNEUERTER GENERATORENSÄTZE 1 UND 2 DES WASSERKRAFWERRKES "ZAKUČAC" AUF DIE ÜBERGANGSSTABILITÄT DES ELEKTROENERGETISCHEN SYSTEMS

Geprüft wurde der nach der Erneuerung zu erwatende Einfluß einzelner Kenngrössen der Generatorensätze 1 und 2 des Wasserkrafwerkes "Zakučac" auf die Übergangsstabilität des elektroenergetischen Systems in verschiedenen Arbeitsverhältnissen. Auf Grund der Nachahmung der Arbeit des Systems während der - durch dreipolige und einpolige Kurzschlüsse in der Nähe erneuerter Generatoren - hervorursachten Übergangszustände für verschiedene Kenngrössen von Einfluss, sind Schwingungskurven gezeichnet und Grenzwerte kritischer Zeiten durchgerechnet worden.

Naslov pisaca:

Dr. sc. Matislav Majstrović, dipl. ing.
Mr. sc. Ranko Goić, dipl. ing.
Mr. sc. Elis Sutlović, dipl. ing.
Eugen Mudnić, dipl. ing.
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje
Ruđera Boškovića bb.
21000 Split, Hrvatska

Davor Bajs, dipl. ing.
Energetski institut "Hrvoje Požar",
Ulica grada Vukovara 37,
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1997-02. 14.

HRVATSKO ENERGETSKO DRUŠTVO

ZAKLADA "HRVOJE POŽAR"

Glavni odbor Zaklade "Hrvoje Požar" objavljuje odluke o dobitnicima nagrade "Hrvoje Požar" za 1997. godinu

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

A) za stručni i znanstveni doprinos razvitku energetike:
1. **Prof. dr. sc. Marija i Karlo Ožegović**
   Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split
2. **Prof. dr. sc. Zijad Haznadar**
   Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb
3. **Prof. dr. sc. Rajka Budin**
   Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb

B) za realizirani projekt racionalnog gospodarenja energijom:
"PLIVA" d.d. – Održavanje i energetika, Zagreb

C) za unapređenje kvalitete okoliša, vezano uz energetske objekte:
Mr. Vladimir Jelavić, "EKONERG", Zagreb

D) za popularizaciju energetike:
Paško Melvan, dipl. inž., SEH – Savez energetičara Hrvatske, Zagreb

E) za izvrstan uspjeh u studiju energetskog usmjerenja:
1. **Monika Valjak,** Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb
2. **Goran Majstrović,** Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje, Split
3. **Nikola Vištica,** Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb

F) za izvrstan uspjeh u studiju i posebno zapažen diplomski rad iz područja energetike:
1. **Miljenko Brezovec, dipl. inž.,** Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb
2. **Mario Perić, dipl. inž.,** Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb
3. **Damir Šljivac,** Elektrotehnički fakultet, Osijek
4. **Zlatko Zmijarević, dipl. inž.,** Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb

G) stipendije za stručni dio studija:
1. **Dražen Jakšić,** Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb
2. **Boris Sučić**, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb
3. **Damir Škugor**, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb

Nagrade su se dodijelile 3. srpnja 1997. g. u Hrvatskoj akademiji znanosti i umjetnosti, Zagreb.

TERMOELEKTRANE I INDUSTRIJSKA EKOLOGIJA

Mr. sc. Vladimir Potočnik, Zagreb

UDK 621.311.22:577.4
PREGLEDNI ČLANAK

Primjena načela industrijske ekologije u termoelektranama pridonosi stvaranju atmosfere prijateljskog okruženja za termoelektrane. Uzajamnim korištenjem otpadnih tvari i energije između termoelektrana i obližnjih industrijskih objekata i naselja mogu se postići znatne gospodarske i ekološke dobrobiti.

Ključne riječi: TE, industrijska ekologija, otpadne tvari, lokacije TE, integrirano upravljanje okolišem, otpadna toplina.

UVOD

Dobivanje lokacije za novu termoelektranu postalo je složen problem u demokratskim društvima s rastućom ekološkom svijesti. Tome su pridonijela negativna iskustva iz rada pojedinih termoelektrana, koje nisu uspjele stvoriti prijateljsko okruženje i pozitivnu sliku u javnosti zbog problema zaštite okoliša i zdravlja, kao i zbog nedovoljnog uvažavanja interesa lokalnog stanovništva.
Moguće rješenje problema lociranja novih termoelektrana leži u primjeni načela industrijske ekologije, čiji je cilj stvaranje prijateljskog okruženja za termoelektrane.
Industrijska ekologija je skup projektnih i pogonskih načela po uzoru na prirodu, u kojoj se veze između organizama brinu da su sirovine i otpad jedno te isto. Slično tome, industrijski proces se ne smije razmatrati u vacuumu, nego u odnosu na druge procese, koji se mogu međusobno napajati i pomagati, naročito u smislu recikliranja materijala, koji inače onečišćuju okoliš ili se moraju odbrinjavati.
Industrijska ekologija je i prirodni odziv na izvjesna politička i gospodarska stanja; npr. manja raspoloživost nekog resursa zbog bilo kojih razloga zahtijeva njegovo pametnije korištenje.
Industrijska ekologija nije ništa novo, jer je već sadržana u održivom razvoju, integriranom upravljanju okolišom i sl. Novost predstavlja sklop organizacijskih načela za povezivanje svih strana da raspravljaju o unapređenju na zajedničkoj osnovi.

MOGUĆNOST PRIMJENE NAČELA INDUSTRIJSKE EKOLOGIJE U TERMOELEKTRANAMA

Za proizvodnju električne energije termoelektrane troše gorivo, zrak, vodu za hlađenje i pogon, različite kemikalije, maziva ulja, tehničke plinove i brojne druge sirovine, a suproizvode otpadnu toplinu (dim, voda) i niz otpadnih tvari kao što su dimni plinovi s nizom onečišćenja (CO2 itd.), pepeo, šljaka i gips, muljevi otpadnih voda, stara ulja itd.
Tablica 1. pokazuje primjer TE 700 MW na kameni ugljen godišnje proizvodnje električne energije oko 4TWh (kao NE Krško) s navedenim glavnim sirovinama i nusproizvodima.

Tablica 1. Glavne sirovine i nusproizvodi od godišnjeg rada TE 700 MW na kameni ugljen

Sirovine		Nusproizvodi	
Ugljen	1 330 000 t	Pepeo, šljaka, gips	250 000 t
Zrak	9 000 000 000 m³	Dim	26 000 000 000 m³
		CO_2 u dimu	3 200 000 t
Voda	540 000 000 m³	Zagrijana voda	540 000 000 m³
		Otpadna toplina - voda	4 TWh
		- dim	2TWh

Kroz takvu jednu TE s protočnim hlađenjem godišnje prođe vode otprilike koliko sadrži akumulacijsko jezero Peruča (najveće u Hrvatskoj) i zagrije se za oko 8°C, odnosno otpadne topline u iznosu od oko 350 000 tona ekvivalent nafte, što odgovara približno 7% potrošnje nafte u Hrvatskoj. Kod nuklearne elektrane slične snage otpadna toplina s rashladnom vodom je otprilike dvostruko veća.
Brojne su mogućnosti primjene načela industrijske ekologije u termoelektranama[1]:

a) korištenje otpadne topline TE izravno iz zagrijane vode za hlađenje u poljoprivredi, ribogojstvu i sl., ili neizravno modifikacijom ciklusa TE u kogeneraciju (TE-TO) za toplinske potrebe obližnjih gradova i industrije, desalinaciju morske vode i sl.
b) korištenje pročišćenih gradskih i industrijskih voda za potrebe TE (primjer jedne TE u Australiji itd.)
c) korištenje pepela iz TE na ugljen u građevinarstvu (cestogradnje, cementna industrija, tvornice panel ploča itd.)
d) korištenje otpadnih kemikalija za odsumporavanje dimnih plinova
e) suizgaranje komunalnog i industrijskog otpada s osnovnim gorivom u TE
f) TE na otpad sa separacijom otpada, itd.

Od svih fosilnih goriva ugljen je najrazličitije i najheterogenije gorivo za termoelektrane koje pruža najviše mo-

gućnosti za proizvodnju uporabivih nusproizvoda. Slično rafineriji nafte, govori se o "rafineriji" ugljena.
Potisnuti konkurencijom visoko efikasnih kombi TE na prirodni plin i opasnošću gubitaka tržišta, proizvođači ugljena ulažu velike napore u razvitak čistijih tehnologija proizvodnje električne energije iz ugljena (rasplinjavanje ugljena i korištenje plina u kombi TE itd.) uz korištenje nusproizvoda.

PRIMJER EKOINDUSTRIJSKOG PARKA IZ DANSKE

Možda najočitija manifestacija načela industrijske ekologije je tzv. ekoindustrijski park. Jedan od najboljih primjera komercijalnog ekoindustrijskog parka je TE-TO Asnaes u Danskoj, snage 1500 MW na ugljen, koja dobavlja paru za grad Kalundborg, obližnju rafineriju nafte i farmaceutski kompleks [1]. Otpadna toplina se koristi za grijanje ribnjaka, u kojem se ubrzano uzgaja riba za prehranu.
Gips iz uređaja za odsumporavanje dimnih plinova koristi se u lokalnoj tvornici panel ploča. Pepeo i klinker prodaju se građevinskoj industriji za potrebe cestogradnje i cementara.
Rafinerijski plin se spaljuje u kotlovima TE-TO zamjenjujući 30 000 tona ugljena godišnje. Iz rafinerije dolazi i rashladna voda, koja se priprema i koristi kao napojna voda kotlova. Otpadne vode iz rafinerije koriste se za čišćenje opreme u TE-TO. Ostale otpadne tvari se recikliraju u drugim industrijskim pogonima u gradu.
Ekoindustrijski park u Kalundborgu nije neki grandiozan plan, iniciran od vladine birokracije, nego se razvijao malo pomalo tijekom 25 godina. Danska upravna struktura je samo stimulirala konstruktivno pregovaranje industrijskih menadžera na bliskim lokacijama da se zajednički usmjere prema načelima profitabilnsoti i zaštite okoliša.
Dio uspjeha ekoindustrijskog parka Kalundborg leži u koncentraciji razvnovrsnih industrija u blizini TE-TO Asnaes, čime su transportni putevi proizvoda i odgovarajući troškovi svedeni na razumnu mjeru.
Zanimljivo je napomenuti da nove TE u Danskoj ne mogu dobiti lokacijsku dozvolu ukoliko nisu TE-TO, odnosno ukoliko ne koriste otpadnu toplinu.

TERMOELEKTRANE U HRVATSKOJ

Danas u Hrvatskoj radi 7 termoelektrana Hrvatske elektroprivrede (HEP) s 15 blokova ukupno instalirane snage 1278 MWe, od čega su 3 TE-TO snage 287 MWe/770 MWt (2 u Zagrebu i 1 u Osijeku) i 4 kondenzacijske TE (Sisak, Rijeka, Plomin i kombi TE Jertovec). Sve rade na plinovita i tekuća goriva, osim TE Plomin 1 na kameni ugljen (tablica 2).

Tablica 2. Osnovni podaci postojećih termoelektrana u Hrvatskoj

Vrsta	Instalirana snaga (MWe/MWt)	Proizvodnja el. en. '95 (TWh)	Korištenje snage '95 (h/a)
TE	991/0	2,11	2130 (24%)
TE-TO	287/770	0,86	3000 (34%)
Ukupno	1178/770	2,97	3320 (27%)

MWe - električna snaga
MWt - toplinska snaga

Od načela industrijske ekologije u postojećim TE koristi se u zapaženom iznosu otpadna toplina u TE-TO (kogeneracija) i u vrlo skromnom iznosu suizgaranje otpada u nekim TE (npr. rafinerijski plin u TE Rijeka, otpadna ulja u TE-TO Zagreb itd.). Ostale mogućnosti industrijske ekologije nisu iskorištene, što je djelomično razumljivo s obzirom na pretežiti udio plinovitih i tekućih goriva i relativno malo korištenje termoelektrana u odnosu npr. na NE Krško (preko 6000 h/a).

U **gradnji** su tri bloka ukupne snage 262 MWh i to TE Plomin 2 snage 210 MWe na kameni ugljen i 2 plinskoturbinska bloka snage po 26 MWe/50 MWt u EL-TO Zagreb (preseljenje iz PTE Dujmovača Split s dodatkom kotlova na otpadnu toplinu). Time bi se do 1999. instalirana snaga u 7 postojećih termoelektrana HEP povećala na 1540 MWe/870 MWt u 18 blokova. U sklopu nastavka gradnje i revitalizacije TE Plomin s ciljem da se postigne prijateljsko okruženje, HEP je predložio lokalnoj zajednici program razvitka pratećih djelatnosti [2], zasnovanih na načelima industrijske ekologije (korištenje otpadne topline rashladne vode i krutih ostataka izgaranja i odsumporavanja dimnih plivona - pepeo, šljaka i gips itd.). Predloženo je 20 projekta, koji bi se zajedničkim ulaganjem HEP-a i lokalne zajednice od oko 100 MDEM trebali ostvariti tijekom 5 godina i zaposliti preko 1000 ljudi. Ti projekti bi trebali potaknuti razvitak poljoprivrede, akvakulture, infrastrukture, prometa itd. Ukoliko se ostvari taj program, to bi predstavljalo dobar primjer kako za postojeće tako i za nove termoelektrane u Hrvatskoj.

Od **novih** blokova termoelektrane HEP razmatra gradnju većeg broja jedinica ukupne snage oko 2000 MWe/220 MWt, od čega približno pola na kameni ugljen i pola na prirodni plin [3]. U sličnom omjeru snaga novi blokovi raspoređeni su na postojeće i nove lokacije termoelektrana. Tablica 3 pokazuje osnovne podatke postojećih i projektiranih termoelektrana u Hrvatskoj.

Tablica 3. Postojeće i projektirane TE u Hrvatskoj

TE	Broj blokova	Instalirana snaga		MWt MWe
		MWe	MWt	
U pogonu 3.97	15	1278	770	0,6
U gradnji	3	262	100	0,38
U pogonu 1999	18	1540	870	0,57
Projekti	9	2030	220	0,11

Vidljivo je da se korištenje otpadne topline (kogeneracija) drastično smanjuje kod projektiranih TE u odnosu na postojeće, premda i kod njih nisu iskorištene sve mogućnosti korištenja otpadne topline (naročito u TE Sisak i TE Rijeka).

Mogućnosti primjene industrijske ekologije u planiranju TE trebale bi biti predmet daljnjih istraživanja i inicijativa. U sklopu toga HEP je pokrenuo inicijativu da se istraže mogućnosti kogeneracije u svim većim urbanim sredinama u Hrvatskoj.

Posebnu pozornost zaslužuje TE i TE-TO na otpad, s jedne strane s obzirom na njihovu proširenost u gradovima razvijenog svijeta [4], a s druge strane s obzirom na loše stanje zbrinjavanja otpada u Hrvatskoj.

ZAPREKE ŠIROJ PRIMJENI INDUSTRIJSKE EKOLOGIJE

Države u razvoju s brzim gospodarskim rastom mogu dosta profitirati od primjene načela industrijske ekologije, jer sve raste (industrija, infrastruktura, stanovništvo itd.), a različiti procesi mogu se međusobno održivije napajati. Međutim, te države često razvijaju se tako brzo da planeri ne mogu zadržavati taj rast u granicama cjelovitijeg pristupa.
Postoje i druge zapreke primjeni industrijske ekologije u termoelektranama kao npr.:

- slaba informiranost potencijalnih korisnika o mogućnostima primjene industrijske ekologije
- cijene otpadnih materijala ponekad ne mogu konkurirati prirodnim materijalima zbog uhodanih proizvodnji, transportnih troškova i sl.
- neusklađenost zakonske regulative u zaštiti okoliša, koja npr. kod TE na ugljen propisuje oštra ograničenja emisija u zrak, što izaziva povećanje količina krutog otpada, za čije zbrinjavanje vrijede mnogo blaži propisi,
- politika poreza i subvencija favorizira postojeće industrijske strukture, koje u pravilu ne snose vanjske troškove oštećenja okoliša (eksternalije).

Ekonomičnost bilo kojeg procesa mijenja se monetarizacijom vanjskih troškova proizvodnje, odnosno troškova oštećenja okoliša i zdravlja.
Da bi se svladale te i druge zapreke primjenom načela industrijske ekologije u termoelektranama potrebno je, između ostalog, svladati inerciju kod svih sudionika, od upravnih tijela preko vlasnika termoelektrana do različitih industrijskih poduzeća. To naravno traži vremena i napora.

ZAKLJUČAK

Primjena načela industrijske ekologije u termoelektranama kroz uzajamno korištenje otpadnih tvari i energije s obližnjim gospodarskim subjektima pridonosi obostranoj ekonomskoj i ekološkoj dobrobiti i omogućava stvaranje prijateljskog okruženja za termoelektrane. Takav cjeloviti pristup zahtijeva vremena, ulaganja i truda, jer treba svladati brojne zapreke do ostvarenja, ali se dugoročnni isplati za sve sudionike.

LITERATURA

[1] J. MAKANSI: "Apply principles od industrial ecology to powerplant design", Electric Power International, December 1996.
[2] Program izgradnje objekata male privrede i infrastrukture uz TE Plomin, Hrvatska elektroprivreda i Elektroprojekt Zagreb, 1996
[3] projekti termoelektrana u Hrvatskoj, Knjiga 1 Nova postrojenja, Knjiga 2 Revitalizacija, Hrvatska elektroprivreda i Elektroprojekt Zagreb, siječanj 1996.
[4] V. POTOČNIK: "Svjetska iskustva u obradi komunalnog otpada", Zbornik radova IV. međunarodnog simpozija Gospodarenje otpadom, Zagreb 10. 96, ZGO Zagreb

THERMAL POWER PLANTS AND INDUSTRIAL ECOLOGY

Application of industrial ecology principles on the thermal power plants contributes to the creation of a friendly environment for the power plants. The reciprocal usage of the waste materials and energy between the power plants and the neighbouring industrial facilities and cities could bring about considerable economic and environmental benefits.

DAMPFKRAFTWERKE UND INDUSTRIELLER UMWELTSCHUTZ

Die Anwendung der Grundsätze des industriellen Umweltschutzes in Dampfkraftwerken führt zur Schaffung einer umweltfreundlichen Umgebung um diese Werke. Durch gegenseitige Nutzung der Überreste und der Energie zwischen den Dampfkrafwerken und den umherliegenden Industrien und Siedlungen kann man wesentlich zum wirschaftlichen und umweltfreundlichen Wohl beitragen.

Naslov pisca:

Mr. sc. Vladimir Potočnik
Elektroprojekt
Ulica grada Vukovara 37,
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1997-05-06.

ELKA

UTEMELJENA 1927. god.

PROIZVODNI PROGRAM

- ENERGETSKI KABELI
- SAVITLJIVI I INSTALACIJSKI VODOVI I KABELI IZOLIRANI TERMOPLASTIMA
- SAVITLJIVI I INSTALACIJSKI VODOVI I KABELI IZOLIRANI ELASTOMERIMA
- BRODSKI KABELI
- KABELI I KONEKTORI ZA AERODROMSKE INSTALACIJE
- TELEKOMUNIKACIJSKI KABELI
- SIGNALNO-UPRAVLJAČKI, MJERNI I KABELI ZA INFORMATIČKE MREŽE
- RUDARSKI KABELI
- KABELI ZA ZAVARIVANJE
- SPECIJALNI VODOVI I KABELI
- KONFEKCIONIRANI KABELI I VODOVI
- LAKIRANA ŽICA
- ALUMINIJSKA, ALU-ČELIČNA I UŽAD OD ALUMINIJSKIH LEGURA
- ZAŠTITNA UŽAD SA SVJETLOVODNIM NITIMA (OPGW)
- ČELIČNA UŽAD I PRIVEZICE ZA DIZALICE, BRODOVE I DRUGE NAMJENE
- IZOLACIJSKI MATERIJALI

Planeta Zemlja...

Čovjek...

Kabeli...

ELKA d.d.
Tvornica električnih kabela
Žitnjak bb, 10 000 ZAGREB
TEL: 01/ 233 22 00
FAX: 01/22 38 98

ELKA
TVORNICA ELEKTRIČNIH KABELA

POGON I: ELKA-METALNA UŽARIJA, BIOGRADSKA BB, 23 000 ZADAR; TEL.: ++385 (023) 43 69 22; FAX: ++385 (023) 44 16 72
POGON II: ELKA-MIKROKABEL, TUGONICA BB, 49 247 ZLATAR BISTRICA; TEL.: ++385 (049) 48 14 22; FAX: ++385 (049) 46 11 39

RAZVOJ TREĆE GENERACIJE SUSTAVA MOBILNIH KOMUNIKACIJA BAZIRANE NA TEHNICI RASPRŠENOG SPEKTRA

Mr. sc. Dubravko Sabolić, Zagreb

UDK 621.396:654.153
PREGLEDNI ČLANAK

Članak pruža pregled osnova nadolazeće treće generacije mobilnih komunikacija zasnovane na višestrukom pristupu podjelom kodova - CDMA. On ukratko prikazujeneke temeljne nedostatke TDMA sustava, kao i evoluciju prema trećoj generaciji.

Ključne riječi: mobilne komunikacije, TDMA, CDMA.

UVOD

Danas u području pokretne telefonije dominiraju sustavi druge generacije, bazirani na tehnici višestrukog pristupa podjelom vremena rada (TDMA, Time Division Multiple Access), koji od ranih devedesetih godina postupno zamjenjuju uređaje prve generacije zasnovane na analognom prijenosu informacije frekventnom modulacijom, uz primjenu frekventnog rasprezanja kanala (FDMA, Frequency Division Multiple Access). Naime, stari sustavi nisu mogli udovoljiti povećanju prometnog zahtjeva u pokretnim mrežama, koje je bilo pomalo neočekivano rapidno. Paralelno s time rasli su i zahtjevi za većom kvalitetom prijenosa informacija i mogućnošću rada s drugom vrstom podataka osim govornih. Potonji zahtjev znači da tržište traži uređaje za pouzdano mobilno komuniciranje digitalnim podacima brzina većih od nekoliko kb/s, koliko se moglo postići u analognoj mreži primjenom modema. Iz navedenih su razloga mobilni sustavi druge generacije, čiji se pregled i usporedba može naći u [1], vrlo brzo potisnuli analogne.

Sustavi druge generacije donijeli su povećanje ostvarivog prometa po jedinici površine teritorija [Erlag/km^2] od 5 do 10 puta u odnosu na prvu generaciju, dok pitanje širokopojasnog komuniciranja još nije dostatno dobro riješeno. Primjerice, popularni sustav GSM omogućuje brzine prijenosa do 9.6 kb/s. S obzirom na to i na očekivanu daljnju eksploziju porasta prometnog zahtjeva i otvaranje novih velikih tržišta (npr. Rusija i Kina), može se već sada predvidjeti da će životni vijek TDMA sustava biti kraći od vijeka kojega je proživjela (i još uvijek djelomice živi) FDMA koncepcija. Naime, TDMA tehnika je prišla blizu svog fundamentalnog limita u kapacitetu, i ona će uskoro morati biti zamijenjena efikasnijim postupkom radi zadovoljavanja u prvom redu potreba golemih urbanih sredina zapada. Na primjer, u nordijskim zemljama (Švedska i Finska), čak oko 27% stanovnika posjeduje pokretni telefon, dočim je u Njemačkoj ili USA taj udio još uvijek mnogo manji (oko 5%), pa je razumno očekivati daljnji veliki porast korisničke populacije u ovim vrlo razvijenim i platežno sposobnim sredinama.

Da bi se bolje iskoristili dodijeljeni frekvencijski resursi uz dani modulacijski postupak u nekom pokretnom radijskom sustavu, potrebno je smanjiti veličinu (polumjer) ćelija, tj. dijelova terena pokrivenih signalnom jedne bazne postaje. Ta je tendencija doista prisutna u razvoju mobilnih sustava. Od širokog "kišobranskog" pokrivanja kod FDMA sustava (polumjer ćelije u pravilu iznad ili znatno iznad 10 km) prešlo se na kilometarske ili manje zone TDMA sustava u gusto naseljenim područjima. Smanjenje ćelija omogućava realizaciju većeg prometa u sustavu, jer se cjelokupni set frekvencija može više puta ponoviti na istom teritoriju, pa je korisnicima dostupan efektivno veći broj kanala. Paralelno tome moraju snage zračene u ćeliji, bilo od strane baznih ili mobilnih stanica, biti smanjene radi zadržavanja odgovarajućih odnosa korisnih i smetajućih signala. Ćelije malog radiusa (do 1 km) u žargonu se nazivaju mikroćelijama, i već u TDMA sustavima su uobičajena pojava u većim gradovima. Minimalan polumjer ćelije GSM sustava može biti 500 m. Međutim, iz ranije rečenih razloga očekuje se da će se uskoro morati prijeći, također u velikim gradovima, na sustave pikoćelija, koje će pokrivati samo jednu manju gradsku četvrt, blok zgrada, ili možda tek jednu poslovnu zgradu. TDMA koncepcija nije kadra odgovoriti takvom izazovu, pa su paralelno s uvođenjem druge generacije u široku komercijalnu uporabu počela opsežna istraživanja sustava koji bi mogli činiti nadolazeću treću generaciju. Danas je već sasvim izvjesno da će se višestruki pristup ostvariti kodnim rasprezanjem (CDMA, Code Division Multiple Access), tehnikom koja je već dobro poznata u vojnim primjenama, a bazira se na postupku raspršenja izvornog spektra informacije na mnogo širi pojas frekvencija. Mreže pikoćelija omogućit će uporabu sasvim malih snaga zračenja, pa će i pitanje potencijalnih bioloških efekata, koje se danas toliko postavlja biti praktički riješeno. Teškoće oko elektromagnetske kompatibilnosti TDMA uređaja, koje nastaju radi pulsne prirode njihova emitiranja, bit će također vrlo ublažene.

Namjena ovoga članka je da po prvi put u našoj stručnoj periodici pruži opširniji pregled osnova netradicionalne

CDMA tehnike, u približnom opsegu koji dozvoljava objavu u "Energiji". U svijetu još ne postoji niti jedan standardiziran, a kamo li komercijalno implementiran, javni pokretni radijski sustav treće generacije, ali nas eksplozivan razvoj telekomunikacija u zadnjem desetljeću uvjerava da će budućnost u ovom području tehnike doći i prije nego li joj se nadamo.

1. PROMETNI ZAHTJEV

U [1] je prikazano koji su bili motivi za razvoj i uređenje druge generacije mobilnih sustava, i koja su poboljšanja ostvarena u odnosu na analognu generaciju. Suštinski se radi o povećanju općeg prometnog kapaciteta mreže za faktor 5 do 10. Da bi se mogla razumjeti evolucija ka još većim kapacitetima unutar TDMA generacije i prema budućoj CDMA generaciji, potrebno je poznavati osnovne pojmove iz teorije telekomunikacijskog prometa. Ona je u sasvim dostatnoj mjeri izložena u [2] i [3], a u ovom će se odjeljku dati tek nužan uvod u problematiku.

U javnim telekomunikacijama je tehnički i ekonomski teško i nepotrebno osigurati apsolutnu dostupnost resursa korisnicima. To znači da krajnji korisnici, ili točnije - velika većina njih, ne mogu računati da će im u svakom trenutku kada to požele na aspolaganju stajai slobodni komunikacijski kanali, već će oni ponekad biti zauzeti. Statistika zauzeća (blokade) resursa ovisi o načinu ponašanja korisnika sustava, te o dobu dana, tjedna, mjeseca i godine - ukratko, o sezoni. Ona se prikazuje različitim modelima. Tako npr. najšire prihvaćeni model žargonskog naziva Erlang B prati stohastičke događaje unutar mreže za vrijeme najopterećenijeg sata u danu (busy hour), uz pretpostavku da na n raspoloživih kanala pretendira mnogo veći broj statistički neovisnih korisnika, koji se ponašaju tako da, čim ustanove da nemaju dostupan kanal, deaktiviraju svoj uređaj, tj. odustaju od zahtjeva za kanalom. Model u prvom redu definira prometni zahtjev kao:

$$A_p = \frac{C_p \cdot T}{3600} \quad \text{[Erlang]}, \tag{1}$$

gdje C_p broj zahtjeva za pristupom mreži u najopterećenijem satu, a T je prosječno trajanje razgovora u sekundama. Vjerojatnost da će pojedini korisnik pri postavljanju zahtjeva naići na potpuno blokiranu mrežu naziva se najčešće razinom usluge, a bilježi se engleskom kraticom *GOS* (Grade Of Service), te se računa po Erlang B formuli:

$$GOS = \frac{\frac{A_p^n}{n!}}{\sum_{i=0}^{n} \frac{A_p^n}{i!}} \tag{2}$$

Često se *GOS* izražava u postocima, umjesto u iznosu vjerojatnosti. Što je *GOS* veći, to je usluga mreže lošija, jer je veća vjerojatnost blokade resursa tijekom najprometnijeg sata. Normalno je za javne pokretne mreže dopustiti *GOS* do 2%, a za privatne sustave pojedinih službi, poput HEP-a, MUP-a, HV-a itd do 10%. U tom je smislu ovo područje kod nas doista i regulirano [4].

Realizirani promet je:

$$A = A_p\,(1 - GOS), \tag{3}$$

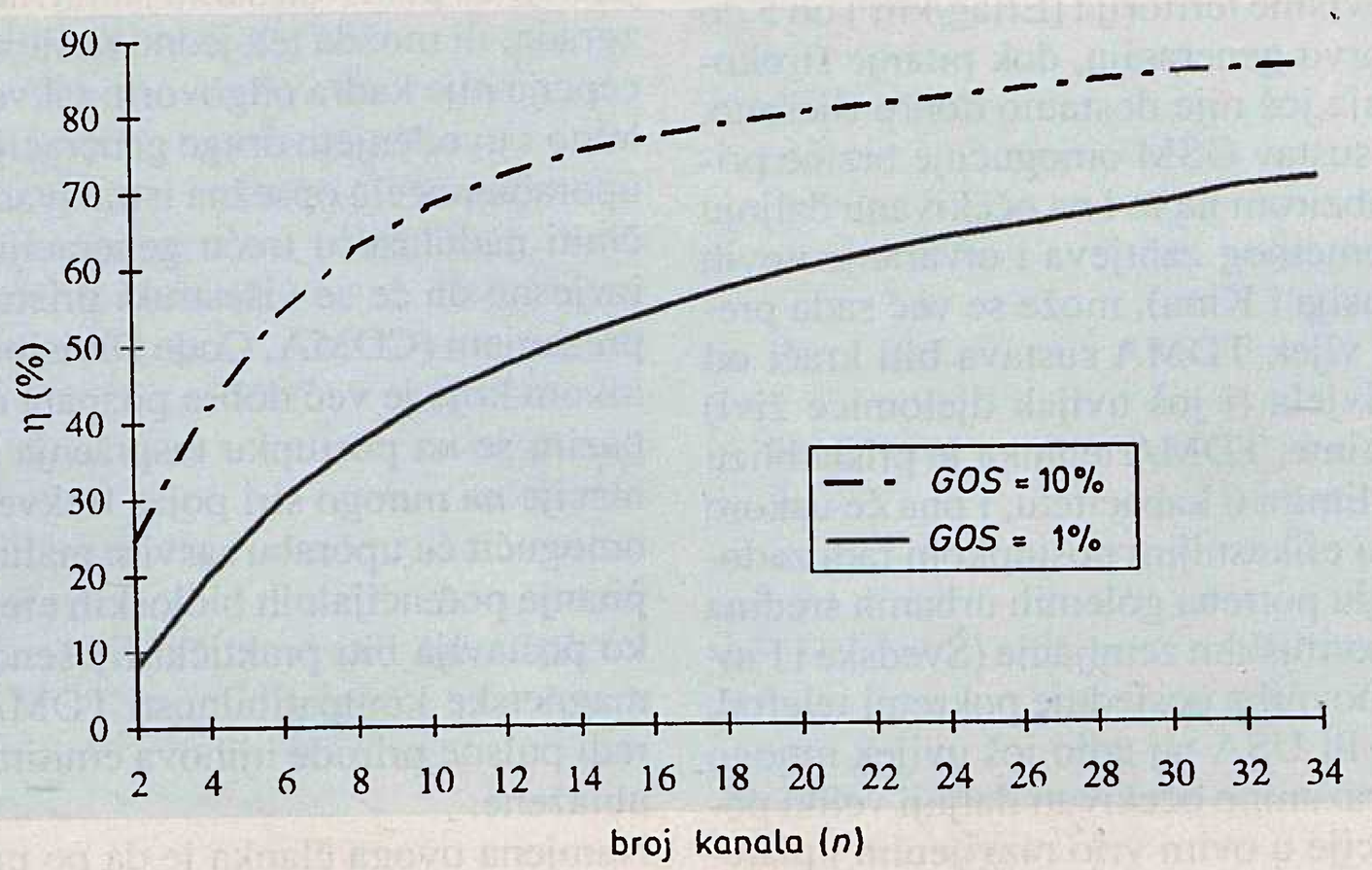
dočim je faktor vremenske iskoristivosti sustava logično definiran kao:

$$\eta_T = \frac{A}{n} \tag{4}$$

gdje je n broj raspoloživih kanala u sustavu. Iako to iz (4) na prvi pogled možda i nije očigledno, ovaj faktor iskorištenja je uvijek između 0 i 1. Naime, realizirani promet ne može biti veći od onoga koji bi se ostvario kada bi svih n kanala bilo zaposleno cijelo vrijeme. Formula (3) pak nema monotoni tijek, jer porastom A_p iz (1) uz konstantni n raste i *GOS* iz (2), pa vrijednost zagrade iz (3) pada. Očito postoji neka asimptotska vremenska korisnost koja se uz propisani (dozvoljeni) *GOS* ne može premašiti, a ona je za veći *GOS* veća. Dakle, faktor iskrištenja resursa pada s porastom kvalitete usluge, odnosno, da bismo unaprijedili kvalitetu usluge, moramo imati veći broj raspoloživih kanala n. To je uostalom sasvim logično.

Faktor vremenskog iskorištenja prikazan je na slici 1, koja kompaktno ilustrira formule (1) do (4), i to za vrijednosti *GOS*-a od 1% i 10%. Ova je slika vrlo bitna za kasnije razumijevanje metoda povećanja efikasnosti sustava.

Proračun po Erlang B modelu vrši se otprilike ovako: uz npr 1000 traženih pristupa mreži u najopterećenijem satu i trajanje prosječnog razgovora od 120 s, dobije se prometni zahtjev od A_p = 33 Erlang. Ako je maksimalno dozvo-



Slika 1. Vremenska efikasnost sustava bez čekanja za *GOS*=10% i *GOS*=1%

ljeni $GOS = 2\%$, iz tablica koje se nalaze u priručncima poput [3] očita se broj potrebitih prometnih kanala: $n = 43$. Naime, s obzirom da je (2) suviše složenog oblika za analitičko izračunavanje n iz poznatih GOS i A_p, izrađene su tzv. Erlangove tablice, koje povezuju ove tri veličine. Naravno, u današnje doba to je lako izvesti i numerički, na računalu.

Ponašanju korisnika pokretnih sustava, posebice privatnog tipa, više odgovara model Erlang C, koji je bitno složeniji jer uzima u obzir i vrijeme čekanja na oslobađanje kanala, kada pretendent naiđe na blokadu. Međutim, on ne pridonosi našoj temi nikakvim ključnim informacijama, pa će biti preskočen. Zainteresirani čitatelj može se poslužiti literaturom [2] i [3]. Zanimljivo je da hrvatska i međunarodna uprava tijela preferiraju kratak i jasan model B [4].

2. NEDOSTACI TDMA SUSTAVA

Uz neosporni napredak u odnosu na prvu generaciju [1], TDMA sustavi zadržali su u sebi neke inherentne nedostatke koji će vrlo brzo dovesti do toga da će ih vrijeme pregaziti. Problem nije suštinski u lošoj tehnologiji ili tehnici, već u zastrašujućem porastu apetita tržišta za uslugama pokretnog komuniciranja, bilo govorom ili slikom između ljudi, ili pak podacima između računala. Nesposobnost sustava tipa GSM da prenosi binarne podatke brzine iznad nekih 10 kb/s učinit će ih za desetak godina obsoletnima u smislu u kojemu je npr. osobno računalo 286, danas doduše još funkcionalno, ali potpuno zastarjelo.

Ispustimo li ipak iz razmatranja potrebe za širokopojasnim komuniciranjem, koncentriravši se na "prizemnije" probleme prijenosa govora, uočit ćemo i u tom području nekoliko tipičnih problema koji će isto tako, prije ili kasnije, dovesti do potrebe za zamjenom TDMA tehnologije. Najprije se možemo spomenuti problema zadovoljavanja potreba metropolitenskih regija, koje npr. u USA imaju i do 15 milijuna stanovnika, te generiraju golem prometni zahtjev, posebice u visokourbaniziranim središtima, koja su u pogledu propagacije elektromagnetskih valova vrlo problematična. Arhitektura i broj rezidenata velikih gradova nameću potrebu za realizacijom sustava s velikim brojem teritorijalno malih ćelija, radi potrebe za čestim geografskim ponavljanjem radio kanala. Kada se primjerice penetracija motilnih aparata u USA približi ka švedskih 27%, gradovi poput New Yorka će na maloj površini imati više milijuna pretplatnika, što će geneirati mjestimično golem prometni zahtjev izražen u Erlang/km^2, kojega TDMA sustavi neće moći podnijeti iz nekoliko fundamentalnih razloga: kao prvo, smanjenje radiusa ćelija ne možer ići unedogled, jer ono implicira povećanu učestalost prelaska gibajućeg korisnika iz ćelije u ćeliju, što zahtijeva informacijske kapacitete za potrebe intenzivnog signaliziranja u handover postupku. U [5] je objašnjeno da TDMA sustavi nikada neće imati smisla u sustavima radiusa ispod 200 m, niti će moći podnijeti promet veći od 280 Erlang/km^2. Nadalje, okoliš sastavljen od visokih zgrada armiranih metalnim konstrukcijama u elektromagnetskom pogledu je vrlo neugodna sredina radi teško predvidive propagacije i mnogostrukog puta širenja valova. U prvom slučaju će se očitovati osjetljivost svih dosadašnjih sustava na istokanalne smetnje, a u drugome može doći do povećanja problema s adaptivnom ekvilizacijom signala radi uklanjanja intersibolne interferencije [6]. Svi ovi razlozi, potkrijepljeni ozbiljnim ispitivanjima, traže skorašnje promjene u sustavima pokretne telefonije. Neki su se istraživači okrenuti poboljšanju TDMA tehnike, dok je većina timova shvatila da je ona gotovo dostigla svoj vrhunac, i da je potreban fundamentalan tehnički napredak.

3. MOGUĆI NAPREDAK U OKVIRU TDMA TEHNIKE

3.1. Adaptivna dodjela kanala

U zadnje se vrijeme javljaju prijedlozi da se u TDMA mrežama vrši adaptivna dinamička dodjela kanala pozivu (razgovoru), a ne fiksno ćeliji, i to prema trenutnoj situaciji s inferferentnim smetnjama na mjestima gdje se nalaze mobilna i bazna stanica. Druga varijanta, koja se pokazala neusješnom, bila je adaptivna dodjela kanala na osnovi trenutne prometne situacije. ACA (Adaptive Channel Allocation) već je implementirana u bežičnom standardu DECT, a moguće ju je modifikacijom mrežnog upravljanja ugraditi i u GSM, IS-54 i JDC [1].- Računalne simulacije prometa uz uporabu ACA otkrile su drastično uvećanje kapaciteta TDMA sustava: kod velikih mreža ono se kreće između 50 i 100%, a kod malih 200 do 300%, prema nekim autorima i 300 do 500%. U malim sustavima (to su oni s malim brojem kanala n), ovako spektakularan napredak duguje se povećanju vremenskog iskorištenja iz (4), koje za mali n raste rapidno povećanjem tog broja, dok je u sustavima s velikim setom kanala povećanje postotno malo radi zasićenja. To se vrlo lijepo vidi na slici 1.

Odakle dolazi povećanje broja raspoloživih kanala u ćeliji? U TDMA organizaciji dodjela kanala vrši se pri uspostavi poziva i pri handoveru. Mobilna stanica je u mogućnosti u slobodno vrijeme koje ima na raspolaganju zahvaljujući TDMA tehnici [1] pregledavati interferentnu situaciju mjerenjima koja vrši. Učinkovita procedura zahtijeva da mjerenja fizičkih kanala budu obavljena i u mobilnoj i u baznoj stanici. Ako trenutno korišteni kanal počne biti ometan interferentnim signalom, sustav odmah vrši inteligentnu promjenu kanala. Primjenom ACA nestaje potrebe za fiksnim planiranjem frekvencija. Svi će fizički kanali biti na raspolaganju svim korisnicima, posljedica čega je povećanje vremenske korisnosti (slika 1). U procesu planiranja više nije interesantno uvažavati najgore predvidive, već prosječne interferentne prilike. Kontrola snage radi smanjenja ukupne razine interfentnih smetnji smanjit će broj izvođenja ACA postupaka, koji ipak traže intenzivno signalizitanje, trošeći tako jedan dio poboljšanja kojega pružaju, a to je u velikim sustavima malih ćelija značajna stavka.

3.2. PRMA - višestruki pristup rezervacijom paketa

PRMA je mješavina postupka ALOHA I TDMA pristupa. Njezina nešto veća vremenska efikasnost od TDMA duguje se iskorištavanju statistike govora, koji nije kontinuirana pojava, već ima duže pauze (npr. između rečenica) i kratke stanke (npr. između pojedinih slogova, riječi ili grupa riječi). Veza se prekida svaki puta kada nastupi pauza u govoru, i mora se ponovno uspostaviti početkom slijedeće sekvencije tona. Pristup mreži je asinkron i slučajan (slot-

ted ALOHA protokol), te povremeno dolazi do kolizije paketa koji nose zahtjev za dodjelom veze i njihovog odbacivanja, vjeojatnost čega određuje kvalitetu usluge. Očigledno se vjerojatnost kolizije smanjuje povećanjem broja kanala. Ključ efektivnog porasta broja dostupnih kanala u odnosu na TDMA je u tome što se prometni kanal zauzima samo za stvarnog trajanja tona, a oslobađa čim on prestane, pa makar bila riječ i samo o pauzi između riječi. Zato se mobilna stanica mora stalno (više puta u minuti) natjecati za kanal slučajnim pristupom. Odbacivanje paketa znači nepovratni gubitak dotične sekvencije govora, jer govorna komunikacija mora teći u realnom vremenu. Stoga se povećanje vjerojatnosti odbacivanje (porastom broja aktivnih sudionika u mreži) manifestira kao degradacija kvalitete veze, i u krajnjim slučajevima kao potpuni prekid. To je bitno različito od diskontinuirane emisije TDMA sustava, gdje se statistika govora koristi za sniženje razine ukupnih interferentnih smetnji u meži, ali je fizički kanl cijelo vrijeme zauzet. Računalne simulacije PRMA pokazuje za oko 60% veću iskoristivost resursa prema TDMA referenciji uz dozvoljenu vjerojatnost odbacivanja od 1%, za koju većina autora tvrdi da ne uzrokuje bitnu degradaciju kvalitete tona. Osnovne karakteristike ove tehnike daje eksplicitan i poučan članak [7].

4. RASPRŠENJE SPEKTRA I CDMA

Kao kandidat za vodeći standard treće generacije najozbiljnije djeluje CDMA, koji se koristi tehnikom raspršenja spekta. Zasad je još u fazi planiranja četvrta generacija, što bi trebala zaživjeti početkom slijedećeg stoljeća. Predviđaju se digitalne brzine do 155 Mb/s u frekventnom području od 60-66 GHz. U njemu postoje izvjesne teškoće vezane za vrlo komplicirane mehanizme atmosferske apsorpcije od strane kisika, koja ima selektivni multirezonantni oblik frekventne karakteristike. To je detaljno prikazano u [3]. U opsegu 50-70 GHz kisik ima 32 apsorpcione linije izraženije na većim nadmorkim visinama, i kao takve bi mogle činiti probleme u satelitskim mobilnim sustavima.

Višestruki pristup podjelom kodova je klasični primjer sustava raspršenog spektra koja se prvobitno koristila u vojnoj industriji kao metoda borbe protiv prisluškivanja komunikacijskih kanala u eteru. Raspršenje je ostvarivo na dva osnovna načina: spektralno (SS, Spectrum Spreading), i vremensko (TS, Time Spreading). SS obuhvaća tehnike raspršenja direktnom sekvencijom (DS, Direct Sequence) i frekventnim skakanjem (FH, Frequency Hopping).

U ostvarenju modulacije diskretnom frekvencijom, kakva je primijenjena u CDMA, bitnu ulogu ima korelator. On omogućuje prepoznavanje koda informacije. Korelator u CDMA čini adaptivnu ekvizaciju nepotrebnom, a konstruktivno je on znatno jednostavniji sklop od adaptivnog filtra. Slika 2 prikazuje pojednostavnjenu blok-shemu rasršenja i rekonsrukcije spektra digitalne informacije.

Ako izvor podataka $x(t)$ daje binarne simbole +1 i –1, onda se PSK modulirani signal [8] može napisati kao:

$$S(t) = x(t)\cos(\omega_0 t) \tag{5}$$

Brzina podataka $x(t)$ [b/s] označena je na slici sa R. Nakon PSK modulacije signal se podvrgava množenju pseudoslučajnim kodom $G(t)$, čija je brzina R_p mnogo veća od R, pa nastaje signal odašiljača:

$$S_T(t) = x(t) \cdot G(t) \cdot \cos(\omega_0 t) \tag{6}$$

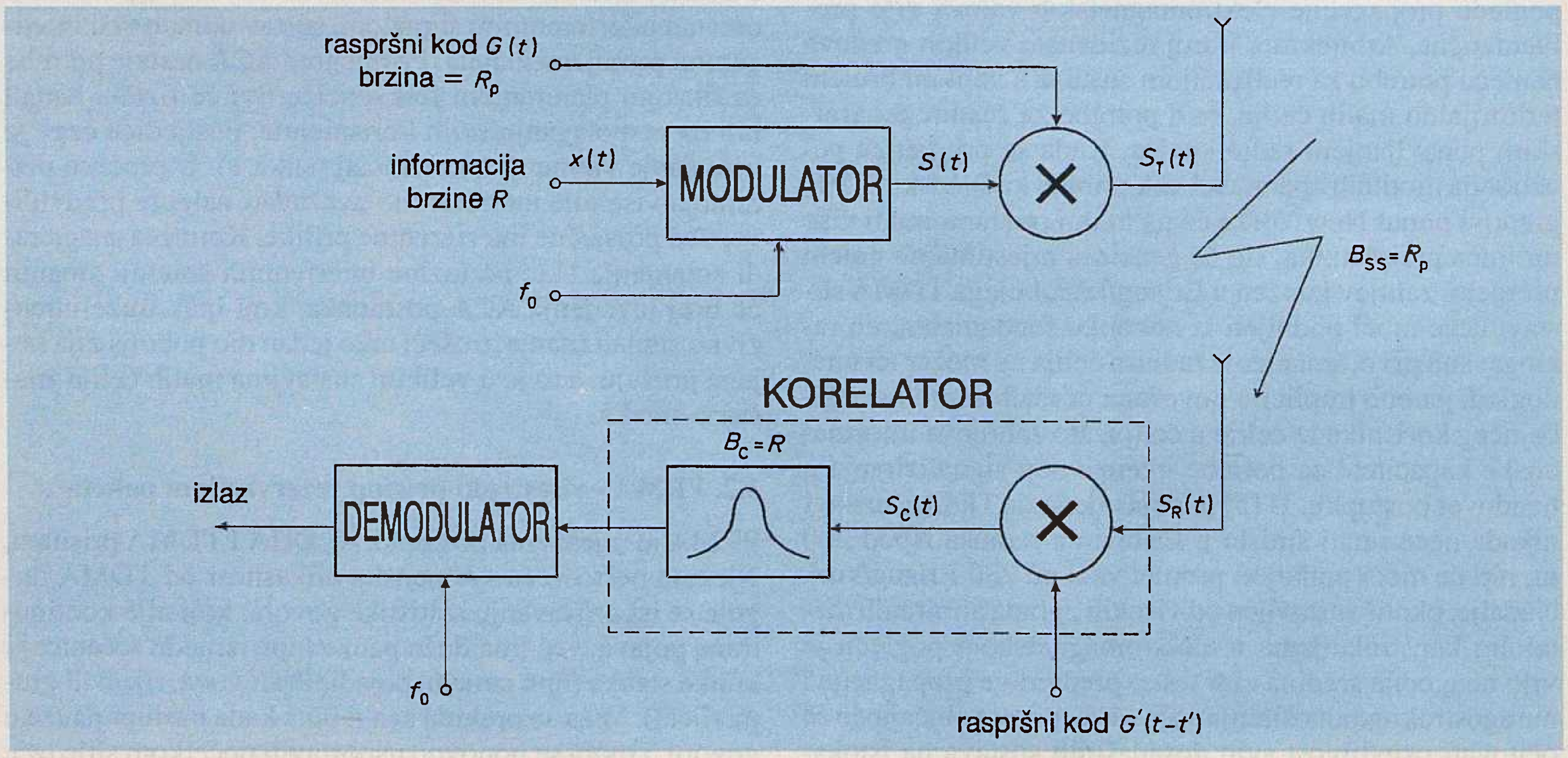
Njegova je brzina očito R_p. Na prijemnom mjestu se dobiva:

$$S_R(t) = x(t-T) \cdot G(t-t) \cdot cos\,[\omega_0(t-T)] \tag{7}$$

a na izlazu iz korelatora to postaje:

$$S_c(t) = x(t-T)\cdot G(t-T)\cdot G'(t-T')\cdot\cos[\omega_0(t-T)] \tag{8}$$

Ako umnožak $G(t-T)\cdot G'(t-T')$ poprimi vrijednost 1 u svakom trenutku vremena, onda se dobio oblik PSK signala s odašiljačke strane, koji se lako demodulira. To se događa kada je $T=T'$ i $G=G'$, tj. kada je izvršena sinkronizacija i upotrijebljen ispravni kod raspršenja. Naime, rasršni kod



Slika 2. Raspršenje spektra i detekcija informacije u CDMA

je brzi pseudoslučajni digitalni bipolarni signal. Ako nisu ispunjeni navedeni uvjeti, napon korelatora ima karakter pseudoslučajne sekvencije moduliane na nosioc. Dakle, ako se za dekodiranje upotrijebi pogrešan kod G', informacija pristigla s antene bit će uništena pseudoslučajnim šumom. Pojasno propusti filtar izdvojit će uski dio spektra tog šuma, što će se manifestirati kao slaba smetnja. Kako svaka informacija (kanal) nosi svoj kod, znači da će u najboljem slučaju samo jedna od svih biti propuštena kroz korelator s restauriranim spektrom, a ostale će se pojaviti kao niskorazinske smetnje. Da bi došlo do ometanja rada FEC dekodera [1], [3], mora se pojaviti veći broj interferentnih signala, i tako dolazimo do novog načina višestrukog pristupa.

Recimo primjerice da je brzina informacijskih bitova 10 kb/s, te da se svaki od njih kodira sa 100 bitova, koji se u žargonu često nazivaju chip-ovima. Rezultantna brzina odgovara veličini R_p i iznosi 1 Mb/s. Definira se dobitak obrade *PG* (Processing Gain) kao:

$$PG = 10 \log \frac{R_p}{R} \tag{9}$$

Općenitije, razlomak iz ove formule treba zamijeniti odnosom raspršenog i osnovnog spektra B_{SS} / B. Značenje dobitka obrade je slijedeće: smetajući signal po prolazu kroz korelator, gdje je zadržao karakter pseudosličajnog šuma, bit će nakon filtra smanjen za PG dB snage, jer će ovaj propustiti R / R_p-ti dio njegova ukupnog spektra. Za uspješnu detekciju demodulirane digitalne informacije u uvjetima smetnji potreban je neki odnos signal/šum. Ako je *PG* veći od njega, posebno ako je mnogo veći, moći će se ostvariti višestruki pristup. Treba uočiti da ovdje *de facto* dolzi do potpune interferencije komunikacijskih kanala u eteru. Valja možda spomenuti i druga dva načina raspršenja spektra. *Frekventno skakanje* podrazumijeva da aktivni poziv skače preko *N* uniformno razdijeljenih radio kanala prema pravilu poznatom na obje komunicirajuće strane. Faktor raspršenja spektra je *N*, pa je $PG = 10 \log N$. Postoje brze i spore sheme skakanja. Kod brzih nosioc mijenja frekvenciju nekoliko puta u toku jednog binarnog znaka, a kod sporih svakih nekoliko bitova. Današnja tehnologija nije u stanju ostvariti brzo skakanje u mikrovalnom području, a vrlo spori FH se koristi u TDMA sustavima, ali ne radi rasršenja spektra, već kao metoda borbe protiv fadinga [1]. *Vremensko skakanje* ostvaruje se emisijom slijeda totalne brzine *R* u kratkim burstovima ukupno trajanja *T*, koji započinju tijekom mnogo dužeg perioda T_S, a u vremenu se pojavljuju prema shemi poznatoj samo prijemnoj i predajnoj strani. U toku emisije mora biti T_S / T puta veća od *R*, da bi se stigli emitirati svi bitovi. Vidi se da je i ovdje riječ o spektralnom raspršenju.

Postupci skakanja frekvencije i vremena ne nalaze se u planovima za realizaciju budućih mobilnih mreža, ali je zato CDMA princip postao vrlo privlačan radi velikih mogućnosti efikasnog iskorištenja spektralnih resursa koje sakriva u sebi. Da bi se opravdala ova tvrdnja, potrebno je prisjetiti se temeljnih činjenica vezanih uz planiranje mreže [9].

U idealnoj heksagonalnoj strukturi ćelija polumjera *R* definirana je minimalna dozvoljena udaljenost istokanalnih odašiljača D_S preko karakterističnog broja q, koji se naziva faktorom redukcije istokanalne smetnje CIRF)Cochannel Interference Reduction Factor):

$$q = \frac{D_s}{R} \tag{10}$$

U različitim sustavima on ima različite vrijednosti, što je predmetom ozbiljnih teorijskih analiza. S obzirom da se prostorno iskorištenje radiokanala može povećati jedino smanjenjem veličine ćelija, dakle češćim geografskim rasporedom ponavljanja kanala, poželjno je da *q* bude čim manji. Tipična vrijednost kod analognih FM sustava, koji traže odnos nosioca i interferencije *C/I* od oko 18 dB uz širinu pojasa 25-30 kHz, je $q = 4.6$. Digitalni sustavi mogu raditi u znatno lošijim interferentnim prilikama, pa je i to razlog njihova uvođenja na mjesto FM-a. Primjerice, GSM zahtijeva $C/I = 9$ dB. Broj ćelija u jedinici prostornog iskorištenja svih kanala (cluster) dobije se kao:

$$k = \frac{q^2}{3} \tag{11}$$

te se ukupni kvantum kanala dijeli tim brojem. Svaka ćelija radi sa svojim setom frekvencija. Radio kapacitet FDMA i TDMA celularnih sustava s ukupno *N* prometnih kanala izražava se veličinom:

$$m = \frac{N}{k} = \frac{N}{\sqrt{\frac{2}{3} \cdot \left(\frac{C}{I}\right)_s}} \tag{12}$$

$(C/I)_s$ je zahtijevani odnos *C/I*, koji je kod TDMA sustava bitno niži nego kod analognih.

CDMA ima dvije CIRF vrijednosti. Prva je q_A (adjacent CIRF), iznosi 2, i znači evidentno da isti radio kanal može biti korišten i u susjednoj ćeliji. Druga vrijednost q_s (self CIRF), iznosi 1 i znači da se samo po jedan radio kanal koristi u svakoj ćeliji. Drugim riječima, *jedan* radio kanal koristi se u *svim* ćelijama. Eksperimentalne tvorevine u USA imaju širinu kanala od 1.25 MHz.

Odnos *C/I* definira se jednadžbom:

$$C/I = \frac{E_b / I_0}{B_C / R_B} \tag{13}$$

E_b je energija po bitu u osnovnom pojasu, a I_0 je spektralna gustoća interferentne smetnje u W/Hz, isto tako u osnovnom pojasu. Kod FDMA i TDMA je iznos nazivnika oko 1, jer predstavlja kvocijent širine pojasa i brzine bila, te je C/I uvijek pozitivan iznos u dB. Kod CDMA je uslijed spektralnog raspršenja $B_C >> R_B$, *C/I* je zato manji od 1, odnosno negativna decibelska vrijednost.

Ako u sustavu nema kontrole snage i promatra se mobilna stanica na tromeđi ćelija, te uz uzimanje u obzir 12 najbližih, traženi *C/I* iznosi [10]:

$$\left(C/I\right)_s = \frac{1}{3.3N - 1} \tag{14}$$

Uz kontrolu snage, koja je potrebna radi smanjenja ukupne razine interferentnih smetnji, dobivaju se za različite polazne pretpostavke o načinu kontrole snage, različiti pandani ovog izraza. Svima je, međutim, zajedničko da veći zahtijevani (C/I)s povlači manji dozvoljeni broj kanala N, što je sasvim logično, s obzirom da se svi oni međusobno smetaju. Teoretski maksimum postiže se u nerealnom slučaju sa zanemarenim utjecajem svih susjednih ćelija:

$$N_{max} = 1 + \frac{1}{\left(C/I\right)_s} \tag{15}$$

Do sada su istraživanja pokazala značajan dobitak informacijskog kapaciteta naspram FDMA i TDMA sustava.

Praksa to treba potvrditi, no prva su iskustva bila dobra [5]. Računa se da bi broj prometnih kanala po ćeliji mogao biti 20 puta veći nego u FDMA sustavu, odnosno 4 do 6 puta veći nego u TDMA, svedeno na jednako frekventno područje rada.
Planiranje mreže, osim u segmentu osiguranja pokrivanja terena, potpuno je nepotrebno. Kako svaka ćelija koristi jedan te isti radiokanal, svi sudionici imaju na dostupu sve radiokanale sustava, što daje maksimalnu vremensku korisnost postizivu uz zadani broj prometnih kanala i vjerojatnost blokade (slika 1). Procedura handovera je jednostavnija, jer ne treba mijenjati frekvenciju rada, već samo kodnu sekvenciju. Handover se događa, kao i ranije, pri prelasku iz jedne u drugu ćeliju. Uz kodnu sekvenciju s velikim brojem chipova broj mogućih raspršnih kodova s pseudoslučajnim osobinama veći je od mogućeg broja kanala iz (15). Svaka ćelija zato ima drugi set kodova, pa se u tom smislu traži handover. Faktično, sve ćelije imaju dodijeljene iste kanale pod različitim kodovima, odnosno može se izvršiti geografsko ponavljanje sa svim kanalima u svim ćelijama. To je suštinska razlika u odnosu na podjelu radiokanala u starijim sustavima.
Statistika govora pokazuje da ljudi u telefonskoj komunikaciji govore samo 3/8 od ukupnog vremena. Mehanizam diskontinuirane emisije prirodno će se ugraditi u CDMA mreže, pa u preostalih 60% vremena neće biti inteferentne smetnje od trenutno zauzetog kanala. Time će se maksimalni broj kanala u sustavu još malo približiti idealnoj vrijednosti iz (15).

5. PREGLED OPĆIH ZNAČAJKI CDMA

Očito je da postoji veći broj prednosti budućih CDMA sustava u odnosu na dosadašnje FDMA i TDMA. Ovdje će se pobrojati najvažnije od njih.
Kao prvo, CDMA je jedina tehnologija koja u punom smislu iskorištava prednosti diskontinuirane prirode ljudskog govora. Već je spomenuto da od ukupnog vremena konverzacije čovjek samo nekih 35% troši na govor, a ostalo na prekide u govoru i slušanju. S obzirom da svi korisnici CDMA sustava rabe *isti radijski kanal*, diskontinuirano odašiljanje, koje se inače može rabiti i u TDMA, istinski će smanjiti razinu snage smetnji u eteru na približno trećinu (35%), što su CDMA znači *de facto* trostruko uvećanje komunicijskog kapaciteta. Zapravo, tu je najveći dobitak kod sustava raspršenog spektra.
U smislu logičke strukture prometa i signalizacije dvije su relativno važne prednosti. Za razliku od TDMA, CDMA ne traži postojanje rastavnog zaštitnog perioda [1] za vremensko razdvajanje poreza, pa se cijeli binarni kapacitet kanala koristi za prijenos informacija. Postupak handovera je bitno jednostavniji, jer nema promjene frekvencija, već samo kodnih sekvencija.
Sa aspekta radijskog planiranja sustava vidi se više prednosti. U prvom redu, činjenica je da je fading frekvencijski selektivna pojava [3], jer su propagacijske osobine prostora frekventno ovisne, pa je širokopojasni CDMA signal manje podvrgnut lošem utjecaju fadinga, s obzirom da je ukupna energija informacije raspršena na mnogo širi pojas frekvencija od izvornog. Slikovito rečeno, radi se o nekoj vrsti auto-diversity prijenosa. Očigledna prednost je i apsolutno nepotrebno frekventno planiranje. Nužno je jedino ostvariti pokrivanje terena. Za razliku od FDMA i TDMA sustava, kod CDMA sektorizacija baznih sjedišta ne dovodi do redukcije interferencija po cijeni pada trunking efikasnosti uslijed podjele seta kanala na manje skupove, već naprotiv, do povećanja kapaciteta za faktor jednak broju sektora, s obzirom da svi oni rade na istom radijskom kanalu.
Komunikacijski kapaciteti CDMA sustava bit će barem 20 puta veći u odnosu na FDMA sustave, odnosno najmanje 4 puta veći u odnosu na TDMA, i, što je najbitnije, radi otpornosti na šum i smetnje omogućit će gradnju sustava pikoćelija pogodnih za uporabu u zonama izuzetno velikog prometnog zahtjeva.

6. GLOBALNE MREŽE

Tehnologija će uskoro vjerojatno odgovoriti izazovu globalnog stupnja slobode korisnika mobilne komunikacijske mreže. Druga generacija omogućuje kontinentalno pokrivanje. Novi integrirani sustavi trebaju omogućiti planetno područje pokrivanja s uslugama širokog spektra. Zemaljski ćelijski sustavi vjerojatno neće biti pogodni za takve svrhe, već će tehničku podršku pružiti telekomunikacijski sateliti. Gradnja celularne mreže nije isplativa u rijetko naseljenim područjima i predjelima s ekstremnim klimatskim uvjetima, a na moru nije ni moguća. Radio veza je jedina veza sa svijetom za avione, brodove i nenaseljena kopnena područja.
Danas već egzistiraju brojni komunikacijski satelitski sustavi, od kojih je sa stanovišta mobilne telefonije najzanimljiviji INMARSAT. Međunarodna pomorska organizacija IMO (International Maritime Organization) ima sustav od 4 satelita (dva u vlasništvu i dva iznajmljena), koji pokrivaju čitavu Zemlju, osim po 15° geografske širine oko samih polova. Svi su sateliti u geostacionarnoj putanji, 35865 km iznad ekvatora. Zemaljski dio sustava sadrži obalne stanice, pokretne terminale, mreže za koordiniranje stanica i kontrolni centar. Isprva je bila standardizirana oprema s FM modulacijom, ali su se u međuvremenu pojavili i digitalni standardi, omogućivši proširenje usluga i na mala plovila, avione i kopno. Prije tri godine pojavio se globalni sustav GMDSS (Global Maritime Distress and Safety System) i akceptirao u sebe sustav INMARSAT-C, koji radi sa sporim digitalnim signalima (do 600 b/s). INMARSAT-B zamijenit će analogni INMARSAT-A FM sustav. INMARSAT-M pružit će opremu malih antenskih gabarita, dijametra 40 cm, za pomorce i kopnene korisnike. INMARSAT-AERO služi komunikaciji s letećim objektima.
Gušenje signala na putu od i ka geostacionarnom satelitu vrlo je veliko, jer se prelazi čitava atmosfera i velika udaljenost. Sa stanovišta mobilnog satelitskog sustava primarni parametar postaje odnos signal / šum, umjesto C/I. Sustavi se stoga vrednuju odnosom pojačanja i temperature šuma G/T. Prijemni sustav u INMARSAT-A ima G/T = -4 dB/K. Za odašiljački sustav mjerodavna je ekvivalentna izotropno zračena snaga EIRP (Equivalent isotropicly Radiated Power) kao umnožak zračene snage i dobitka antene. Današnje antene postižu kut usmjerenosti oko 0.3°.
Sniženje putanje satelita dovodi do povećanja njegove brzine, te on nije više u geostacionarnoj orbiti. Tada se javlja problem Dopplerovog pomaka reda veličine 100 kHz i po-

trebe neprestanog praćenja satelita. No, manja visina orbite znači i manje troškove lansiranja, te snižavanje potrebnih snaga odašiljanja. Zanimljiv je Motorolin prijedlog pod nazivom IRIDIUM. Na visinu od 765 km lansiralo bi se 66 satelita u 6 meridijanskih putanja. Antenski sustav svakoga od njih projicirao bi na Zemlju po 37 ćelija polumjera oko 500 km, što bi stvorilo celularni sustav s 2442 ćelije i oko 340 kanala po ćeliji. Trenutno izgleda da prijedlog nema prevelike šanse radi visoke predviđene cijene razgovora naspram nekih telekomunikacijskih usluga koje se već nude, bilo u mobilnoj ili stacionarnoj varijanti.
Osnovni tehnički problem svih potencijalnih satelitskih sustava je postizanje dovoljne snage EIRP u milimetarskom području, kao i konstrukcija niskošumnih prijemnih pojačala. Stanje tehnologije danas je takvo da je u opsegu oko 30 GHz moguće načiniti poluvodička pojačala snage reda 20 W, odnsono ulaznih pojačala s faktorom šuma od 3 dB. Kao dodatni problem mogao bi se pojaviti zdravstveni utjecaj mobilnih primopredajnika, s obzirom da zračena snaga mora biti veća nego u zemaljskim celularnim sustavima.
Antenski sustavi za niskoorbitalne satelitske sustave također predstavljaju svojevrstan problem, jer je potrebno iz proizvoljnog položaja korisničkog uređaja pratiti satelit velike brzine. Jedino rješenje nalazi se u uporabi aktivnih antenskih adaptivnih sustava [9]. Tehnologija mikrovalnih monolitnih integriranih sklopova na bazi poluvodiča Ga As omogućuje već sada realizaciju elektroničkih prijemnih i odašiljačkih cjelina s izravno integriranim antenskim elementima, pa se to područje čini perspektivnim u daljnjim nastojanjima na ovom planu [2].

7. ZAKLJUČAK

Brz razvoj telekomunikacijskih usluga u pokretnoj mreži, koji je uostalom doveo do zamjene prvobitnih analognih sustava digitalnima TDMA vrste, uzrokovat će u slijedećem desetgodišnjem razdoblju potrebe za kapacitetima koje danas moderna i vrlo popularna druga generacija neće moći pružiti. Zato su već prvih godina implementacije TDMA sustava započela paralelna istraživanja mogućih poboljšanja, kako bi nova generacija mobilnih sustava bila na vrijeme spremna. Otkriveno je da unutar TDMA tehnike nema više značajnih rezervi za napredak, pa je pozornost definitivno usmjerena ka razvoju pokretnih radijskih sustava temeljenih na tehnici spektra raspršenog direktnom sekvencijom, već dobro poznatoj u vojnoj industriji. Danas se sa sigurnošću može utvrditi da će treću generaciju činiti uređaji zasnovani na postupku CDMA. Predvidivo je da će, također u bliskoj budućnosti, doći do razvoja komercijalnih širokopjasnih i globalnih usluga u pokretnim komunikacijama.

LITERATURA

[1] D. SABOLIĆ, "Kratak opis i usporedba digitalnih TDMA sustava pokretne telefonije", Energija 3/1997, Zagreb 1997.
[2] E. ZENTER, J. BARTOLIĆ, "Pokretne radiokomunikacije", Seminar o novim tehnologijama SONT, Elektrotehnički fakultet u Zagrebu, 1993.
[3] R. L. FREEMAN, "Reference Manual for Telecommunications Engineering", 2nd ed, John Wiley & Sons Inc, New York 1994.
[4] "Pravilnik o javnim telekomunikacijama u pokretnoj mreži", Narodne novine 58/1995, Zagreb 1995.
[5] K. RAITH, J. UDDENFELDT, "Capacity of Digital Cellular TDMA Systems", IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol 40, No 2, May 1991.
[6] J. G. PROAKIS, "Adaptive Equalisation for TDMA Digital Mobile Radio", IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol 40, No 2, May 1991.
[7] D. J. GOODMAN, S. X Wei, "Efficiency of Packet Reservation Multiple Access", IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol 40, No 1, Feb. 1991.
[8] B. MODLIC, I. MODLIC, "Modulacije i modulatori", Školska knjiga, Zagreb 1995.
[9] E. ZENTNER, "Radiokomunikacije", Školska knjiga, Zagreb 1989.
[10] W. C. Y. LEE, "Overview of Cellular CDMA", IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol 40, No 2, May 1991.

DEVELOPMENT OF THE THIRD GENERATION OF MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS BASED ON DISPERSED SPECTRUM TECHNIQUE

The paper gives a bacis everview of the coming third generation of mobile communication based on multiple approach by code division - CDMA. It gives some basic disadvantages of TDMA system briefly as well as the evolution towards the third generation.

DIE ENTWICKLUNG DER DRITTEN GENERATION DES SYSTEMS MOBILER FERNMELDETECHNIK AUF GRUND DES STREUSPECTRUMSGRUNDSATZES

Der Artikel gibt einen überblick der herankommenden dritten Generation mobiler Fernmeldetechnik auf Grund des verschlüsselungszerteilten mehrfachetn Zugangs zu gespeicherten Angaben [sog. CDMA[1] - Verschlüsselung], Der Artikel deutet kurz auf manche Grundmangel der TDMA[2] - Verschlüsselung, sowie auf die Fortentwicklung in Richtung der dritten Generation.

[1] CDMA, engl. Kürzel - Code-Devision multiplex-Acces = mittels Verschlüsselung zerteilter Mehrfacher Zugang
[2] TDMA, engl. Kürzel = Time-shared Data Memory Acces = Zeitzerteilter Zugang zu gespeicherten Angaben

Naslov pisca:

Mr. sc. Dubravko Sabolić, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda,
Prijenosno područje Zagreb,
Ulica grada Vukovara 37,
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1997-05-07.

Mr. sc. Vladimir Tuk, dipl. ing.

Na groblju Mirogoj oprostili smo se 3. lipnja 1997. s dugogdišnjim članom Zavoda za visoki napon i energetiku Fakulteta elektrotehnike i računarstva u Zagrebu mr. sc. Vladimirom Tukom, koji je neočekivano preminuo 30 svibnja 1997.

Rođen je 11. studenog 1943. u Zagrebu. Tehničku školu, Odjel jake struje završio je u Zagrebu 1961. Na Elektrotehničkom fakultetu u Zagrebu diplomirao je na Odsjeku za jaku struju 1967. Godine 1981. Magistrirao je na Zavodu za visok napon i energetiku. Završetkom studija zaposlio se u Zavodu za visoki napon. Vodio je Laboratorij za visoki napon Fakulteta elektrotehnike i računarstva. U svome radu bio je zainteresiran za praktično rješavanje problema i eksperimentalno potvrđivanje rješenja. Autor je ili koautor 11 izvornih znanstvenih radova, te niza radova na području ispitivanja visokim naponima. Njegova glavna djelatnost bila su područja visokonaponskih ispitivanja i prenaponske zaštite. Održavao je predavanja i vježbe iz predmeta Tehnika visokog napona generacijama na smjeru Elektroenergetika. Vodio je veliki broj diplomskih radova. Pri obavljanju svakog radnog zadatka bio je uvijek spreman na stručnu raspravu, kako sa svojim bliskim suradnicima, tako i sa studentima. Svaki prihvaćeni posao obavljao je temeljito, stručno, savjesno i uvijek na vrijeme.

Odlaskom Vladimira Tuka izgubili su članovi Zavoda za visoki napon i energetiku vrlog suradnika i dobrog prijatelja. Brojnim prijateljima i znancima ostat će trajno u lijepoj uspomeni i dobrom sjećanju.

EFFECTS OF CONDUCTOR AND GROUND WIRE HEATING OF OVERHEAD LINES UNDER SHORT CIRCUITS CONDITIONS

Doc. dr. sc. Franc Jakl - Andrej Jakl, Maribor

UDK 621.315.5:621.3.056.7
ORIGINAL SCIENTIFIC PAPER

The paper deals with problems of heating overhead line conductors and ground wires under short circuit conditions. A case of adiabatic heating of such conductors is treated. All Joule's heat, generated in the conductor, is used for temperature rise of the conductor only, during the time interval of the short circuit, not taking into account heat dissipation from its surface. In the paper, results are given of temperature rise calculations for some typical types of conductors and ground wires, used in the transmission system of Slovenia. A comparison is made between experimental results of observed examples of temperature rise on some selected conductors and ground wires together with a review of calculations of the temperature rise, using different methodologies.

Keywords: Conductors, Ground Wires, OPGW, Short Circuit Current, Adiabatic and Non-Adiabatic Heating, Mechanical and Thermal Researching of Conductors.

1. INTRODUCTION

Apart from climate conditions (air temperature, wind pressure, additional winter stress), changes in mechanical properties of overhead conductors are also affected by atmospheric pollution (corrosion effects) and temperature state of conductors. The involved impacting processes are the ones that occur during the normal operation (stationary state). The percentile loss of the mechanical strength of stranded conductors [1, 2] depends on the duration of the mechanical stress during the line operation, geometrical dimensions of wires or stranded conductors, and temperature at which the entire process of the mechanical stressing takes place. V. T. Morgan [3] in his investigations additionally introduced an algorithm that takes into account also microstructural changes appearing during the material processing (mechanical wearing, material recovery). Research [5] on individual wires ø 3.44 mm made of pure aluminium, aluminium alloy wires (AlMg1E) ø 3.20 mm, and on some types of stranded conductors and ground wires (homogeneous and double metal) showed that under stationary conditions, the efect of elevated temperatures, ranging from 80°C-100°C, on mechanical properties of the employed material is minimal (decreased tensile strength of the Al wire by 2.3%, AlMg1E wire by 2.6%, in the elastic area in the case of pure aluminium by 0.9%, or in the case of the AlMg1E alloy by 2.5%). In stranded double metal conductors of the ACSR 490/65 type (490-A1/S1A-54/7, Al/Fe 490/65), the decrease in the tensile breaking force of the conduction layer for the above temperature difference is considerably lower (some 0.5%), in the AACSR 240/55 (240-A2/S1A-30/7, AlMg1E/Fe 120/70) ground wires this is only some 0.3%. In homogeneous conductors made of pure aluminium this percentage is much higher (some 4.1%). Changes in mechanical properties of hard drawn wires made of pure aluminium and the aluminium alloy (AlMg1E) or completely stranded wires that are mostly used for the high voltage network of Slovenia are shown in Tables 1 and 2.

Table 1: The change in mechanical properties of hard drawn wires made of Al 99.5 and alloy AlMg1E at the temperature rise from 80°C to 100°C [5]

Magnitude	decrease in [%]	
	The Al wire ø 3.44 mm	The AlMg1E wire ø 3.20 mm
σ_m	2.3%	2.6%
$\sigma_{p0.2}$	2.3%	2.6%
σ_{lln}	0.9%	2.5%
ε	1.1%	3.7%

Remark: Table 1 shows results of the research made within [5] for the 490-A1/S1A-54/7 (ACSR 490/65) conductor and for the 240-A2/S1A-30/7 (AACSR 240/55, AlMg1E/Fe 240/55) ground wire.

Table 2: Changes in the tensile force of the conductive layer for conductors and ground wires at the temperature rise from 20°C to 80°C and from 80°C to 100°C, respectively [5]

Conductor	decrease of F_m in [%]	
	20°C 80°C	80°C 100°C
ACSR 490/65 (Al/Fe 490/65)	0.7%	0.5%
AACSR 120/70 (AlMg1E/Fe 120/70)	0.8%	0.3%
AAC 500 (Al 500)	10.9%	4.1%
Steel Core	0%	0%

In the overhead line technique, there has recently been quite a lot of attention paid to this issue that concerns the determination of changes in mechanical properties of the material or completely stranded conductors and ground wires of transmission lines as a consequence of thermal loading of the same under normal operating conditions (stationary state) and at non-stationary short-circuit conditions (the dynamic model). At short circuits, ground wires or conductors are additionally thermally stressed. With this respect it is important to know the data about the initial

temperature state of the conductor in the moment of the occurrence of the short circuit (the magnitude of the initial temperature of the conductor at stationary state). The critical state can take place when the conductor operates at the thermal limit or close to it. In its consequence this results, in such extreme cases, in the decrease of the operating reliability of the transmission line owing to increased sagging or correspondingly decreased safety heights (ground clearances).

2. MATHEMATICAL ALGORITHM FOR THE OVERTEMPERATURE CALCULATION

For the calculation of the overtemperature, attained by the conductor at a short circuit it is assumed that all the generated heat results in the temperature rise (adiabatic state). The heat sink during short circuit is hereby neglected. The adiabatic approach is more suitable for smaller currents of the short circuit and shorter times (100 ms $t_k \leq$ 350 ms) which corresponds to the first or second degree of the distance line protection. The second approach takes into consideration the nonadiabatic state of the conductor where regard is paid to the heat dissipation at the time of the short circuit. It is more convenient for greater current loadings with higher current densities and for longer times of the short circuit (350 ms $\leq t_k \leq$ 1000 ms). The expanded second degree or the third degree of the distance protection corresponds to this.

The temperature rise of the conductor is in the differential form for the adiabatic state expressed as follows:

$$d\Theta = i^2 \frac{\rho}{4.1868 \cdot \gamma \cdot c_p} \cdot \left(1 + \alpha\Theta\right) dt \qquad (1)$$

A general solution of Eq. (1) is:

$$\Theta = \frac{1}{\alpha_{20c}} \left(e^{i^2 \alpha\, kt} - 1 \right) \qquad (2)$$

where k is:

$$k = \frac{\rho}{4.1868 \cdot \gamma \cdot c_p} \qquad (3)$$

where:

- i - current density [A mm^{-2}]
- Θ - temperature gain [°C]
- ρ - specific electric resistance at 20 °C [Ωmm^2 m^{-1}]
- γ - specific conductor mass [kg dm^{-3}]
- C_p - specific conductor heat at constant pressure [kcal kg^{-1} K^{-1}]
- α - temperature resistance coefficient [K^{-1}]
- t - duration time of short circuit [s]

Attention should be paid to the fact that all the above physical magnitudes, i.e. ρ, γ and c_p, are as a rule dependent on temperature [6]. For the observed temperature range up to 300°C, when everything is still in the aggregate state, it is only the specific electric temperature dependent resistance that is taken into consideration at the calculation. Product $\gamma\, c_p$ is in the temperture interval up to 300°C practically constant. For aluminium it is 0.585 and for copper 0.82 [7].

3. RESULTS OF LABORATORY RESEARCH AND THEORETICAL CALCULATIONS OF CONDUCTOR AND GROUND WIRE HEATING

Within WG 22.12 for conductors, pertaining to SC 22 for overhead lines of the International CIGRE, a rather large research project in the field of conductor heating is underway. It encompasses various calculation methods for conductor heating in the non-stationary state by means of corresponding procedures of various methodologies. The purpose of these investigations is a thorough analysis of thermal effects on mechanical properties of the employed materials at increased temperatures in order to determine overtemperatures of conductors and ground wires (recently also of the OPGW cables) under short circuit conditions (the dynamic model).

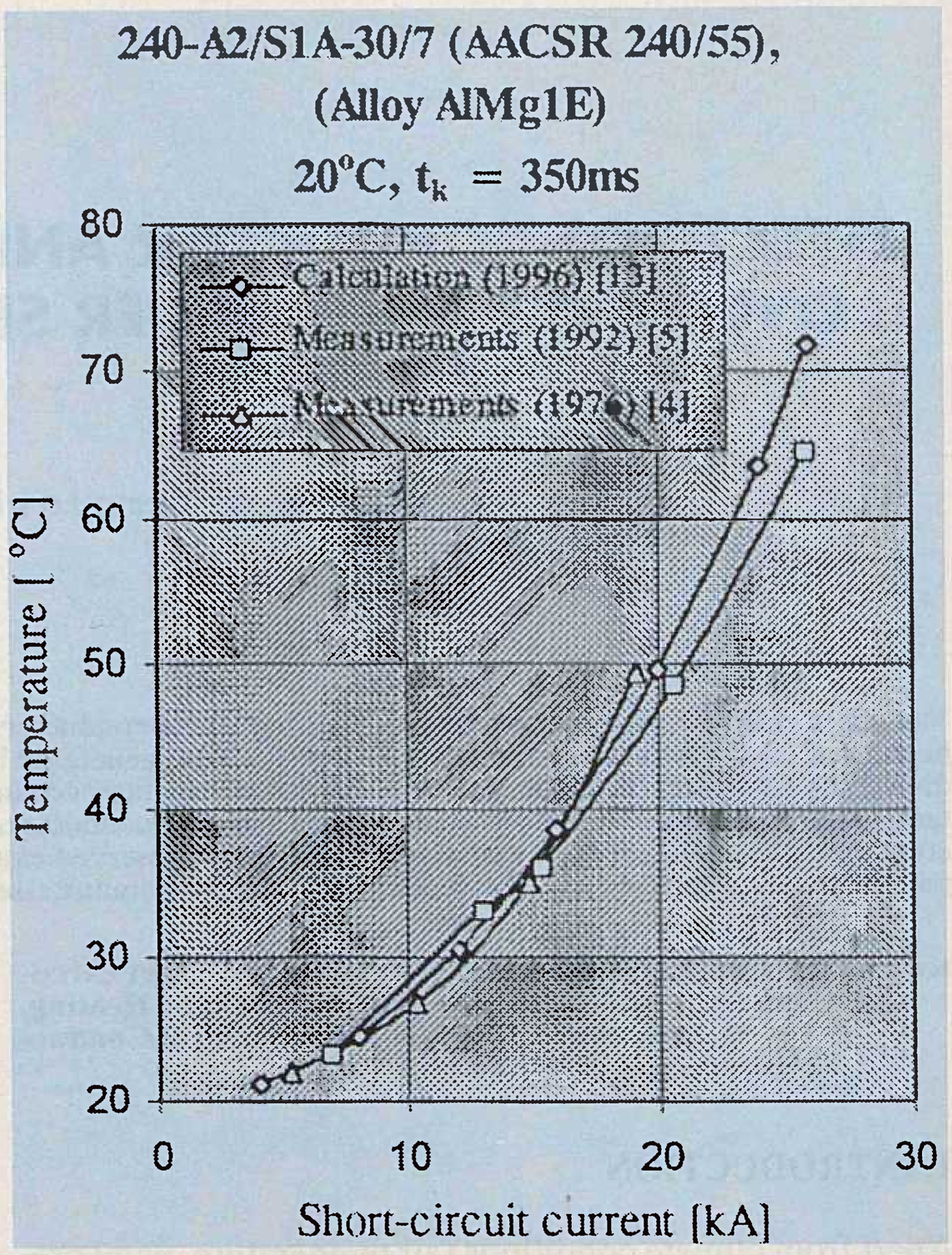


Figure 1: Heating curves of the 240-A2/S1A-30/7 (AACSR 240/55, AlMg1E/Fe 240/55) ground wire at t_k=350 ms, the initial temperature 20°C

To have the conductor heating calculated, we need to know particular input data. The final results, that sometimes deviate from each other and that can be confirmed or reversed only after they have been tested, depend on the accuracy of these data.

Within [5] there were complex laboratory investigations made on some typical types of double metal and homogeneous conductors and ground wires in order to define their mechanic and thermal properties at increased temperatures. The research made under nonstationary conditions at short circuits indicated that the temperature rise of individual layers inside the stranded conductor depends on the type and technological mode of fabrication of the wire. Similar findings are also obtained in researches [8, 9].

Fig. 1 shows heating curves of the ground wire of the 240-A2/S1A-30/7 type (AACSR 240/55, AlMg1E/Fe 240/55) at various short circuit-currents and at the initial temperature 20°C, t_k=350 ms. Samples of the ground wire were taken from the double circuit 400 kV line Maribor-Krško-Zagreb and Maribor-Kainachtal (Austria) and were labo-

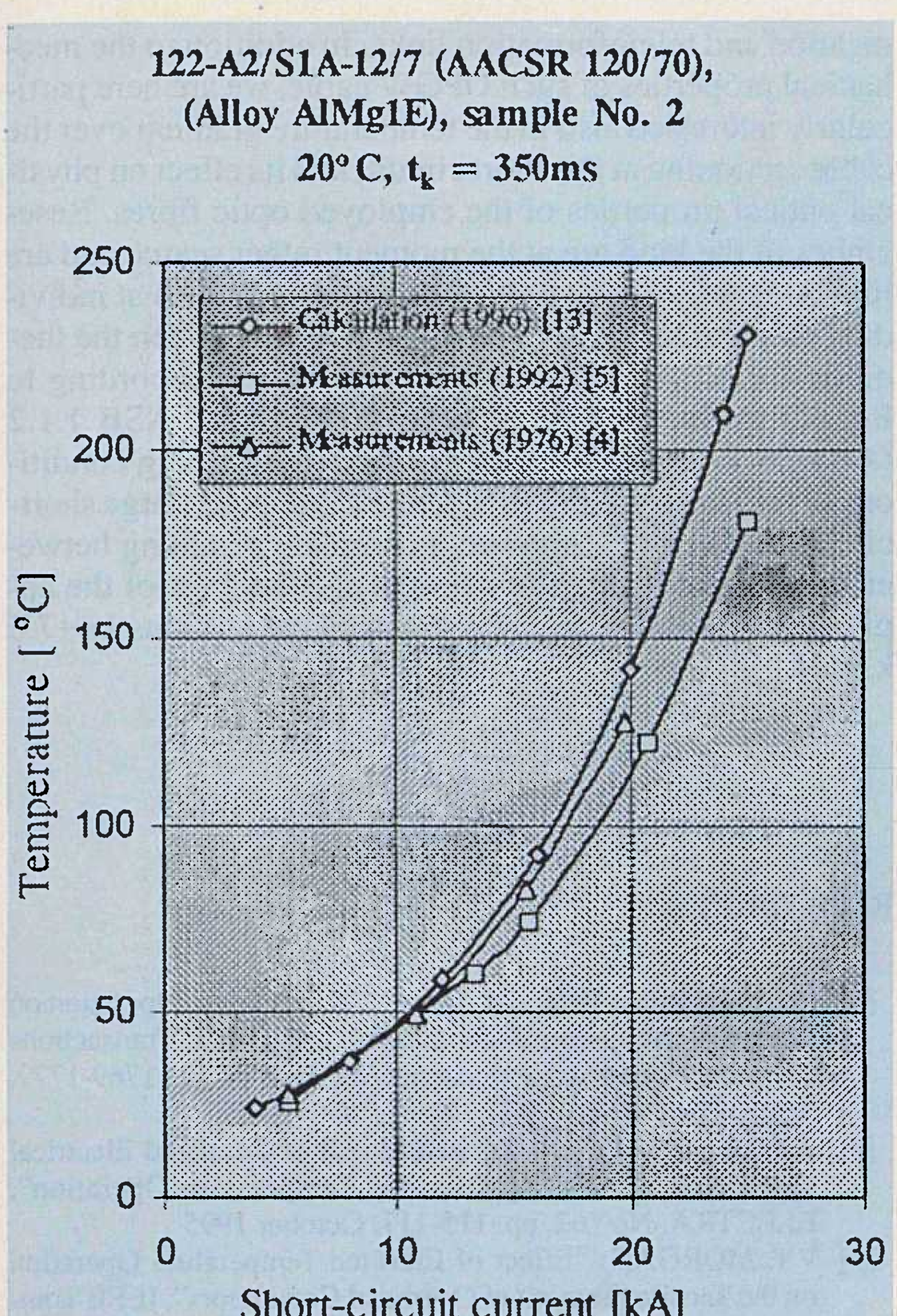


Figure 2: Heating curves of the 122-A2/S1A-12/7 (AACSR 120/70, AlMg1E/Fe 120/70) ground wire at t_k=350 ms, the initial temperature 20°C

ratory tested in 1976 within [4] and in 1992 [5].
Fig. 2 shows heating curves for the ground wire, type 122-A2/S1A-12/7 (AACSR 120/70, AlMg1E/Fe 120/70) at various short-circuit currents and initial temperature 20°C, t_k=350 ms. In both cases, the duration of the short-circuit current of 350ms corresponds to the 2nd protection degree. Figs. 1 and 2 show also heating curves for the ground wires calculated according to Eq. (2).
Fig. 3 shows comparative heating curves calculated according to various methodologies for the conductor of the 428-A1/S1A-54/7 (ZEBRA BS 215) type at the short-circuit current I_k=43 kA as a function of the short circuit duration $0 \leq t_k \leq 1000$ ms at the initial temperature 40°C. Fig. 4 shows the same diagrams for the ground wire of the 122-A1/S1A-12/7 type (according to DIN 48204) for the short-circuit current I_k=12.8 kA. Currents and times for the two cases of Figs 3 and 4 were in 1995 and 1996 selected as the referencing ones by the CIGRE SC22 WG 22.12.
In each of the above cases there apply the shown curves of heating or the occurrence of the overtemperature for the symmetric short circuit without the DC component. The calculation of the temperature rise according to Eq. (2) is made by means of the home developed own computer program [10, 13] for the case of the adiabatic conductor heating. This program enables the determination of the temperature rise for arbitrary times and currents of the short

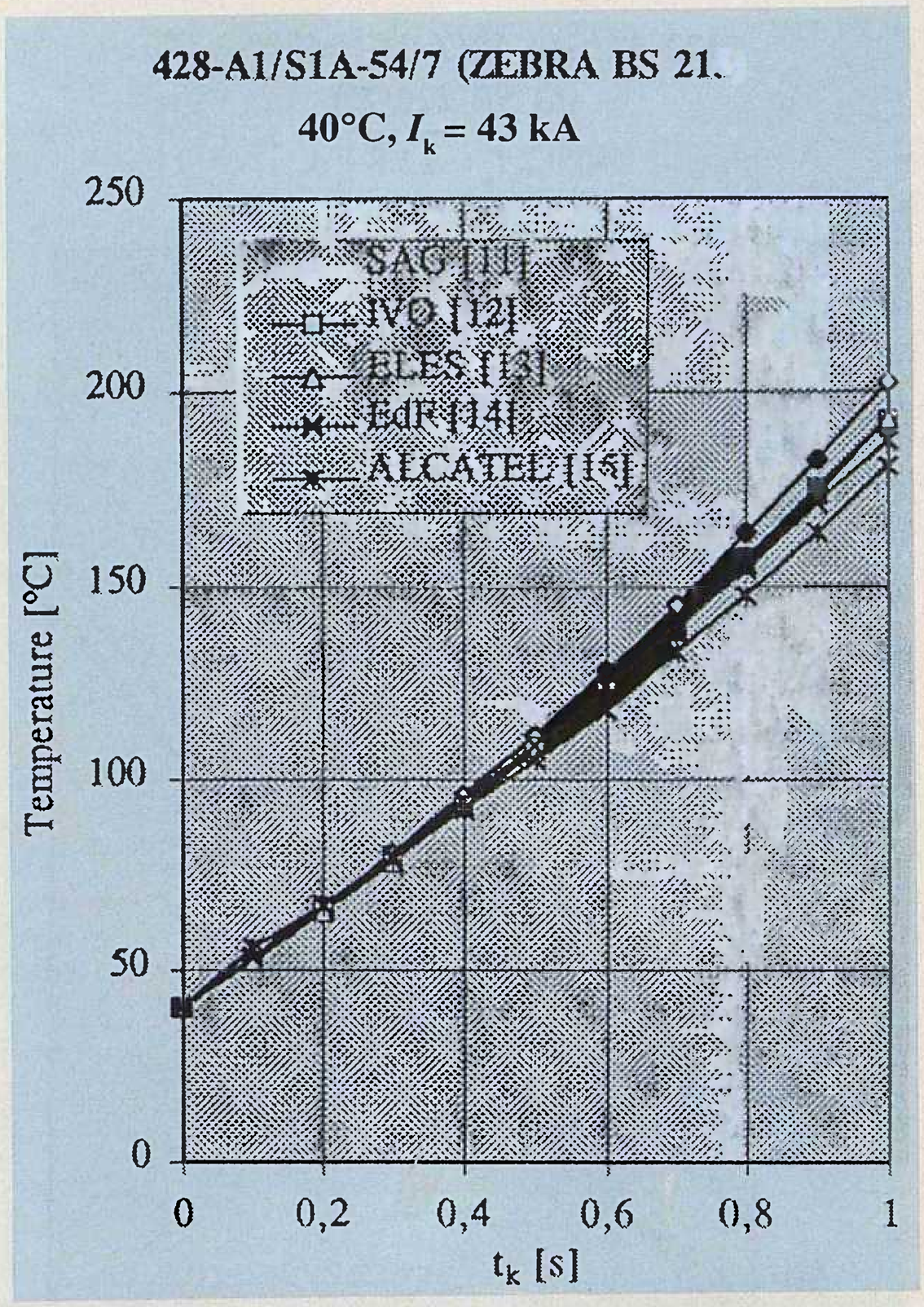


Figure 3: Heating curves for the 428-A1/S1A-54/7 (ZEBRA BS 215) conductor at short circuit current I_k=43 kA

circuit with the introduction of adequate itudes or parameters for the selected type of the conductor.

4. CONCLUSION

Conductors and ground wires, respectivel , at short circuits instantaneously immensely overhea This makes an additional negative impact on their mechanical properties. The reason for it are irreversible proce in which times of current overloadings accumulate.
In order to determine the heating state or to c culate the overtemperature (heating) of conductors, the is quite a number of methodologies with adequate app hes available. The most recent comparative analyses these calculations within the study working group for conductors of overhead lines of the CIGRE SC22 WG22.12, revealed that there is quite a high rate of harmonisati between the results obtained at low current loadings a short durations of the short circuit. At extreme curr t loadings (great current densities), the range of final overtemperatures at combined conductors of the 7.7.1 s-section rate is some 12% (this applies to the 428-A1/S1A-54/7 conductor of the ZEBRA BS 215 type at $_k$ – kA and t_k=1000 ms), while this percentage for the ground wires of the 1.7:1 cross-section is higher and amounts 21% (this applies to the 122-A1/S1A-12/7 ground wire cording to DIN 48204 at I_k=12.8 kA and t_k=1000 ms). T effect of the DC component of the short circuit on the overtemperature gain for the above two examples is at erage 6%

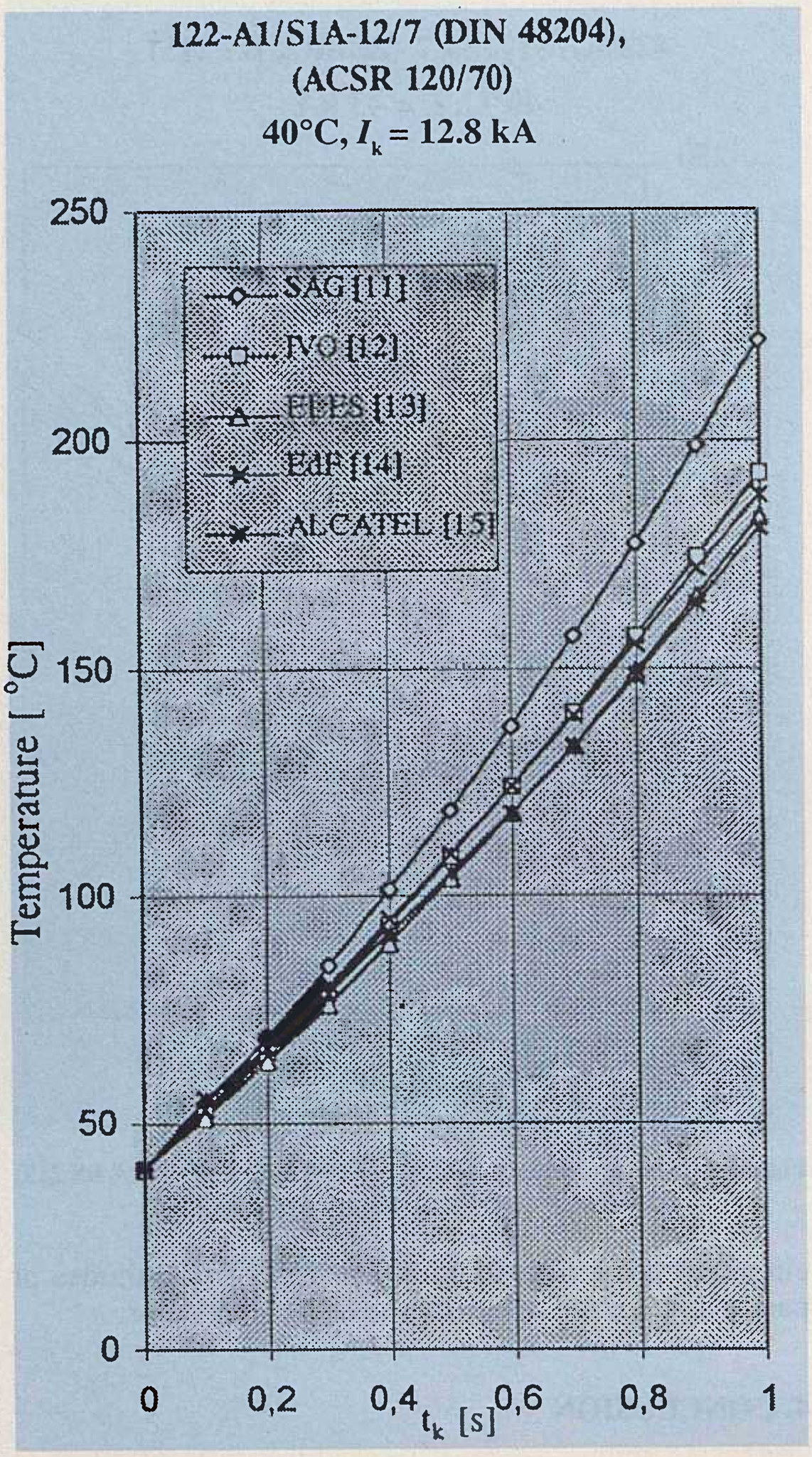


Figure 4: Heating curves for the ground wire of the 122-A1/S1A-12/7 (DIN 48204) type at the short circuit current I_k= 12.8 kA

depending on the employed methodology for the calculation of final overtemperatures (4% according to [12], 5% according to [15], and 8% according to [14]). For the same type of conductors of the 7.7:1 cross-section ratio, values of overtemperatures that are defined according to [15] are by some 10% lower (the dynamic model, non-adiabatic state) than those obtained with the calculation that takes into account the adiabatic state at the short circuit duration t_k=1000 ms which is well matched with the results of experimental investigations [4, 5]. Following the above, it can be concluded that for extreme operational cases it is more convenient to use the methodology for the calculation of the conductor heating at short circuits with the consideration of the non-adiabatic state. On the other side we are on the safer side if we use the calculation according to Eq. (2).

Recently, the OPGW cables have made themselves well established in the field of the overhead line technique. Optic fibres enable transmission of information and various types of data for the needs of the Electricity Supply Industry, Post and Telegraph, as well as other users of telecommunication and teleinformation links. In addition to the mechanical properties of such OPGW cable, we are here particularly interested also in the temperature gradient over the cable sectioning at the short circuit, and its effect on physical optical properties of the employed optic fibres. Researches of the kind are at the moment rather scarce and are limited mostly to the type testing of such cables at individual manufacturers. A comparison made between the theoretical calculation of the temperature rise according to Eq. (2) for the OPGW NOKIA OPTOFLEX ASB 1.1.2 (Al/ACS 173/30-17.5) cable at different loading conditions of the short circuit [16] and the testing with large short-circuit currents [17] showed a complete matching between the obtained laboratory results and findings of the applied calculation method for the declared currents I_k=17.5 kA, 1s.

REFERENCES

[1] J.R. HARVEY: "Effect of Elevated Temperature Operation on the Strength of Aluminium Conductors", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-91, pp. 1769-1772, September/October 1972

[2] CIGRE WG 22.12: "Loss in Strength of Overhead Electrical Conductors Caused by Elevated Temperature Operation", ELECTRA, No 162, pp. 115-117, October 1995

[3] V.T. MORGAN: "Effect of Elevated Temperature Operation on the Tensile Strength of Overhead Conductors", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, No. 1, pp. 345-352, January 1996

[4] F. JAKL: "Issues of AlMg1/Fe Ground Wires for Transmission". M. Sc. Thesis EIII/24, Faculty of Electrical Engineering of the University of Ljubljana, Ljubljana 1976

[5] F. JAKL: "Issues of Bare Conductors and Ground Wires for Overhead Lines". Ph. D. Thesis, University of Maribor, Faculty of Technical Sciences, Maribor, 1992.

[6] V.T. MORGAN: "Thermal Behaviour of Electrical Conductors; Steady, Dynamic and Fault-Current Ratings". RSP-Research Studies Press LTD. Taunton, Somerset, England, 1991

[7] W. KOCH: "Die Bemessung der Erdungsleitungen von Kabeln", Elektrizitätswirtschaft 59 (1960), Heft 3, pp. 74-76

[8] O. GÜNTNER, G. DANYEK: "Computer Aided Design of Optimized Stranded Conductors", Acta Technica Acad. Sci. Hungary, 105 (1-2), pp. 19-40, 1993

[9] L. VARGA: "Determination of the Current Distribution and Current Load of Overhead Line Conductors", Acta Technica Acad. Sci. Hungary, 105 (1-2), pp. 117-128, 1993

[10] F. JAKL, A. JAKL: "Data Calculation of Conductor Temperature Rise under Short-Circuit Conditions", Annex 1, 30 June 1996. Document for 15th Meeting of CIGRE SC 22 WG22.12 held in Nice/France, 22-23 August 1996

[11] DIN VDE 0103: "Bemessung von Starkstromanlagen auf mechanische und thermische Kurzschlussfestigkeit", April 1988.

[12] Short-Circuit Current Calculation of Conductors by IVO International LTD, Transmission Lines, Vantaa/Finland, 1996.

[13] F. JAKL, A. JAKL: "Investigations of conductor and Ground Wire Temperature Rise under Short-Circuit Conditions", CIGRE (22)96(WG12)03, Milan/Italy, April 1996

[14] EdF-Electricité de France, Research and Development Division, Paris, 1996

[15] IEC 949: "Calculation of Thermally Permissible Short-Circuit Currents, Taking into Account Non-Adiabatic Heating Effects", 1988

[16] F. JAKL, A. JAKL: Investigations of temperature rise of AC-SR conductors and OPGW under short-circuit conditions. CIGRE (22)96(WG12)11, Nice/France, August 1996

[17] NOKIA KABEL GmbH Köln & FGH-Forschungsgemeinschaft für Hochspannungs und Hochstromtechnik E. V. Mannheim-Rheinau, Nr. LV 95188/1, Mannheim, 23. November 1995

EFFECTS OF CONDUCTOR AND GROUND WIRE HEATING OF EVERHEAD LINES UNDER SHORT CIRCUITS CONDITIONS

The paper is dealing with problems of heating overhead line conductors and ground wires under short circuit conditions. A case of adiabatic heating of such conductors is treated. All Joule's heat, generated in the conductor, is during the time interval of the short circuit duration used for temperature vise of the conductor only, not taking into account heat disspation from its surface. In the paper, results are given of tempratu-re vise calculations for some characteristic types of conductors and ground wires, used in the transmission system of Slovenia. A comparison is made between experimental results of observed examples of temperature vise on some selected conductors and ground wires together with a review of calculations of the temperature vise, using different methodologies.

DIE FOLGEN DER ERWÄRMUNG DER LEITER UND DES SCHUTZSEILES VON FREILUFTLEITUNGEN WÄHREND DER KURZSCHLUSSBEDINGUNGEN

Gegeben ist die Darstellung des Problems der Erwärmung der Leiter und des Schutzseiles von Freiluftleitungen in der Zeitspanne der Kurzschlussbedingungen. Bearbeitet ist der Fall der adiabatischen Erwärmung dieser Leiter. Während des Bestehens des Kurzschlusses dient die gesammte im Leiter erzeugte Wärme, unter Vernachlässigung der Wärmeverluste an seiner Oberfläche, ausschliesslich der Temperaturerhöhung. Dargestellt sind die Berechnungsergebnisse des Temperaturaufstieges für einige für das slowenische Übertragungsnetz kennzeichnende Arten der Leiter und Schutzseile. Diese Ergebnisse sind mit jenen durch Versuche an einigen auserwählten Leiter und Schutzseilen festgestellten verglichen. Es ist auch eine Übersicht der mit verschiedenen Methoden errechneten Temperaturaufstiege gegeben.

Naslov pisaca:

Doc. dr. sc. Franc Jakl, dipl. ing.
Eles - Elektro-Slovenija
Vetrinjska ul. 2,
2000 Maribor, Slovenia
franc. jakl@uni-mb.si

Andrej Jakl, dipl. ing.
Majeričeva ul. 6
2000 Maribor, Slovenia
andrej. jakl@uni-mb.si

Uredništvo primilo rukopis:
1997-05-20

DALEKOVOD d.d.

DALEKOVOD DANAS

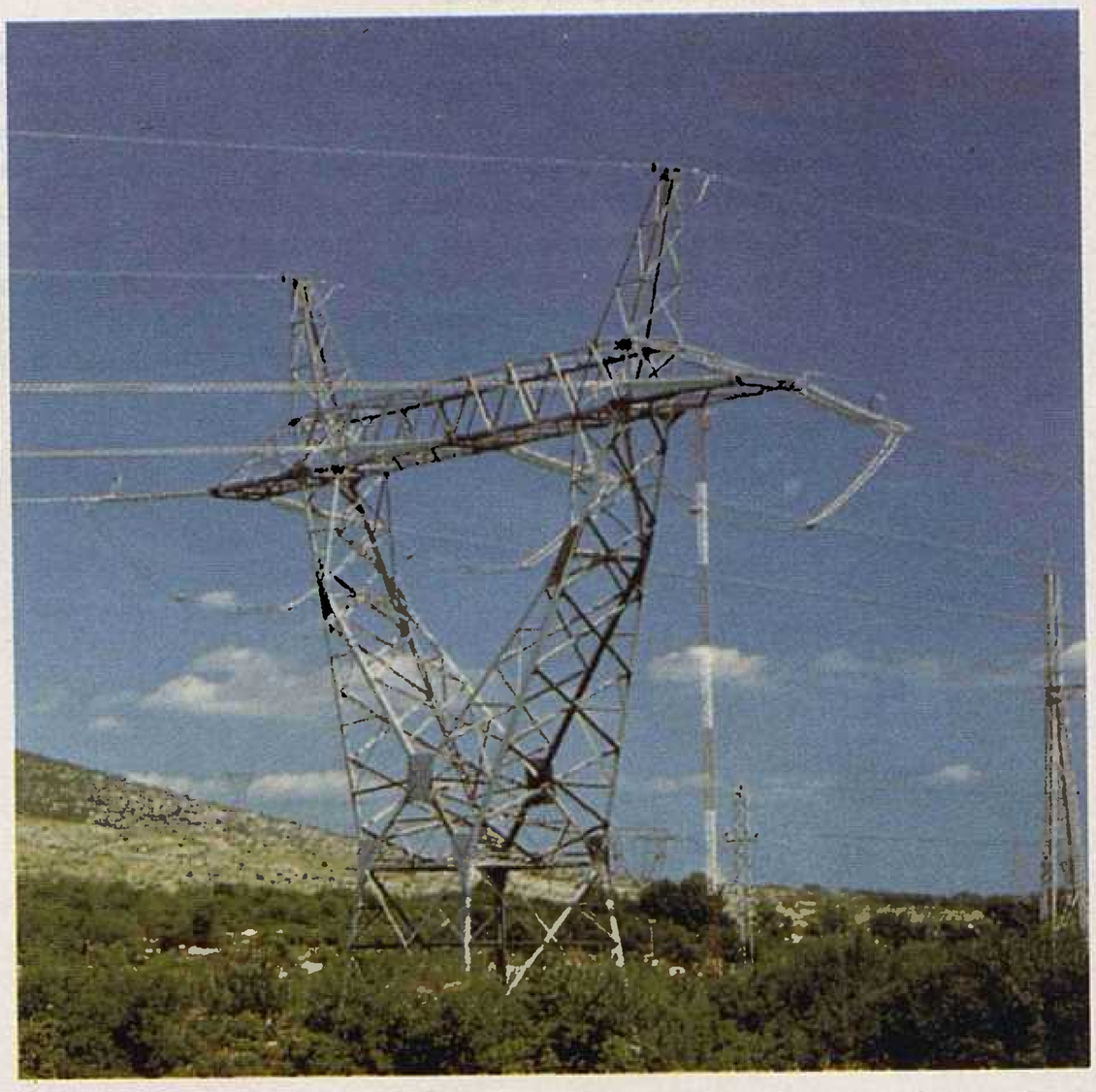
DALEKOVOD je dioničko društvo za inženjering, proizvodnju i gradnju. Za potrebe svog poslovanja utemeljio je:
— Tvrtku DALCOM sa sjedištem u FREILASSINGU — Njemačka
— Tvrtku DALEN sa sjedištem u LJUBLJANI — Slovenija
DALCOM i DALEN rade samostalno, ali s ograničenom odgovornošću.

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 LR191 (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 LR191 (1/94)

STATISTIČKI POKAZATELJI ZA RAZDOBLJE OD I-III. 1997.

Od prvog siječnja ove godine statistička izvješća se prikupljaju za područje industrije i rudarstva (u koje je uključena i elektroprivreda) po Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti (NKD). Statističke jedinice za mjesečna izvješća jesu trgovačka društva razvrstana u područja C, D i E u Registru poslovnih subjekata. Pri određivanju statističkih jedinica poštivan je i teritorijani princip na razini županija, tj. jedna statistička jedinica obuhvaća samo jednu županiju, pa je Hrvatska elektroprivreda dužna ispuniti toliko izvješća koliko ima županija, iako je jedan poslovni subjekt. Između statističkih podataka objavljenih u Mjesečnom statističkom izvješću 4/1997. Državnog zavoda za statistiku izabrani su najvažniji podaci za elektroprivrednu djelatnost, za razdoblje I-III. 1997. godine. Obuhvaćeni su:

- indeksi fizičkog obujma proizvodnje
- podaci o proizvodnji električne energije
- podaci o broju zaposlenih u elektroprivredi
- podaci o bruto i neto plaći po zaposlenom u elektroprivredi, te
- indeksi cijena.

Indeksi fizičkog obujma industrijske proizvodnje za industrijske grane djelatnosti izračunati su po Laspeyresovoj formuli. Za izračunavanje ideksa temelj su podaci o proizvodnji u naturalnom izrazu prema nomenklaturi industrijskih proizvoda i pondera za te proizvode koji predstavljaju dodanu vrijednost za jediničnu proizvodnju u kojoj se proizvod iskazuje u naturalnom izrazu. Indeksi fizičkog obujma industrijske proizvodnje za ukupno izračunati su na temelju indeksa odjeljaka i stopa kojom odjeljci sudjeluju u ukupnoj dodanoj vrijednsoti u području industrije i rudarstva.
Znak "ø" ispred brojčane vrijednosti označava godišnji prosjek.
Indeksi fizičkog obujma proizvodnje za elektroprivrednu djelatnost prikazani su u tablici 1a i b.

U tablici 2. prikazana je ukupna proizvodnja električne energije, te količine električne energije proizvedene u hidroelektranama i termoelektranama. Podaci o radnicima prema tablici 3. iskazani su kao godišnji prosjek podataka prikupljenih polugodišnjim izvješćem sa stanjem 31. ožujka i 30 rujna. Godišnji prosjek broja zaposlenih izračunat je kao aritmetička sredina dvaju polugodišnjih stanja. Podaci o zaposlenima koji se odnose na mjesečno stanje rezultat su obrade podataka redovnog mjesečnog izvješća.

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 određeno ili neodređeno vrijeme. Mjesečna neto plaća obuhvaća plaće zaposlenih za izvršene poslove na osnovi redovitog radnog odnosa i naknade za:

- godišnji odmor
- bolovanja do 42 dana
- državne blagdane
- plaćeni dopust
- obavljanje građanskih dužnosti
- čekanje i zastoj bez krivnje zaposlenog
- odsustvo za stručno obrazovanje
- obnašanje vojne obveze
- topli obrok i
- regres za godišnji odmor.

Bruto-plaća po zaposlenom u elektroprivredi prikazana je u tablici 5.
Mjesečna bruto-plaća obuhvaća sve vrste neto isplata na osnovi redovitog radnog odnosa i zakonom propisana obvezna izdvajanja, doprinose, poreze i prireze. Normalni indeksi neto i bruto plaća izračunavaju se iz podataka o prosječnim mjesečnim iznosima neto i bruto plaća po zaposlenom.
U tablici 6. prikazani su indeksi cijena električne energije. Indeksi cijena pri proizvođačima dostavljaju izabrane izvještajne

Tablica 1a. Indeksi fizičkog obujma proizvodnje po područjima i odjeljcima NKD-a, 1995=100

		1993/ ø1995.	1994/ ø1995.	1996/ ø1995.	1996/ø1995						1997/ø1995.		
					II.	III.	IV.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.
E	Opsrkba električnom energijom, plinom i vodom	103,2	95,3	125,4	138,4	120,2	120,6	142,9	138,8	150,7	176,3	160,4	162,1
40	Opskrba električnom energijom, plinom, párom i toplom vodom	103,2	95,3	125,4	138,4	120,2	120,6	142,9	138,8	150,7	199,1	177,3,	173,6

Tablica 1b. Indeksi fizičkog obujma industrijske proizvodnje po područjima i odjelcima NKD-a

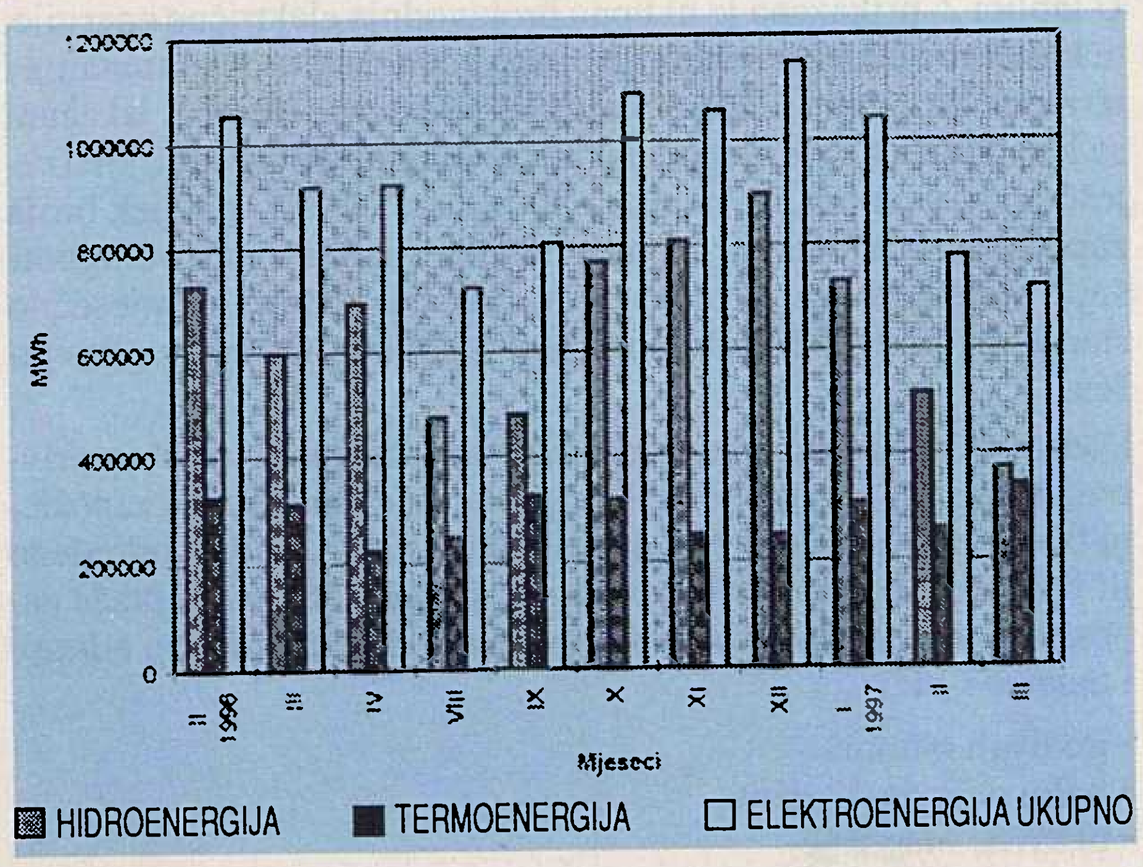
		1994/ ø1993.	1995/ ø1994.	I-III.1996/ I-III.1995.	I-III.1997/ I-III.1996.	1996/ø1996.					1997/ø1996.		
						II.	III.	IV.	XI.	XII.	I.	II.	III.
E	Opskrba električnom energijom, plinom i vodom	92,4	104,9	122,8	119,7	110,4	95,9	96,2	110,7	120,2	140,6	128,0	129,3
40	Opskrba električnom energijom, plinom, parom i toplom vodom	92,4	104,9	122,8	132,0	110,4	95,9	96,2	110,7	120,2	158,8	141,4	138,5

Tablica 2. Proizvodnja električne energije

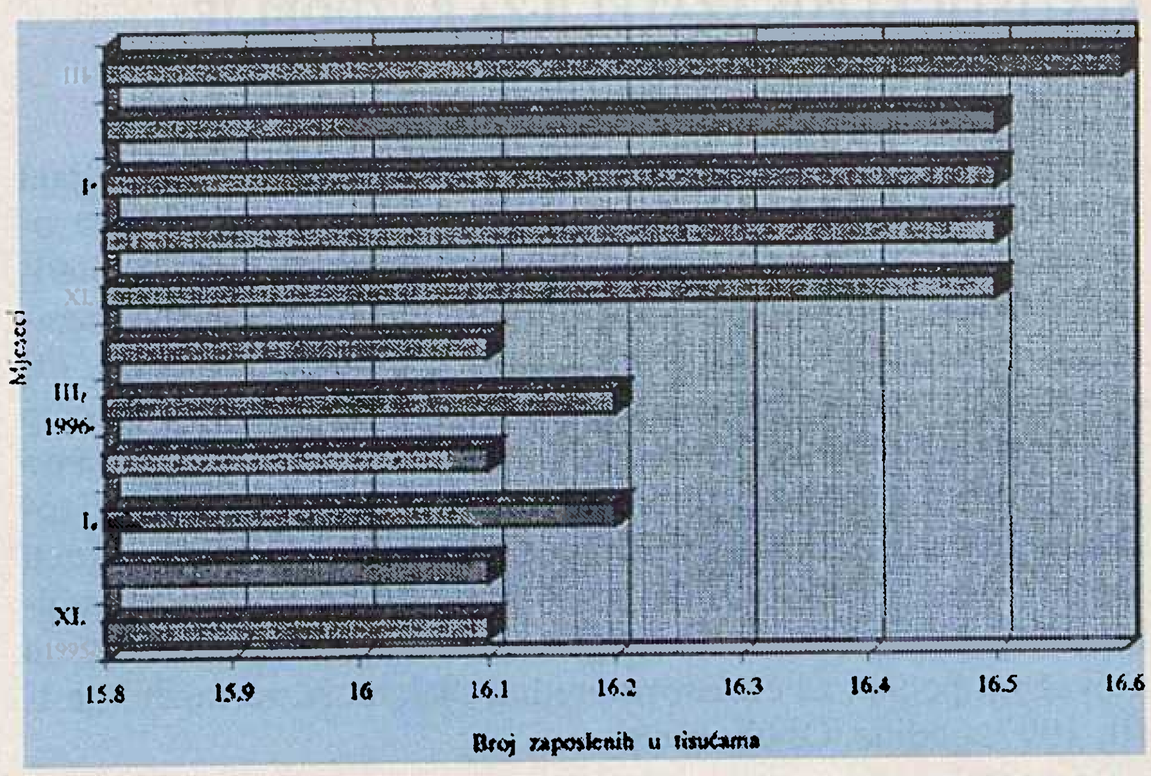
	Jedinica mjere	1995.	1996.	I-III .		1996.								1997.		
				1996.	1997.	II.	III.	IV.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.
Hidroenergija	MWh	5614448	8137914	2256482	1620765	727272	600623	694125	473939	478664	770883	807280	897889	730650	516192	373923
Termoenergija	MWh	3531206	3326602	918550	915410	327222	315279	225226	247840	328265	318531	250732	250282	311350	259977	344083
Elektroenergija ukupno:	MWh	9145654	11464516	3175032	2536175	1054494	915902	919351	721779	806929	1089414	1058012	1148171	1042000	776169	718006

Tablica 3. Broj i struktura zaposlenih u elektroprivredi (u tisućama)

Prosjek		1995.		1996.						1997.		
1994.	1995.	XI	XII	I	II	III	IV	XI	XII	I	II	III
16,0	16,0	16,1	16,1	16,2	16,1	16,1	16,1	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5



Slika 1. Proizvodnja električne energije u razdoblju od II. 1996.-III.1997.



Slika 2. Broj zaposlenih u razdoblju od XI. 1995-III.1997.

Tablica 4. Neto plaća i indeksi neto plaće po zaposlenom u elektroprivredi

Kuna

	Prosjek		Prosjek I-II.		1996.					1997.	
	1995.	1996.	1996.	1997.	I.	II.	X.	XI.	XII.	I.	II.
Iznosi (kuna)	2032	2529	2711	2732	2336	3086	2498	2439	2658	2697	1766
Indeksi	53,4	80,3	107,2	108,0	92,4	122,0	98,8	96,4	105,1	106,6	109,4

Tablica 5. Bruto plaća i indeksi bruto plaće u elektroprivredi po zaposlenom

Prosječne bruto plaće po zaposlenom u elektroprivredi (kuna)					Indeksi bruto plaće po zaposlenom		
XII. 1996.	I-XII. 1996.	I. 1997.	II. 1997.	I-II. 1997.	XII. 1996./ XI. 1996.	I. 1997./ XII. 1996.	II. 1997./ I. 1997.
4053	4070	4136	4281	4209	108,3	102,0	103,5

Tablica 6. Indeksi cijena

1994.	1995.	1996.										1997.		
		II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.
104,4	99,2	121,4	92,4	92,4	92,4	89,4	89,4	89,4	89,4	89,4	116,5	116,5	116,5	116,5	89,3

jedinice za najvažnije proizvode, tj. proizvode s najvećom prodajom na domaćem tržištu, čije cijene mogu reprezentirati opće kretanje cijena i po namjeni proizvoda. Opći indeks cijena i indeksi cijena po granama utvrđuju se ponderiranim postupkom, pri čemu se za pondere uzima vrijednost proizvoda prodanih na domaćem tržištu.

SBK

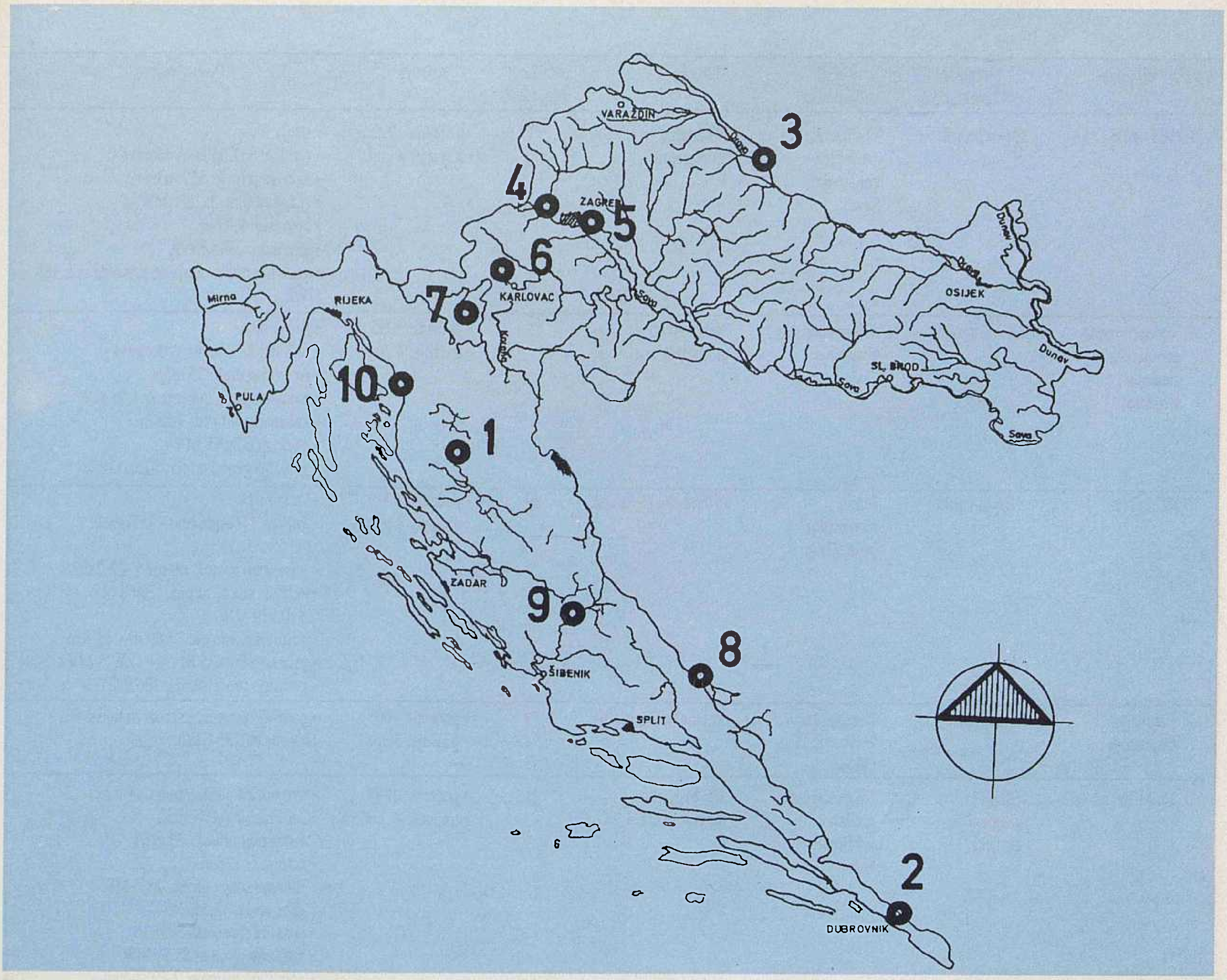
PROJEKTI HIDROELEKTRANA U HRVATSKOJ - NOVA POSTROJENJA[1]

Pod ovim nazivom načinjen je pregled projekata preostalog raspoloživog hidropotencijala koji bi se mogao iskoristiti u bliskoj budućnosti. Potencijalne lokacije su na slici 1. To su:

1. Akumulacijsko jezero i hidroelektrana Kosinj
2. Hidroelektrana Ombla
3. Hidroelektrana Novo Virje
4. Hidroelektrana Podsused
5. Hidroelektrana Drenje
6. Vodoprivredna energetska stepenica Brodarci
7. Hidroelektrana Lešće
8. Retencija Čaprazlije
9. Hidroelektrana Miljacka
10. Hidroelektrana Senj 2.

Osnovni podaci svake hidroelektrane prikazani su u tablici 1.

[1] Izradio Elektroprojekt



Slika 1. Lokacije potencijalnih hidroelektrana

Tablica 1. - Osnovni podaci o mogućim elektranama

Naziv projekta	Tehnička dokumentacija	Cilj projekta	Objekt	Troškovi mln. US$	Rokovi	Postrojenje
1. Akumulacijsko jezero i HE Kosinj	Idejni projekt	Smanjenje preljevnih gubitaka vode	• akumulacija i HE Kosinj, • povećanje kapaciteta HE Senj	250	• početak: 1996. • trajanje: 5 god.	• pribransko nadzemna strojarnica • turbine: 2xFrancis + 1xKaplan • instalirani protok: 2x45 m3/s + 1x60 m3/s • snaga turbina: 2x23,4 MW + 1x15,15 MW • konstruktivni pad: 2x45 m + 1x28 m • generatori: 2x25 MVA + 1x17 MVA
2. HE Ombla	Idejni projekt	Poboljšanje uvjeta vodoopskrbe	HE Ombla (kompletno novo)	84	• početak: 1996. • trajanje: 5 god.	• podzemna strojarnica • Turbine: 2xFrancis (vertikalna) + 2xFrancis (vodoravna) • nazivni protok: 2x30 m3/s + 2x4,5 m3/s • snaga turbina: 2x26,37 MW + 2x3,93 MW • generatori: 2x30 MVA + 2x10 MVA • bruto pad: 98 m • prosječna godišnja proizvodnja uz protočni rad: 156,3 GWh
3. HE Novo Virje	Idejno rješenje	Višenamjensko uređenje i korištenje rijeke Drave	HE Novo Virje (kompletno)	382	• početak: 1997. • trajanje: 4 god.	• strojarnica pribranska s odvodnim kanalom • turbine: 3xKaplan (vertikalna) • nazivni protok: 320 m3/s • snaga turbina: 3x52,5 MW • generatori: 3x63 MVA
4. HE Podsused	Idejno rješenje	Višenjamjensko uređenje i korištenje Save	HE Podsused (kompletno)-pribranska hidroelektrana	168	• početak: 1996. • trajanje: 4 god.	• strojarnica: • turbine: 2xKaplan (vertikalne) • nazivni protok: 250 m3/s • snaga turbine: 2x25,8 MW • neto pad: 11,6 m • generatori: 2x32 MVA • srednja godišnja proizvodnja: 202,4 GWh

Naziv projekta	Tehnička dokumentacija	Cilj projekta	Objekt	Troškovi mln. US%	Rokovi	Postrojenje
5. HE Drenje	Idejni projekt	Višenamjensko uređenje i korištenje Save	HE Drenje (kompletno)	147	• početak: 1999. • trajanje: 4 god.	• strojarnica: • turbine: 3xKaplan (vodoravna) • nazivni protok: 167 m3/s • snaga turbine 3x13,1 MW • neto pad: 9,87 m • gneratori: 3x14 MVA • godišnja proizvodnja uz protočni rad: 189 GWh
6. Vodoprivredna energetska stepenica Brodarci	Glavni projekt	Višenamjensko korištenje	Pribranska hidroelektrana	72	• početak: 1995. • trajanje: 4 god.	• strojarnica • turbina: 2x cijevna vodoravna • nazivni protok: 75 m3/s • nazivna snaga turbine: 2x4,86 MW • konstruktivni pad: 7,28 m • gneratori: 2x5,8 MVA • godišnja proizvodnja: 50,56 GWh
7. HE Lešće	Glavni rojekt	Jedno namjensko postrojenje	Pribranska elektrana	89	• početak: 1995. • trajanje: 4 god.	• strojarnica: • 2xFrancis (uspravna) - 1xFrancis (vodoravna) • instalirani protok: 60 m3/s + 2,7 m2/s • nazivna snaga turbine: 20,68 MW + 1x0,979 MW • konstruktivni pad: 37,69 m + 41,8 m • generatori: 2x25 MVA + 1x1,25 MVA • godišnja proizvodnja: 106,9 GWh
8. Retencija Čaprazlije	Glavni projekt	Energetsko korištenje sliva Cetine	Retancija Čaprazlija	39	• početak: 1995. • trajanje: 3 god.	• godišnje povećanje proizvodnje u HE Orlovac za 135 GWh
9. He Miljacka	Idejni i osnovni projekt	Višenamjensko uređaji i korištenje Krke	HE Miljacka - derivacijski tip	113	• početak: 1998. • trajanje: 4. god.	• strojarnica nadzemnog tipa • 2 x Francis (verikalna) • instalirani protok: 25 m3/s • neto pad: 126 m • nazivna snaga turina: 28,2 MW • generatori: 33,5 MVA • instalirani protok: 50 m3/s • instalirana snaga 53,57 MW • uporabno vrijeme: 3 392 h/god. • godišnja proizvodnja: 181,7 GWh
10. HE Senj 2	Idejno rješenje	Energetsko korištenje Like i Gacke	HE Senj 2	280	• početak: 1998. • trajanje: 4 god.	• strojarnica pribranska nadzemna • turbina: 2 x Francis + 1xKaplan • instalirani protok: 2x45 m3/s + 1x60 m3/s • nazivna snaga turbina: 2x23,4 MW + 1x15,15 MW • konstruktivni pad: 2x45 m + 1x28 m • generatori: 2x25 MVA + 1x17 MVA

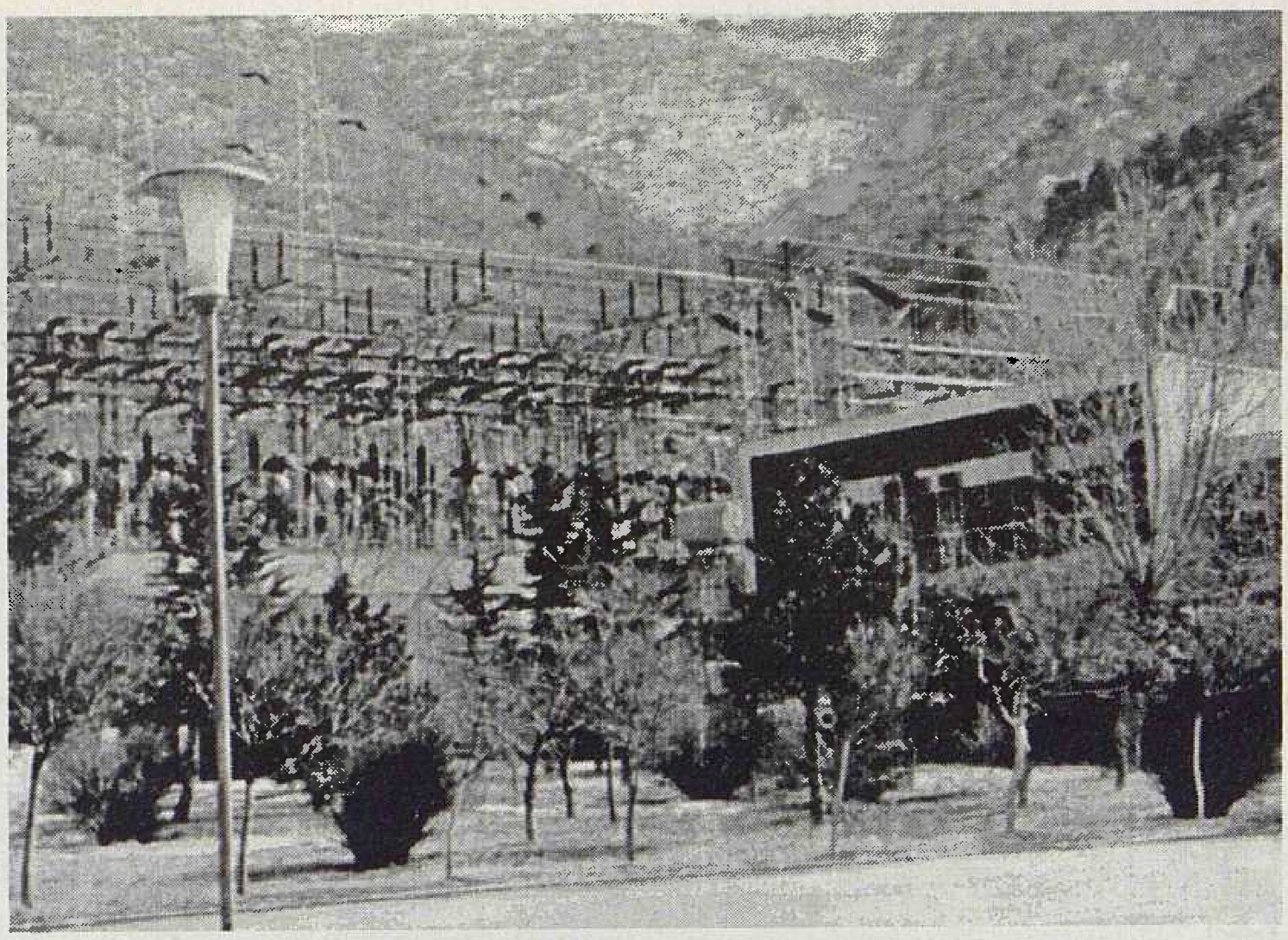
Akumulacijsko jezero i hidroelektrana Kosinj

1984. godine izrađena je studija "Optimalno korištenje voda u slivovima rijeke Like i Gacke". Nakon provedenih sveobuhvatnih i cjelovitih analiza dan je prijedlog korištenja voda ovih slivova s ciljem potpunijeg i efikasnijeg iskorištenja njihovog energetskog potencijala. HE Kosinj zajedno sa akumulacijom planirana je u sklopu izgrađenog hidroenergetskog sustava Senj (slika 2.). Akumulacijsko jezero Kosinj predviđeno je nizvodno od akumulacijskog jezera Kruščica, ali tako da oba jezera čine jedinstvenu akumulaciju volumena oko 535 milijuna m^3.
Postrojenje čine objekti:

- akumulacijsko jezero Kosinj
- rekonstruirani evakuacijski objekti na brani Sklope, tunela i kanala Bakovac - Lika
- He Kosinj i
- kompenzacijski bazen Selište.

Izradnjom brane Kosinj na rijeci Lici, brane na sedlu, brane Bakovac na potoku Bakovac te injekcijske zavjese formirat će se akumulacijsko jezero Kosinj. Pribranska hidroelektrana Sklope uz branu akumulacijskog jezera Krušića prestaje s radom i bit će potopljena.

HE Kosinj izgradit će se kao pribransko postrojenje na brani Kosinj. Za proizvodnju električne energije koristit će vode koje se iz akumulacijskog jezera ispuštaju za HE Senj i pad formiran izgradnjom akumulacije Kosinj. Predviđene su dvije Francis-turbine instaliranog protoka po 45 m^3/s svaka, konstruktivnog pada 45 m i instalirane snage svaka 23,4 MW. Osim ovog predviđena je još jedna proizvodna grupa s Kaplan-turbinom instaliranog protoka 60 m3/s, konstruktivnog pada 28 m, instalirane snage 15,15 MW sa generatorom snage 17 MVa.
Kompenzacijski bazen Selište formira se nizvodno od brane Kosinj do brane Selište u koritu rijeke Like. Brana Selište je postojeći objekt koji pregrađuje korito rijeke Like i time skreće njezine vode u tunel, koji ih prevodi u rijeku Gacku i dalje do HE Senj. Ovaj kompenzacijski bazen treba omogućiti vršni rad HE Kosinj sa dvije proizvodne grupe.
Osim toga predviđa se i izgradnje HE Otočac na kraju tunela Lika - Gacka, sa instaliranim protokom od 50 m^3/s, konstruktivnim padom 30 m, instaliranom snagom 12,65 MW, te prosječnom godišnjom proizvodnjom 64 GWh.
HE Sklope proizvede prosječno godišnje 81.4 GWh, a HE Senj 982,1 GWh, dakle, ukupno 1 0635 GWh. Izgradnjom akumulacije i HE Kosinj srednja godišnja proizvodnja u HE Kosinj izno-



Slika 2. HE Senj

sit će 76,3 GWh, a HE Senj 1 413,6 GWh, dakle, ukupno 1 489,9 GWh. Tako će ukupna prosječna godišnja proizvodnja električne energije porasti za 426,4 GWh.

HE Ombla

Priobalni kraški izvor Ombla smješten je na južnom dijelu obale Jadranskog mora na kraju zaljeva Rijeke Dubrovačke, oko 4,5 km sjeverozapadno od grada Dubrovnika (slika 3.). Buduća HE Ombla bit će višenamjenski objekt. Postrojenje će osim energetskog iskorištenja voda izvora Ombla znatno poboljšati uvjete opskrbe vodom čitavog okolnog područja s mogućnošću transporta vode na veće udaljenosti.
HE Ombla će biti nekonvencionalno pribransko postrojenje s podzemnom branom, podzemnom akumulacijom i podzemnom strojarnicom. U podzemnoj strojarnici nalazit će se hala strojarnice s tri agregata, komandni prostor, montažni i pomoćni prostor, te rasklopno postrojenje 110 kV s dva blok-transformatora i jednim mreženim transformatorom. Ispod strojarnice bit će smještena dva agregata s Francis-turbinama s vertikalnim osovinama, jedan agregat s dvije Francis-turbine s horizontalnim osovinama spojenim na jedan generator te ostala električna i hidromehanička oprema. Veza s TS 110/35/10 kV će biti 110 kV kabelom.

HE Novo Virje

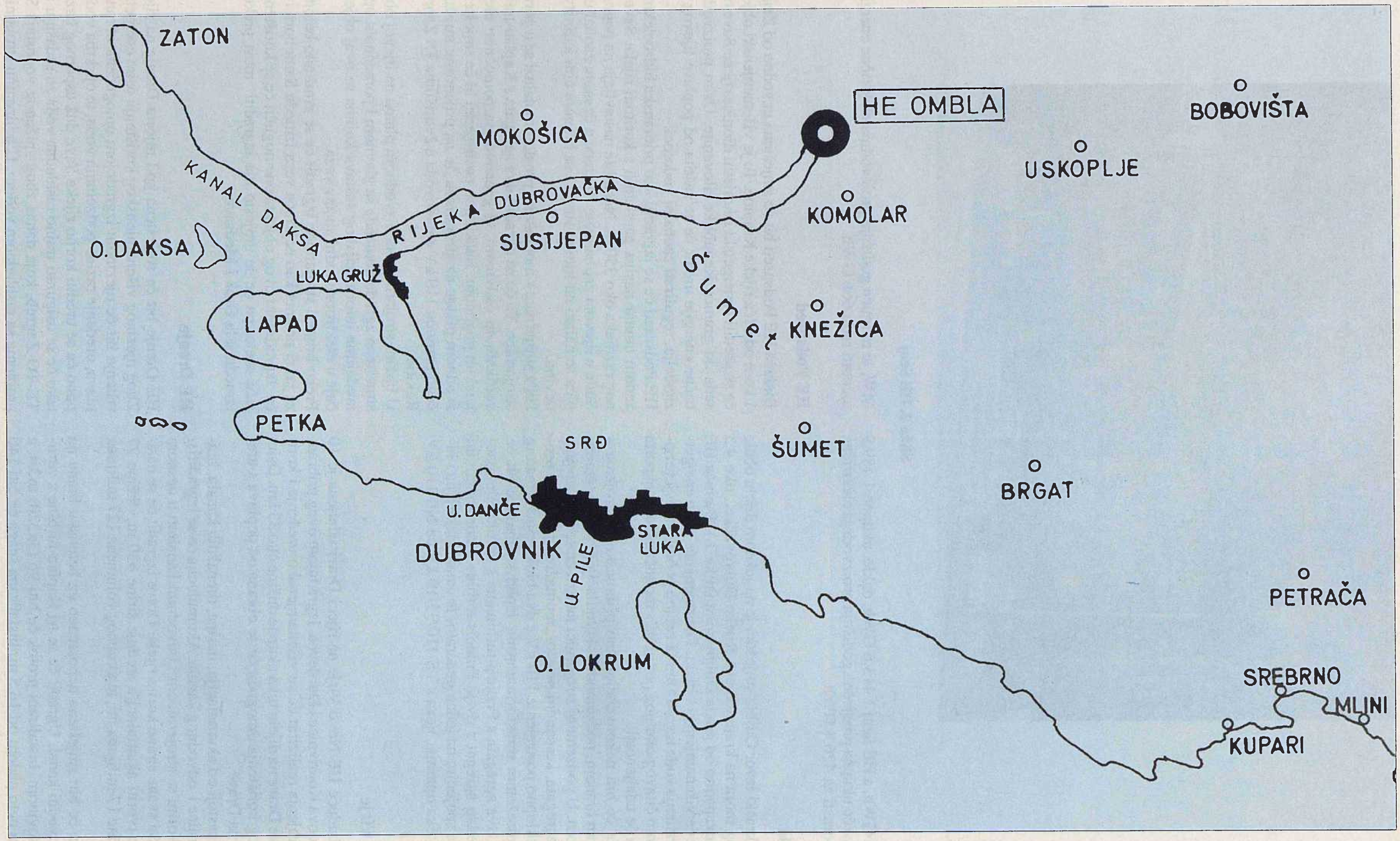
Lokacija buduće HE Novo Virje na rijeci Dravi udaljena je 10 km od gradova Koprivnice i Đurđevca. Izgradnjom ovog pribranskog postrojenja realizirat će se višenamjensko uređenje i korištenje rijeke Drave na dijelu toka ukupne dužine oko 33 km. Osim energetskog korištenja omogućit će se obrana od poplava s uređajem korita Drave.
Objekt se sastoji od akumulacija, nasipa, drenažnih kanala, brane i strojarnice i odvodnog kanala. Akumulacija će se izgraditi u riječnom koritu sa strojarnicom i odvodnim kanalom u desnom zaobalju. Sa svake strane korita rijeke Drave izgradit će se nasipi, koji će tvoriti akumulaciju srednje širine 630 m, dužine 27 km, površine 17 milijuna m^2, te ukupnog volumena 127 milijuna m^3.
Strojarnica će biti smještena neposredno uz betonsku branu na ulazu u odvodni kanal. Ugradit će se tri Kaplan-turbine s vertikalnom osovinom. Instalirani protok će biti 96 (3x320) m3/s, a prosječnim neto padom od 16,5 m. Instalirana snaga će biti 140 MW, te moguća godišnja proizvodnja električne energije u protočnom radu 666 GWh.

HE Podsused

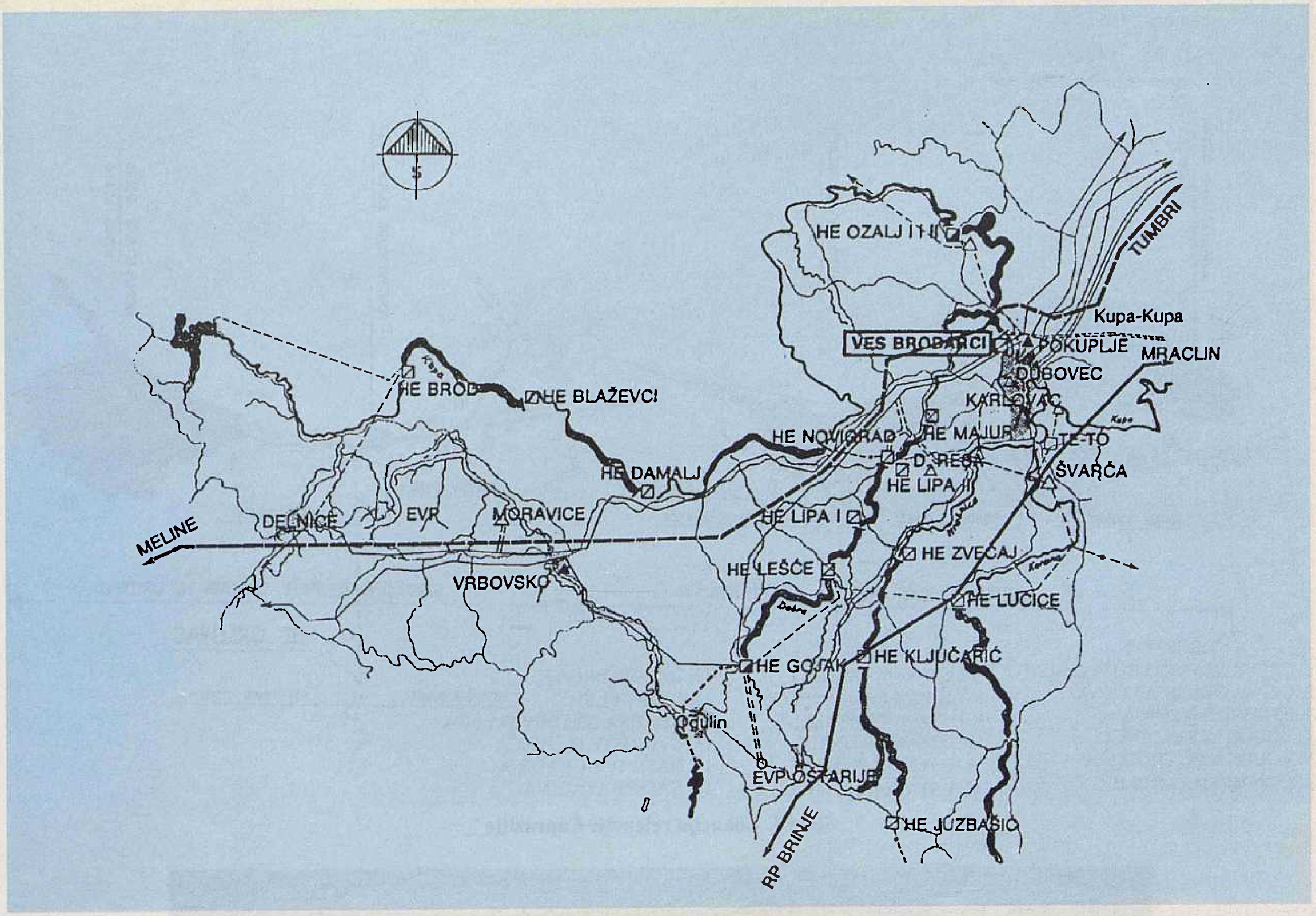
Buduća HE Podsused bit će smještena uzvodno od Zagreba oko 1 kom od ušća rijeke Krapine. To je višenamjenski objekt kojim će se urediti i energetski iskoristiti dionica rijeke Save od Podsuseda do granice Republike Slovenije. Osim proizvodnje električne energije uredit će se zaštita od poplave lijevog i desnog zaobalja, regulirati zaobalni vodotoci.
HE Podsused će se izgraditi kao pribranska hidroelektrana s bazenom unutar nasipa paralelnih s koritom rijeke Save prosječnog razmaka oko 350 m. Nasipi se nastavljaju na popratni nasip Sutle u lijevom zaobalju, te Bregane u desnom zaobalju. Strojarnica se nalazi na lijevoj strani i sa branom čini jedinstvenu građevinu.
Hala strojarnice s montažnim prostorom nalazi se u gornjoj etaži strojarnice. Tu će se ugraditi dva agregata s Kaplan-turbinama s vertikalnom osovinom, te generator sa pomoćnim elektrostrojarskim pogonom. Rasklopno postrojenej bi će smješteno na nizvodnom platou uz strojarnicu, te na prijenosnu mrežu priključeno pomoću 110 kV dalekovoda u čvorištima TS Zaprešić i TS Rakitje.
U blizini strojarnice na nizvodnom platou na lijevoj obali bit će smještena zgrada komande sa glavnom i pomoćnom opremom i uređajima informacijskog sustava kojima se ovaj objekt uključuje u elektroprivredni sustav veza.
Preko brane i strojarnice izgradit će se armirano betonski most za javni promet kao najkraća veza između Samobora i Zaprešića. Izgradnjom ovog objekta onemogućit će se korištenje postojeće skele, pa će se umjesto nje izgraditi most preko bazena između sela Otok i Medsave.

HE Drenje

HE Drenje bit će smještena kod mjesta Drenje na rijeci Savi. Zbog njezinog višenamjenskog korištenja osim energetskog korištenja bit će njezinom izgradnjom omogućena obrana od poplava, uređenje razine podzemnih voda, te opskrba vodom. Potpuno će se urediti korito rijeke Save duž uspornog bazena. Isto tako će se osigurati trajno rashladna voda za sadašnju i buduću TE-TO Zagreb, koja danas zbog sniženog vodostaja Save ima problema sa rashladnom vodom. U podzemnu strojarnicu bit će



Slika 3. HE Ombla



Slika 4. Lokacija vodoprivredne energetske stepenice Brodarci

smještena 3 agregata s Kaplan-turbinama s vodoravnom osovinom za nazivni protok od 166,67 m3/s, te konstruktivni pad 8,6 m. Nazivna snaga svake turbine bit će 13,1 MW, a generatora 14 MVA. Predviđa se godišnja proizvodnja uz protočni rad uz 3 765 sati od 189,1 GWh.

Vodoprivredna energetska stepenica Brodarci

Brana Brodarci izgradit će se u koritu rijeke Kupe u blizini mjesta Brodarci oko 900 m nizvodno od ušća rijeke Dobre u Kupu (slika 4.). Hidroelektrana pribranskog tipa je višenamjensko postrojenje koje će omogućiti osim energetskog iskorištenja i zaštitu grada Karlovca i nizvodnih područja od poplava uz uređenje zaobalja do Ozlja. Od brane Brodarci uz Kupu i Dobru predviđeni su zaštitni nasipi.
Uz lijevu obalu Kupe bit će smještena pribranska elektrana. U strojarnici će biti smještene dvije cijevne turbine vodoravne, nazivne snage 4,86 MW za nazivni protok od 75 m3/s. Nazivna snaga generatora će biti 5,8 MVA. 35 kV rasklopno postrojenje bit će priključeno na distribucijsku mrežu sa 35 kV dalekovodom HE Ozalj - Mahično. Prosječna godišnja proizvodnja iznosit će 50,56 GWh uz gubitak na HE Ozalj od 6,83 GWh, te će korisna proizvodnja biti 47,73 GWh.

HE Lešće

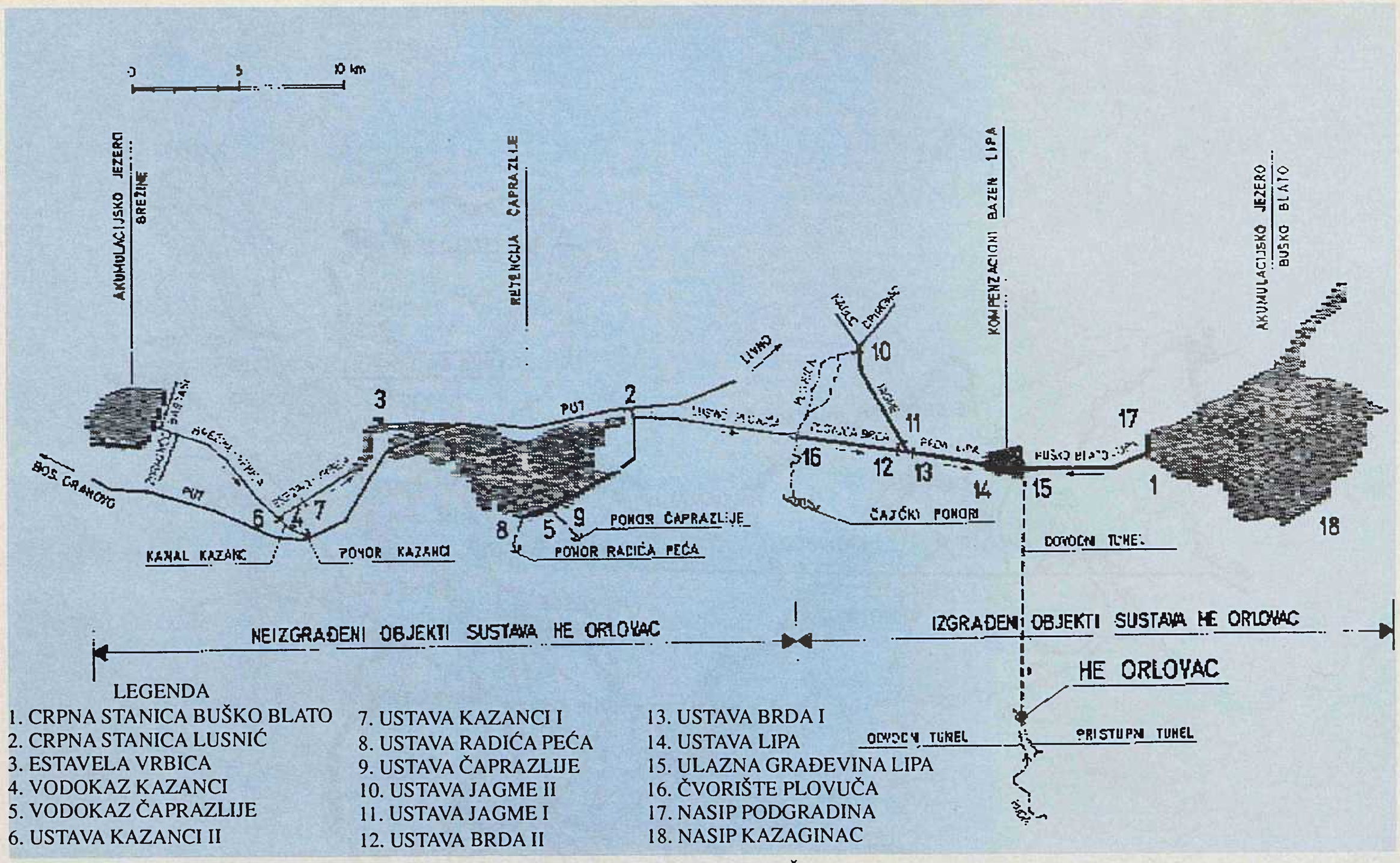
Izgrađena HE Gojak na Ogulinskoj Dobri predstavlja prvu energetsku stepenicu od predviđenih pet u iskorištavanju vodnog potencijala rijeke Dobre. Druga energetska stepenica bit će HE Lešće. Njezinom izgradnjom potapa se gornji tok Gojačke Dobre, od HE Gojak do sela Gorenci u dužini od 13,3 km.
HE Lešće je jednonamjenski objekt s mogućnošću dnevnog do tjednog izravnanja voda. Hidroelektrana je pribranskog tipa. Objekt obuhvaća pregradu, akumulacijski bazen, strojarnicu s dvije glavne proizvodne grupe i jednom proizvodnom grupom biološkog minimuma.
Hidroelektrana će biti pribranskog tipa. Strojarnica će biti smještena uz nizvodnu stranu brane u uskom riječnom koritu. Preko brane je predviđena pristupna cesta s lijeve obale koja završava okretištem na desnoj obali, a drugi krak vodi do strojarnice.
U strojarnici će biti smještena dva agregata sa Francis-turbinama s vertikalnom osovinom za instalirani protok 2x60 m3/s, konstruktivni pad 37,69 m, te nazivne snage 20,68 MW. Nazivna snaga generatora iznosit će 25 MVA. Godišnja proizvodnja električne energije za prosječno 2 890 sati na godinu iznosit će 106,9 GWh.

Retencija Čaprazlije

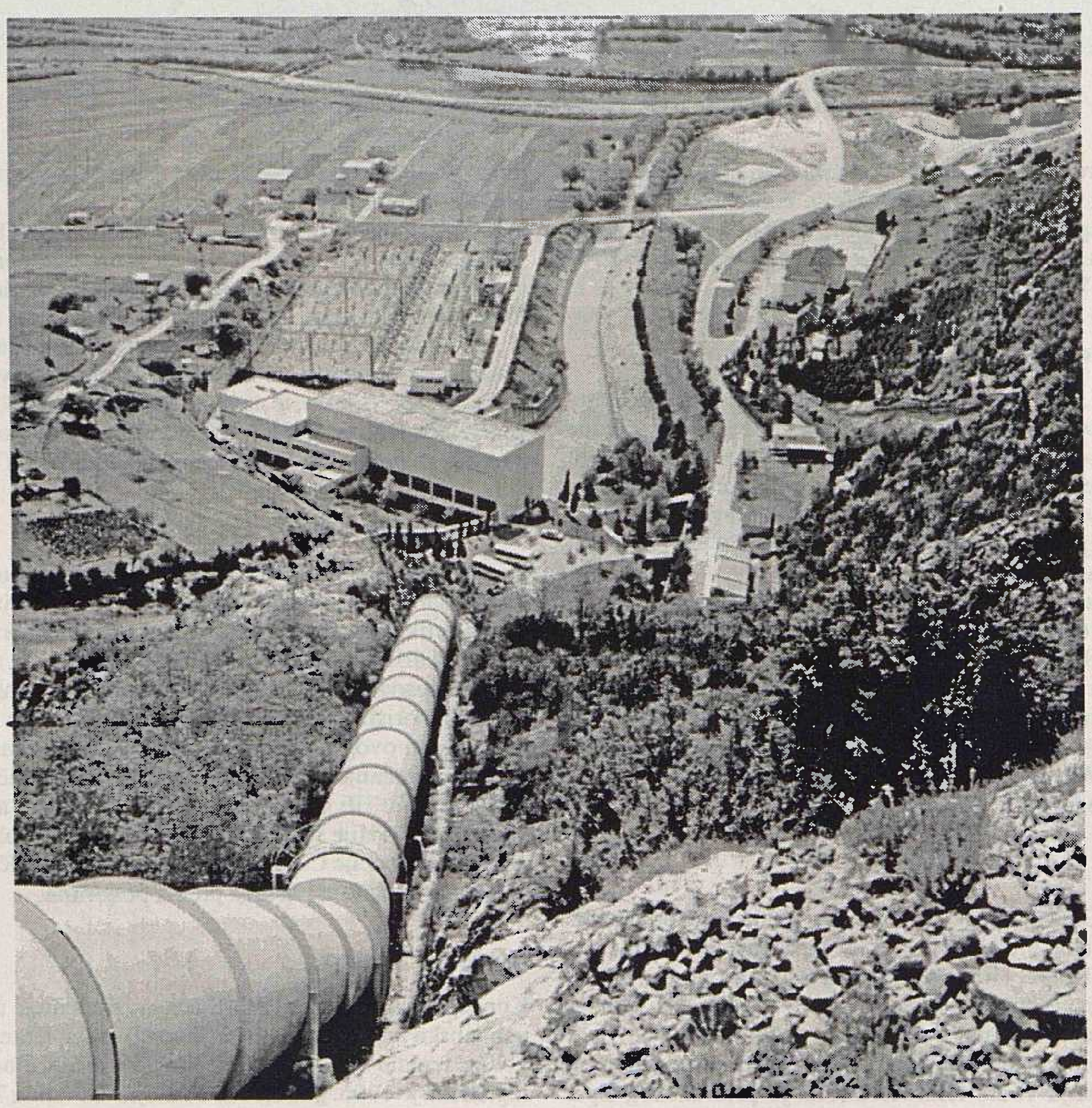
Retencija Čaprazlije (slika 5.) je sezonska akumulacija koja ima ulogu zadržavanja velikih voda sa slivnog područja. Time se omogućava efikasno prebacivanje ovih voda putem crpne stanice Lusnić u središnji dio sustava HE Orlovac (slika 6.). Retencija Čaprazlije spada u neizgrađeni dio hidroenergetskog sustava Orlovac, koji koristi stalne i povremene vodotoke sliva rijeke Cetine. Izgradnjom ovog preostalog dijela sustava ostvarivat će se prosječno povećanje godišnje proizvodnje električne energije za 135,2 GWh u HE Orlovac. Neizgrađeni objekti akumulacijskog sustava Čaprazlije sastoje se od kanala za prikupljanje i odvođenja voda, retencije Čaprazlije, crpne stanice Lusić te regulacijske ustave na kanalima i ustave prema ponorima.

HE Miljacka

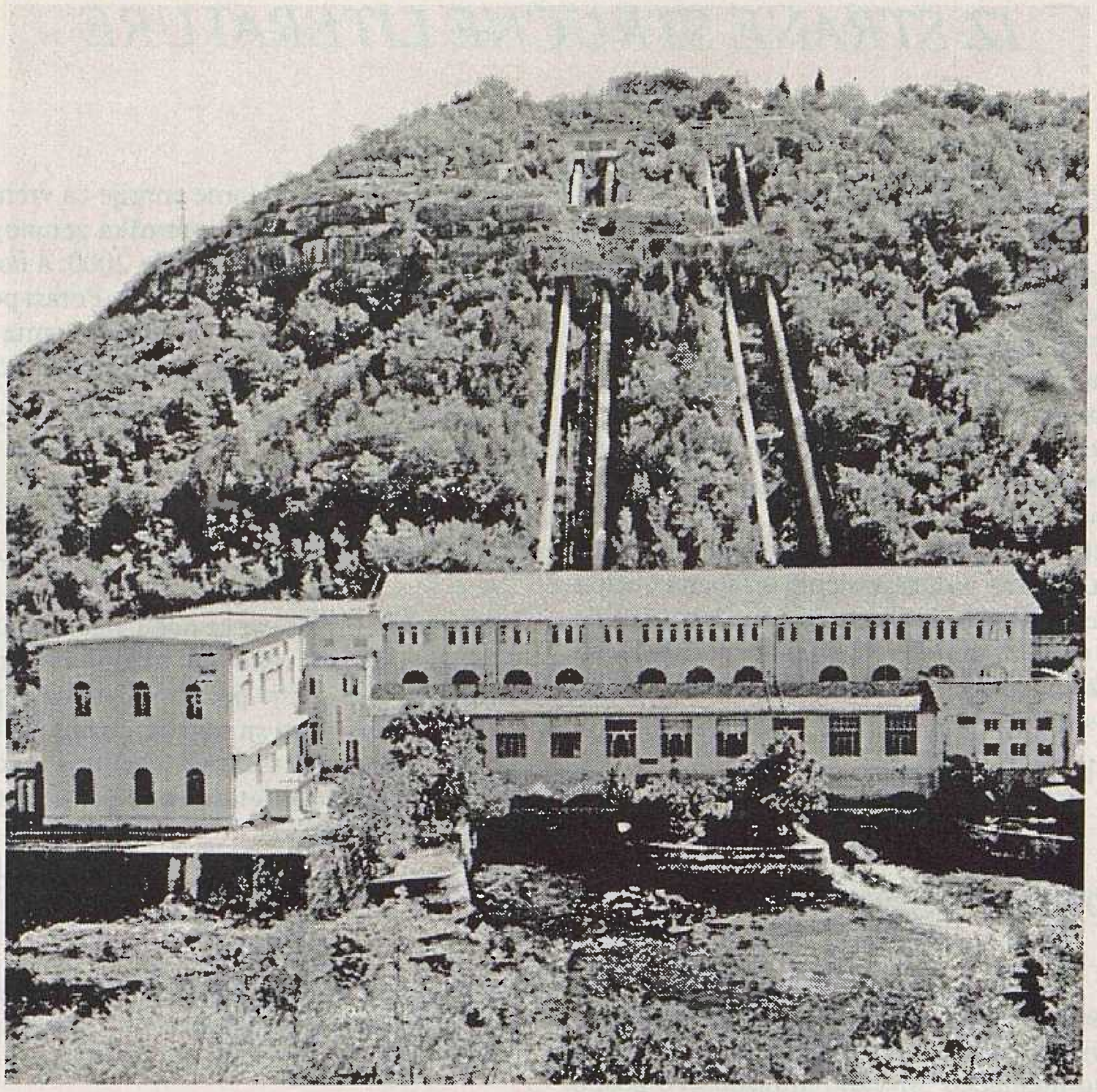
Koncepcijsko rješenje HE Mljacka razrađeno je u studiju "Višenamjensko uređenje i korištenje voda u slivu Krke", koju je 1987. godine izradio Elektroprojekt. Na razmatranoj dionici rijeke Krke izgrađena je 1906. godine HE Manojlovac (slika 7.), instaliranog protoka 24 m3/s, snage 24 MW i prosječne godišnje proizvodnje



Slika 5. Lokacija retencije Čaprazlije



Slika 6. HE Orlovac



Slika 7. HE Manojlovac

123 GWh. Koncepcija rješenja HE Miljacke je da se pregradi korito rijeke uzvodnije od postojeće akumulacije Brljan i stvori akumulacijski bazen Bobodol i uz pomoć derivacijskog tunela s vodnom komorom i tlačnog cjevovda postigne koncentracija pada rijeke oko 138 m visine za proizvodnju električne energije.
HE Miljacka bit će smještena 30 km sjeverno od Šibenika i jadranske obale uz sjevernu granicu Nacionalnog parka "Krka". HE Miljacka bi radila kao vršna elektrana.
Zgrada strojarnice će biti nadzemna, smještena u malom proširenju kanjona na lijevoj obali Krke. U strojarnici će biti smještena dva agregata s vertikalnim Francis-turbinama, instalirane snage 53,57 MW uz instalirani protok od 2x25 m3/s. U aneksu zgrade strojarnice bit će smješteno rasklopno postrojenje s tri transformatora koje će s 110 kV vodovima biti povezano s mrežom 110 kV. Predviđa se prosječna godišnja proizvodnja električne energije od 181,7 GWh uz 3 392 sata rada godišnje.

HE Senj 2

Izgradnja hidroenergetskog sustava Senj 2 povezana je s izgradnjom akumulacijskog jezera i HE Kosinj. Izgradnjom ovih objekata stvaraju se uvjeti za povećanje instaliranih kapaciteta postojeće HE Senj, koji koristi hidroenergetski potencijal rijeke Like i Gacke. Povećanjem instaliranih kapaciteta HE Senj (s 216 na 558 MW) izgradnjom novog kompezacijkog bazena u Gusić polju, novog dovodnog tunela i nove strojarnice HE Senj 2, smanjuje se prosječno vrijeme rada HE Senj i HE Senj 2, te se dobiva energetski vrlo elastičan sustav za proizvodnju varijabilne energije.
Strojarnica HE Senj 2 bit će izgrađena kao podzemni objekt na oko 130 m od postojeće strojarnice HE Senj. Predviđena je ugradnja tri Francis-turbine, konstruktivnog pada 410 m, instaliranog protoka 3x31,7 m3/s i pojedinačne snage 114 MW. Na električnu mrežu bit će priključena putem rasklopišta 220 kV. Na elektrani se predviđa izgradnja i 10 i 20 kV postrojenja.

SBK

TIJEK NEZAPOSLENOSTI U ZEMLJAMA EU

Prema prognozama europskog centra za unapređenje gospodarstva, Prognos, u 15 država EU bit će u godini 2005. oko 19 milijuna nezaposlenih. Uz očekivani privredni rast od 2,2% broj radnh mjesta povećao bi se za 5 milijuna, ali to nedostaje da se nezaposlenost u EU bitno smanji. Prilike u svim zemljama EU nisu podjednake. Najbolje mogućnosti smanjenja nezaposlenosti očekuju se u Austriji, Luxemburgu i Nizozemskoj, dok je napr. u Njemačkoj nezaposlenost samo neznatno pala.
Mnogo se bolje perspektive očekuju u SAD i Japanu, zbog porasta broja radnih mjesta. Iako se broj zaposlenih u Japanu u usporedbi s prethodnih deset godina bitno laganije povećava, ne očekuju se u 2005. godini ozbiljni problemi u pogledu nezaposlenosti. Od presudne je važnosti činjenica, da se smanji broj stanovnika koji su radno sposobni.

ETZ, god. 118(1997), br. 6

Mrk

UNAPREĐENJE KORIŠTENJA OBNOVLJIVE ENERGIJE

Njemački program unapređenja korištenja obnovljive energije za razdoblje 1995/98. vrijedan 100 milijuna DEM, uspješno se ostvaruje. To je objasnilo njemačko Savezno ministarstvo gospodarstva u Bonnu. Za tu je namjenu u 1996. godini isplaćeno 37,4 milijuna DEM. Program obuhvaća solarne kolektore, toplinske crpke, vodne, vjetrene i fotovoltaičke elektrane i elektrane koje koriste biomasu i bioplin.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 6

Mrk

VDE PLANIRA GRADNJU NOVOG LABORATORIJA

Najveća europska elektrotehnička organizacija Savez Njemačkih elektrotehničra (VDE – Verband Deutscher Elektrotechniker), koja broji oko 36 000 članova, gradi novi ispitni laboratorij. Postojeći laboratorij za ispitivanja i izdavanje certifikata nalazi se u Offenbachu, a novi će se graditi u Stahnsdorfu kraj Berlina. Ta je lokacija odabrana stoga što je Berlin veliko međunarodno prometno središte, a bliže je novopriključenom istočnom dijelu zemlje.
Predviđeno je da će novi laboratorij u konačnici imati 300 radnih mjesta, a u prvoj etapi 75.
Djelovanje VDE kreće se od unapređenja istraživanja, znanosti i brige za podmaladak, izrade nacionalnih i internacionalnih normi do ispitivanja i izdavanja certifikata za uređaje i sustave.
VDE ispitni laboratoriji djeluju kao neutralna i nezavisna institucija. U laboratorijima u Offenbachu izvrši se godišnje oko 18000 ispitivanja prema VDE propisima.
Ispituju se kućanski aparati, instalacioni materijal, rasvjetni uređaji, elektromedicinski aparati, zabavna tehnika, telekomunikacioni sustavi, itd. Svi oni dobivaju VDE ispitni znak koji potvrđuje sigurno – tehničku kvalitetu.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 6

Mrk

OECD ISPRAVLJA SVOJE ENERGETSKE PROGNOZE

OECD je u Parizu objavila da ispravlja svoje prognoze u svezi potroška plina i nuklearne enrgije za vremenski raspon od 2000. do 2005. godine. Porast potroška zemnog plina predviđen je sa 1,7% u godinama od 1995. do 2000. a nova predviđanja procjenjuju taj porast na 2,5% godišnje. Porast potroška nuklearne energije računan je sa 0,4% godišnje, prema novim predviđanjima, dok je prvobitno uzet čak godišnji pad od 0,5%

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 7

Mrk

AUTOMATSKO GAŠENJE SVJETILJKE

Sigurne svjetiljke koje se noću pale, a ujutro gase, treba uklapati, odnosno isklapati rukom ili uklopim satom. Kod nove Osramove štedne žarulje to nije potrebno, već se to provodi automatski pomoću senzora. Dva su senzora ugrađena u podložak žarulje. Pojavom sumraka senzor pali svjetlo, a pojavom dana senzor svjetlo gasi. Stupanj svjetlosti na koje će senzori reagirati može se regulirati po volji.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 7

Mrk

ŠVICARSKA NAGRADA ZA TEHNOLOŠKE INOVACIJE U ZAŠTITI OKOLIŠA

Za osobite tehnološke inovacije u području zaštite okoliša i obazrivog postupka s prirodnim resursima, zaklada "Pro Aqua – Pro Vita", prilikom priredbe Europskog sajma tehnike za zaštitu okoliša u Baselu, podijelila je već drugi put vrijednu nagradu od 50 000 Sfr. Za nagradu se mogu natjecati privatne osobe, organizacije, institucije, poduzeća kao i javna tijela iz sviju zemalja. Predložena tehnološka inovacija mora u svojoj realizaciji već toliko uznapredovati, da je očigledna njena korist za zaštitu okoliša ili štedljivog korištenja prirodnih resursa. Detaljnije obavijesti mogu se dobiti preko Interneta ili spomenute zaklade u Baselu.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 7

Mrk

"EURO KABEL"

Ugovor o izmjeni električne energije između elektroprivrednih poduzeća EST Euro Strom Trading GmbH i Euro Kraft Norge ASV potpisan je u ožujku 1995. godine. Obnovljiva hidroenergija Norveške prenosila bi se u Njemačku, a termoenergija iz Njemačke. Pretpostavi li se da bi se godišnje prenijelo 500 GWh u Njemačku, uštedom goriva u njemačkim termoelektranama, atmosfera bi se godišnje rasteretila za 450 000 t ugljičnog dioksida. Za realizaciju tog projekta osnovano je poduzeće Euro Kabel AS, Oslo. Ono će projektirati, graditi i obavljati pogon prijenosnih uređaja. Prijenos električne energije izvodio bi se visokonaponskim istosmjernim kabelom, duljine 540 km, od norveškog mjesta Lista do Brunsbüttela u Njemačkoj, gdje će biti priključak na stanicu 380 kV. Ugovor je zaključen za trajanje razmjene od 25 godina, a započeo bi teći najkasnije od 1. siječnja 2003. godine. Troškovi za ostvarenje cijelog projekta procijenjeni su na okruglo 1 milijardu DEM. Treba istaknuti da je posebna pozornost posvećena zaštiti okoliša, o čemu su izrađene brojne studije. Za informiranje javnosti angažirana je posebna neutralna i savjetodavna organizacija Prognos. Zadaća je organizacije da razgovara sa svim zainteresiranim kao npr. i predstavnicima vlasti, ribarstva, pomorstva, "zelenih", itd., i daje tražena o bjašnjenja.

Visokonaponski istosmjerni sustav imat će samo jedan kabel, tj. u kabelu samo jedan pol, dok će kao drugi pol služiti more, odnosno tlo. Elektrode će biti izgrađene na početku kabela u Norveškoj, zbog magnetskih polja, daleko na sjeveru 75 km od danske granice. Kabel će biti u moru ukopan jedan metar, a u području gdje se može sidriti, još i posebno pokriven. Nazivna snaga kabela bit će 600 MW, pod visokim istosmjernim naponom 450 do 600 kV. Promjer će kabela biti 13 cm, a masa 50 kg/m. U Norveškoj će još trebati izgraditi 70 km spojnog dalekovoda.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 7

Mrk

NOV NAČIN SPALJIVANJA OTPADA

Nakon završetka montaže, u veljači 1997. godine, ušao je u probni pogon, prvi u svijetu, uređaj za spaljivanje otpada koji radi na principu izgaranja švelovanjem (Schwel-Brenn-Verfahren). Postrojenje je izgrađeno u Bavarskoj, u mjestu Fürther Aischweg uz ukupne troškove od 340 milijuna DEM, obuhvaćajući osim postrojenja i infrastrukturu i uređaje okoliša. Probni će pogon trajati do jeseni 1997., a spaljivat će se mjesečno 8 000 t otpada.
Za ovakav način spaljivanja vlada vrlo veliki interes stručnjaka, što se može vidjeti po velikom broju posjeta iz Njemačke i inozemstva.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 7

Mrk

UDIO POJEDINIH ENERGENATA U PROIZVODNJI ELEKTRIČNE ENERGIJE U NJEMAČKOJ

U proizvodnji električne energije njemačkih javnih elektrana, u godini 1996., najvažniju su ulogu imali ugljen i nuklearna energija. Neznatni dio proizvodnje ostvaren je pomoću obnovljive energije. Ako izuzmemo hidroenergiju, a računamo samo na vjetar, sunce, plin sa deponija i otpada te loživo ulje, sve zajedno proizvelo je udio od jedva 2% ukupne proizvodnje. Udjeli pojedinih energenata su slijedeći:

nuklearna energija	34%
smeđi ugljen	28%
kameni ugljen	26%
zemni plin	6%
voda	4%
ostalo	2%

Kao što se vidi, udio ugljena još je uvijek velik, ali treba primijetiti da je 1956. udio električne energije proizvedene u termoelektranama na kameni ugljen u zapadnom dijelu Njemačke iznosio 42%, a u istočnom dijelu termoelektrane su trošile samo smeđi ugljen.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 8

Mrk

KOLIČINA UGLJENOG DIOKSIDA PO PROIZVEDENOM kWh

Europska zaklada za energiju u Bruxelles objavila je najnovije proračune o emisiji plinova koji imaju udjela u nastanku efekta staklenika, za različite izvore energije. Podaci su dani u gramima po proizvedenim kWh za različite nosioce energije.

Za smeđi ugljen	1000 g/kWh
kameni ugljen	88 g/kWh
plin	400 g/kWh
nuklearna energija	40-50 g/kWh.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 7

Mrk

UVOZ UGLJENA U NJEMAČKU

Njemačka je unatoč vlastitoj proizvodnji velika uvoznica ugljena, koksa i briketa. Prema prvim podacima uvezeno je skoro 20 milijuna tona navedenog goriva, a to je 10% više nego prethodne godine. Najviše se povećao uvoz koksa. Zemlja iz kojih se dobavlja ugljen bile su Južna Afrika, Poljska, SAD, Kolumbija, Australija i Češka. Zbog smanjene domaće proizvodnje predviđa se daljnje povećanje uvoza za nekih 10%, na količinu od 22 milijuna tona.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 8

Mrk

POTROŠNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U KUĆANSTVIMA AUSTRIJE

Statistika austrijskog saveznog dispečarskog ureda pokazuje da austrijska kućanstva troše natprosječne količine električne energije. Tome osobito pridonosi povećana upotreba kućanskih aparata, a upravo su oni grupa trošila, gdje još postoje velike mogućnosti uštede energije.
Udio potroška električne energije u kućanstvima iznosio je godine 1955. 12,6%, a 1995. popeo se na 27,8%, dok je u istom vremenskom rasponu udio potroška industrije pao sa 51% na 28%. U podljednjih 40 godina, zahvaljujući modernim uređajima, smanjili su se i gubici prijenosa sa 12% na 6,4%. Udio potrošnje javnih uređaja povećan je od 3,5% u godini 1955. na 11,3% u 1995., a obrta od 10,2% na 14,4%. Udio potrošnje seoskih gospodarstava i prometa stagnirao je na nekih 3%.
Nije samo porastao postotni udio potrošnje kućanstava, već je on porastao u apsolutnim iznosima za više od 13 puta. Godine 1955. u kućanstvima je potrošeno 930 GWh, a 40 godina kasnije 12,7 TWh. U istom se razdoblju ukupna austrijska potrošnja povećala samo 6 puta. To pokazuje da su elektroenergetske uštede u najvećoj mjeri moguće u kućanstvu.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 8

Mrk

ENERGIJA U FINSKOJ

Finska, zemlja s 5 milijuna stanovnika na površini od 338 000 km^2, jedna je od zemalja s najvećim potroškom energije po glavi stanovnika. Uzrok su tome hladna klima i jaka drvna, papirna i metalna industrija. Ukupna godišnja potrošnja energije iznosi oko 32 milijuna tona ekvivalentne nafte. U zemlji su u pogonu 4 nuklearna reaktora, a ukupno instalirana snaga iznosi 2400 MW. Znatan dio električne energije (32%) proizvode toplane. Upotreba solarne energije sada je u stadiju ispitivanja.
Zemlja je 1990. godine uvezla 72% energije, a 1995. 68%.
Proizvodnja i razmjena električne energije kretala se 1990. godine i 1995. kako je navedeno u slijedećoj tablici, u GWh:

	1990.	1995.
Hidroelektrane	10 750	12 789
Vjetroelektrane	–	–
Toplane i slično	16 589	21 221
Termoelektrane	6 116	8 375
Nuklearne elektrane	18 128	18 128
Plinske turbine	7	18
Proizvodnja	51 591	60 539
Uvoz	11 107	8 501
Izvoz	365	96
Ukupno	62 333	68 944

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 8

Mrk

VISOKONAPONSKI ISTOSMJERNI PRIJENOSNI SUSTAV U KINI

Njemačka tvrtka Siemens sklopila je s kineskom korporacijom CNTC (China National Technical Import and Export Corporation) ugovor vrijedan 300 milijuna DEM za izgradnju visokonaponskog istosmjernog prijenosa ± 500 kV, kojim bi se prenosila snaga od 1800 MW. Prenosila bi se električna energija iz hidroelektrane u Tianshengqiao u oko 1000 km udaljenu veliku industrijsku zonu između Guangzkou i Hong Kong. Cijeli Tiang-Guang projekt trebao bi biti završen do 2000. godine. Treba spomenuti da ovo nije prvi visokonaponski istosmjerni sustav kojeg tvrtka Siemens gradi u Kini. Sličan je bio projekt Ge-Sha, koji je završen i stavljen u pogon godine 1989/90. Prenosi se snaga od 1200 MW, na udaljenost od 1000 km, od velike hidroelektrane na rijeci Yang Tse do Shanghaia.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 8

Mrk

POTENCIJALI I UNAPREĐIVANJE OBNOVLJIVE ENERGIJE

Energetska budućnost temeljit će se u prvom redu na fosilnim gorivima, nuklearnoj energiji i obnovljivoj energiji uz racionalnu energetsku potrošnju. Naročito se velika pozornost posvećuje istraživanjima za što veću mogućnost korištenja obnovljive energije. Hidroenergija je najznačajniji oblik obnovljive energije i ujedno najjeftiniji. U svijetu je godine 1995. proizvedeno u hidroelektranama 2300 TWh, što predstavlja 18,5% ukupno korištene električne energije. Računa se da je svjetski tehnički hidropotencijal 13 000 do 15 000 TWh, teoretski uzeto, time bi se mogla pokriti današnja svjetska potrošnja električne energije. Najviše neiskorištenih hidropotencijala nalazi se u Aziji, Južnoj Americi i Ruskoj Federaciji.

Što se tiče iskorištenja vjetra, u svijetu su vodeće zemlje SAD, Njemačka i Danska, gdje je instalirano oko 2/3 sviju svjetskih vjetroelektrana ukupne snage oko 5000 MW. Procjene svjetskog potencijala energije vjetra vrlo su nesigurne, a računa se između 18 000 TWh do 53 000 godišnje. Kao pouzdanija mogla bi se uzeti prva vrijednost, koji podatak daje World Energy Council.

Procjene potencijalne mogućnosti korištenja sunčeve energije vrlo su nesigurne. Današnja proizvodnja fotovoltaičkih uređaja iznosi oko 500 MW vršne snage. U 1995. godini isporučeno je 72 MW, a godišnji je porast 15%. Za područje tehnički razvijenih zemalja računa se da bi tehnički potencijal sunčeve energije mogao biti 2 100 TWh, a to je oko 17% svjetske potrošnje električne energije.

U priloženoj tablici dani su podaci o proizvedenoj električnoj energiji u svijetu pomoću energije vode, vjetra i sunca u 1995. godini, procijenjeni tehnički potencijali i očekivana proizvodnja godine 2005. Uz proizvodnju u 1995. godini naznačen je u postocima udio dotične proizvodnje u ukupnom svjetskom potrošku električne energije. Naznačeni tehnički potencijal sunčeve energije odnosi se samo na industrijski razvijene zemlje.

	1995.		Tehnički potencijal	Očekivano 2005.
Energija	TWh	%	TWh	TWh
Vode	2 300	18,5	13 000 15 000	3 200
Vjetra	8	0,06	18 000 53 000	20
Sunca	0,4	0	2 100	2-10

Od obnovljivih energetskih izvora najveća su mogućnost dobivanja električne energije iz vodnih snaga. Naravno da cijena električne energije može znatno varirati od hidroelektrane do hidroelektrane. Procjenjuje se da još postoji moguća izgradnja hidroelektrana potencijalne mogućnosti godišnje proizvodnje 6000 TWh do 9000 TWh, čija bi cijena energije bila povoljno niska (5 Pf/kWh).

U Europi još ima idealnih mjesta za izgradnju vjetroelektrana koje bi davale električnu energiju uz povoljne cijene, a daljnji će je razvoj još sniziti.

Najskuplja varijanta iskorištenja obnovljive energije je proizvodnja električne energije u solarnim elektranama. Dok cijena električne energije iz takvih elektrana iznosi u Njemačkoj 1,5 do 2 DEM/kWh, u južnim dijelovima Europe pada na 0,8 DEM/kWh. Naravno da je u ekvatorijalnim područjima cijena još povoljnija. Drugačiji se, međutim, dobivaju odnosi uzmu li se u račun tzv. "eksterni efekti". U tim su efektima obuhvaćeni dodatn troškovi i dodatne koristi, ne uzimajući u obzir emisiju CO_2. Oni još nisu potpuno točno kvantificirani, no istraživanja su posljednjih godina dala približne vrijednosti. Najniže kvantificirane troškove iskazuje energija iz vjetroelektrana (0,05 Pf/kWh), a nešto veće nukleara energija (0,03 do 0,5 Pf/kWh). Najveći su takvi troškovi pri proizvodnji električne energije iz ugljena (1,4 do 2,2 Pf/kWh). Elektrane koje koriste obnovljivu energiju u svom radu, doduše ne emitiraju ugljični dioksid, ali proizvodnja energije potrebne za njihovu gradnju i proizvodnju opreme neizbježno izaziva emisiju CO_2. Uzimajući u račun proizvodni i završni lanac, procijeneno je (Siemens, 1993.) za različite vrste elektrana količina emitiranog CO_2 u gramima po kWh, što je navedeno u slijedećem pregledu:

Vrsta elektrane	g CO_2/kWh
Hidroelektrana	4
Vjetroelektrana	20
Sunčeva elektrana	200
Nuklearna	25
TE na kameni ugljen	790-820
TE na smeđi ugljen	380

Elektroprivreda u mnogim zemljama promiče i podupire korištenje obnovljive energije kako bi i potrošači pri tome sudjelovali.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 9

Mrk

ISPITIVANJE KABELA 380 kV S UMJETNOM IZOLACIJOM

Pod naslovom "Berlinska kabelska dijagonala" u broju tri ovog časopisa, u ovoj godini, opisan je kabel 380 kV koji će služiti za povezivanje dvaju dijelova berlinske visokonaponske mreže. O povezivanju nekad odvojenog elektroenergetskog sustava zapadnog Berlina pisali smo u ovoj rubrici u Energiji, god. 44(1995), br. 2. Kabel je velike prijenosne snage (1100 MW) i bit će vrlo značajan element cjelovitog elektroenergetskog sustava Berlina. S obzirom na njegov vrlo veliki značaj, kabel mora biti siguran i pouzdan. Kako je to prvi kabel te naponske razine u Njemačkoj s izolacijom od umreženog polietilena, o čemu nema pogonskih iskustava potrebna su bila brojna prethodna ispitivanja, prvenstveno dugotrajna pod pogonskim uvjetima. Berlinsko elektroprivredno poduzeće Bewag sklopilo je stoga 1993. godine ugovor s talijanskom tvrtkom CESI (Centro Elettrotecnico Sperimentale Italiano) iz Milana da provede dugotrajna ispitivanja kabela i pripadnog pribora (spojnice, zaglavci itd.) koja su završena u ožujku 1997. godine.

Zadatak ispitivanja je bio da se provjeri stanje kabela prilikom starenja, termomehanička svojstva, zahtjevi pogona u mreži i najpovoljniji način polaganja (tunel, cijev, uklapanje). Duljina pokusa trase iznosila je 120 m. Kabel se izmjenično grijao do 90°, a zatim ponovo hladio. U godini dana ispitivanja to se ponavljalo 182 puta. Ispitivanja su obavljena sklopnim prenaponima 950 kV i udarnim prenaponima 1175 kV.

Provedena su dva reda ispitivanja na kabelima osam domaći i inozemnih dobavljača. U jednom redu ispitivanja priključeno je

6 paralelnih kabela na 400 kV, dok je opterećenje simulirano strujom grijanja napajanjem induktivnim putem. Mjerenje temperature kabela povedeno je tijekom trase na 280 mjesta. Mjerni su podaci prenošeni pomoću kabela svjetlovodnih niti, ugrađenog u ispitne kabele. U tijeku ispitivanja nisu se pojavili nikakvi kvarovi na kabelima, ali na priboru morale su se izvesti mnoge konstruktivne promjene. Ovakav način ispitivanja pokazao se vrlo pogodan za odabir kabelskog sustava.
Prigodom drugog reda ispitivanja prvi je put, u terenskim uvjetima, primijenjen mjerni postupak potreban pri stavljanju u pogon 380 kV kabela s umjetnom izolacijom. Da se spriječe veća razaranja ugrađeni su u spojnice i zaglavke kabela senzori koji kontroliraju impulse djelomičnih izbijanja. Također će kontrolni uređaj biti ugrađen i u novi berlinski kabelski sustav.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 9

Mrk

PRVI PUT U KINI

Prvi put u provinciji Guangxi u Kini vlasti su potpisale povijesni ugovor za prvi BOT (Built-Own-Transfer)-projekt. Laibin B termoelektrana je prva koja će u potpunosti biti financirana inozemnim kapitalom. Konzorcij koji čine Elektriciteté de France i GEC ALSTHOM će poslije izgradnje elektrane1999. godine 15 godina istom upravljati. Tada će vlasništvo biti preneseno na Narodnu vladu Guangxi-ja.

Panorama, GEC ALSTHOM, broj 2/ožujak 1997.

E. H.

NAVALA NA PLIN (VELIKA BRITANIJA)

Prirodni plin će se izgleda, sve više koristiti za elektrane u dolazećim godinama, a u skladu s izvješćem koje je objavila Oxfordska ekonomska udruga za istraživanja. Ta težnja proizlazi iz razloga niže cijene plina kao i iz zakonski priznatih prednosti za okoliš. To će prouzročiti zatvaranje starih termoelektrana na ugljen, dok će se koristiti gorivo koje manje zagađuje.
Tijekom slijedećih sedam godina trebale bi biti izgrađene kombinirane plinske elektrane snage 14.000 do 23.000 MW.

Panorama, GEC ALSTHOM, broj 2/ožujak 1997.

E. H.

KONKURENCIJA ZA ELEKTRIČNU ENERGIJU (EUROPA)

Odobren je nacrt zakona Europske Zajednice koji treba da utre put za postupnu liberalizaciju tržišta električne energije.Oko četvrtine europskog tržišta Europske zajednice treba od siječnja 1999. godine biti otvoreno za kunkurenciju uz odgovarajući rast do trećine u 2003. godini. Nizozemska, koja je u siječnju 1997. godine preuzela predsjedanje Europskom zajednicom, nada se da će dovršiti nacrt zakona koji ima za cilj da se u srpnju uvede slična konkurencija na tržištu plina.

Panorama, GEC ALSTHOM, broj 2/ožujak 1997.

E. H.

RUSIJA BI MOGLA IMATI MANJAK ENERGIJE

Rusija bi, izgleda, mogla dospjeti u područje manjka u svom energetskom bilansu već početkom slijedećeg stoljeća. Naime, radi obustavljanja korištenja određenih starijih nuklearnih i hidroelektrana to bi uzrokovalo smanjenje sadašnjeg viška snage u Jedinstvenom energetskom sustavu. Sadašnja raspoloživa snaga premašuje potrebu zemlje u prosjeku 32 do 38%. Međutim, do 2000. godine će kombinirana snaga elektrana od gotovo 40.000 MW dospjeti do kraja uporabivog životnog doba, dok bi se višak snage potpuno izgubio oko 2010. godine.

Panorama, GEC ALSTHOM, broj 2/ožujak 1997.

E. H.

OTVARANJE INVESTIRANJA U INDIJI

Indijski ministarski savjet odobrio je prijedlog za poboljšanje postojećih zakona s ciljem jačanja privatnih i inozemnim investiranja u energetski sustav zemlje. Predsjedničku odluku parlament će vjerojatno odobriti u slijedećih šest mjeseci.
Prenos energije će viti tretiran kao posebna komercijalna djelatnos novog zakonodavstva i privatne kompanije koje ulaze u posao trebat će potpisati ugovor o tarifama sa državnim elektroprivredama ili drugim proizvođačima električne energije. Privatno investiranje u sektor proizvodnje električne energije do sada je bilo ograničavano, što je bilo liberalizirano programom ekonomske reforme pokrenute 1991. godine.

Panorama, GEC ALSTHOM, broj 2/ožujak 1997.

E. H.

PRORAČUNAVANJE STRUJANJA ZA CIJELU TURBINU

Stari san postaje stvarnost: turbulentno, trodimenzionalno strujanje kroz cijelu turbinu može biti simulirano u računalu. Posebice je značajno što je i pogonske točke daleko od optimuma moguće izračunati s izvanrednom točnošću. U usporedbi sa modelskim ispitivanjem simulacija je znatno brža i jeftinija.
Već desetak godina Sulzer Hydro primjenjuje rutinski 3D-Eulerov postupak za proračunavanje strujanja u rotorima. Tim postupkom je moguće vrlo dobro reproducirai trodimenzionalne efekte strujanja u ubrzanim strujanjima. Mnogobojni, novorazvijeni rotori zahvaljuju svoje izvanredno ponašanje s obzirom na stupanj korisnosti i kavitaciju, 3D-Euler-ovom postupku. Međutim, postoji jedno ograničenje: dosadašnji postupak ne uzima u obzir trenje, što znači da gubici strujanja i tijek krivulje stupnja djelovanja ne mogu biti izračunati za cijelo područje karakteristike. Da bi se to omogućilo, mora biti učinjen korak od 3D-Euler-ovog proračuna samo u rotoru ka 3D-Navier-Stokesovom proračunu u cijeloj turbini. Pri tom međutim potreba računanja može rasti s faktorom 1000(!). Vidi tabelu.

Usporedba potrebnog opsega računanja. Tipična potreba računanja 3D-Euler-ovim postupkom i postupkom Navier+Stokes-a na jednom ispitivanju (SGI, R8000)

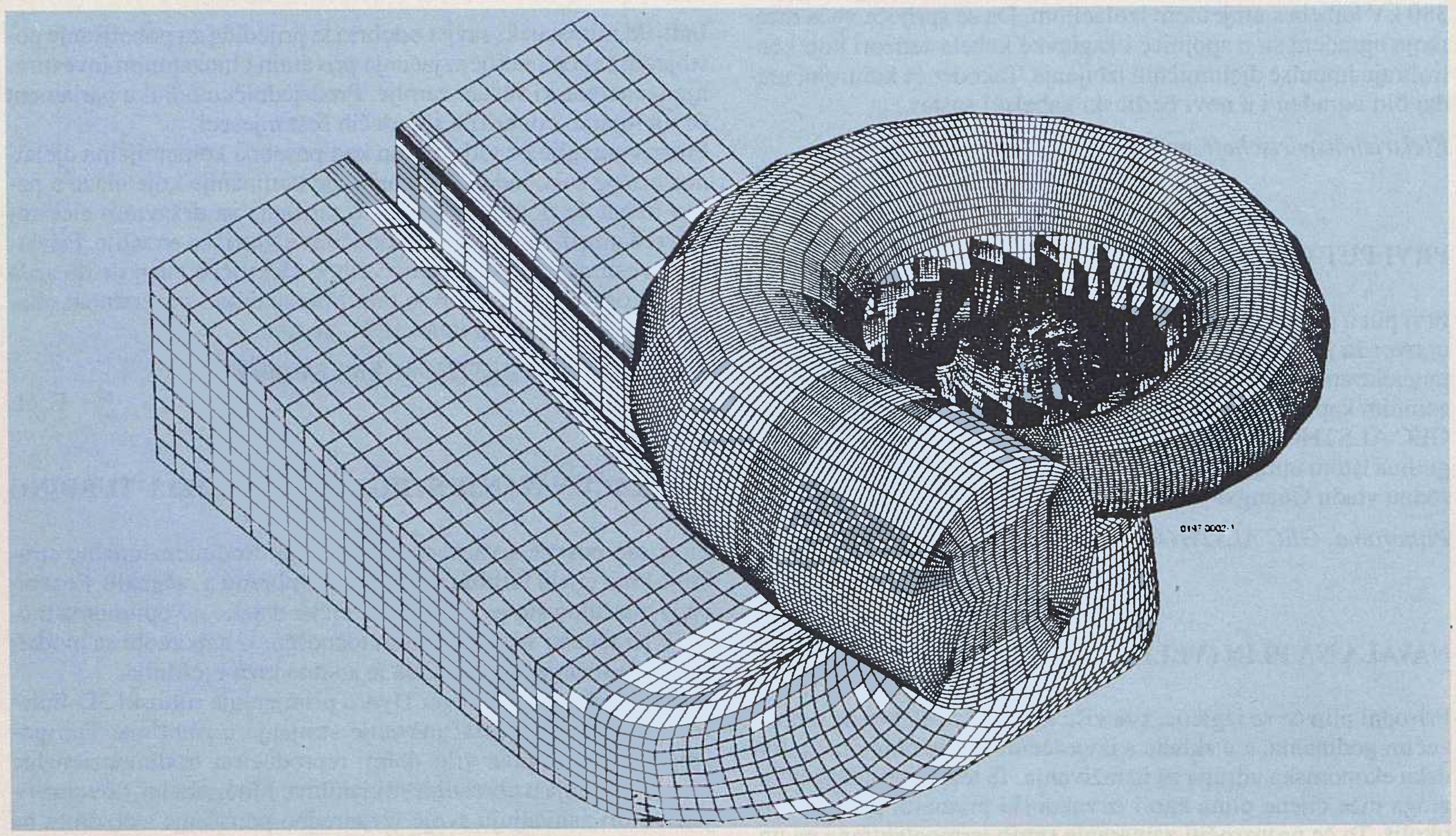
Dijelovi koji se proračunavaju	Euler Rotor	Navier Stokes Cijela turbina
Broj čvorova	10000	500000
Broj nepoznanica	40000	3000000
Vrijeme računanja	6 minuta	100 sati

Radi toga proizišle vremenske i financijske potrebe ipak su još uvijek male u odnosu na one kod modelskih ispitivanja u laboratoriju.
Kod do sada uobičajenih postupaka računanja moraju mirujući i rotirajući dijelovi turbine biti odvojeno računati. Na prijelazu od privodnog kola ka rotoru kao i od rotora ka usisnoj cijevi treba unaprijed dati rubne uvjete, koji na početku još nisu poznati, već moraju biti računski ili empirijski određeni. To predstavlja mogući izvor grešaka i dodatne troškove za korisnika programa. Novi postupak omogućava da proračun u statoru i u rotoru povežemo takozvanim "mixing interface"-om u proračun cijelih strojeva (ili stupnjeva). Prednosti su:
- Proračun stroja se obavlja u jednom jedinom stupnju računanja

- Eliminiraju se intervencije korisnika i s tim mogući izvori grešaka (posebno kod rubnih uvjeta)
- Interakcije (koje se odnose na meridijansko strujanje) između rotora i statora automatski se ispravno reproduciraju bez inače potrebne tehnike preklapanja. Posebice kod modernizacije starih elektrana, gdje se novi rotori veće snage moraju na prikladan način optimirati sa starim komponentama, numerika strujanja je u usporedbi s modelskim ispitivanjima znatno brži i cijenom prihvatljivi alat za inženjere razvoja.

se reproduciraju kvantitativno ipak ostaje jedna određena preostala netočnost (aktualno ±2% apsolutne razine stupnja korisnosti). To je povezano s povećanjem mreže i modela turbulencije (k-ε). Poboljšanje u vezi s tim kao i proširenje na nestacionarne proračune upravo je u tijeku.
Napredak u numerici strujanja otvara potpuno nove mogućnosti:

- Kod većih projekata (turbina) kod kojih će se i ubuduće vršiti modelska ispitivanja radi dokazivanja garancija, zahvaljujući numerici dobija se dodatni potencijal razvoja, kako u odnosu na, stupanj korisnosti tako i na pogonsko ponašanje (mirnoća rada, sigurnost u odnosu na kavitaciju, rezerve preopterećenja).
- Kod modernizacije starih elektrana novi rotori mogu biti rađeni čak bez modelskih ispitivanja, neposredno na numeričkoj osnovi (znatna ušteda vremena i financijskih sredstava).
- Analizom gubitaka strujanja u cijelom stroju može sigurnost određivanja osnutka kako u fazi izrade ponude tako i u stadiju razrade biti znatno uvećana.



Mreža za proračun spirale, prstena potpornih lopatica, rotora i usisne cijevi (500000 čvorišta).

Tako je prvi put u svijetu kompletna Francis-turbina od ulaza u spiralu do izlaza iz usisne cijevi proračunata Navier-Stokes postupkom (v. sliku). Slika prikazuje proračunsku mrežu. Za istu turbinu u laboratoriju u Zürich-u su izvršena opsežna mjerenja strujanja (među ostalim točke mogle su se uspoređivati s jedne strane sa detaljnim mjerenjima brzine i tlaka, i s druge strane sa karakterističnim vrijednostima mjerenim u ispitnoj stanici (npr. stupanj korisnosti).
Iznenađujuća je postignuta točnost. Posebno raduje da su također i u pogonskim točkama daleko izvan optimalne točke u zonama povratnog strujanja i odgovarajuće niskih stupnjeva korisnosti postignuta još dobra slaganja između računa i mjerenja.
Tako mogu biti vrlo točno izračunati kako položaj optimalne točke u karakteristici tako i karakteristični oblik linije korisnosti (školjkasti dijagram). (Usporedbe dijagrama u članku.) Dobro se slažu karakteristike relativnog stupnnja korisnosti za razne otvore privodnog kola, što je vidljivo iz dijagrama u članku. Samo pri vrlo visokim vrijednostima specifične obodne brzine Ku (odgovara malim padovima) odstupanje je veće s obzirom da je tada strujanje u usisnoj cijevi već ekstremno kaotično (i u ispitnoj stanici jako pulzirajuće), tako da stacionarno računanje uopće više ne može biti točno.
Uz to, proračun daje opsežne detaljne podatke o pojavama lokalnih strujanja, koji su posebno vrijedni za optimiranje konstrukcije turbine. U članku je dan cijeli niz dijagrama, raspodjele tlaka i drugog u bitnim dijelovima stroja, što ukazuje na slaganja između računa i ispitivanja u laboratoriju.
Relativni tijek korisnosti i mnoge važne pojedinosti strujanja točno

Technical rewiew Sulzer, 1/1997.

E. H.

ENERGIJA IZ OTPADA

Udruženje za preradu otpada u Nizozemskoj objavilo je da je količina energije dobivene spaljivanjem otpada u prva četiri mjeseca prošle godine, u usporedbi sa 1995. godinom, bila dovoljna za opskrbu električnim energijom 800 000 kućanstava. Prema tom izvješću proizvedena energija spaljivanjem otpada u 1996. godini odgovara ekvivalentu od 700 milijuna m3 prirodnog plina.
Osim proizvedene električne energije spaljivanjem otpada dobije se i toplina, koja se koristi za lokalne potrebe kućanstva i industrije. Oko 2% električne energije dobivene spaljivanjem otpada posljednje godine koristile su same kompanije koje procesiraju otpad, dok je preostali dio distribuiran u javnu mrežu. Spaljeno je ukupno 3,4 milijuna tona kućnog i industrijskog otpada. Najveći distributer energije ENW, udružen sa još nekoliko poduzeća

u sjevernoj Nizozemskoj, opskrbljuje oko 90% potrošača. ENW je pokrenuo studiju o izvedivosti cestovnih zvučnih barijera koje bi imale 2 200 sunčanih panela. 1,5 km dug probni zvučni zid, duž ceste A9, ima namjenu da zaštiti novo naselje (700 stanovnika) u Ouderker an der Amstelu nedaleko od Amsterdama. Sunčani paneli ukupnog kapaciteta 0,2 MW, trebali bi proizvoditi električnu energiju za potrebe 100 obitelji. Očekuje se da će ovaj projekt poduprijeti i EU. Završetak sunčeve barijere trebao bi biti sredinom 1998. godine.

Power in Europe, 243/19, 28 February 1997.

SBK

PROJEKCIJA POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U EU DO 2010.

UNIPEDE-ov Komitet za savjetovanje na području investicija (CCI) prognozira porast potrošnje električne energije do 2010. godine u zemljama EU17 (uključene Norveška i Švicarska) po godišnjoj stopi od 1,7%. Ova prognoza se temelji na:

- rastu gospodarstva po stopi od 2,5%
- porastu stanovništva po stopi od 0,2%
- porastu ukupne potrošnje energije po stopi 0,9%.

Prognoza potrošnje električne energije prikazana je u tablici 1, a izvori za proizvodnju električne energije u tablici 2.
Podaci u zagradama odnose se na Njemačku bez bivše istočne Njemačke.
Međutim, postoji mnogo nepoznanica koje mogu utjecati na osvarenje predviđenog rasta. To su zaštita okoliša, nove tehnologije, uključivanje novih izvora energije, naročito obnovljivih, cijene goriva i politika pojedinih zemalja. Vjeruje se da će relativno niski troškovi i udovoljenje prigovorima zaštitara okoliša osigurati mjesto elektranama na plin u budućim kapacitetima. Drugi značajan, čimbenik će biti naklonost javnosti prema nuklearkama i domašaj integriranog energetskog tržišta. Godišnji porast potrošnje fosilnih tekućih goriva bit će u prosjeku 2,0%, dok će za isto razdoblje porast u termoelektranama iznositi 2,6%. Glavni razlog za to je povećanje efikasnosti pri korištenju kombiniranog ciklusa kod elektrana na prirodni plin, koja je znatno veća u odnosu na konvencionalne elektrane (više od 10%). Planira se također višestruko smanjenje emisije CO_2, NO_2 i SO_2 u navedenom razdoblju.

Tablica 1. Potrošnja električne energije (TWh)

	Ostvareno u razdoblju 1970-1994.			Prognoza za razdoblje 2000-2010.		
	1970.	1980.	1990.	1994.	2000.	2010.
1. Austrija	23	36	47	50	57	68
2. Belgija	29	48	63	71	80	92
3. Njemačka	(233)	(351)	(415)	504	490	533	583
4. Danska	15	24	31	33	37	41
5. Španjolska	52	102	145	159	188	254
6. Finska	22	40	62	68	81	99
7. Francuska	140	249	350	388	440	500
8. Grčka	9	22	33	37	48	67
9. Italija	115	180	235	254	297	360
10. Irska	6	10	13	16	20	29
11. Luksemburg	3	4	4	5	6	7
12. Nizozemska	39	56	78	87	95	114
13. Portugal	7	17	27	30	40	55
14. Švedska	63	94	140	139	150	166
15. Velika Britanija	217	253	310	323	356	415
16. Švicarska	28	39	50	51	56	65
17. Norveška	57	83	106	112	113	116
EUR17	(1057)	(1605)	(2108)	2197	2311	2596	3029

Tablica 2. - Struktura izvora električne energije

	Aus	Bel	Njem	Dan	Špan	Fin	Fran	Grčka	Ita	Irska	Luks	Niz	Port	Šved	V.B.	Švi	Norv.	UER17
2010.																		
Hidro i obnovljivi izvori	39,3	2,4	22	2,2	37,5	20	72,6	6,5	63,2	2,7	0,8	4,1	14,4	64,3	18,7	34	119,7	524,4
Nuklearne		41,7	169		53	20	407,2							72	90	20		872,9
Termoelektrane	27,5	48,1	384	39,9	165,1	59	66,4	60,2	289,6	26,5	0,4	107,7	39,6	22,3	303,8	3	1	1644,1
od kojih na - ugljen	3.6	18	153	23	85,3	20	24,5	8	54,6	9,6		39	16,8		130	3		588,4
lignit	0,6		147		10	5		35,2		1,5								199,3
mazut	3	1,2	8	1	10,7	2	16,2	10	69,9	1,3	0,1		7,6		25			147
prirodni plin	17	28,1	59	15,9	38,1	9	3,3	7	106,5	13,7	0,2	65,7	14,5		140			518
proizvedeni plin	1,1	0,5					31					3			8,8			84,1
ostalo	2,2	0,3	17		21	23	19,3			0,4			0,7	22,3			1	107,2
Ukupna neto proizvodnja	66,8	92,2	575	42,1	255,6	99	546,2	66,7	352,8	29,2	1,2	111,8	54	158,6	412,5	57	121	3041
Neto odstupanje	2,8	1,7	13	-0,9			-39		10		6,8	2	0,2	7	5	7,8	-5	11,4
Ukupna neto raspoloživost 69,6	93,9	588	41,2	255,6	99	507,2	66,7	362,8	29,2	8	113,8	54	165,6	417,5	65	116	3053	
Crpljenje	-1,8	-2	-5		-2	-2	-7,2		-2,8	0,4	-1		-0,5		-3			-27,7
Potrošnja el. energije	67,8	91,9	583	41,2	253,6	97	500	66,7	360	28,8	7	113,8	54	165,6	414,5	65	116	3025
2000.																		
Hidro i obnovljivi izvori	38,3	2,3	22	2	35,1	20	71,6	3,9	58	1,7	0,8	3,1	12,6	63,6	12,5	33,2	117,5	498,2
Nuklearke		41,7	159		53	20	406,9					3		70	81	22,6		857,2
Termoelektrane	17,8	36,2	352	37,2	92,6	35,7	32,2	43,7	218,4	18,7	0,3	75,5	27,1	14,3	258,5	2,8	1	1264
od kojih na - ugljen	3	12,1	141	24	48,2	19	15,5		36,9	6,4		23	13,5		116,5	2,8		461,9
lignit	1		135		10	5		29,7		1,7								182,4
mazut	2,2	1,3	8	1	6,8	2	5	7	93,3	1,2	0,1		6,2		10			144,1
prirodni plin	8,9	20,8	53	12,2	0,1	9	3,3	7	76,9	9,2	0,2	49,5	6,9		128			385
proizvedeni plin	0,9	1,6					3,1		11,3			3			4			23,9
ostalo	1,8	0,4	15		27,5	0,7	5,3			0,2	0		0,5	14,3			1	66,7
Ukupna neto proizvodnja	56,1	80,2	533	39,2	180,7	75,7	51,7	47,6	276,4	20,4	1,1	81,6	40	147,9	352	59	119	2619
Neto odstupanje	2,3	1,7	5	-2,6	8	6	-65		26		5,8	13		2,5	7	-2,9	-6	0,8
Ukupna neto raspoloživost 58,4	81,9	538	36,6	188,7	81,7	445,7	47,6	302,4	20,4	7	94,6	40	159,4	359	56	113	2620	
Crpljenje	-1,6	-1,8	-5		-1		-5,7		-5,4	-0,3	-1		-0,2		-3			-25
Potrošnja el. energije	56,8	80,1	533	36,6	187,7	81,7	440	47,6	297	20,1	6	94,6	40	150,4	356	56	113	2595

	Aus	Bel	Njem	Dan	Špan	Fin	Fran	Grčka	Ita	Irska	Luks	Niz	Port	Šved	V.B.	Švi	Norv.	UER17
1994.																		
Hidro i obnovljivi izvori	36,7	1,6	24	1,3	27,1	18,7	80,6	2,8	50,7	1,2	0,7	1,1	10,7	58,9	8,4	39,5	112,9	476,9
Nuklearke		38,5	143		53	17,5	341,6					4		70,1	80	23		770.7
Termoelektrane	15,2	28,4	328	36,9	77,4	26	32,3	34,6	169,5	14,7	0,5	70,6	18,4	9,9	219,3	1,1	1	1083,8
od kojih na - ugljen	2,3	16,1	147	30,8	47,8	13	20,5		18,1	6,2		25	10,8		157	1,1		496
lignit	1		137		11	5		26,6	0,2	1,7								182,5
mazut	2	1,3	7	1	6,6	2	3,6	8	109,4	2,6			7,1		12			162,6
prirodni plin	7,6	7,9	29	5,1		6	3,3		38,3	4,2	0,1	43,6			46			191,1
proizvedeni plin	0,7	2,6					3,1		3,5		0,4	2			4			16,3
ostalo	1,6	0,5	8		12		1,8						0,5	9,9			1	35,3
Ukupna neto proizvodnja	51,9	68,5	495	38,2	157,5	62,2	454,5	37,4	220,2	15,9	1,2	75,7	29	138,9	307,7	64	114	2331
Neto odstupanje	-0,8	4		-4,8	2	6	-63,2		37,6		4,4	11	0,9	0,3	17	-12		2,6
Ukupna neto raspoloživost 51,1	72,5	495	33,4	159,5	68,2	391,3	37,4	257,8	15,9	5,6	86,7	30	139,2	324,7	52	114	2334	
Crpljenje	-1,5	-1,1	-5		-1		-3,1		-4,2	-0,4	-0,8			-0,2	-2	-1,3	-2	-22,6
Potrošnja el. energije	49,6	71,4	490	33,4	158,5	68,2	388,2	37,4	253,6	15,5	4,8	86,7	30	139	322,7	51	112	2311

Power in Europe, 243/4, 28. February 1997.

SBK

PRVA KOGENERATIVNA JEDINICA U SVIJETU

Electrabel i belgijska distribucija plina Distrigaz stavili su u pogon početkom veljače ove godine prvu u svijetu kogenerativnu jedinicu koja će biti korištena za potpomaganje procesa ukapljivana pirodnog plina.
40 MW plinska turbina, smještena uz plinski terminal u belgijskoj luci Zeebrugge, proizvodi energiju za Electrabel, dok Distrigaz koristi toplinu postrojenja za ponovno uplinjavanje niskotemperaturnog tekućeg prirodnog plina izvađenog iz terminala. Transport plina obavlja se kroz plinovodnu mrežu Distrigaz-a.

Power in Europe, 243/10, 28 February 1997.

SBK

KREDITI EIB ZA FINANCIRANJE ENERGETSKOG SEKTORA

Energetski sektor ponovo je glavni korisnik kredita Europske investicijske banke (EIB) u 1996. godini, kao drugi najveći segment ulaganja EU poslije telekomunikacija sa 7 milijardi Ecu (8 milijardi US$). Energetski sektor već je iskoristio 4,9 milijardi Ecu od 20,9 milijardi Ecu kredita zar EU, te oko 30% od 2,3 milijarde Ecu namijenjenog zemljama nečlanicama EU.
Veći dio sredstava EU za energiju prema njezinom popisu usmjeren je u transeuropske energetske mreže, u prvom redu potpori proširenja plinske meže, dok su financiranje električne mreže preuzele Grčka, Španjolska i Velika Britanija. Elektranama, uglavnom na plin, ali također i na ugljen, lignit i hidro, također su pripadala značajna sredstva.
Ako se promatraju države Italija je primila sredstva u iznosu 1 598 milijuna Ecu za IGCC[1] i CCGT[2] elektrane u Priolu Gargallo, Falconara Marittima i Sarroch za uvođenje prirodnog plina te za gradnju rezervoara za plin i tekuće gorivo. Druga zemlja po iznosu je Njemačka sa 802 milijuna ECU za proširenje plinske mreže, skladišta plina, CPH elektranu kraj Dresden-a i Neubandenburga, te za zamjenu lignita u elektranama Schwarze Pumpe i Schkopau. Slijedi Velika Britanija sa 674 milijuna Ecu namijenjenih za proširenje električne mreže te povezivanje na kontinentalni plinovog.

Power in Europe, 243/12, 28 February 1997.

SBK

[1] Combined cycle with integrated gosification.
[2] Combined cycle gas turbine.

NIŽE CIJENE ELEKTRIČNE ENERGIJE U EdF

Smanjenje cijena električne energije zacrtano u EdF-ovom četverogodinjem planu (vidjeti Power in Europe 242/17) loše se odrazilo na mala poduzeća. Naime, tzv. "Plava tarifa" koju plaćaju obrtnici i trgovci snižena je 106% od 15. travnja ove godine. "Žuta tarifa" i "Zelena A tarifa" za najveći dio srednje-malih poduzeća smanjuje se oko 6,5 do 7%. Većina industrijskih potrošača koji plaćaju "Zelenu tarifu B i C" ima smanjenje oko 5,1%. Kućanstva koja plaćaju "Kućnu plavu tarifu" imaju smanjenje oko 4,6%. Glavni čimbenik smanjenja cijena su troškovi. Naime, EdF opravdava veliki pad "Plave tarife" 50-60% većom cijenom za obrtnike i trgovce od cijene koju plaćaju kućanstva, čak kad su troškovi bili vrlo slični. U isto vrijeme i iz istih razloga EdF je planirao smanjenje plaćanja premije za vršnu potrošnju za 10 do 15% u usporedbi s vršnom snagom.
U međuvremenu je francuski ministar industrije Franck Borotra izjavio u nacionalnom parlamentu da će EdF objaviti do jeseni svoj plan za zatvaranje konvencionalnih elektrana. Posebno je naglasio da će EdF učiniti sve kako zbog toga ne bi trpjela lokalna gospodarstva, te ne budu ukinuta radna mjesta.

Power in Europe, 243/13, 28 February 1997.

SBK

PROTESTI LOKALNOG STANOVNIŠTVA ZBOG POLAGANJA VISOKONAPONSKOG KABELA

Jorge Fabre, direktor mreže visokog napona španjolske elektroprivrede Red Electrica de Espana (REE) sastao se s državnim arbitrom zbog razmatranja zahtjeva ministarstvu industrije za promjenom odluke vlade iz 1960. godine u lokaciji trase visokonaponskog kabela. Sastanak je uslijedio nakon jakog protivljenja polaganju kabela 400 kV u blizini Tarifa na jugu Španjolske kojim bi se preko Gilbraltar-a Maroko opskrbljivao električnom energijom. Sastanak nije ništa promijenio. Radovi se nastavljaju pod zaštitom vojske a lokalno stanovništvo nastavlja svoje prosvjede generalnim štrajkom.
Svađe i razdori u mjestu s 15 000 stanovnika, inače surfing centru, gdje je čak i gradonačelnik naredio prestanak gradnje, nisu zaustavili da kabel bude položen nedaleko grada. Razlog je javni interes ovog projekta, koji može samo vlada zaustaviti. Protesti su usmjereni na brigu o zdravlju ljudi zbog djelovanja elektromagnetskog polja oko kabela.
Jorge Fabre je zaključio da je španjolsko gospodarstvo dosad izgubilo 20 milijardi pezeta (US$ 140,1 milijun) zbog neisporučene električne energije Maroku. Izjavio je također da bi 67 km dugi kabel trebao biti položen ovog ljeta, 18 mjeseci nakon početka

polaganja. Projekt realiziraju španjolski Dragados i talijanski Pirelli.

Power in Europe, 243/23, 28 February 1997.

SBK

RWE ENERGIE U ČEŠKOJ

Najveće njemačko elektroprivredo poduzeće RWE Energie proširuje svoje aktivnosti i na Češku. Da intenzivira svoje već postojeće veze s češkom elektroprivredom Stredoceska Energetica (STE), sada je kupilo 10,33% udjela u tom poduzeću.
Zajedno sa STE izgradit će termoelektranu CHP za potrebe tvornice Škoda i grada Mlada Boleslava. Aneksom ugovora osigurana je čvrsta povezanost s državnim elektroprivrednim poduzećem CEZ.
STE opskrbljuje područje od oko 11 000 km^2 što čini oko 14% češkog tržišta električne energije. U poslovnoj 1995. godini postignut je rezultat koji odgovara iznosu od DM 442 milijuna (263 US$) i čista dobit od 12 milijuna DM.

European Energy Report, 31 March 1997, Page 12.

SBK

BEZ GORIVA OSUĐENI NA PJEŠAČENJE

Vlasnici motornih vozila u Austriji već suočeni s visokom cijenom goriva, najvećom u Europi, vjerojatno će progutati dodatno povećanje u idućoj godini. Regulativa EU određuje minimalnu cijenu energije, što znači da će u Austriji doći do povećanja cijene benzina i dizel goriva. Na udaru je najprije ugljen. Postojeće cijene plina, električne energije i lož ulja su dosta iznad minimalne razine u EU.
Prema Izvještajnoj agenciji za korištenje energije iz Beča primjena direktive EU će donijeti povećanje cijena bezolovnog benzina za 9,8%, odnosno 6,16 Sch/l (0,52 US$/l), a dizel goriva za 20,7% odnosno 4,69 Sch/l.
Druga faza primjene EU direktive uzrokovat će porast cijene energije u 2002. godine. Tako će cijena bezolovnog benzina porasti za oko 35,9%, a dizel goriva za 58,3% u odnosu na postojeće cijene. Austrijanci strahuju da će dodatno povećanje cijene goriva znatno povećati prekogranični benzinski turizam u zemlje nečlanice EU, gdje su motorna goriva znatno jeftinija.

European Energy Report, 21 March 1997, Page 16

SBK

RWE ENERGIE GRADI NOVU TERMOELEKTRANU NA LIGNIT

U zahtjevu za izdavanje dozvole za izgradnju nove 950 MW termoelektrane na lignit kod Niederaussen-a RWE Energie je dao niz objašnjenja.
Novom elektranom će se zamijeniti 6 dotrajalih jedinica po 150 MW izgrađenih krajem 1950. godine. Cijena ovog projekta će biti oko 2,7 milijarde DM (1,6 US$), a njegova realizacija će trajati oko 4 godine.
RWE Energie zapravo planira izgradnju nove jedinice koristeći "optimiziranu tehnologije lignita" iz njihove druge elektrane u Frimmersdorf-u. No, na ovu lokaciju bi se trebao dopremati lignit iz kontroverznog rudnika površinskog kopa Garzweiler 2, koji je tek u fazi planiranja.
Krajnje je neizvjesno hoće li ovaj rudnik početi s radom 2006. godine, kao što je planirano. To navodi RWE Energie da novu jedinicu smjesti na lokaciju Niederaussen, gdje se ugljen doprema iz rudnika površinskog kopa Hambach.

European Energy Report, 21 March 1997, Page 16

SBK

ZATVARANJE NUKLEARKI U NIZOZEMSKOJ

Nizozemska zatvara jednu od svoje dvije nuklearke uz najavu završetka ere nuklearki. 45 MW elektrana Dodewaard jednostavno je isključena iz nacionalne električne mreže. Objavljujući zatvaranje SEP (grupa poduzeća za proizvodnju električne energije) izjavila je kako je jasno da nema političke potpore nuklearnim elektranama u Nizozemskoj. Dodewaard je bio građen da bi se stekla iskustva s nuklearnim tehnologijama. Veća komercijalna elektrana izgrađena je južno od Borssele-a 1973. godine. No, njezini dani su također odbrojani. Njezino zatvaranje se planira u 2004. godini.

European Energy Report, 31 March 1997, Page 9

SBK

PROBLEMI S VELIKIM BRANAMA

Nedavno je u Brazilu održan međunarodni skup 100 delegata iz 20 zemalja, koji su raspravljali o velikim branama. Istodobno se pojavila i knjiga Patrick McCollya "Silenced Rivers: The Ecology and Politics of Large Dams). Skup je zatražio od država članica da proglase međunarodni moratorij na gradnju velikih brana iz razloga navedenih u spomenutoj knjizi.
Međunarodna komisija za velike brane (ICOLD) definirala je kriterije prema kojima neka brana ulazi u ovu kategoriju. To su:

- visina: 15 m i više
- zapremnina: najmanje 15 milijuna m^3 vode
- ukupna zapremnina akumulacije: najmanje 25 km^3
- ili kapacitet elektrane: najmanje 1 000 MW.

Najveća brana na svijetu za proizvodnju električne energije (Brazil-Paragvaj) ima instalirani kapacitet za proizvodnju električne energije od 12 600 MW. Koeficijent njezinog iskorištenja planiran je sa 72%, međutim 1993. i 1994. godine iznosio je svega 58%. Najekstremniji je primjer brane Sardar Sarovar u Indiji koja s instaliranih 1 450 MW proizvodi samo 439 MW (30%) u sušnim vremenskim razdobljima. U donjoj tablici prikazane su zemlje sa brojem izgrađenih velikih brana u razdoblju do 1986. godine, te od 1986. do 1994. godine. Iz tog pregleda je vidljivo da su Kina i bivši SSSR izgradili najveći broj velikih brana u prvim decenijima komunizma, a USA u ranim tridesetim godinama.
Više od 5 000 velikih brana u svijetu starije je od 50 godina.
Što se tiče probijanja troškova gradnje oni se kreću od 400 milijuna US$ na planiranih 3,8 milijardi US$ u Kolumbiji do 60 milijardi rupija na planiranih 200 milijuna rupija u Indiji (brana Tehri 200 milijuna rupija u Indiji (brana Tehri):

Velike brane do 1986.		Velike brane od 1986.-1994.	
Kina	18 820	USA	50
USA	5459	SSSR	34
SSSR	3 000	Kanada	26
Japan	2 228	Brazil	19
Indija	1 137	Japan	19
Španjolska	737	Turska	11
Južna Koreja	690	Kina	10
Kanada	608	Njemačka	9
V. Britanija	535	Italija	9
Brazil	516	Švicarska	9
Meksiko	503	Argentina	8
Francuska	468	Indija	7
Južna Afrika	452	Francuska	5
Italija	440	Meksiko	5
Australija	409	Austrija	4
Norveška	245	Kolumbija	4
Njemačka	191	Iran	4
Čehoslovačka	145	Španjolska	4
Švicarska	144	Australia	3
Švedska	141	Pakistan	3

U pogledu trajnosti građevina postoje brane koje će vjerojatno bez većih zahvata doživjeti starost do više stotina godina. No, ima ih koje su već nakon 10 godina eksploatacije zrele za rušenje. To je slučaj s branom Inguri u Gruziji, staroj samo 15 godina, koju bi trebalo najhitnije popraviti. Kako je Gruzija vrlo siromašna zemlja i nema novaca za takve radove, morat će se potražiti investitor.
U zemljama bivšeg Sovjetskog Saveza izgrađeno je više od 3000 velikih brana. Samo njih 132 podliježu inspekcijama državnih organa, dok su ostale u vlasništvu lokalnih organa uprave ili privatnika bez prave kontrole. Što to znači sa stajališta sigurnosti bolje je ne nagađati.
Ukrajina je prije 11 godina doživjela Černobil, no se samo ona. Hoće li slična sudbina zadesiti tamošnje stanovništvo od eventualnog rušenja brane Kahovskaja na Dnjepru, koja osigurava najveću vodenu akumulaciju u svijetu. Prošle godine su ukrajinski inženjeri tražili od vlade sredstava za hitnu obnovu brane i nasipa, no zasad bez rezultata. U slučaju popuštanja brane vodeni val visok 30 m, brzinom od 130 km/h pomeo bi pred sobom stotinjak naselja sa više od 500 tisuća stanovnika.
Iako se stalno tvrdi da je hidroenergija čista u smislu emisije CO2, autor dokazuje da to ne vrijedi za vodene akumulacije u toplijim i tropskim krajevima. U tropima svaka akumulacija proizvodi isto toliko CO_2 i metana kao i adekvatna elektrana na fosilna goriva.

Energy Economist, 185/17, March 1997.

SBK

PROTESTI ZBOG TRANSPORTA NUKLEARNOG OTPADA U NJEMAČKOJ

Nedavno je više od 30 000 policajaca bilo pozvano da kontrolira masu koja je protestirala u Gorleben-u u sjevernoj Njemačkoj u kojem se obavlja prerada nuklearnog otpada. Aktivisti pokreta zaštite prirode pokušali su zaustaviti prijevoz nuklearnog otpada iz Bavarske, probijajući tunel ispod pristupne ceste. Na taj način su je onesposobili za prilaz teškog transporta koji je prevozio otpad. Osiguranje ove operacije stajalo je Vladu Donje Saksonije oko 100 milijuna DM (58,3 milijuna US$).
Ovaj incident je pokrenuo jedva mlaku raspravu o nuklearnoj energiji u Njemačkoj bez nekih pozitivnih rezultata.

Power Economics, March 1997, Page 18

SBK

KINA OSNIVA NACIONALNU KOMPANIJU ZA ENERGIJU

Kinesko ministarstvo za električnu energiju (MOEP) osnovalo je i pokrenulo rad poduzeća Državna korporacija za energiju (SPC). Za generalnog direktora ovog poduzeća postavljen je ministar odgovoran za MOEP Shi Dazhen. Za to vrijeme će mu SPE sačuvati ministarski položaj. Ministarstvo je odgovorno za politiku i regulativu novog poduzeća, što je normalna opcija za poduzeća u vlasništvu države. Moguće je da će se i ministarstvo razdvojiti.
Kineska vlada je također nedavno osnovala treće naftno poduzeće CNSPC (China National Star Petroleum Corporation). Novoosnovano poduzeće predstavlja konkurenciju poduzećima CNPC (Chine National Petroleum Corporation) koje je odgovorno za podmorska istraživanja i razvoj te CNOOC (China National Offshore Oil Corporation). Novoosnovano poduzeće CNSPC ima glavni cilj istraživanja i razvoj nalazišta plina.

Power Economics, March 1997, PAGE 11

SBK

ABB PREUZIMA KONTROLU NAD GRADNJOM ELEKTRIČNIH MREŽA

ABB potpisuje ugovor za kupnju 60% poduzeća PBE Elbud Krakow, poduzeća koje gradi i održava dalekovode, rasklopišta i transformatorske stanice u Poljskoj.
Ovaj ugovor trebaju odobriti Ministarstvo vanjskih poslova, te Društvo za zaštitu potrošača. PBE ELbud je osnovan prije 50 godina. Specijalizirao se za izradu, postavljanje i održavanje dalekovoda, rasklopišta i transformatorskih stanica srednjeg i visokog napona. Vrijednost posla nije objavljena.

Power Economics, March 1997, Page 7.

SBK

RUBBIATRON – NOVI TIP NUKLEARNOG REAKTORA

Francuz MP Claude Birraux je autor godišnjeg izvješća o sigurnosti nuklearki koji usvaja parlament. On podupire "Rubbiatron" novi tip nuklearnog reaktora, koji namjerava graditi Carlo Rubbia, dobitnik Nobelove nagrade za fiziku 1984. godine i generalni direktor Europskog nuklearnog instituta za fiziku (CERN).
Rubbiatron je hibridno postrojenje sastavljeno od akceleratora sa reaktorskom jezgrom od torija (ili prirodnog urana) hlađeno tekućim olovom. Jedna od glavnih njegovih prednosti je ta što proizvodi vrlo malo dugotrajnog radoaktivnog otpada i može koristiti dosta postojećeg otpada. Prema tvrđenju Rubbia postupak je znatno sigurniji od postojeće tehnologije, te može prema procjeni proizvesti energiju za pola cijene postojećih reaktora.
Idući korak je gradnja postrojenja. Birraux i ekipa profesora Rubbia-e potpomažu izgradnju malog akceleratora, čija bi cijena trebala biti oko 10 milijuna US$. Tako bi se omogućilo ispitivanje mnogih dosada neprovjerenih komponenti koje bi mogle uzrokovati poteškoće u primjeni nove tehnologije, kao što je životni vijek "prozora" na propusnim dijelovima akceleratora prema reaktorskoj jezgri ili korozivna svojstva rashladnog tekućeg olova.
Protivnici ovog projekta, među kojima je i EdF-ov direktor istraživanja Gerard Menjon upiru prstom na cijenu gradnje prototipnog postrojenja, koja bi mogla biti viša od 1 milijarde Ffr (176 milijuna US$). On se pita može li industrija to sebi dozvoliti u vrijeme nemilosrdne utakmice s plinskim elektranama. Birraux inzistira da je ovaj projekt moguć samo unutar europskih okvira.

Power in Europe, 245/16, 28 March 1997.

SBK

ŠTO ODABRATI?

Nedavnu odluku EU o smanjenju štetnih plinova za 15% do 2010. godine u vlastitom dvorištu iskoristio je nuklearni lobi u Brussels-u za svoje ciljeve tvrdeći kako je otpad iz nuklearki povoljniji od onog iz termoelektrana. U svezi s odlukom o upravljanju otpadom u Euratom-u kažu da je time potvrđena "podnošljiva budućnost" europskih budućih potreba za energijom i kontrole štetnih plinova.
Sukladno novim postavkama Euroatom ističe da je količina europskog nuklearnog otpada svake godine "minimalna" u usporedbi sa otpadom iz drugih industrijskih izvora. Obrazlažu to podatkom da su 5 nuklearnih elektrana u Europi od 1992. godine omogućile smanjenje emisije CO_2 za više od 700 milijuna toga godišnje.
Kao primjer navodi se kako nuklearna elektrana od 1000 MW troši dnevno 80 kg urana, odnosno 20 tona godišnje. Identična termoelektrana na ugljen troši 7 tisuća tona ugljena na dan i ispušta u tijeku jedne godine u atmosferu 6,7 milijuna tona CO_2, 900 tona SO_2 i 400 tona teškometalnog otpada i to kod primjene "sofisticirano čistih tehnologija izgaranja ugljena".
Euratom-ove tvrdnje da radioaktivnost nuklearnog otpada vremenom opada, dok otrovni materijali posebno teški metali "za-

uvjek ostaju otrovni" zapravo izvrću činjenice. Toksičnost niskoradioaktivnog otpada može opasti do razine prirodne radioaktivnosti kroz nekoliko decenija, ali poluvrijeme raspada visokoradioaktivnog otpada mjeri se u milenijima. Gledajući iz sadašnje perspektive, to je zapravo zauvijek.

Power in Europe, 245/14, 28 March 1997.

SBK

PRIVATIZACIJA ŠPANJOLSKE ELEKTROPRIVREDE

Španjolsko državno holding poduzeće SEPI može ubrzati privatizaciju Endesa-e prodajući 40% ovog elektroprivrednog giganta ujesen, što je bolje od inicijalno planiranih 20%. Predsjednik SEPI-a tvrdi da će ubrzanje privatizacije donijeti popularnost vladi nakon prodaje 20,9% djela u poduzeću Telefonica u veljači, te predviđenog uspjeha u prodaji 10% udjela u naftnom poduzeću Repsol. SEPI još uvijek ostaje vlasnik 67% udjela u Endesa-i.
U međuvremenu je uprava Endesa-e odlučila reorganizirati poduzeće da bi bilo što konkurentnije na španjolskom tržištu električne energije. Aktivnosti grupacije će biti usmjerene na proizvodnju i distribuciju, velike potrošaće, rudarstvo, međunarodne poslove, internacionalne aktivnosti, diverzifikaciju te usluge grupacije. Ove promjene će privući investitore prije privatizacije drugog dijela od 67% Endesa-e.
Prema protokolu španjolskog energetskog sektora potpisanog 1996. godine, energetski sektor bit će otvoren konkurenciji 1998. godine i Endesa se priprema za promjene kroz izdvajanje njihovih sporednih djelatnosti. Protokol zahtijeva od poduzeća za proizvodnju električne energije da odvoje proizvodnju od distribucije električne energije, te smanje cijene za 8% do 2000. godine. Endesa je prvenstveno proizvođač električne energije bez obzira što je 75%-ni vlasnik grupacije za distribuciju Sevillana i Fecsa.
Europea Energy Report, 11 April 1997. Page 10.

SBK

PAD PROFITA U ABB

Švicarski ABB izvjestio je o 35%-tnom padu profita u 1996. godini, što iznosi 248 milijuna Sfr (173 milijuna US$). U odnosu na godišnji prihod od 5,1 milijarde Sfr, to iznosi nešto manje od 1% nego u 1995. godini.
Kod pada cijena za više od 20% nema jačanja švicarskog franka, te prema izjavi suzdržanog Edwina Somm-a rezultat je prihvatljiv. Narudžbe su bile niže za 9% ili 4,472 milijarde Sfr.
Tijekom prošle godine sjedište poduzeća u Baden-u investiralo je 688 milijuna Sfr u R&D, 216 milijuna Sfr za povećanje produktivnosti, te 120 milijuna Sfr za usavršavanje i obrazovanje uposlenih (10% iz uprave). Visoki rezultati prethodnih godina postignuti su zbog narudžbi za generatore za Veliku Britaniju, Novi Zeland, Bahrain i Argentinu (više od 900 milijuna Sfr)

European Energy Report, 11 April 1997, Page 11.

SBK

POTICANJE NA KORIŠTENJE ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ VJETROELEKTRANA

Švicarski klub za očuvanje energije (E-Club) proslavlja svoju prvu desetogodišnjicu. Tom je prigodom BKW Energie predstavio svoju specijalnu ponudu električne energije proizvedene u vjetroelektranama. Prema riječima predstavnika BKW-a, direktora Martina Pfisterer-a, ona je jedinstvena u Švicarskoj i u Europi.
Svakom članu kluba od 60 tisuća članova u kantonima Berne, Jura i Basel Land/Laufental bit će omogućeno kupovanje električne energije proizvedene u 1,8 MW-oj farmi vjetroelektrana Mt. Crosin, najvećoj u Švicarskoj, po cijeni od 0,49 Sfr na dan ili 0,18 Sfr/kWh. BKW mušterije prema ovoj shemi bi plaćali 0,19 Sfr/kWh ljeti, a zimi 0,425 Sfr plus 0,18 Sfr/kWh. Članovi koji ugovore kupovinu električne energije iz vjetroelektrana za 5 ili 10 godina dobit će "premiju lojalnosti", takvu kao što su pozivi na dvogodišnje sastanke u planinskim predjelima kantona Jura, dopunjenu "seljačkim doručkom". Prva osoba koja je potpisala ugovor za kupnju električne energije iz vjetroelektrana je bio ministar obrane i bivši ministar energetike Adolf Ogi.

Power in Europe, 246/22, 11 April 1997.

SBK

KORISNA UPORABA OTPADA

Švicarski eksperi smatraju da energetski potencijal otpada može zadovoljiti 55% ukupnih švicarskih potreba za energijom. Spalionice otpada, koje rade kao toplane, postoje već u Zürich-u, Bern-u i mnogim drugim mjestima. Najnovija toplinska mreža izgrađena je u Baden-u u Argovia-i, sjedištu ABB Švicarska, koji je nedavno izgradio veliku CHP elektranu koja spaljuje otpad u Danskoj (Roskilde) i u AUstriji (Wels). Argovia Buchs poduzeće, jedno od tri u kantonu, spaljuje 90 tisuća tona gradskog otpada i opskrbljuje sa 75,5 GWh topline industriju i gradsku toplinsku mrežu, uz smanjenje emisije CO_2 za 21 tisuću tona.
Švicarska industrija za preradu otpada nedavno je objavila da će surađivati s industrijom cementa da je potakne da zamjeni gorivo – naftu i ugljen otpadnim proizvodima u svojoj branši. U 1996. godini 10 švicarskih cementara postiglo je uštedu 32% od njihovih potreba za toplinom koristeći otpad kao što je staro ulje, stare gume, drvne otpatke te osušene tvari iz gradske kanalizacije.
Cilj je da se do 2000. godine u proizvodnji cementa postigne ušteda od 75% (450 000 tona otpada). Cementna industrija i industrija za preradu otpada radit će zajedno na optimiranju postojećih i novih kapaciteta u švicarskim elektranama na spaljivanje otpada.

Power in Europe, 246/22, 11 April 1997.

SBK

NAPREDAK KOD ELEKTRIČNIH VOZILA

U Francuskoj je postignut napredak kod električnih vozila. U La Rochelle-u, gdje su proizvođači automobila PSA (Peugeot i Citroen) počeli s pokusnom proizvodnjom 1993. godine, namjeravali su u zadnje dvije godine dići ruke od tzv. "morskog praseta", električnog vozila na kome su radili. Ovdje se nalazi 150 električnih vozila što čini 10% od ukupnog broja u Francuskoj. Polovica od njih pripada gradskoj upravi koja planira izradu električnog autobusa, te osnivanje kurirske službe koja će koristiti električna vozila.
Lokalno poduzeće također proizvodi i skutere od kojih je oko 100 u uporabi na području La Rochelle-a. Mnoga od njih iznajmljuju se turistima na obližnjim otocima Re i Oleron.
U međuvremenu grad Lyon planira opremiti vozni park Gradske uprave sa punionicama baterija električnih vozila, te ponuditi parkiralište bez naplate za električna vozila. U servisnoj stanici blizu poslovnog središta Part-Dieu opremljena je posebna stanica za brzo punjenje baterija električnih vozila. EdF nudi posebnu inicijalnu karticu za punjenje s kojom se vlasnik električnog vozila oslobađa plaćanja punjenja do prijeđenih 1500 km.
Pariški sindikati namjeravaju osigurati pomoć svojem članstvu od 15-28 tisuća Ffr, ako se odluče za kupovinu elektro automobila. Agencija za zaštitu okoliša uključuje se također sa pomoći 8 do 19 tisuća Ffr kod kupnje elektro automobila.
Namjera je Francuske da u iduće dvije godine zamijeni 20% vozila u gradovima električnim vozilima te da na taj način osigura čistiji zrak građanima.

Power in Europe, 246/14, 11 April 1997.

SBK

UDK 621.31

ENJAAC 46 (5) — (1997) - 281- 352

ISSN 0013-7448

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

energija

Godište 46 (1997) Zagreb 1997 Br. 5

IZDAVAČI – PUBLISHER

Hrvatska elektroprivreda

POMOĆ U IZDAVANJU

Ministarstvo znanosti, tehnologije i informatike

IZDAVAČKI SAVJET – THE PUBLISHING COUNCIL

Mr. sc. Branko *Grgić*, dipl. ing. (predsjednik), HEP Split – Adrijano *Fišer*, dipl. ing., HEP Rijeka – Marijan *Kalea*, dipl. ing., HEP Osijek – Damir *Karavidović*, dipl. ing., HEP Osijek – Mr. sc. Mladen *Mandić*, dipl. oec., HEP Zagreb – dr. sc. Vladimir *Mikuličić*, dipl. ing., FER Zagreb – dr. sc. Niko *Malbaša*, dipl. ing., Ekonerg, Zagreb

UREDNIČKI ODBOR - EDITORIAL BOARD

Glavni urednik - Editor-in-chief: dr. sc. Zorko *Cvetković*, dipl. inž.

Urednik - Editor: Zdenka *Jelić*, prof.

Urednici rubrika – Contributing Editors: »Energetski sistemi«, dr. sc. Goran *Granić*, dipl. ing. – »Hidroelektrane«, Vladimir *Prizl*, dipl. ing. – »Termoelektrane i toplane«, Ivan *Vučetić*, dipl. ing. – »Prijenos električne energije«, mr. sc. Zdenko *Tonković*, dipl. ing. – »Razvoj, distribucija i potrošnja električne energije«, Mladen *Ježić*, dipl. ing. i Dasenko *Baldasari*, dipl. ing. – »Ekonomsko poslovanje i tarifna politika«, dr. sc. Jure *Šimović*, dipl. ecc., mr. sc. Mladen *Mandić*, dipl. ecc. i Marijan *Magdić*, dipl. ecc. – »Ekologija«, dr. sc. Niko *Malbaša*, dipl. ing. – »Informatika«, Nikola *Lastrić*, dipl. ing. – Tehnički urednik – Technical Editor: Branko *Mališ* – Lektor – Lingvistic Adviser: Šimun *Čagalj*, prof. – Metrološka recenzija – Metrologic review: mr. sc. Mladen *Zeljko*, dipl. ing.

Redakcija završena 1997 – 09 – 23

SADRŽAJ

Klečina F: Zahtjevi na energetski informacijski sustav (Izvorni znanstveni članak) 283

Tešnjak S. - Kuzle I. - Brezovec M.: Modeliranje hidroelektrana (Izvorni znanstveni članak) 287

Šander M.: Prijedlog načina tehničkog vrednovanja kombi i kogeneracijskog postrojenja u TE-TO Zagreb (Stručni članak) 299

Matanić R.: Napredne izvedbe nuklearnih reaktora: europski tlakovodni reaktor (EPR) (Pregledni članak) 305

Nevečerel D. - Pavlović P.: Optimizacija tipa i presjeka zaštitnog užeta na DV 400 kV Žerjavinec - Heviz (Stručni članak) 311

Sabolić D.: Osnove optičkih komunikacija - I. dio: prijenos optičkog signala svjetlovodnim vlaknom (Pregledni članak) 319

Vijesti iz elektroprivrede 331

Iz strane stručne literature 339

Fotografija na omotnoj stranici

SKUPINA DIESEL AGREGATA U TS 110/35/10 kV VUKOVAR 2

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 6125-641 i 6125-111/641, telefax 6170-438

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 A4 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 članka 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 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, professional 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 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

ZAHTJEVI NA ENERGETSKI INFORMACIJSKI SUSTAV

Franjo K l e č i n a, Zagreb

UDK 621.31:621.391
IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

Razmatraju se zahtjevi što se postavljaju na energetski informacijski sustav s ciljem davanja odgovora na upite postavljene s različitih točaka gledanja na problematiku energetike.

Ključne riječi: energetski informacijski sustav, energetika, baze podataka, informacije, podaci, računarske mreže, resursi.

1. UVOD

Postoji cijeli niz parcijalnih baza podataka s područja energetike nastalih kroz rješavanje različitih užih problema: praćenje i planiranje proizvodnje i potrošnje el. en., analiza el. mreža, energetske bilance, planiranje potrošnje različitih vrsta oblika energije, održavanja postrojenja, zagađenost okoliša, resursi itd.
Tehnološki razvoj informatike kroz realizaciju računarskih mreža i široku primjenu grafički orijentirane programske podrške na dostupnoj opremi dovodi u poziciju sve veći broj korisnika da koriste zajedničke resurse, ako oni postoje. Odnosno, razvoj poslužitelj/korisnik mrežne tehnologije dao je korisnicima financijski, tehnološki i psihološki prihvatljiv vremenski dostup do podataka bez obzira na udaljenost u odnosu na izvor podataka.
Time je otklonjen jedan od glavnih razloga ranijeg slabijeg korištenja zajedničkih baza podataka na našim prostorima. Ostvareni navedeni uvjeti sad postaju jakim motivom za brži razvoj i realizaciju jedinstvenog informacijskog sustava energetike.
Energetski informacijski sustav bi trebao moći udovoljiti zahtjevu korisnika na način da mu može dati pravu informaciju u određenom trenutku i u odgovarajućoj formi, bez obzira odakle pristupa podacima.

2. OSNOVNI POJMOVI

Ovisno o pristupu, svrsi definiranja i području interesa postoji cijeli niz različitih definicija sustava:

- sustav je skup objekata sjedinjenih pravilima interakcije,
- sustav je skup elementa koji čine integralnu cjelinu u sklopu koje se vrše određene funkcije (procesi) i postoji neka vrsta kontrole.

Može se reći da sustav čini i skup njegovih elemenata i priroda njihove uzajamne povezanosti, odnosno da je sustav skup elemenata koji su međusobno povezani da čine sređenu cjelinu.
Pojedini dijelovi sustava nazivaju se elementi. Elementi sustava posjeduju određana svojstva i funkcije koje su u direktnoj ili indirektnoj vezi sa svojstvima ili funkcijama drugih elemenata sustava.
Skup veza između elemenata sustava tvori strukturu sustava. Svaki sustav ima granice, koje su utvrđene prirodno ili proizvoljno (pojmovno). S vremenom se te granice mogu mijenjati, ovisno o interakciji sustava s drugim sustavima oko njega. To može dovesti i do strukturnih promjena u sustavu, a ponekad i do prestanka rada jednog sustava i stvaranja novog. Sve što se nalazi izvan granica sustava naziva se okolinom sustava. Elementi sustava mogu se raščlaniti tako da podsustavi postanu sustavi sa svojim elementima.
Prema teoriji informacija podaci su skup poruka koje imaju određeno značenje, dok je informacija skup poruka i podataka koji primateljima služe za otklanjanje ili smanjenje neizvjesnosti i za poduzimanje određenih akcija. Dakle, informacija ima za primatelja karakter novosti i služi mu kao podloga u donošenju odluka.
Pojmovi, podatak i informacija ne mogu se uvijek strogo odvojiti, jer o konkretnoj situaciji ovisi hoće li se neki skup poruka smatrati podatkom ili informacijom.
U okviru informacijskog sustava sadržane su sljedeće osnovne aktivnosti:

- prikupljanje podataka
- obrada podataka
- memoriranje podataka
- ažuriranje podataka i njihove strukture
- omogućavanje korisnicama korištenje podataka.

Odabran je pojam energetski informacijski sustav zato jer se sagledava i opisuje stanje i kretanja u oblasti energetike, te područja koja se rubno dotiču kod razmatranja energetskih problema.

3. POSTAVKE (KRITERIJI) ZA REALIZACIJU INFORMACIJSKOG SUSTAVA

Pri koncipiranju i izgradnji informacijskog sustava postavljaju se pitanja:

- u skladu s kojim načelima treba biti koncipiran i realiziran informacijski sustav

- tko su potencijalni korisnici podataka
- koje su informacije i u kakvom obliku od interesa za područje energetske problematike
- do koje razine je potrebno ići u dubinu i širinu sagledavanja podataka
- dominantna svojstva informacijskog sustava
- gdje podaci nastaju i koji procesi i zbivanja generiraju nove podatke
- kako strukturirati i povezati različita područja u jedinstven informacijski sustav, a da on ne postane preskup, preglomazan, odveć uopćen i težak za sagledavanje, pretraživanje ili održavanje?

3.1. Načela koncipiranja informacijskog sustava

Informacijski sustav treba biti koncipiran i realiziran po načelima sustavnog pristupa od kojih su najznačajniji:

- načelo kompleksnosti: informacijski sustav nije monolitan već se sastoji od niza podsustava
- načelo integralnosti: pri razradi podsustava treba uvijek imati na umu i zahtjeve, karakteristike, ciljeve i principe funkcioniranja sustava kao cjeline
- načelo dinamičnosti: informacijski sustav kao slika realnog svijeta koji je stalno podložan promjenama mora se i sam mijenjati s vremenom, ali u skladu sa zahtjevima stabilnosti i elastičnosti sustava
- načelo interdisciplinarnosti: koncipiranju i projektiranju informacijskog sustava potrebno je prići s različitih stanovišta, tj. u cijelom poslu sudjeluju stručnjaci za različita područja
- načelo otvorenosti: treba uzeti u obzir sve komunikacijske partnere u sustavu i izvan njega, budući da je komunikacijska otvorenost važna pretpostavka njegova razvoja i opstanka.

3.2. Tko su potencijalni korisnici podataka?

Podaci bi trebali biti dostupni i prepoznatljvi sljedećim grupama korisnika koji se bave rješavanjem problema analize i planiranja korištenja energetskih resursa u najširem smislu:

- znanstvenicima
- inženjerima
- ekonomistima
- pravnicima
- i drugima za čiji rad su dijelom potrebne i informacije o energetskim pokazateljima.

Navedene grupe korisnika koncentrirane su u sljedećim institucijama:

- instituti
- visokoškolske ustanove
- privredne organizacije:
  - proizvođači opreme
  - projektantske firme
  - firme koje se bave proizvodnjom, prijenosom i distribucijom energije
- trgovačka društva
- vladine ustanove
- nevladine organizacije.

Svi bi oni trebali imati dostup do podataka od interesa, i to putem opreme (programa, računala i sredstava komunikacije) koju koriste u svom svakodnevnom radu.

3.3. Podaci od interesa

Na pitanje: "Koji pokazatelji stanja (povijesno i trenutno, te prostorno) energetskog sustava bi trebali biti sadržani u informacijskom sustavu"?, mogući odgovor je:

- energetski
- ekonomski
- statistički
- pravni
- ekološki
- geografski
- geodetski
- geološki
- meteorološki
- hidrološki
- zdravstveni
- bibliografski
- ostalo.

Navedeni pokazatelji stanja bili bi opisani sljedećim tipovima podataka:

- numerički
- tekstualni
- slikovni
- zvučni
- filmski
- kombinacija nekih od navedenih korištenjem novijih tehnologija.

Po područjima energetike bili bi dakle obuhvaćeni pokazatelji (podaci) o: energetskim resursima, proizvodnji, prijenosu i potrošnji izvora energije (nafta, plin, ugljen i biomasa, vodeni potencijal, nuklearna energija, sunčeva energija, energija vjetra itd.), postrojenjima u pogonu, postojećim tehnologijama i tehnologijama u razvoju, proizvodnji, prijenosu i potrošnji električne i toplinske energije, prijenosnim mrežama i transportnim sustavima.
Budući da je potrošnja energije funkcija kretanja broja stanovništva, produktivnosti rada, ekonomske aktivnosti, tehnoloških promjena, geografske lokacije potrošača, cijene energije i porezne politike, bili bi obuhvaćeni i pokazatelji tih kretanja.
Radi sveobuhvatnije slike o energetskom sustavu bili bi obuhvaćeni i pokazatelji (podaci) dodirnih područja kako su ranije nabrojani (kao npr. podaci o utjecaju tehnologija na zdravlje i okoliš, te standardi vezani uz te pokazatelje).
U svjetlu predvidive privatizacije ne može biti zanemarena važnost i značaj podataka o vlasništvu nad objektima, postrojenjima, zemljišnim i vodenim površinama, te rentama vezanim uz to.

3.4. Za koje namjene bi se koristili podaci?

Podaci bi se mogli koristiti za sljedeće namjene:

- analiza energetskih resursa, proizvodnje, transporta i potrošnje energije
- planiranje energetskih resursa, proizvodnje, transporta i potrošnje energije
- poboljšanje korištenja opreme i tehnologija koja se razvijaju na području energetike
- projektiranje
- donošenje poslovnih odluka
- kao podloga za razne druge djelatnosti koje u svom djelovanju ovise o kretanjima i stanju u energetici.

3.5. Do koje razine je potrebno ići u dubinu i širinu sagledavanja podataka

Za postizanje optimuma strukture i organizacije informacijskog sustava potrebno je uskladiti sljedeće zahtjeve:

- potrebu za raspoloživošću određenog podatka
- vremenske jedinice praćenja promjene podataka za promatrani objekt ili stanje
- prostorni (geografski) obuhvat podataka (lokalna administrativna regija, geografska cjelina država, ...), tj. u kojem slučaju uzeti koju najnižu administrativnu ili prostornu cjelinu kao entitet u prikupljanju podataka
- širine područja podataka koje se obrađuje i prati
- distribuiranost podataka
- minimiziranje redundantnosti podataka i održavanje konzistentnosti
- brzine dobivanja odgovora na upit prema bazi
- cijene punjenja, razvijanja i održavanja baze podataka (ljudski i strojni resursi)
- zaštićenost podataka od neovlaštenog korištenja.

3.6. Poželjna svojstva informacijskog sustava

Neka od najvažnijih svojstva koja bi trebao imati promatrani informacijski sustav jesu:

- dokumentiranost
- konzistentnost, svođenje redundancije na minimum, jasno i strogo definirana pravila integriteta
- multidisciplinarnost (-energetika, ekonomija, ekologija, meteorologija, statistika, pravo, ...)
- globalna arhitektura (distribuiranost na različitim platformama)
- multimedijalnost (podaci različitih tipova: - brojčani pokazatelji, tekst, slika, zvuk, film, ...)
- pravodobno punjenje podacima i ažuriranje, te točnost i pouzdanost podataka
- otvorenost i umreženost (dostupnost svima koji su zainteresirani za problematiku energetike: od znanstvenika i specijalista za određena područja do poslovnih ljudi, novinara, studenata i drugih)
- svojom organizacijom i sadržajem omogućiti da bude korištena u različite svrhe (analize, planiranje, projektiranje, donošenje poslovnih odluka, simulacije, učenje, i sl.)
- postojanje različitih stupnjeva zaštićenosti podataka (javni, stupnjevi povjerljivosti 1-n)
- postojanje programske podrške za standardna pretraživanja podataka i njihovu prezentaciju na najslikovitiji način obogaćenu multimedijalnim mogućnostima, odnosno palete razvijenih modela za analizu i planiranje u energetici
- vrste podataka koje bi trebale biti na raspolaganju jesu:
  - statistički podaci u širem smislu
  - literatura - publikacije (članci, časopisi, knjige, godišnjaci, ...)
  - rječnik stručnih izraza i pojmova uz prijevod na druge strane jezike
  - informacije o drugim bazama podataka i veze prema njima
  - baza znanja
  - informacije o razvijenim specijalističkim softverima za obradu i vizualizaciju podataka,
  - tehnološki podaci vezani uz proces istraživanja i procjene resursa, te proizvodnje, prijenosa, distribucije, potrošnje energije, zagađenja okoliša
  - ljudski resursi
- mogućnost kontrole povratne veze, tj. mogućnost provjere svih procesa i podataka u sustavu.

Baze podataka bi bile neovisne o aplikacijama koje koriste podatke iz baze podataka za različite obrade. Odnosno, podaci privremenog karaktera, koji nastaju kao produkt neke obrade, ne bi automatizmom postajali dijelom baze podataka.

3.7. Veza između nastanka podataka i njihovog uvođenja u bazu podataka

U principu bi podaci trebali biti što više vezani uz mjesto njihovog nastajanja (generiranja), jer se time povećava njihova vjerodostojnost, točnost i pouzdanije održavanje.

3.8. Kako strukturirati i povezati različita područja u jedinstven sustav?

Za zadovoljenje svih ranije navedenih zahtjeva potrebno je stvoriti sljedeće:

- umrežnost ili povezivost na istoj komunikacijskoj platformi
- transparentnost i razmjenjivost podataka između različitih platformi baza podataka
- jedinstveni šifarski sustav
- distribuiranost, tj. raspodjela podataka po:
  - tematskim područjima
  - geografskim lokacijama nastanka podataka
  - funkcionalnim mjestima nastanka podataka
  - mjestima najintenzivnijeg korištenja podataka
- replikacija podataka pod kontroliranim uvjetima
- kontorlirana redundancija podataka
- postojanje jedinstvenog standarda tipova podataka,
- jedinstven dokumentacijski sustav opisa strukture informacijskog sustava i podataka.

4. ZAKLJUČAK

Iz iznesenog se vidi da je realizacija jednog informacijskog sustava vrlo zahtjevan problem, a u području energetike je to još više potencirano širinom i kompleksnošću područja, prostornom i vremenskom raširenošću izvora podataka, raznolikosti podsustava koji se promatraju itd.
Stoga za realizaciju jednog takvog projekta treba postojati centralna institucija koja bi to objedinjavala, vodila i usmjeravala. A cijeli projekt je interdisciplinarnog karaktera i osim stručnjaka za osmišljavanje informatičkog područja potrebna je i suradnje eksperata pojedinih podsustava energetike i dodirnih područja koji bi bili obuhvaćeni informacijskim sustavom.
Usklađenost komunikacijske, strojne i programske opreme je nezaobilazan uvjet u realizaciji kompleksnog informacijskog sustava.
Značajno je napomenuti da je posao ostvariv etapno, po podsustavima, i kroz duže vrijeme. Preduvjet je da su izgrađeni čvrsti temelji zajedničkih standarda organizacije i opisa informacijskog sustava.
Pri izgradnji takvog otvorenog informacijskog sustava potrebno je iskoristiti i iskustva nastala projektiranjem i iz-

gradnjom aplikacijski orijentiranih energetskih informacijskih sustava, kao što je navedeno u literaturi (1, 2, 4, 5, 6).

LITERATURA

[1] An Inter-Agency Joint Project: "DECADES Computerised tools for comparative assessment of electricity generation options and strategies", Reproduced by the IAEA, Vienna, Austria, 1994.

[2] B. P. HAMILTON, W. A. BUEHRING, R. CIRILLO, i ostali: "Energy and Power Evaluation program (ENPEP) Documentation and User's Manual - Volume 1", Argonne National Laboratory, USA, 1994.

[3] C. FINKELSTEIN: "An introduction to infromation engineering (From strategic planning to information systems)", Information Engineering Services Pty Ltd, Addison-Wesley Publishin Company, 1989.

[4] D. TOMAŠIĆ, M. ZELJKO, M. KLEPO: "Redizajn programskog sustava za izradu elektroenergetske bilance na UNIX/ RDBMS platformi", Energija br. 5, Zagreb, 1993.

[5] EXERGIA: Programski paket EVRIN, 1996, Grčka

[6] F. KLEČINA, M. KLEPO: "Baza podataka elektroenergetskog sistema", Elaborat, Institut za elektroprivredu Zagreb, Zagreb, 1989.

[7] Grupa autora: "Osnove informatike", Informator, Zagreb, 1988.

[8] I. SOMMERVILLE: "Software Engineering", Eddison-Wesley, 1996.

[9] M. RADOVAN: "Projektiranje informacijskih sistema", Informator, Zagreb, 1989.,

[10] M. VARGA: "Baze podataka; Konceptualno, logičko i fizičko modeliranje", DRIP, Zagreb, 1994.

DEMANDS ON ENERGY INFORMATION SYSTEM

Demands on energy information system are considered in order to answer questions arising from different points of view on energy problems.

FORDERUNGEN AN EIN ENERGETISCHES INFORMATIONSSYSTEM

Forderungen die an ein energetisches Informationssystem gestellt werden sind in diesem Artikel betrachtet. Das sind Forderungen welche die Beantwortung von Fragen ermöglichen, welche sich aus verschiedenen Betrachtungspunkten des energetischen Problembereiches ergeben

Naslov pisca:

Franjo Klečina, dipl. inž.
Energetski institut "H. Požar"
Ulica grada Vukovara 37
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1997-02-28

MODELIRANJE HIDROELEKTRANA

Prof. dr. sc. Sejid Tešnjak - mr. sc. Igor Kuzle, Zagreb - Miljenko Brezovec, Varaždin

UDK 621.311.21.53.072
IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

Teorijska analiza dinamike hidroelektrane provodi se pomoću matematičkih i odgovarajućih simulacijskih modela. Tehnike modeliranja stalno se usavršavaju jer suvremeni blokovski orijentirani digitalni simulacijski sustavi omogućavaju zasnivanje sve složenijih i detaljnijih modela. U članku su opisani najčešće korišteni modeli pojedinih elemenata hidroelektrane prikladni za simulacije prijelaznih režima rada.

Ključne riječi: matematički i simulacijski model, vodna turbina, turbinski regulator, generator, uzbudni sustav.

1. UVOD

Za svaku hidroelektranu kao dio elektroenergetskog (EE) sustava poželjno je da ima visoku raspoloživost u svim režimima rada i dobre dinamičke karakteristike (stabilnost i elastičnost pri prijelazu iz jednog pogonskog stanja u drugo). Dinamika hidroelektrane u prijelaznim režimima rada utvrđuje se za različite promjene stanja sljedećim postupcima:

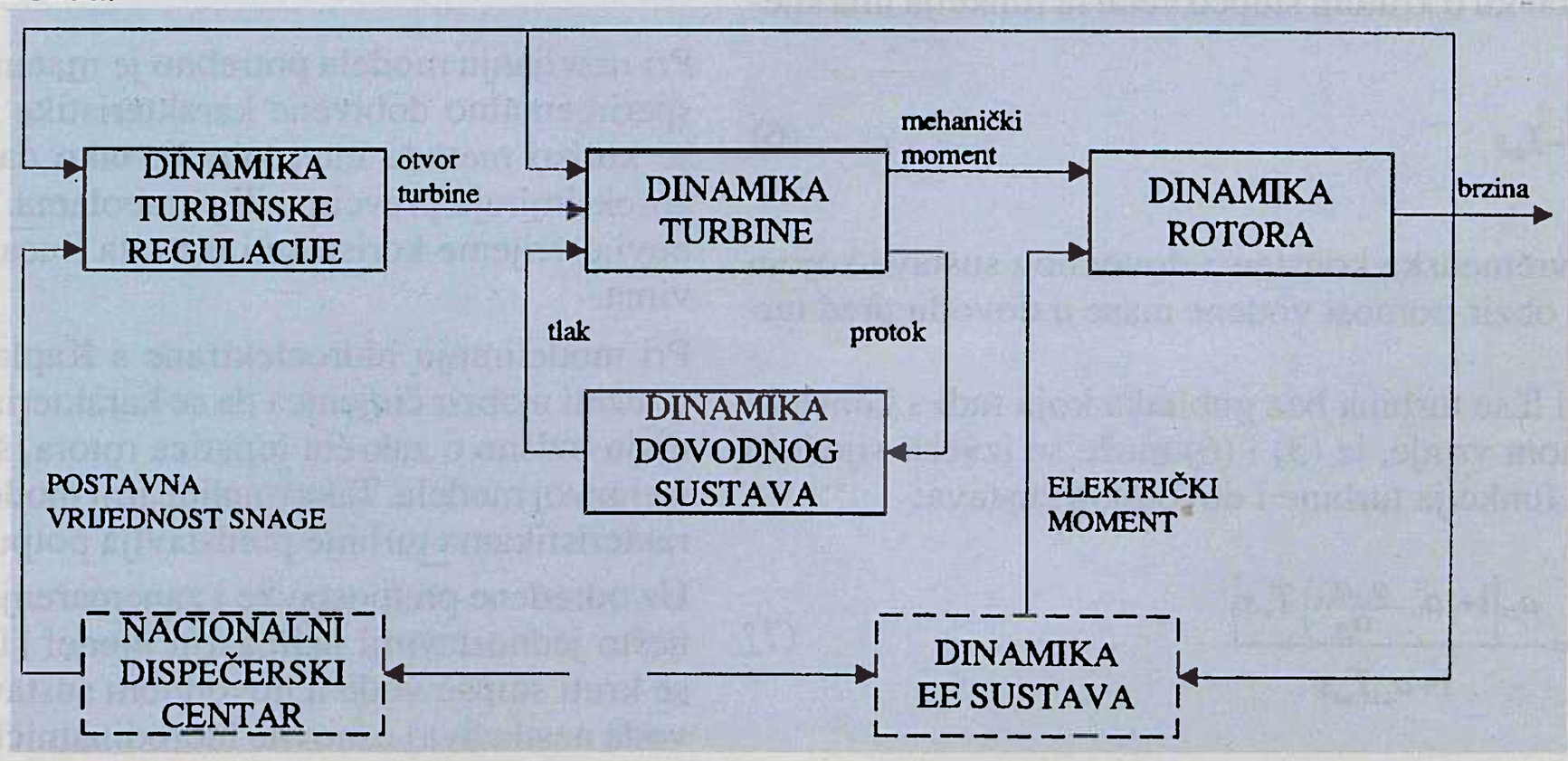
- teorijskom analizom matematičkog i simulacijskog modela
- eksperimentalnim istraživanjem na fizičkom modelu
- eksperimentalnim istraživanjem na realnom objektu.

Uz eksperimentalnu analizu vezani su mnogi problemi pa iz toga proizlaze prednosti i važnost teorijske analize. Značajniji razvoj matematičkih modela za potrebe istraživanja dinamičkog ponašanja elemenata EE sustava započeo je 70-tih godina. Razvojem računala omogućava se razvoj sve detaljnijih modela pa se tehnike modeliranja stalno usavršavaju.
U članku se opisuje matematički model hidroelektrane prikladan za istraživanja dinamičkih odnosa u elektrani u prijelaznim režimima rada.

Hidroelektrana predstavlja izrazito složen viševeličinski nelinearni dinamički sustav pa je za opis njenog djelovanja potreban opsežan matematički model. Detaljnost matematičkog opisa ovisi o vrsti analize, odnosno o cilju istraživanja koje se provodi. Postupcima linearizacije oko određene radne točke moguće je načiniti linearni model, no kako linearni modeli općenito daju dobre rezultate samo za usko područje oko radne točke, za opis dinamičkih pojava pri većim poremećajima potreban je nelinearni model.
Pojedini elementi takvog sustava modeliraju se za određena istraživanja više ili manje detaljno, ovisno o utjecaju tog elementa na fizikalno ponašanje sustava u cjelini. Osnovni elementi hidroelektrane kao dinamičkog sustava su turbina, dovodni sustav, turbinski regulator i generator s uzbudnim sustavom (slika 1). Pri modeliranju hidroelektrane obično se polazi od modela tih elemenata.

2. VODNA TURBINA

Djelovanje vodne turbine uvjetovano je karakteristikama njenog dovodnog sustava, jer zbog tromosti vode promje-



Slika 1. Funkcionalna blok shema hidroelektrane

ne protoka kroz turbinu kasne za promjenama otvora sprovodnog aparata, a zbog elastičnosti stijenki dovoda i stlačivosti vode nastaju valovi tlaka i protoka u dovodnom sustavu (vodni udar).
Za istraživanja u kojima nije potreban detaljan model dovodnog sustava obično se koristi zajednički model vodne turbine i dovodnog sustava. Kod niskotlačnih elektrana koje imaju kratke dovodne sustave redovito je takav slučaj.

Vodna turbina je izrazito nelinearni element. Protok kroz turbinu i moment turbine općenito su složene nelinearne funkcije netto pada, tj. tlaka pred turbinom, brzine vrtnje i otvora sprovodnog aparata:

$$q=q\,(h,\omega,g) \qquad (1)$$
$$m=m\,(h,\omega,g)$$

Kako su kod Kaplan-turbine pomične i lopatice rotora, protok kroz turbinu i moment x turbine ovise i o zakretu lopatica rotora:

$$q=q\,(h,\omega,g,\varphi) \qquad (2)$$
$$m=m\,(h,\omega,g,\varphi)$$

gdje je q protok kroz turbinu (p.u.), m moment turbine (p.u.), h tlačna visina pred turbinom (p.u.), ω brzina vrtnje (p.u.), g otvor sprovodnog aparata (p.u.), φ zakret lopatica rotora (p.u.).
Za male promjene oko stacionarne radne točke te se funkcije mogu linearizirati, pa vrijedi:

$$\Delta q=a_{11}\Delta h+a_{12}\Delta\omega+a_{13}\Delta g \qquad (3)$$
$$\Delta m=a_{21}\Delta h+a_{22}\Delta\omega+a_{23}\Delta g$$

odnosno za Kaplan turbinu

$$\Delta q=a_{11}\Delta h+a_{12}\Delta\omega+a_{13}\Delta g+a_{14}\Delta\varphi \qquad (4)$$
$$\Delta m=a_{21}\Delta h+a_{22}\Delta\omega+a_{23}\Delta g+a_{24}\Delta\varphi$$

gdje su sa Δ označene promjene veličina oko određene radne točke, dok su a_{ij} parcijalne derivacije u radnoj točki:

$$a_{11}=\frac{\delta q}{\delta h}\quad a_{12}=\frac{\delta q}{\delta \omega}\quad a_{13}=\frac{\delta q}{\delta g}\quad a_{14}=\frac{\delta q}{\delta \varphi} \qquad (5)$$

$$a_{21}=\frac{\delta m}{\delta h}\quad a_{22}=\frac{\delta m}{\delta \omega}\quad a_{23}=\frac{\delta m}{\delta g}\quad a_{24}=\frac{\delta m}{\delta \varphi}$$

Odnos između promjene tlačne visine pred turbinom i promjene protoka kroz turbinu određen je impedancijskom funkcijom dovodnog sustava u Laplaceovom s području. Uz pretpostavku o krutom stupcu vode ta funkcija ima sljedeći oblik:

$$\frac{\Delta h}{\Delta q}=-T_w s \qquad (6)$$

gdje je T_w vremenska konstanta dovodnog sustava kojom se uzima u obzir tromost vodene mase u dovodu pred turbinom.
Pretpostavi li se turbina bez gubitaka koja radi s konstantnom brzinom vrtnje, iz (3) i (6) može se izvesti sljedeća prijenosna funkcija turbine i dovodnog sustava:

$$\frac{\Delta m}{\Delta g}=\frac{a_{23}\left[1+\left(a_{11}-\frac{a_{13}a_{21}}{a_{23}}\right)T_w s\right]}{1+a_{11}T_w s} \qquad (7)$$

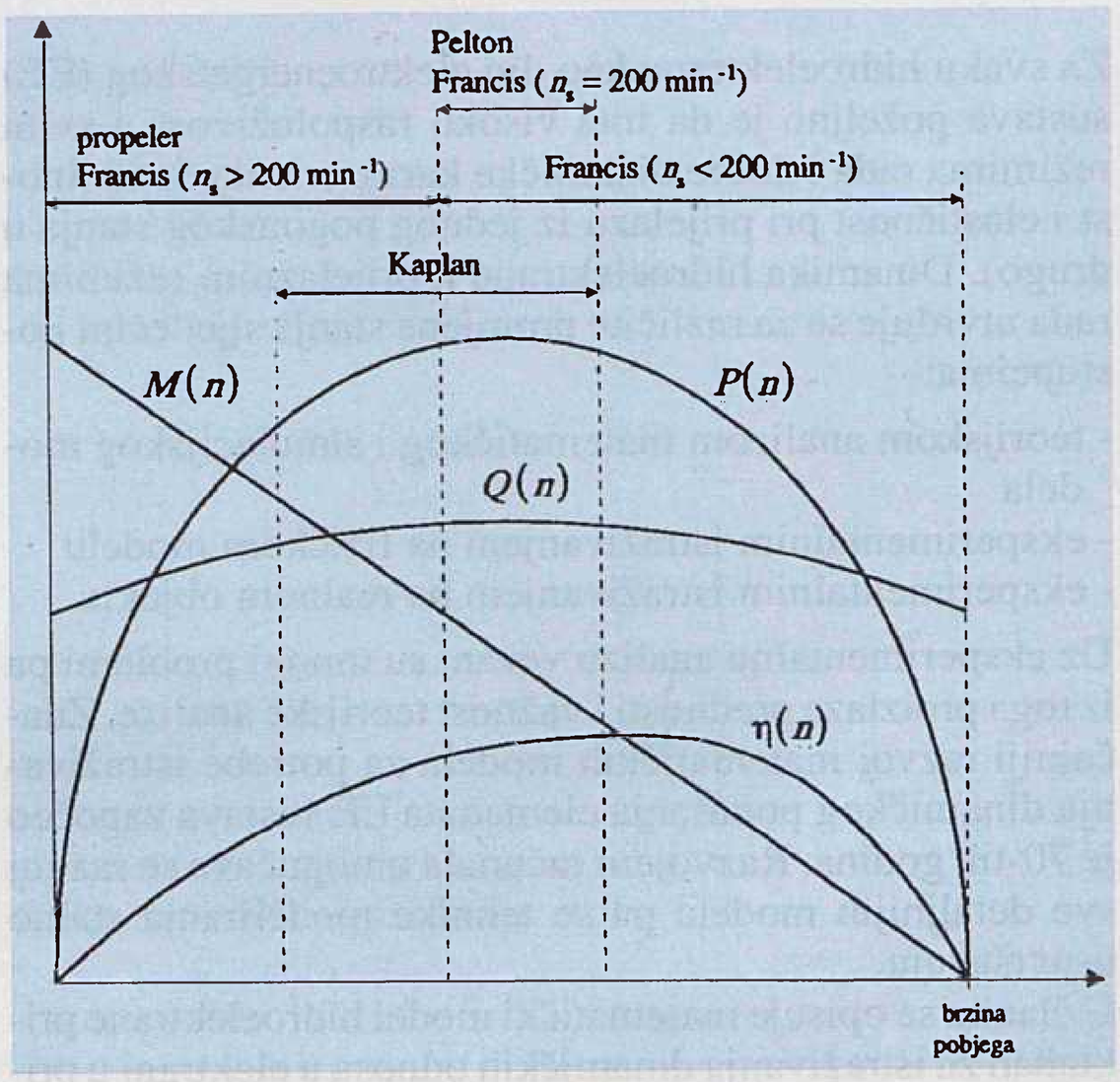
Za turbinu bez gubitaka vrijedi približno

$$a_{11}=0.5\,g_0 \qquad a_{21}=1.5\,g_0$$
$$a_{13}=1.0 \qquad a_{23}=1.9$$

gdje je g_0 početni otvor sprovodnog aparata (p.u). Uvrštavanjem tih vrijednosti u (7) dobiva se tzv. klasična prijenosna funkcija [1,2].

$$\frac{\Delta m}{\Delta g}=\frac{1-g_0T_w s}{1+0.5g_0T_w s} \qquad (8)$$

Pri većim poremećajima parcijalne derivacije (5) brzo odstupaju od vrijednosti određenih za polaznu radnu točku pa ovakvi linearni modeli postaju netočni. Jedini način da se matematički opiše nelinearno ponašanje vodne turbine je poznavanje osnovnih karakteristika turbine (slika 2), tj. ovisnosti mehaničke snage, mehaničkog momenta, protoka i stupnja korisnog djelovanja o brzini vrtnje pri zadanom netto padu [3]. Te karakteristike predstavljaju podlogu za izgradnju nelinearnog modela turbine. Za potrebe matematičkog modeliranja turbine koriste se podaci proizvođača dobiveni mjerenjima na fizičkim modelima, koji se dopunjuju rezultatima mjerenja na realnim turbinama. Rezultati mjerenja mogu se prikazati na različite načine pri čemu se jedan prikaz može prevesti u neki dugi.



Slika 2. Osnovne karakteristike turbine

Pri razvijanju modela potrebno je matematički opisati eksperimentalno dobivene karakteristike turbine. Najčešće se koristi metoda interpolacije tako da se karakteristike aproksimiraju pravcima ili parabolama. Osim te metode u novije vrijeme koristi se i metoda linearizacije po dijelovima.

Pri modeliranju hidroelektrane s Kaplan-turbinom mora se uzeti u obzir činjenica da se karakteristike turbine mijenjaju ovisno o zakretu lopatica rotora, što dodatno otežava razvoj modela. Takav nelinearni model zasnovan na karakteristikama turbine predstavlja potpuni model turbine.

Uz određene pretpostavke i zanemarenja može se razviti i nešto jednostavniji nelinearni model [1,2]. Pretpostavi li se kruti stupac vode u dovodnom sustavu (krute stijenke, voda nestlačiva) osnovne hidrodinamičke jednadžbe u relativnim jedinicama su

$$q=g'\sqrt{h} \tag{9}$$

$$P=gh \tag{10}$$

$$\frac{d\Delta q}{dt}=-\frac{1}{T_w}\Delta h \tag{11}$$

gdje je g' idealni otvor sprovodnog aparata (p.u.), P snaga turbine (p.u.) t vrijeme (s). Iz jednadžbe (9) slijedi

$$h=\left(\frac{q}{g'}\right)^2 \tag{12}$$

a jednadžba (11) može se pomoću Laplaceovog operatora zapisati u ovom obliku

$$\frac{q-q_0}{h-h_0}=-\frac{1}{T_w s} \tag{13}$$

gdje je q_0 početna vrijednost protoka kroz turbinu (p.u.), h_0 početna vrijednost tlačne visine pred turbinom (p.u.). Mehanička snaga na osovini turbine u relativnim jedinicama je

$$P_m=P-P_g \tag{14}$$

pri čemu je P snaga turbine (p.u.), P_g stalni gubici turbine (p.u.). Gubici se izražavaju kao

$$P_g=q_{NL}h \tag{15}$$

gdje je q_{NL} protok kroz turbinu u praznom hodu (p.u.). Prema (10), (14) i (15) mehanička snaga može se zapisati i ovako

$$P_m=(q-q_{NL})h \tag{16}$$

U jednadžbama (9) i (12) g' označava idealni otvor sprovodnog aparata tako da je promjena od praznog hoda do punog opterećenja jednaka 1 u relativnim jedinicama. Kod stvarnog otvora sprovodnog aparata 1 p.u. predstavlja promjenu od potpuno zatvorene do potpuno otvorene pozicije. Prema slici 3 može se odrediti odnos između stvarnog i idealnog otvora sprovodnog aparata kao

$$g'=A_t g \tag{17}$$

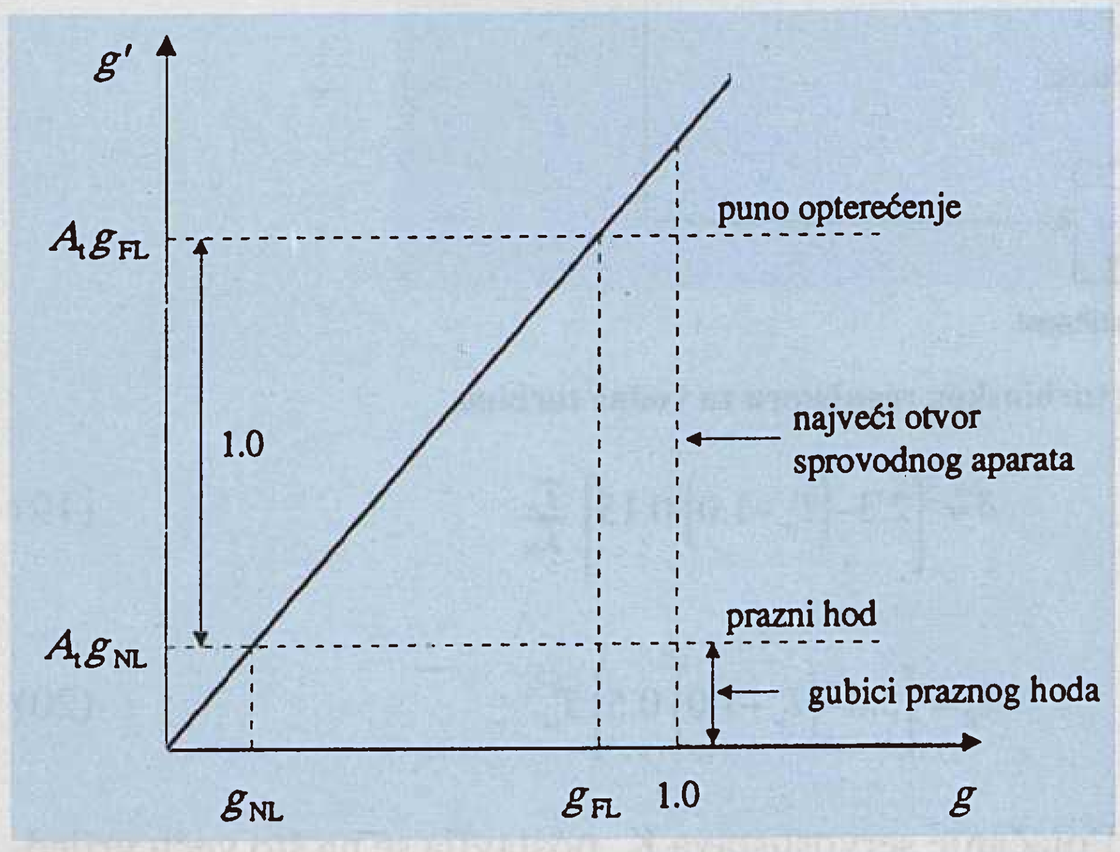
pri čemu je A_t pojačanje turbine koje se izračunava iz

$$A_t=\frac{1}{g_{FL}-g_{NL}} \tag{18}$$

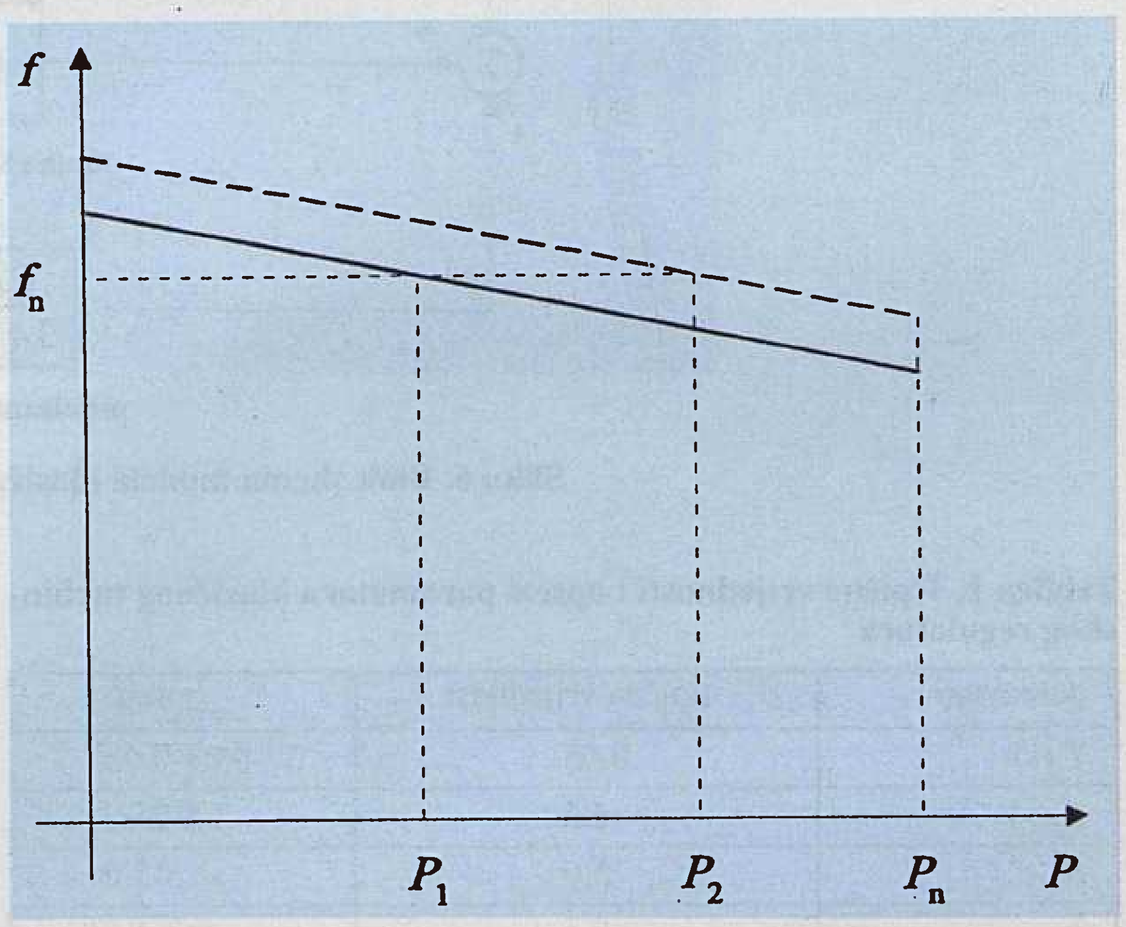
gdje je g_{NL} stvarni otvor sprovodnog aparata u praznom hodu (p.u.), g_{FL} stvarni otvor sprovodnog aparata pri punom opterećenju (p.u.). Navedene jednadžbe čine matematički model turbine i dovodnog sustava koji se može prikazati u obliku blok sheme kako je prikazano na slici 4.

3. TURBINSKI REGULATOR

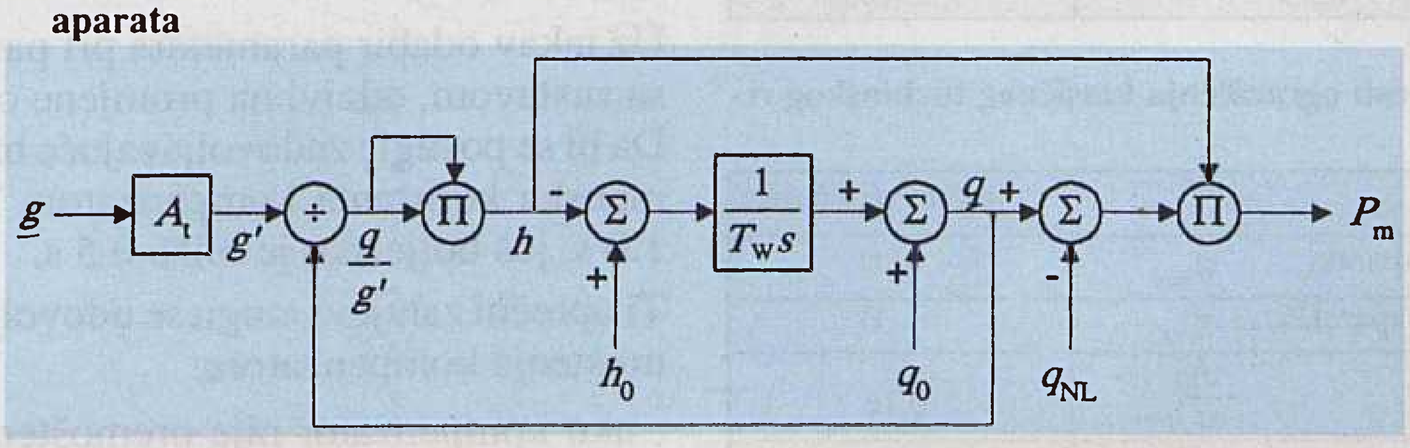
Osnovna funkcija turbinskog regulatora je regulacija brzine vrtnje, odnosno opterećenja agregata. Princip djelovanja turbinskog regulatora temelji se na promjeni protoka kroz turbinu u skladu s regulacijskom greškom koja je posljedica razlike postavne i stvarne vrijednosti brzine vrtnje, odnosno djelatne snage uzrokovane narušavanjem ravnoteže između proizvodnje i potrošnje električne snage u sustavu. Turbinski regulatori svih agregata u sustavu imaju statičku karakteristiku tako da se brzina vrtnje smanjuje s opterećenjem (slika 5). Nagib karakteristike regulatora najčešće se izražava u relativnim jedinicama s obzirom na nazivnu frekvenciju i naziva se statičnost.



Slika 3. Odnos između idealnog i stvarnog otvora sprovodnog aparata



Slika 5. Karakteristika turbinskog regulatora



Slika 4. Blok shema nelinearnog modela vodne turbine uz pretpostavku krutog stupca vode

Za svako novo opterećenje frekvencija agregata će se promijeniti. Vraćanje frekvencije na početnu vrijednost uz to novo opterećenje može se postići samo pomicanjem karakteristike regulatora što je crtkano prikazano na slici 5. Podizanje i spuštanje karakteristike ostvaruje se promjenom postavne vrijednosti.
Početna promjena snage vodne turbine je zbog tromosti vode suprotna promjeni otvora sprovodnog aparata pa je u prijelaznom stanju potrebno smanjiti pojačanje regulatora odnosno povećati statičnost. Zato se regulatori vodnih turbina uobičajeno izvode tako da imaju trajnu i prijelaznu statičnost, pri čemu je prijelazna desetak puta veća od trajne.
Turbinski regulator se u osnovi sastoji od mjernog i izvršnog dijela. Mjerni dio može biti elektromehanički ili elektronički, a izvršni dio čine hidraulički razvodnici i servomotori.
Na starijim jedinicama regulacijska funkcija ostvarena je korištenjem mehaničkih i hidrauličkih komponenata. Model mehaničko-hidrauličkog turbinskog regulatora s trajnom i prijelaznom statičnošću prikazan je na slici 6. Tipične vrijednosti i opsezi parametara tog klasičnog mehaničko-hidrauličkog regulatora dani su u tablici 1, a tipične vrijednosti ograničenja u tablici 2.
Parametri turbinskog regulatora odabiru se tako da se postigne:

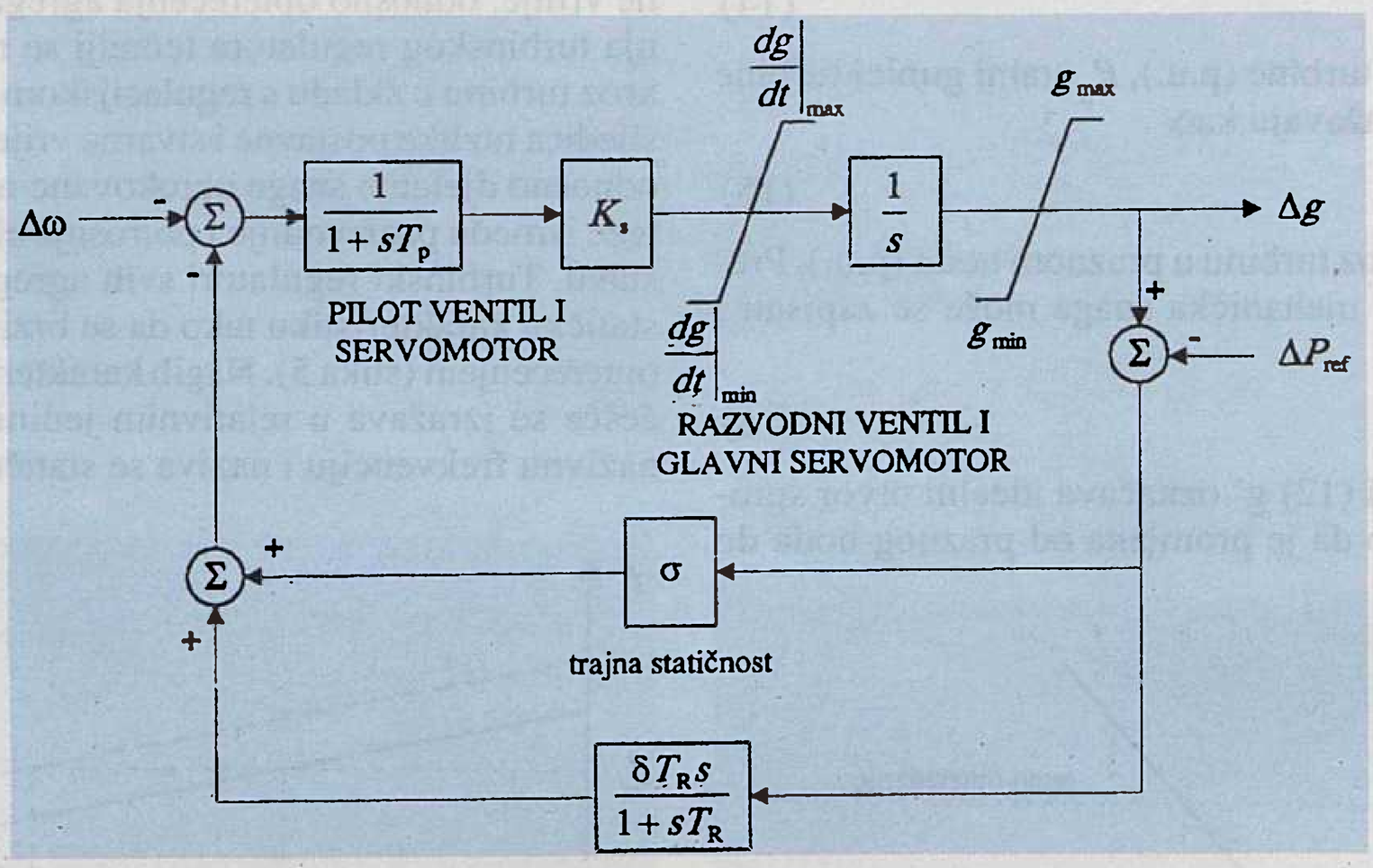
- stabilno djelovanje u slučaju raspada sustava na manje dijelove, odnosno pri otočnom pogonu
- prihvatljiva brzina odziva na promjene opterećenja pri paralelnom radu sa sustavom.

Za stabilno djelovanje u slučaju raspada sustava na manje dijelove, optimalne vrijednosti prijelazne statičnosti δ i vremenske konstane kompenzatora T_R mogu se odrediti ako

Tablica 3. Tipične vrijednosti i opsezi vremenskih konstanti T_W i T_M

parametar	tipična vrijednost	opseg
TW(s)	1.9	0.5-5.0
TM(s)	8.0	6.0-12.0

su poznate vremenska konstanta dovodnog sustava T_W i mehanička vremenaska konstanta T_M (tablica 3) prema



Slika 6. Blok shema modela klasičnog turbinskog regulatora za vodne turbine

Tablica 1. Tipične vrijednosti i opsezi parametara klasičnog turbinskog regulatora

parametar	tipična vrijednost	opseg
T_p(s)	0.05	0.03-0.05
T_R(s)	5.0	2.5-25.0
K_s	5.0	2.5-5.0
δ	0.4	0.2-1.0
σ	0.04	0.03-0.06

Tablica 2. Tipične vrijednosti ograničenja klasičnog turbinskog regulatora

ograničenje		tipična vrijednost
najveći otvor sprovodnog aparata	g_{max}	1.0
namanji otvor sprovodnog aparata	g_{min}	0
najveća brzina otvaranja	$\left.\frac{dg}{dt}\right\|_{max}$	0.16
najveća brzina zatvaranja	$\left.\frac{dg}{dt}\right\|_{mix}$	-0.16

$$\delta = \left[2.3-\left(T_w-1.0\right)0.15\right]\frac{T_w}{T_M} \tag{19}$$

$$T_R = \left[5.0-\left(T_w-1.0\right)0.5\right]T_w \tag{20}$$

Pojačanje servosustava K_S postavlja se na što veću vrijednost.
Uz takav odabir parametara pri paralelnom radu agregata sa sustavom, odzivi na promjene opterećenja su prespori. Da bi se postigle zadovoljavajuće brzine opterećivanja vremenska konstanta kompenzatora T_R treba biti manja od 1.0 s, još bolje ako je bliže 0.5 s.
Ti oprečni zahtjevi mogu se udovoljiti ako se omogući premoštenje kompenzatora:

- ako kompenzator nije premošten parametri odgovaraju zahtjevima za rad u slučajevima raspada sustava na manje dijelove ili otočni rad

- ako je kompenzator premošten vremenska konstanta T_R ima smanjenu vrijednost pa su brzine opterećivanja pri paralelnom radu u sustavu prihvatljive.

Kompenzator normalno nije premošten tako da u slučaju otočnog pogona uslijed raspada sustava regulacija brzine vrtnje bude stabilna. Premoštenje kompenzatora izvodi se samo kada se mijenja opterećenje agregata.

Noviji turbinski regulatori izvode se kao elektrohidraulički. Upotreba električkih komponenata omogućava izvedbu regulatora s proporcionalno-integracijsko-derivacijskim (PID) djelovanjem (slika 7). Parametri PID regulatora općenito se odabiru tako da djelovanje bude slično djelovanju klasičnog mehaničko-hidrauličkog regulatora. To se postiže ako vrijede relacije

$$K_P = \frac{1}{\delta} \tag{21}$$

$$K_I = \frac{1}{\delta T_R} \tag{22}$$

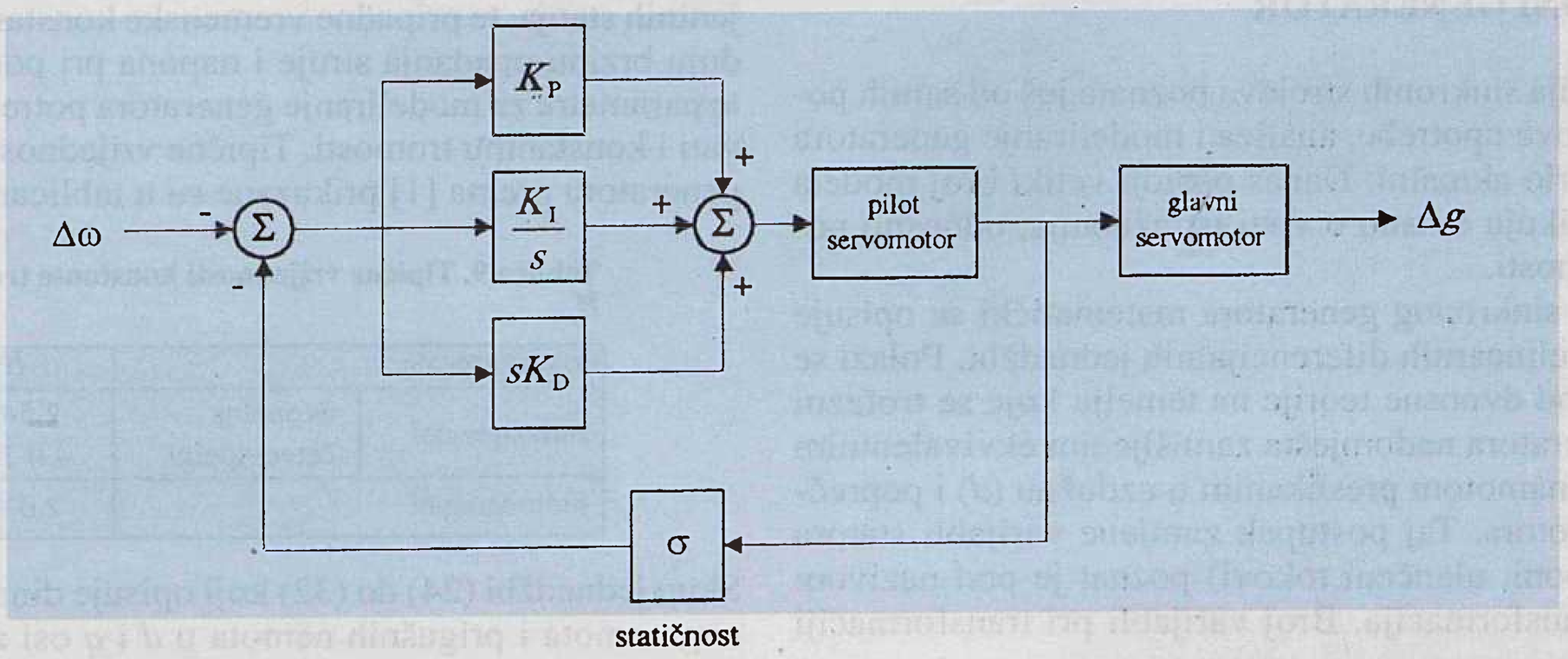
$$K_D = \frac{k_d}{\delta} \tag{23}$$

gdje je δ prijelazna statičnost regulatora, T_R vremenska konstanta kompenzatora (s), k_d pojačanje derivacijske povratne veze (ako postoji) kod regulatora s prijelaznom statičnošću. Tipične vrijednosti proporcionalne, integracijske, odnosno derivacijske konstante dane su u tablici 4.

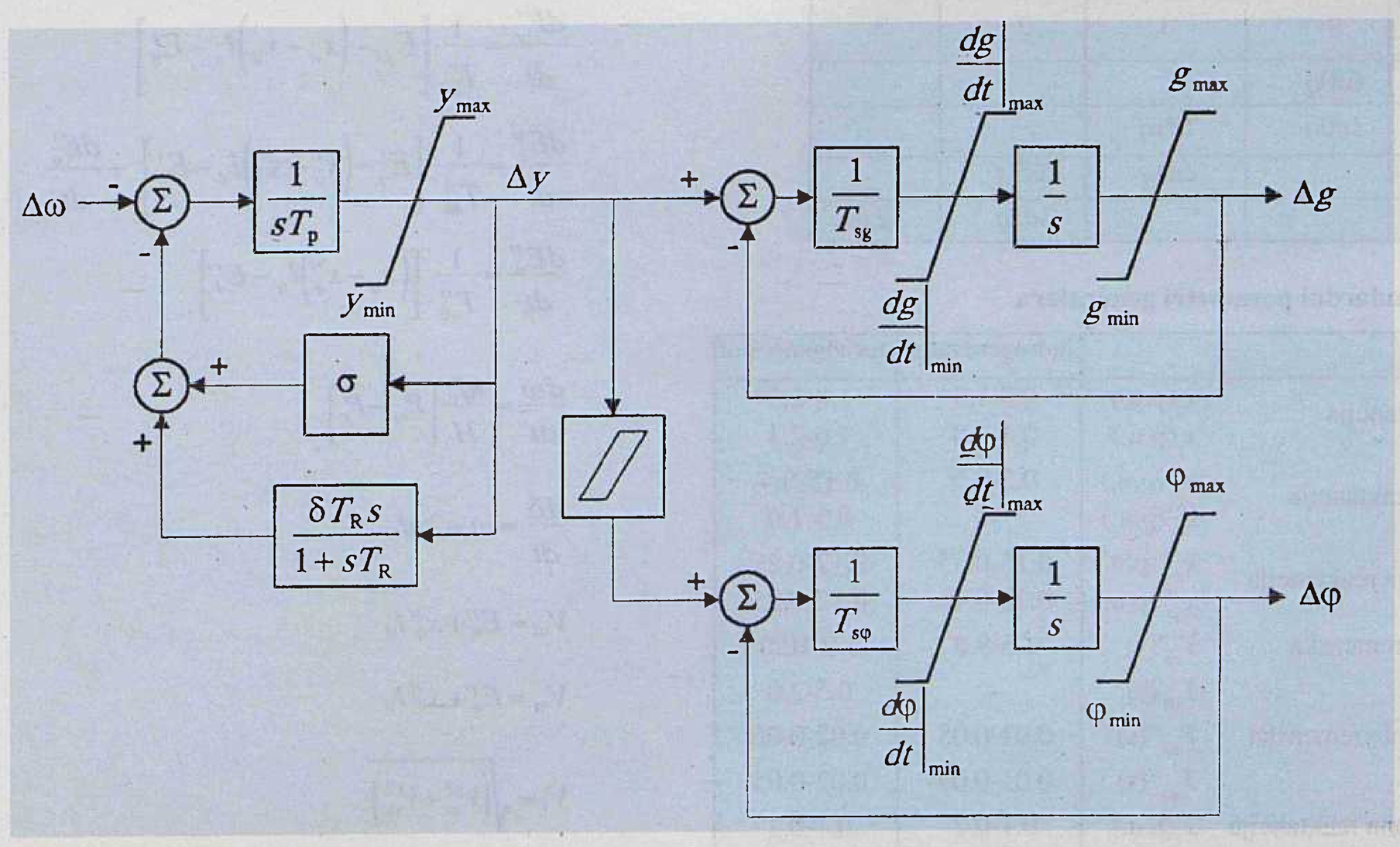
Regulator Kaplan-turbine djeluje tako da zakret lopatica rotora slijedi položaj lopatica sprovodnog aparata kako bi se održala najveća moguća korisnost. Radi očuvanja stabilnosti, pomak lopatica rotora je usporen. Razmatra se turbinski regulator s trajnom i prijelaznom statičnošću s povratnom vezom po pomaku pilot-servomotora (slika 8). Tipične vrijednosti parametara i ograničenja vezanih uz položaj stapa pilot-servomotora, otvor sprovodnog aparata i zakret lopatica rotora dane su u tablicama 5 i 6.

Tablica 4. Tipične vrijednosti konstanti PID regulatora

parametar	tipična vrijednost
K_P	3.0
K_I	0.7
K_D	0.5



Slika 7. Blok shema PID regulatora



Slika 8. Blok shema regulatora za Kaplan-turbinu

Tablica 5. Tipične vrijednosti parametara regulatora Kaplan turbine

parametar	tipična vrijednost
T_p(s)	0.02
T_{sg}(s)	0.5
T_{sy}(s)	4
T_R(s)	10.0
δ	0.4
σ	0.04

Tablica 6. Tipične vrijednosti ograničenja regulatora Kaplan-turbine

ograničenje		tipična vrijednost
krajnji položaj stapa ili lopatica	$y_{max}\ g_{max}\ \varphi_{max}$	1.0
krajnji položaj stapa ili lopatica	$y_{min}\ g_{min}\ s_{min}$	0
najveće brzine otvaranja	$\left.\frac{dg}{dt}\right\|_{max}$ $\left.\frac{d\varphi}{dt}\right\|_{max}$	0.16
najveće brzine zatvaranja	$\left.\frac{dg}{dt}\right\|_{min}$ $\left.\frac{d\varphi}{dt}\right\|_{min}$	-0.16

4. SINKRONI GENERATOR

Iako je teorija sinkronih strojeva poznata još od samih početaka njihove upotrebe, analiza i modeliranje generatora i dalje su vrlo aktualni. Danas postoji veliki broj modela koji se razlikuju ovisno o vrsti istraživanja, odnosno potrebnoj točnosti.

Djelovanje sinkronog generatora matematički se opisuje sustavom nelinearnih diferencijalnih jednadžbi. Polazi se uglavnom od dvoosne teorije na temelju koje se trofazni namot generatora nadomješta zamišljenim ekvivalentnim dvofaznim namotom preslikanim u uzdužnu (d) i poprečnu (q) os rotora. Taj postupak zamjene varijabli statora (struje, naponi, ulančeni tokovi) poznat je pod nazivom Parkova transformacija. Broj varijabli pri transformaciji općenito ostaje nepromijenjen jer se nove veličine dobivaju projekcijom stvarnih varijabli na tri osi (uzdužna, poprečna i stacionarna, tj. nulta). Kako se nulti sustav pri analizi generatora ne razmatra, dobiva se pojednostavljen dvoosni prikaz čime se olakšava postavljanje jednadžbi generatora.

Ovisno o broju ekvivalentnih namota u d odnosno q osi dobivaju se različiti modeli - od najjednostavnijeg koji pretpostavlja konstantan ulančeni tok d osi bez ekvivalentnih namota ("constant flux linkage" - model $0d0q$) do najsloženijeg s uzbudnim namotom i dva nadomjesna prigušna namota u d osi te tri nadomjesna prigušna namota u q osi (model $3d3q$). Od ostalih mogućih kombinacija broja namota u d odnosno q osi razmatraju se samo suvisle, pa se ovisno o traženoj točnosti razvija neki od modela prema tablici 7 [4].

Za modeliranje hidrogeneratora najčešće se koristi model s uzbudnim i jednim prigušnim namotom u d osi te jednim prigušnim namotom u q osi ($2d1q$). Parametri potrebni za taj model su tzv. standardni parametri generatora koje određuje većina proizvođača. Standardni parametri su reaktancije viđene sa stezaljki pridružene stujama osnovne frekvencije tijekom stacionarnih, tranzijentnih i suptranzijentnih stanja, te pripadne vremenske konstante koje određuju brzinu opadanja struje i napona pri poremećaju. Uz te parametre za modeliranje generatora potrebno je poznavati i konstantnu tromosti. Tipične vrijednosti parametara generatora prema [1] prikazane su u tablicama 8 i 9.

Tablica 7. Modeli generatora prema broju namota u d odnosno q osi

d os \ q os	0	1	2	3
0	$0d0q$			
1	$1d0q$	$1d1q$		
2		$2d1q$	$2d2q$	
3			$3d2q$	$3d3q$

Tablica 8. Standardni parametri generatora

parametar		hidrogenerator	turbogenerator
sinkrona reaktancija	x_d(p.u.)	0.6-1.5	1.0-2.3
	x_p(p.u.)	0.4-1.0	1.0-2.3
tranzijentna reaktancija	x_d'(p.u.)	0.2-0.5	0.15-0.4
	x_q'(p.u.)	-	0.3-1.0
suptranzijentna reaktancija	x_d''(p.u.)	0.15-0.35	0.12-0.25
	x_q''(p.u.)	0.20-0.45	0.12-0.25
tranzijentna vremenska	T_{d0}'(s)	1,5-9.0	3.0-10.0
konstanta	T_{q0}'(s)	-	0.5-2.0
suptranzijentna vremenska	T_{d0}''(s)	0.01-0.05	0.02-0.05
konstanta	T_{q0}''(s)	0.01-0.09	0.02-0.05
statorska rasipna reaktancija	x_l(p.u.)	0.1-0.2	0.1-0.2
statorski djelatni otpor	r_a(p.u.)	0.002-0.02	0.0015-0.005

Tablica 9. Tipične vrijednosti konstante tromosti H

vrsta agregata		H(s)
turboagregati	dvopolni	2.5-6.0
	četveropolni	4.0-10.0
hidroagregati		2.0-4.0

Skup jednadžbi (24) do (32) koji opisuje dinamiku uzbudnog namota i prigušnih namota u d i q osi zasniva se na modelu $2d1q$ [5]. Otpor statorskog namota pritom se zanemaruje.

$$\frac{dE_q'}{dt} = \frac{1}{T_{d0}'}\left[E_{fd} - \left(x_d - x_d\right)I_d - E_q'\right] \tag{24}$$

$$\frac{dE_q''}{dt} = \frac{1}{T_{d0}''}\left[E_q' - \left(x_d' - x_d''\right)I_d - E_q''\right] + \frac{dE_q'}{dt} \tag{25}$$

$$\frac{dE_d''}{dt} = \frac{1}{T_{q0}''}\left[\left(x_q - x_q''\right)I_q - E_d''\right] \tag{26}$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\pi f_0}{H}\left[P_m - P_e\right] \tag{27}$$

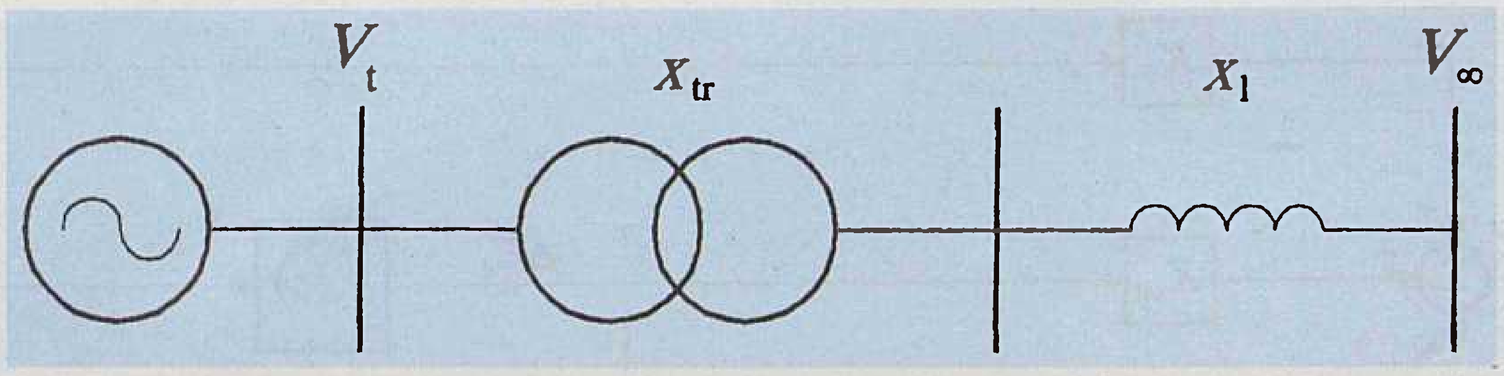
$$\frac{d\delta}{dt} = \omega - 2\pi f_0 \tag{28}$$

$$V_{td} = E_d'' + x_q'' I_q \tag{29}$$

$$V_{tq} = E_q'' + x_d'' I_d \tag{30}$$

$$V_t = \sqrt{\left(V_{td}^2 + V_{tq}^2\right)} \tag{31}$$

$$P_e = V_{td} I_d + V_{tq} I_q \tag{32}$$



Slika 9. Generator spojen na sabirnice krute mreže preko blok transformatora i spojenog voda

Modeli generatora razlikuju se ovisno o tome kako je generator spojen na mrežu. Najčešće se modelira generator spojen na krutu mrežu preko reaktancije x_e kojom se predstavljaju blok-transformator i spojni vod (slika 9). Utjecaj krute mreže modelira se tako da se pretpostave konstantan napon i konstantna frekvencija na sabirnicama. Za promatrani slučaj mogu se postaviti sljedeće jednadžbe:

$$I_q = \frac{\left(V_{\infty d} - E''_d\right)}{\left(x''_q + x_e\right)} \tag{33}$$

$$Id = \frac{\left(E''_q - V_{\infty q}\right)}{\left(x''_d + x_e\right)} \tag{34}$$

U navedenim jednadžbama je V_t napon stezaljki generatora (p.u.), napon krute mreže (p.u.), E inducirani napon općenito (p.u.), E_{fs} napon uzbude (p.u.), I struja generatora (p.u.), x_e reaktancije općenito (p.u.), x_e ekvivalentna reaktancija spojnog voda i blok-transformatora (p.u.), ω brzina vrtnje brzina vrtnje (rad/s), δ kut opterećenja (rad), f frekvencija (Hz), H konstantna tromosti agregata (Ws/VA), P_m mehanička snaga (p.u.), P_e djelatna snaga generatora (p.u.). Za početne (suptranzijentne) i prijelazne (tranzijentne) napone, struje i reaktancije koriste se uobičajne oznake, dok indeksi "*d*" odnosno "*q*" označavaju os na koju se veličina odnosi.

Diferencijalne i algebarske jednadžbe (24) od (32) mogu se linearizirati oko određene radne točke. Nakon odgovarajućih matematičkih postupaka i zanemarenja iz tih linearizirani jednadžbi dobiva se model generatora u obliku prijenosne funkcije. U izrazima koji slijede sve su varijable definirane u Laplaceovom *s* području.

$$\Delta E''_q = g_1(s)\Delta E_{fd} + g_2(s)\Delta\delta \tag{35}$$

$$\Delta E''_d = g_3(s)\Delta\delta \tag{36}$$

$$\Delta P_e = K_1\Delta\delta + K_2\Delta E''_q - K_{2d}\Delta E''_d \tag{37}$$

$$\Delta V_t = K_5\Delta\delta + K_6\Delta E''_q - K_{6d}\Delta E''_d \tag{38}$$

Nakon određenih postupaka za prijenosne funkcije *g* u (35) i (36) dobivaju se sljedeći izrazi:

$$g_1(s) = \frac{a\left(1+T''_{d0}s\right)K_3}{\left(1+aT''_{d0}s\right)\left(1+K_3T'_{d0}s\right)} \tag{39}$$

$$g_2(s) = -K_{4d}\frac{\left(1+cT'_{d0}s\right)}{\left(1+aT''_{d0}s\right)\left(1+K_3T'_{d0}s\right)} \tag{40}$$

$$g_3(s) = \frac{K_{4q}}{\left(1+bT''_{d0}s\right)} \tag{41}$$

Koeficijenti iz jednadžbi (35) do (41) izračunavaju se prema

$$K_1 = \frac{V^2_{\infty 0d}}{\left(x_e + x''_d\right)} + I_{d0}V_{\infty q0} + \frac{V^2_{\infty d0}}{\left(x_e + x''_q\right)} - I_{q0}V_{\infty d0}$$

$$K_2 = \frac{V^2_{\infty 0d}}{x_e + x''_d} \qquad K_2 = \frac{V^2_{\infty q0}}{x_e + x''_d}$$

$$K_3 = \frac{\left(x'_d + x_e\right)}{\left(x_d + x_e\right)}$$

$$K_{4d} = V_{\infty d0}\frac{\left(x_d - x''_d\right)}{\left(x_d + x_e\right)} \qquad K_{4q} = V_{\infty q0}\frac{\left(x_q - x''_q\right)}{\left(x_q + x_e\right)}$$

$$K_5 = \frac{V_{td0}}{V_{t0}}\left\{\frac{x''_q V_{\infty q0}}{\left(x_e + x''_q\right)}\right\} - \frac{V_{tq0}}{V_{t0}}\left\{\frac{x''_d V_{\infty d0}}{\left(x_e + x''_d\right)}\right\}$$

$$K_6 = \frac{V_{tq0}}{V_{t0}} - \frac{x_e}{\left(x_e + x''_d\right)} \qquad K_{6d} = \frac{V_{tdo}}{V_{t0}} - \frac{X_e}{\left(x_e + x''_q\right)}$$

$$a = \frac{\left(x''_d + x_e\right)}{\left(x'_d + x_e\right)} \qquad b = \frac{\left(x''_q + x_e\right)}{\left(x_q + x_e\right)} \qquad c = \frac{\left(x'_d - x''_d\right)}{\left(x_d - x''_d\right)}$$

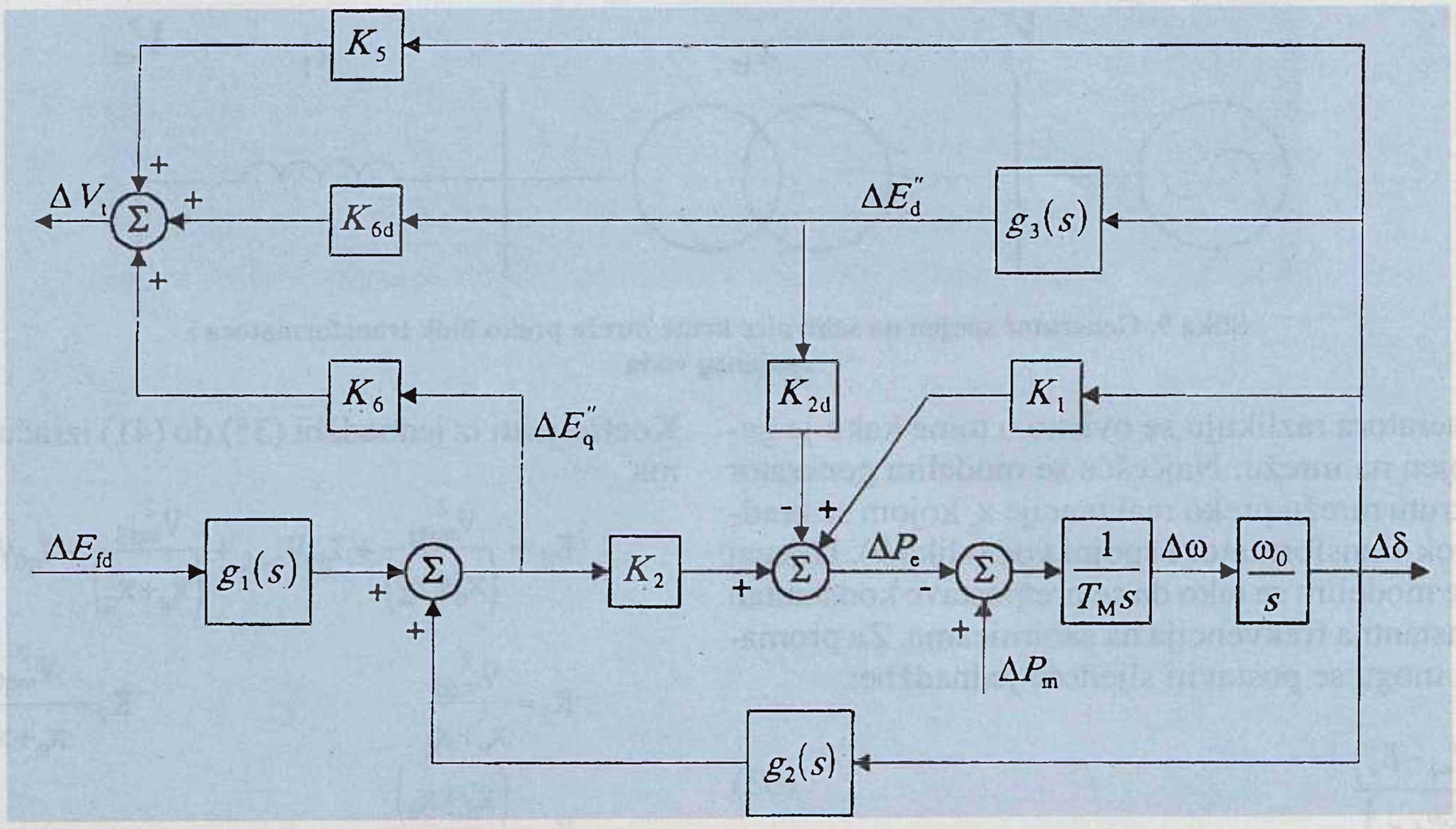
Blok shema razvijenog modela generatora prikazana je na slici 10.

5. UZBUDNI SUSTAV

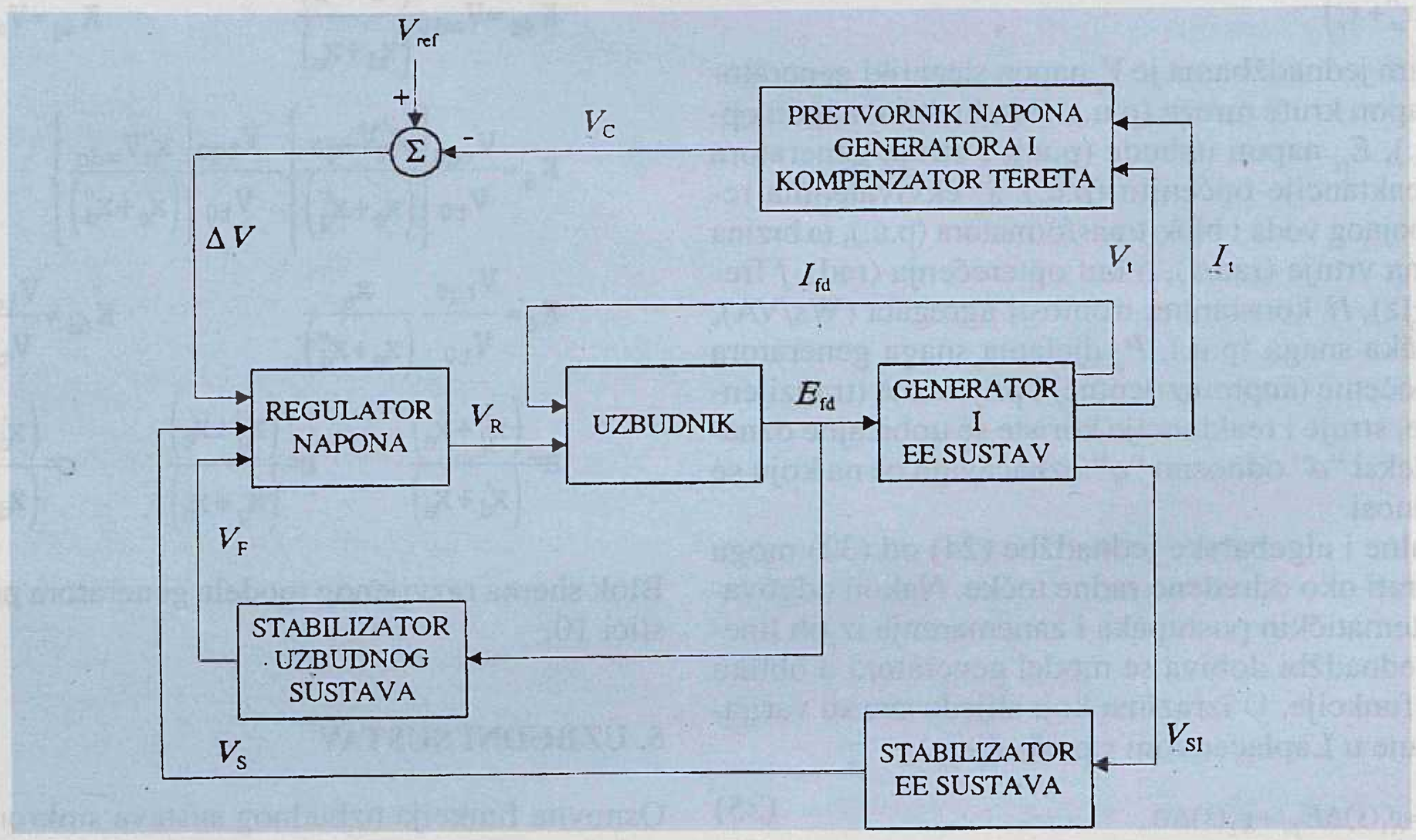
Osnovna funkcija uzbudnog sustava sinkronog generatora je istosmjerno napajanje rotorskog namota. Uz tu osnovnu funkciju, uzbudni sustav preuzima i niz drugih regulacijskih, zaštitnih i sličnih funkcija, čime sudjeluje u poboljšanju pogona EE sustava. Zato se modeliranju uzbudnih sustava pridaje posebna pozornost.

Sastavni dijelovi suvremenog uzbudnog sustava prikazani su na slici 11. Oznake su sljedeće:

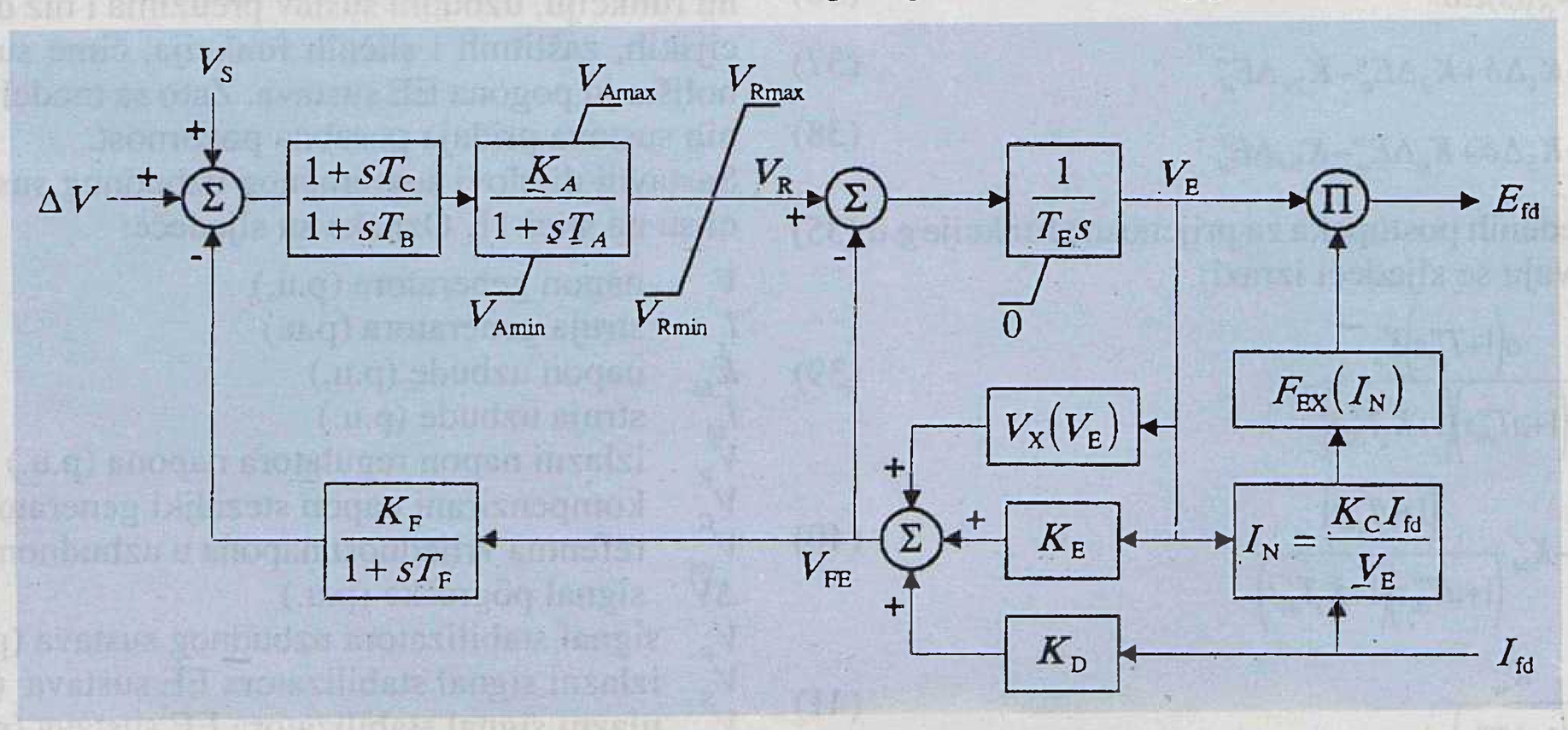
- V_t napon generatora (p.u.)
- I_t struja generatora (p.u.)
- E_{fd} napon uzbude (p.u.)
- I_{fd} struja uzbude (p.u.)
- V_R izlazni napon regulatora napona (p.u.)
- V_C kompenzirani napon stezaljki generatora (p.u.)
- V_{ref} refentna vrijednost napona u uzbudnom krugu (p.u.)
- ΔV signal pogreške (p.u.)
- V_F signal stabilizatora uzbudnog sustava (p.u.)
- V_S izlazni signal stabilizatora EE sustava (p.u.)
- V_{SI} ulazni signal stabilizatora EE sustava (p.u.)



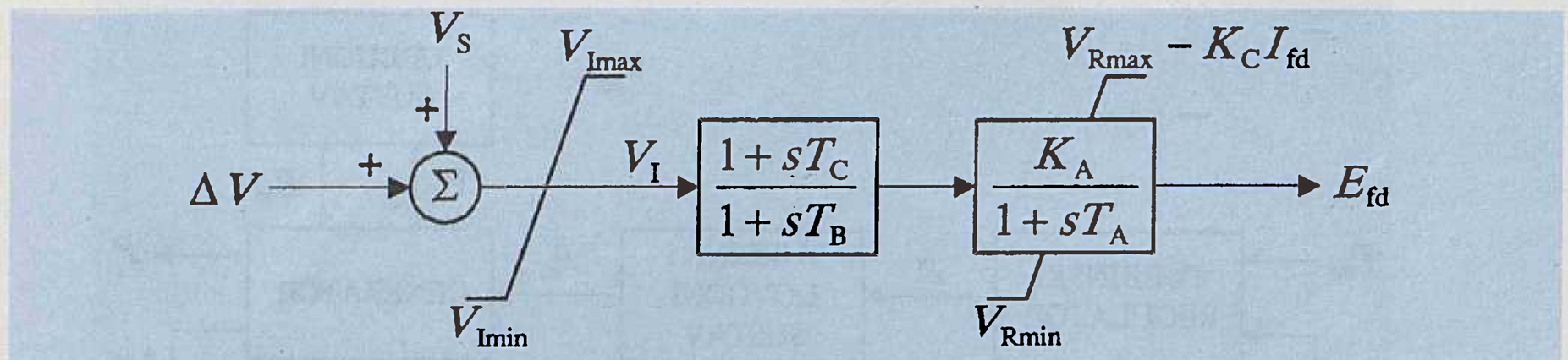
Slika 10. Model generatora $2d1q$ - blok shema prijenosne funkcije



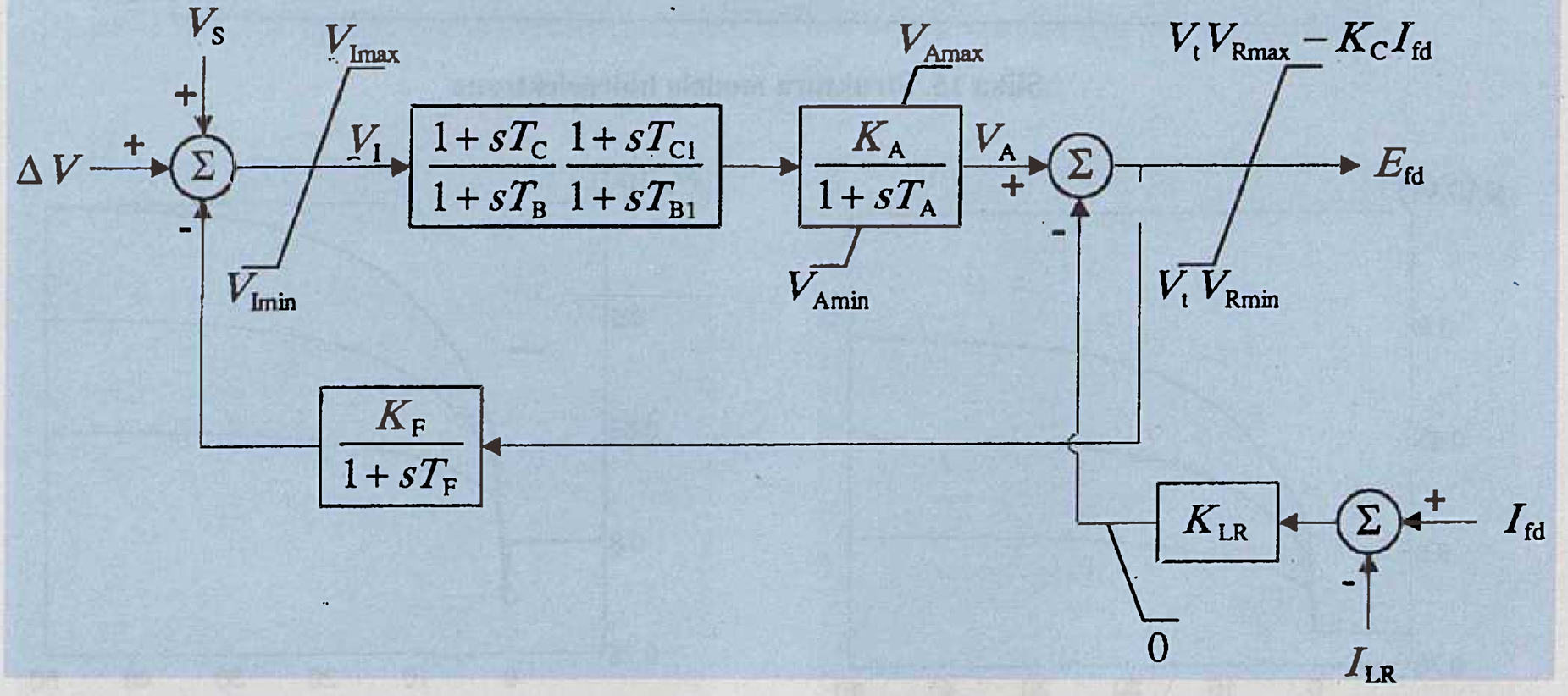
Slika 11. Funkcionalna blok shema sustava regulacije uzbude sinkronog generatora



Slika 12. IEEE model AC1A uzbudnog sustava s rotirajućim diodama



Slika 13. IEEE model AC4A uzbudnog sustava s izmjeničnim generatorom i statičkim upravljivim ispravljačima



Slika 14. IEEE model ST1A izmjeničnog uzbudnog sustava sa statičkim upravljivim ispravljačima koji se napaja sa stezaljki generatora

Uzbudni sustavi su tijekom vremena poprimali različite izvedbe. Najčešća je podjela s obzirom na vrstu, odnosno izvor napajanja:

- istosmjerni uzbudni sustavi (tip DC)
- izmjenični uzbudni sustavi (tip AC)
- statički uzbudni sustavi (tip ST).

Tablica 10. Tipične vrijednosti parametara modela uzbudnih sustava

parametar	ST1A	AC4A	AC1A
T_B(s)	1.0	10.0	0
T_C(s)	1.0	1.0	0
K_A	210	200	400
T_A(s)	0	0.015	0.02
K_F	0	-	0.03
T_F(s)	0	-	1.0
K_E	-	-	1.0
T_E(s)	-	-	0.8
K_D	-	-	0.38
K_C	0.038	0	0.2
K_{LR}	4.54	-	-
I_{LR}(p.u.)	4.4	-	-
A_{EX}	-	-	0.001
B_{EX}	-	-	1.657
V_{Imax}(p.u.)	-	1.0	-
V_{Imin}(p.u.)	-	-1.0	-
V_{Rmax}(p.u.)	7.0	5.64	7.3
V_{Rmin}(p.u.)	-6.4	-4.53	-6.6
V_{Amax}(p.u.)	-	-	14.5
V_{Amin}(p.u.)	-	-	-14.5

U hidroelekranama se najčešće koriste sljedeći uzbudni sustavi:

- tiristorski sustav nezavisne uzbude s rotacijskim strojem montiranim na osovini agregata
- uzbudni sustav s rotirajućim diodama
- statički sustav tiristorske samouzbude.

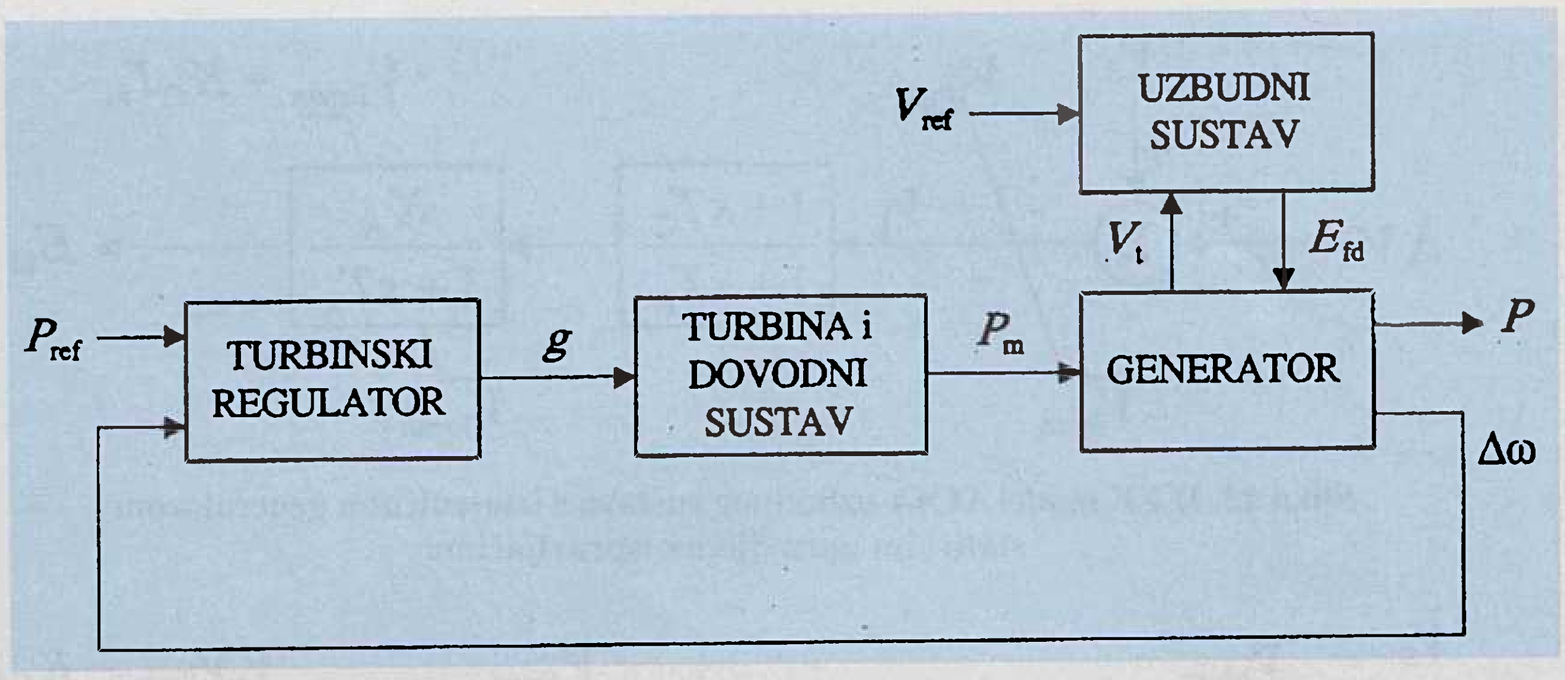
Struktura modela ovisi o tipu uzbudnog sustava. Obično se koriste standardizirani modeli uzbudnih sustava u obliku blok shema. Za navedene uzbudne sustave to su sljedeći modeli:

- IEEE model Ac1A uzbudnog sustava s rotirajućim diodama (slika 12)
- IEEE model AC4A uzbudnog sustava s izmjeničnim generatorom i statičkim upravljivim ispravljačima (slika 13)
- IEEE model ST1A izmjeničnog uzbudnog sustava sa statičkim ispravljačima koji se napaja sa stezaljki generatora (slika 14).

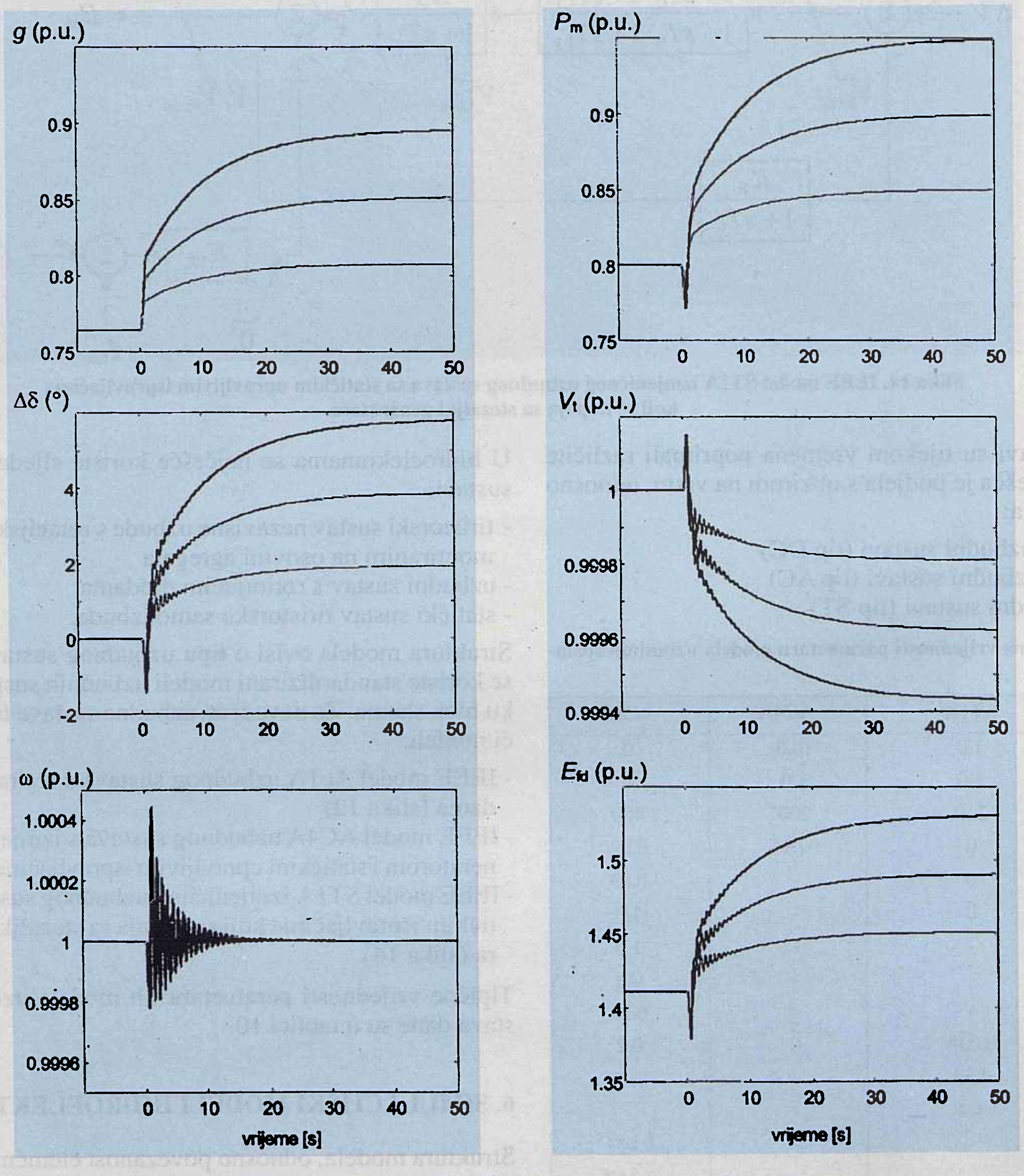
Tipične vrijednosti parametara tih modela uzbudnih sustava dane su u tablici 10.

6. SIMULACIJSKI MODELI HIDROELEKTRANA

Struktura modela, odnosno povezanost elemenata hidroelektrane prikazana je na slici 15. Radi se zapravo o jednom agregatu elektrane, odnosno elektrani u kojoj je u pogonu samo jedan agregat. Uzimanje u obzir većeg broja agregata ne predstavlja veći problem, pogotovo ako su oni jednaki, što je najčešći slučaj.
Dinamika elektrane bitno se razlikuje u slučaju otočnog pogona i u slučaju kada elektrana radi paralelno sa sustavom pa su modeli za ta dva načina rada različiti. Razlika



Slika 15. Struktura modela hidroelektrane



Slika 16. Odzivi na skokovite promjene postavne vrijednosti snage

je u prikazu generatora jer je utjecaj sustava najčešće obuhvaćen modelom generatora. Model generatora koji je opisan u ovom članku zasniva se na pretpostavci o konstantnom naponu i konstantnoj frekvenciji na sabirnicama.
Modeli su razvijeni pomoću veličina u relativnim jedinicama (p.u.), a radi se uglavnom sa promjenama veličina od stacionarne, odnosno početne vrijednosti. Koriste se i stvarne veličine i to kod nelinearnih modela te kad su postavljeni početni uvjeti. Kod zasnivanja modela treba voditi računa o tom kakvim se veličinama radi, posebno ako se koriste i promjene i stvarne veličine. Izlazne veličine obično se prilagođavaju tako da se dobiju stvarne veličine

umjesto promjena, a množenjem s baznom vrijednošću mogu se dobiti veličine u odgovarajućim jedinicama.

Na temelju matematičkih modela mogu se razviti odgovarajući simulacijski modeli. Simulacija nekog dinamičkog sustava provodi se općenito analognim, digitalnim ili hibridnim računalom. Posljednjih godina razvijeno je više blokovski orijentiranih digitalnih simulacijskih sustava, čime je bitno olakšano razvijanje simulacijskih modela. To su npr. programski paketi "MATLAB with SIMULINK", "EASY5x", "MATRIXx", "XANALOG" i drugi.

Na slici 16 prikazani su odzivi dobiveni simulacijskim modelom hidroelektrane razvijenim pomoću programskog paketa "MATLAB with SIMULINK". To su odzivi otvora sprovodnog aparata, promjene kuta opterećenja, brzine vrtnje, mehaničke snage, napona generatora i napona uzbude na skokovite promjene postavne vrijednosti snage (0.05, 0.1 i 0.15 p.u.).
Model pomoću kojeg su provedene te simulacije sastoji se od sljedećih elemenata (prema slici 15):

- turbina - nelinearni model prema slici 4
- regulator - klasični model prema slici 6
- generator - model 2*d*1*q* prema slici 10
- uzbudni sustav - model tiristirske samouzbude SR1A prema slici 14.

Za razvijanje simulacijskog modela potrebno je raspolagati određenim parametrima sustava koji se modelira. Parametri modela su ili jednaki stvarnim fizikalnim parametrima sustava ili se određuju prema njima. U primjeru koji je opisan, korištene su tipične vrijednosti parametra.

7. ZAKLJUČAK

Hidroelektrana je složen viševeličinski nelinearni dinamički sustav čiji su osnovni elementi turbina, dovodni sustav, turbinski regulator te generator s uzbudnim sustavom. U ovom članku opisani su modeli tih elemenata, na temelju kojih se može razviti odgovarajući model hidroelektrane.

Upotreba razvijenih modela je donekle ograničena iz nekoliko razloga: modeli pojedinih elemenata su više ili manje pojednostavljeni, često nisu poznati svi potrebni parametri i ne mogu se simulirati sve zanimljive pogonske prilike. Daljnji razvoj postojećih modela trebalo bi usmjeriti ka rješavanju tih problema.
Od navedenih elemenata potrebno je u prvom redu detaljnije modelirati Kaplan-turbinu. Trebalo bi na temelju osnovnih karakteristika i topografskih dijagrama za različite zakrete lopatica rotora razviti potpun nelinearan model koji bi točno opisivao ponašanje Kaplan-turbine.
Nepoznavanje parametara, odnosno nemogućnost njihova određivanja predstavlja jedan od najvećih problema pri razvijanju modela. Potrebno je prije svega prikupiti sve raspoložive projektne ili mjerene podatke o konkretnoj elektrani. Suvremeni načini određivanja parametara zasnivaju se na identifikaciji parametara stvarnog sustava koji se modelira.
Modeli koji su razvijeni u ovom radu uglavnom su orijentirani na krugove regulacije brzine vrtnje i djelatne snage. Na postojećim modelima mogu se provesti i odgovarajuće simulacije regulacije napona i jalove snage pa su tu moguće daljnje analize. Glavni nedostatak ovakvog modeliranja elektrane je nemogućnost simuliranja poremećaja u sustavu. Utjecaj sustava obuhvaćen je modelom generatora pri čemu je sustav nadomješten sabirnicom s konstantnim naponom i konstantnom frekvencijom, pa bi za neki drugi slučaj model generatora bio drugačiji. Za simuliranje takvih pognskih prilika potrebno je raspolagati i odgovarajućim modelom sustava.

LITERATURA

[1] P. KUNDUR: "Power System Stability and Control", *McGraw-Hill Inc.*, 1994

[2] IEEE WORKING GROUP: "Hydraulic Turbine and Turbine Control Models for System Dynamic Studies", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 7, No. 1, pp. 167-179, February 1992

[3] G. JASMIN, A. LEROUX, D. MUKHEDKAR: "Electronic Simulation of a Hydro-turbine with its Penstock, Speed Regulator and Damping Unit", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-102, No. 9, pp. 3023-3030, September 1983

[4] IEEE COMMITTEE REPORT: "Current Usage and Suggested Practices in Power System Stability Simulations for Synchronous Machines", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. EC-1, No. 1, March 1986

[5] M. SAIDY, F. M. HUGHES: "Block diagram transfer function model of a generator including damper windings", *IEE Proc.* C, Vol. 141, No. 6, pp. 599-608, November 1994

[6] IEEE COMMITTEE REPORT: "Excitation system models for power syste stability studies", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, Vol. PAS-100, No. 2, pp. 494-509, February 1981

[7] P. M. ANDERSON, A. A. FOUAD: "Power System Control and Stability", *IEEE Press*, 1994

[8] A. W. ORDYS, A. W. PIKE, M. A. JOHNSON, R. M. KATEBI, M. J. GRIMBLE: "Modeling and simulation of power generation plants", *Springer-Verlag*, 1994

[9] N. DIZDAREVIĆ, LJ. KUTEROVAC: "Analiza primjenjivih tipova agregata HE Novo Virje s obzirom na zahtjeve stabilnosti i mogućnosti otočnog pogona", studija, *FER Zagreb*, 1996.

[10] S. TEŠNJAK: "Teorijska i eksperimentalna analiza dinamike hidroelektrane", doktorska disertacija, *ETF Zagreb*, 1984.

[11] T. TOMIŠA: "Identifikacija parametara dovodnog sustava visokotlačne hidroelektrane", doktoska disertacija, *ETF Zagreb*, 1995.

HYDRO POWER PLANT MODELLING

Theoretical analysis of the hydro power plant dynamics is realised using the mathematical and corresponding simulation models. Modelling techniques are constantly improving because the current unit-oriented digital simulation systems enable the creation of more complicated and detailed models. Most frequently used models for single hydro power plant elements suitable for the simulation of the transient operation are described in the paper.

DIE MODELIERUNG DER WASSERKRAFTWERKE

Die theoretische Erörterung der Dynamik von Wasserkraftwerken wird mittels mathematischer und entsprecender Nachahmungsmodelle durchgeführt. Moderne blockorientierte digitale Nachahmungssysteme ermöglichen das Entwerfen immer komplizietrer und detaillierter Modelle; so wird die Modelierungstechnik immer vollkommener. Meistbenutzte Modelle einzelner Bestandteile eines Wasserkraftwerkes, welche für die Nachahmung von Arbeitsweisen im Übergangszustand geeignet sind, werden in diesem Artikel beschrieben.

Naslov pisaca:

Prof. dr. sc. Sejid Tešnjak, dipl. ing.
mr. sc. Igor Kuzle, dipl. ing.
Fakultet elektrotehnike i računarstva
Zavod za visoki napon i energetiku
Unska 3, 10000 Zagreb, Hrvatska
Miljenko Brezovec, dipl. ing.
HE Varaždin, Međimurska 26c,
42000 Varaždin, Hrvatska

Uedništvo primilo rukopis:
1997-03-14.

PRIJEDLOG NAČINA TEHNIČKOG VREDNOVANJA KOMBI I KOGENERACIJSKOG POSTROJENJA U TE-TO ZAGREB

Mr. sc. Miroslav Šander, Zagreb

UDK 621.311.23
STRUČNI ČLANAK

Prikazan je jedan od mogućih načina evaluacije budućeg kombi i kogeneracijskog postrojenja u TE-TO Zagreb. Uz koncept dva plinsko-turbinska agregata od 70 MW s dva kotla na ispušne plinove i jedne parne turbine od 50 MW dan je prikaz evaluacije u otvorenom ciklusu kao i u kombi kogeneracijskom ciklusu.
Kriteriji za usporedbu različitih ponuda za buduće postrojenje je stupanj djelovanja cjelokupnog postrojenja te ekološki kriteriji glede ispušnih plinova i buke.

Ključne riječi: TE-TO Zagreb, kombi i kogeneracijsko postrojenje, tehničko vrednovanje.

1. UVOD

TE-TO Zagreb je termoenergetsko postrojenje za proizvodnju tehnološke pare, topline za grijanje i elekrične energije. Postrojenje se sastoji od triju blokova:

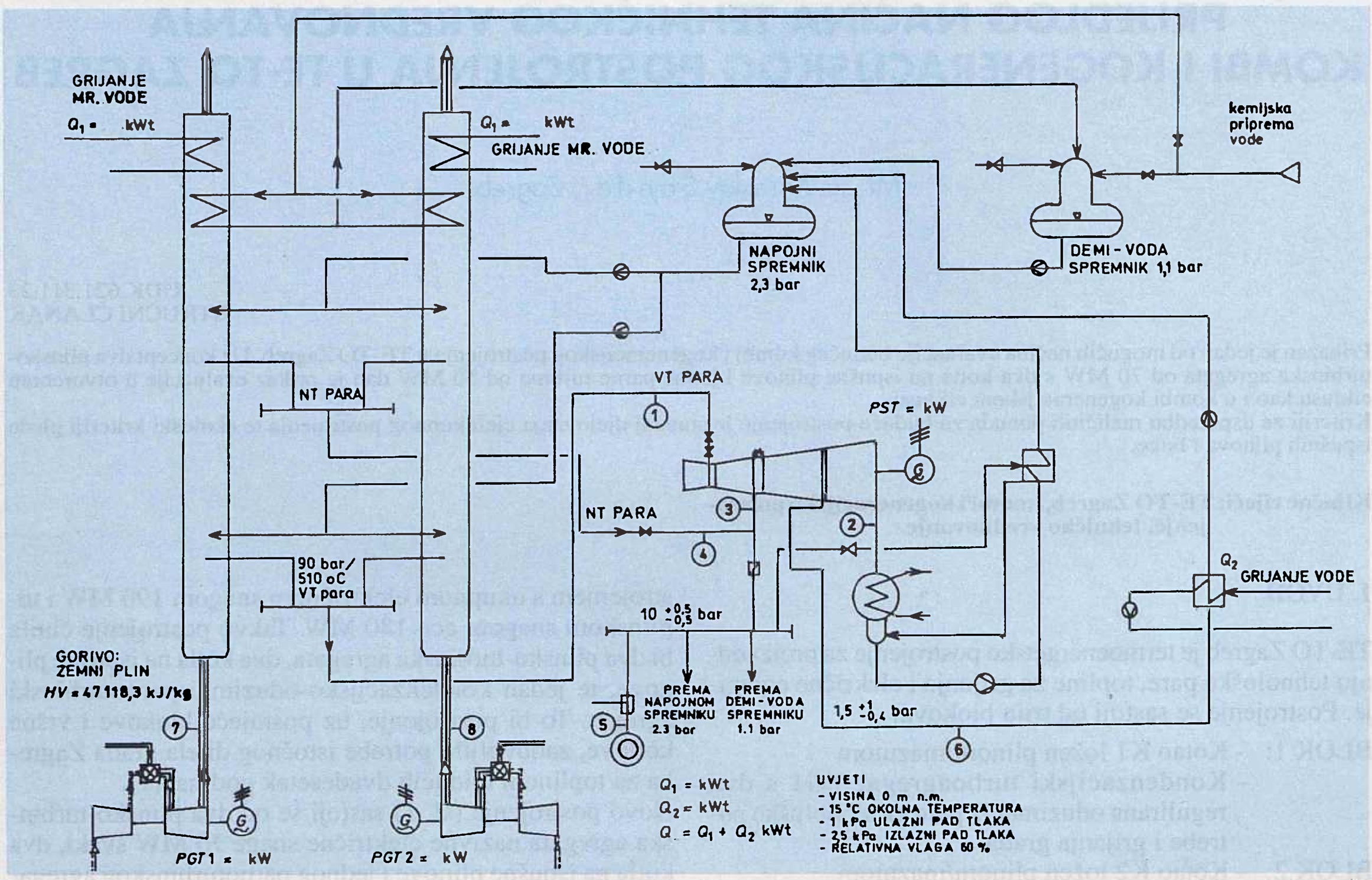
BLOK 1:
- Kotao K1 ložen plinom/mazutom
- Kondenzacijski turboagregat TG1 s dva regulirana oduzimanja pare za tehnološke potrebe i grijanja grada

BLOK 2:
- Kotao K2 ložen plinom/mazutom
- Protutlačni turboagregat TG2 s jednim reguliranim oduzimanjem pare za tehnološke potrebe i grijanje grada.

BLOK 3:
- Kotao K3 ložen plinom/mazutom
- Kondenzacijski turboagregat TG3 s oduzimanjem pare za tehnološke potrebe i reguliranim oduzimanjem pare za grijanje grada.

Kotlovi K1 i K2 su dotrajali, a turboagregati TG1 i TG2 sposobni su za daljnji pogon u trajanju 100 000 sati.
Blokovi 1 i 2 u pogonu se nalaze od 1962. godine. Prve tri godine pogona kotlovi su bili loženi na ugljen, a zatim su adaptirani za loženje tekućim i plinovitim gorivom. Prelaskom na kvalitetnije gorivo povećan je i kapacitet kotlova sa 160 t/h na 200 t/h pare 97 bar/530 °C. Turbine su sagrađene kao kondenzacijske jedinice s dva regulirana oduzimanja pare.
Turboagregat 1 je rekonsruiran 1975. godine te mu je obnovljen cijeli protočni dio turbine. Turboagregat 2 je 1985. godine rekonstruiran u protutlačnu turbinu. Tom rekonstrukcijom je izbačen niskotlačni dio turbine i kondenzacijsko postrojenje. Snaga agregata je time smanjena za oko 6 MW, ali je povećan stupanj djelovanja postrojenja kao toplifikacijske turbine.
Turboagregat TG1 ima snagu 32 MW, dok turboagregat TG2 ima snagu 26 MW. Zbog zastarjelosti postojećih postrojenja odlučeno je da se ide u revitalizaciju.
Tehničko-energetske i ekonomske analize lokacije TE-TO Zagreb pokazuju da je najpovoljnije rješenje zamijeniti dotrajale blokove 1 i 2 novim kogeneracijskim i kombi postrojenjem s ukupnom električnom snagom 190 MW i toplinskom snagom cca 180 MW. Takvo postrojenje činila bi dva plinsko-turbinska agregata, dva kotla na ispušne plinove, te jedan kondenzacijsko-oduzimni parnoturbinski agregat. To bi postrojenje, uz postojeće blokove i vršne kotlove, zadovoljilo potrebe istočnog dijela grada Zagreba za toplinom u idućih dvadesetak godina. [1].
Novo postrojenje (sl. 1) sastoji se od dva plinsko-turbinska agregata nazivne električne snage 70 MW svaki, dva kotla na ispušne plinove i jednog parnoturbinskog agregata nazivne električne snage do 50 MW. Dio pare oduzima se iz kotla na ispušne plinove i parne turbine, do ukupne toplinske snage od približno 180 MW. te se njime izravno opskrbljuju industrijski potrošači, odnosno zagrijava voda u vrelovodnom sustavu grijanja.
Osnovno gorivo novog kombi kogeneracijskog postrojenja je zemni plin. Do lokacije TE-TO Zagreb dobavljat će se novim visokotlačnim plinovodom od PČ Ivanja Reka do TE-TO iz postojeće visokotlačne magistralne plinske mreže sjeverozapadne Hrvatske. Uz godišnju proizvodnju novog postrojenja od 1200 GWh električne energije, te 4 000 TJ industrijske pare i ogrjevne topline, predviđa se potrošnja do 320 milijuna kubičnih metara zemnog plina. U slučaju nedostatka plina za pogon plinskih turbina koristit će se ekstralako lož ulje. Za njegovo skladištenje izgradit će se novi spremnik kapaciteta 20 000 m^3. [1]
Novo postrojenje će koristiti već postojeće toplinske i elektroenergetske objekte na lokaciji TE-TO Zagreb, vežući se na postojeće pomoćne sustave. To je tehnološka priprema sustava pročišćavanja otpadnih voda, te razdjelnika industrijske pare i ogrjevne topline. Za rashladne svrhe služi rijeka Sava čija srednja godišnja temperatura iznosi 11.2 °C, maksimalna temperatura 25 °C. Središnji godišnji protok rijeke iznosi 327 m^3/s, a minimalni protok 50 m^3/s. Tehnološka voda dobavlja se iz postojećih bunara na lokaciji TE-TO Zagreb, a izdašnost bunara iznosi 882 t/h.
Klimatske karakteristike na lokaciji su:
Minimalna i maksimalna temperatura -24/+37,5 °C, srednja godišnja temperatura 10,2 °C, srednja godišnja rela-

tivna vlažnost zraka iznosi 77%, srednja godišnja količina oborina iznosi 862 mm/m², prevladavajući smjer vjetra je sjeveroistok-jugozapad, srednja brzina u siječnju 2 m/s, u srpnju 1,8 m/s.



Slika 1. Toplinska shema

2. TEHNIČKI ZAHTJEVI NA NOVO POSTROJENJE

Novo postrojenje mora imati različite razine tlaka pare kotla na ispusne plinove (KIP); visokotlačna (VT) para 8 MPa i 490 °C, te niskotlačna (NT) para 1 MPa i 240 °C, a na parnoj turbini prvo regulirano oduzimanje od 1 MPa i 240 °C, te drugo od 0,15 MPa. Osnovni zahtjevi se mogu sažeti tablicom 1. [2]

Tablica 1. Osnovni zahtjevi

Red. br.	Režim rada plinskih turbina	VT para iz kotla na ispušne plinove	NT para iz KIP-a 1 MPa 240 °C mreže	Para iz parne turbine (oduzimanje 1.5 bar)
1	2 x GT - 100%	Minimalno tlak 80 bar i temperatura 490°C za sve režime rada plinskih turbina	140 t/h	30 MJ/s
2	2 x GT - 100%		30 t/h	80 MJ/s
3	2 x GT - 100%		30 t/h	30 MJ/s
4	2 x GT - 100%		100 t/h	30 MJ/s
5	2 x GT - 80%		30 t/h	30 MJ/s
6	1 x GT - 100%		30 t/h	30 MJ/s
7	1 x GT - 100%		30 t/h	30 MJ/s

Gledajući toplinsku shemu sl. 1 tablicu 1. i tablicu 2. kao jedno od mogućih rješenja zapažamo da je osnovni zahtjev postavljen prema količini NT pare od 1 MPa i 240 °C koja mora u prva tri režima biti 140 t/h, 30 t/h, 30 t/h. Ta NT para mora biti osigurana u NT razdjelniku iz prvog reguliranog oduzimanja parne turbine ili dovodom iz NT parnorazdjelnika kotlova na ispušne plinove (KIP). Drugi osnovni zahtjev je postavljen na grijanje mrežne vode pri čemu se u prva tri režima mora ostvariti toplinska snaga od 30 MJ/s, 80 MJ/s, 30 MJ/s. Ta toplinska snaga se može mrežnoj vodi privesti djelomično sa drugog reguliranog oduzimanja parne turbine (Q_2) te djelomično grijanjem u kotlovima na ispušne plinove ($2xQ_1$). U svakom od prva tri režima rada treba ostvariti na stezaljkama generatora plinske turbine približno 70 MW.

3. NAČIN VREDNOVANJA PONUDBENIH RJEŠENJA

Na zadane tehničke zahtjeve prijavit će se ponuditelji sa svojim rješenjima. Pored naručitelja (investitora) postavit će se zadatak vrednovanja i usporedbe ponuđenih rješenja.

Budući da se predviđa rad plinskih turbina u otvorenom ciklusu prva mogućnost se pruža u vrednovanju plinskih turbina samih po sebi. Jasno je da mogućnost rada u otvorenom ciklusu zahtijeva gradnju mimovodnog dimnjaka i zaklopke kojom se on zatvara ili otvara. U tom slučaju trebale bi za različite uvjete okoline (temperatura, barometarski tlak, relativna vlažnost, te za dvije vrste goriva (zemni plin i ekstralako lož ulje) vrednovati i uspoređivati vrijednost prema tablici 3.

Ide li se na rad u kombiniranom postrojenju najvažnije je uspoređivati ukupni stupanj djelovanja dok pojedine komponente treba gledati kroz "svirku", u tom zajedničkom

Tablica 2. Moguće termodinamičko rješenje uz toplinsku shemu na sl. 1

Stanje	Režim rada 1-2 x GT 100%				Režim rada 2-2 x GT 100%				Režim rada 3-2 x GT 100%			
	P	T	H	M	P	T	H	M	P	T	H	M
	kPa	°C	kJ/kg	kg/s	kPa	°C	kJ/kg	kg/s	kPa	°C	kJ/kg	kg/s
1	8553	505	3405	58,48	8550	505	3405	58.48	8550	505	3405	58,48
2	3.6	0.95	2427	15,9	4,8	0.889	2288	25,9	8,3	0,879	2285	46,95
3	1000	250	2944	37,97	1000	250	2944	4,478	1000	248	2940	6,59
4	1000	240	2921	1000	240	2921	9.36	1000	240	2921	9,36	
5	1000	240	2921	38,89	1000	240	2921	8,33	1000	240	2921	8,33
6	147	138	2758	3,33	147	110,8	2617	26,53	150	111,4	2624	3,33
7		597	658.8	194,4	597	658,8	194.4		597	658,8	194,4	
8		597	658.8	194,4	597	658,.8	194.4		597	658,8	194,4	
P_{GT1} = 68 040 kW					P_{GT1} = 68 040 kW				P_{GT1} = 68 040 kW			
P_{GT2} = 68 040 kW					P_{GT2} = 68 040 kW				P_{GT2} = 68 040 kW			
P_{ST} = 33 400 kW					P_{ST} = 55 200 kW				P_{ST} = 33 400 kW			
Q_1= 22 474 kJ/s					Q_1= 23 026 kJ/s				Q_1= 23 0026 kJ/s			
Q_2= 75 26 kJ/s					Q_2= 56 974 kJ/s				Q_2= 6 974 kJ/s			
n = PONUDITELJ					n = PONUDITELJ				n = PONUDITELJ			
S_{PT} = PONUDITELJ					S_{PT} = PONUDITELJ				S_{PT} = PONUDITELJ			

Tablica 3. Plinska turbina u otvorenom ciklusu

Red.	Parametar	Jedinica	Vrijednost	
1	Postotak maksimalne trajne snage MTS	%	100	80
2	Trajna izlazna snaga kod 50 Hz, 0.80 - 0.85 f. snage mjereno na stezaljkama generatora	MW		
3	Potrošnja goriva (D.O.V.)	kg/s		
4	Ukupna vlastita potrošnja za sve pomoćne pogone plinske turbine	kW		
5	Srednja ulazna temperatura plina u turbinu (prema ISO 2314 i 3977)	°C		
6	Srednja ispušna temperatura plina iz turbine	°C		
7	Maksimalni izlazni tlak dimnih plinova iz plinske turbine	kPa		
8	Specifični potrošak topline u otvorenom procesu	kJ/kWh		
9	Stupanj djelovanja u otvorenom procesu	%		

orkestru, a manje prema njihovom pojedinačnom stupnju djelovanja. Tako bi evaluacija parne turbine sama po sebi mogla zamagliti stvari, ali ako bi se ona htjela vrednovati zasebno onda bi mogli biti prema sljedećem izrazu.

$$\eta_{ST} = \frac{P_{ST} + Q_1 + Q_2}{M_F\left(h_F - h_W\right)} \tag{3.1}$$

gdje je:

P_{ST} = Snaga parne turbine mjerena na stazaljkama el. generatora [kW]
Q_1 = Toplinska snaga na prvom regul. oduzimanj [kJ/s]
Q_1 = M1 . h1 [kJ/s]
M_1 = Protok pare kroz prvo regul. oduzimanje [kg/s]
h_1 = entalpija pare na prvom regul. oduzimanju [kJ/kg]
Q_2 = Toplinska snaga na drugom regul. oduzimanju [kJ/s]
Q_2 = M_2 (h_2-h_{DH}) [kJ/s]
M_2 = Protok pare kroz drugo regul. oduzimanje [kg/s]
h_2 = Entalpija pare na drugom regul. oduzimanju [kJkg]
h_{DH} = Entalpija iza zagrijača mrežne vode, a odvodi se u napojni spremnik [kJ/kg]
M_F = Protok svježe pare [kg/s]
h_F = Entalpija sveže pare [kJ/kg]
h_W = Entalpija napojne vode [kJ/kg]

Pri stvaraza (3.1) uvijek će netko od ponuditelja primijetiti da je nešto ispušteno ili da nešto treba dodati, međutim mora se uzeti u obzir da bi suviše kompliciran izraz zagorčavao proračun ponuditelja i kasnije i naručitelju i sigurno je da opet svi ne bi bili zadovoljni.

Glavno težište evaluacije bi trebalo biti na garancijskim vrijednostima u kombiniranom i kogenerativnom radu toplane i termoelektrane pri čemu bi u prva tri režima rada trebalo gledati (tablica 4).

Ukupni stupanj djelovanja bi se trebao računati prema izrazu 3.2.

$$\eta_{CCCPP} = \frac{P_{GT1} + P_{GT2} + P_{ST} + Q + M_{IND} \cdot h_{IND} - M_{CHEM} \cdot h_{CHEM}}{M_{FUEL} \cdot H_{LHV}} \tag{3.2}$$

gdje je

P_{GT1} = električna snaga mjerena na stezaljkama el. generatora GT1 [kW]
P_{GT2} = električna snaga mjerena na stezaljkama el. generatora GT2 [kW]
P_{ST} = električna snaga mjerena na stezaljkama generatora parne turbine [kW]
Q = grijanje mreže vode (obuhvaća toplinsku snagu na 2. regul. oduzimanju i grijanje u kotlu, ako je takovo rješenje[kW]
M_{IND}, h_{IND} = protok i entalpija industrijske pare [kg/s], [kJ/kg]
M_{FUEL} = količina goriva u jedinici vremena [kg/s]
H_{LHV} = donja ogrjevna moć goriva [kJ/kg]

Specifični potrošak topline HR_{CCCPP} se računa prema

$$HR_{CCCPP} = \frac{3600}{\eta}\left[\frac{kJ}{kWh}\right] \tag{3.3}$$

Tablica 4. Kombinirani i kogenerativni pogon

R. br.	Parametar			Jedinica	Vrijednost
1	Postotak maksimalne trajne snage MTS plinske turbine			%	100
2	Ukupna trajna izlazna snaga kod 50 Hz, 0,80-0,85 f. snage mjereno na stezaljkama generatora plinske turibne 1			MW	
3	Ukupna trajna izlazna snaga kod 50 Hz, 0,80-0,85 f. snage mjereno nastezaljkama generatora parne turbine			MW	
4	Ukupna trajna izlazna snage kod 50 Hz, 0,80-0,85 f. snage mjereno na stezaljkama generatora plinske turbine 2			MW	
5	Potrošnja goriva (D.O.V.)			kg/s	
6	Ukupna vlastita potrošnja za sve pomoćne pogone kogeneracijske kombi elektrane			kW	
7	Proizvedena para VT	VT	Protok	kg/s	
			Tlak	bar	80
			Temperatura	°C	490
			Entalpija	kJ/kg	
8	Proizvedena para NT	NT	Protok	kg/s	
			tlak	bar	
			Temperatura	°C	
			Entalpija	kJ/kg	
9	1. regulirano oduzimanje	NT	Protok	kg/s	
			Tlak	bar	~10
			Temperatura °C	~240	
			Entalpija	kJ/kg	
10	2. regulirano oduzimanje	NT	Protok	kg/s	
			Tlak	bar	1,5
			Temperatura	°C	
			Entalpija	kJ/kg	
11	NT para dovedena u NT razdijelnika	NT	Protok	kg/s	38,9
			Tlak	bar	10±0,5
			Temperatura	°C	240
			Entalpija	kJ/kg	
12	Mreža voda	NT	Toplinska snaga	MJ/s	30
13	Specifični potrošak topline kogeneracijske kombi elektrane			kJ/kWh	
14	Ukupni stupanj djelovanja kogeneracijske kombi elektrane			%	

4. EKOLOŠKI KRITERIJI

U Zagrebu se mjere koncentracije sumpor-dioksida i dima na devet lokacija, čestica na tri lokacije i taložne tvari na 20 lokacija. Koncentracije NO_2 mjere se na dvije meteorološke postaje. Nedostaju podaci o razini onečišćenja ozonom i hlapivim organskim tvarima (VOC).
Mjerenja pokazuju da su koncentracije sumpordioksida veće od vrijednosti preporučene od WHO (0,05 mg/m^3 god. prosjek, 0,150 24-satna vrijednost) na čitavom centralnom dijelu grada. Koncentracije čestica i dvostruko su veće od vrijednosti koje se smatraju prihvatljivima prema europskim normama (0,050 mg/m^3 godišnje, 80/779/EEC). Taloženje teških metala ispod je razina koje se smatraju prihvatljivima, osim olova u području intenzivnog prometa. U tijeku zimskih mjeseci česte su padaline sa pH<4, a mokro taloženje sulfata iznosi oko 1,5 g/m^2 godišnje što je trostruko veće od WHO graničnih vrijednosti za vegetaciju (0,5 g/m2 god.). Taloženje dušika je znatno ispod graničnih vrijednosti. [3]
Uzevši sve to u obzir izuzetno se mora paziti na ekološki aspekt novog postrojenja. Nove jedinice doprinijet će povećanju emisije NO_x, CO i CO_2 iz TE-TO. Značajno je povećanje emisije CO_2 ali to je povećanje znatno manje od klasičnih rješenja s fosilnim gorivom (mazut, ugljen).

Za plinske turbine toplinske snage veće od 100 MW postavljaju se slijedeća ograničenja (ISO uvjeti i 15% O_2 u dimnim plinovima):

Tablica 5. Ograničenja emisije za plinske turbine snage veće od 100 MW

	Plinovito gorivo	Tekuće gorivo
čestice	1	2
NO_x (izražen kao NO_2)	50 mg/m^3	100 mg/m^3
CO	100 mg/m^3	100 mg/m^3

Evaluaciju emisije u atmosferi trebalo bi izvršiti na osnovi usporedbe ispunjenih tablica 6, a koje bi trebale biti u skladu s zahtjevima iz tablice 5.
U regulativi razina buke se određuje pomoću ekvivalentne razine buke u decibelima i definira se različito za dan i noć. Najviše dopuštene razine na vanjskim prostorima definirane su po zonama, odnosno po namjeni prostora u

Tablica 6. Emisija plinova

Red. broj	Parametar	Jedinica	Vrijednost
1	TRAJAN POGON- 100% opterećenja		
1,1	Ukupno oksidi dušika korigirani na 15% kisika suho/suho - zemni plin - ekstralako ulje	ppm	
1,2	Dušični dioksid korigiran na 15% kisika suho/suho - zemni plin - ekstralako ulje	ppm	
1,3	Ugljični monoksid korigiran na 15% kisika suho/suho - zemni plin - ekstralako ulje	ppm	
1,4	Ukupno čestice korigirane na 15% kisika suho/suho kod 1,013 bar aps i 0°C	mg/m^3 (u n.s.)	
1,5	Ukupno ugljikovodici korigirani na 15% kisika suho/suho	ppm	

kojem se objekt-izvor buke nalazi. Područje TE-TO spada u zonu 5 (industrijsko, skladišno i servisno područje) za koju je propisano da na njezinoj granici (tj. na ogradi TE-TO na kritičnom dijelu najbliže naseljenom području) buka ne smije prelaziti dopuštene razine u zoni s kojom graniči. Prema postojećoj klasifikaciji područje oko granice TE-TO može se smatrati zonom 2 (Stambena gradska područja i ostala naselja...) za koju je buka L_{Aeq} ograničena na 55 dBA danju i 45 dBA noću.
Ponuditelji će ispuniti tablicu o buci (turbina, 20 m od turbine, ograda toplane) te će se na temelju usporedbe tablica odrediti stroj koji najmanje buči.

5. ZAKLJUČAK

Glavni kriterij za evaluaciju kombi kogeneracijskog postrojenja bi trebao biti stupanj djelovanja cjelokupnog postrojenja, buka, te ekološki kriteriji zagađivanja zraka ispušnim plinovima. Izraz za stupanj djelovanja uvijek će imati neke nedostatke ako se ponuditelju dozvoljava relativna sloboda u koncipiranju postrojenja. Naime, pri relativnoj slobodi koncipiranja postrojenja svaki ponuditelj će u toplinskoj shemi različito rješavati toplinske tokove pa mu se izraz (3.2) može činiti nepodobnim. Međutim ako su nazivne snage na plinskim i parnim turbinama iste, izraz bi trebao zadovoljiti sve natjecatelje. Posebno su pitanje garancijska mjerenja što je pri odabiru kriterija također uzeo u obzir, ali nije elaborirano.
Ovdje je bio naglasak na stupnju djelovanja ili specifičnom potrošku topline te ispušnim plinovima i buci, ali jasno je da kompletna evaluacija mora uzeti u obzir ostale tehničke elemente kao i cijenu. Poziv za nuđenje za novo postrojenje mora biti tako komponiran da se svi elementi mogu uspoređivati.

LITERATURA

[1] S. RUNDEK "Projekt TE-TO Zagreb - kombi kogeneracijsko postrojenje" EGE 2/97, Zagreb
[2] Elektroprojekt "TE-TO Zagreb kogeneracijska kombi elektrana 140-190 MW" - Poziv na nuđenje, Zagreb, 1997.
[3] Ekonerg "Predstudija izvodljivosti novog PT bloka", Zagreb 1995.

TEHNICAL EVALUATION PROPOSAL OF COMBINED AND COGENERATION POWER PLANT IN TE-TO ZAGREB

One possible way of the evaluation of the future combined and cogeneration plant TE-TO Zagreb is given. With a concept of two gas turbines sets of 70 MW each with two heat recovery steam generators and one steam turbine of 50 MW, evaluation outline for an open cycle and a combined cogeneration operations are given. The criteria for the comparison of various offers for the future plant are the efficiency degree of the whole plant and the ecological ceiteria considering fuel burns and noise.

BEWERTUNG VON KOMBI- UND MITERZEUGUNGSANLAGEN IM WÄRMEKRAFTWERT "TE-TO" ZAGREB

Dargestellt ist eines von den möglichen Vorgehen bei der Bewertung der künftigen Kombi- und Miterzeugungsanlage im "TE-TO" Zagreb. Neben dem Entwurf zweier Gasturbinenanlagen von je 70 MW mit zwei Abhitzekesseln und einer Dampfturbine von 50 MW ist auch ein offener Kreisprozess und ein Kombi- und Miterzeugungskreisprozess dargestellt worden. Das Kriterium für den Vergleich verschiedener Angebote der küftigen Anlage ist der Wirkungsgrad der gesammten Anlage, sowie Umweltmaßstäbe bezüglich der Abgase und des Lärms.

Naslov pisca:

Mr. sc. Miroslav Šander, dipl. ing.
Elektroprojekt
Ulica grada Vukovara 37
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1997-05-29

HEAD OFFICE:
OBALA KNEZA TRPIMIRA 2
23000 ZADAR
HRVATSKA
Tel.: 023/311-222
023/441-897
Fax.: 023/437-470
023/311-897
023/441-826
Telex: 27164
Telegrams: TANKERKOMERC

TANKERKOMERC dd

Trgovina na veliko i malo

NAPREDNE IZVEDBE NUKLEARNIH REAKTORA: EUROPSKI TLAKOVODNI REAKTOR (EPR)

Renata Matanić, Zagreb

UDK 621.039.51
PREGLEDNI ČLANAK

Rastuća zabrinutost zbog utjecaja izgaranja fosilnih goriva na okoliš dovela je do obnovljenog interesa za nuklearnu tehnologiju. U članku se daje osvrt na stanje razvoja naprednih nuklearnih reaktora u svijetu, s naglaskom na francusko-njemački projekt tlakovodnog reaktora. Posebna je pozornost posvećena mjerama sigurnosti i ekonomičnosti postrojenja.

Ključne riječi: nuklearni reaktor, primarni krug, sigurnosni sustavi, ekonomičnost.

1. UVOD

U svakoj industrijskoj grani postoji stalna tendencija poboljšanja sigurnosti i iskoristivosti pogonskih postrojenja karakterističnih za određenu djelatnost. Za nuklearnu industriju to znači poboljšanje sigurnosti reaktora na osnovi stečenog pogonskog iskustva tijekom akumuliranih reaktor-godina. Problemi nuklearne sigurnosti još uvijek su predmet brojnih istraživanja, testiranja, analiza i raznih sigurnosnih procjena (npr. Probabilistic Safety Assessment, PSA).

U nuklearnoj industriji teži se daljnjem smanjenju vjerojatnosti i radioloških posljedica bilo koje pojave ozbiljnijeg ispuštanja radioaktivnih tvari u okoliš. Umanjivanjem potencijalnog učinka na zdravlje i sigurnost stanovništva smanjuje se i potreba za zaštitnim mjerama izvan postrojenja.

Osim toga, nastoji se održati postojeća niska razina rizika od nuklearnih postrojenja za stanovništvo, tim više što se broj nuklearnih elektrana u svijetu povećava.

Konačno, u nekim je zemljama razina sigurnosti preduvjet za prihvatljivost novih i naprednih nuklearnih programa od strane javnosti.

Sjedinjene Američke Države, Japan, Francuska, Njemačka i Kanada neke su od zemalja koje razviju nuklearne reaktore sljedeće generacije i koje su u tom pogledu najdalje odmakle. Zajedničke značajke tih reaktora su:

- standardizirana izvedba svakog tipa kako bi se pospješilo dobivanje dozvola, smanjilo kapitalne troškove i skratilo vrijeme izgradnje
- jednostavnija i robusnija izvedba, lakše vođenje pogona i manja osjetljivost na pogonske poremećaje
- veća raspoloživost i duži radni vijek
- konkurentnost s ostalim tehnologijama s obzirom na veličinu jedinica
- daljnje smanjenje vjerojatnosti topljenja jezgre
- minimalan utjecaj na okoliš
- veći odgor kako bi se smanjila količina goriva i otpada.

Najveći odmak od sadašnjih izvedbi očituje se u uvođenju pojednostavljenih sigurnosnih sustava, odnosno "pasivnih" sigurnosnih sustava čije se djelovanje temelji na prirodnim silama (gravitacija, uzgon), uskladištenoj energiji (komprimirani plin, akumulatorske baterije) i pasivnim mehaničkim komponentama (nepovratni ventili). U tablici 1. dan je pregled naprednih termičkih reaktora u razvoju i njihove glavne karakteristike.

2. TEHNOLOGIJA EPR[1]-a

2.1. Razvoj projekta

Glavni cilj ovog projekta je razvoj zajedničke francusko-njemačke tehnologije tlakovodnih reaktora, prvo za elektroprivrede Francuske i Njemačke, a zatim i za vanjska tržišta. Prva faza razvoja započeta 1989. zajedničkim sudjelovanjem Framatomea i Siemens/KWU, tzv, koncepcijski projekt, dovršena je početkom 1995. uz udovoljenje zajednički postavljenim zahtjevima njemačkih i francuskih nadležnih organa za nuklearnu sigurnost. Francuska elektroprivreda (Electricité de France) i njemačke elektroprivrede (Badenwerk AG, Bayernwerk AG, Energie-Versorgung Schwaben AG, Isar-Amperwerke AG, Kernkraftwerke Lippe-Ems GmbH, Kernkraftwerk Stade GmbH, Neckarwerke Elektrizitätsversorgungs AG, Preussen Elektra AG, RWE Energie AG) uključile su se u projekt 1992. godine. Za drugu fazu projekta, tj. osnovni projekt, predviđa se trajanje od dvije do tri godine, uz milijun sati inženjerskog rada i troškove od 750 mil. FRF. Ova faza završava se 1997/8. podnošenjem standardnog Preliminarnog sigurnosnog izvješća *(Preliminary Safety Analysis Report)*. Početak izgradnje prve jedinice predviđa se za 1999/2000. godinu, a puštanje u pogon oko 2005.

Glavni zadatak EPR-a na francuskom i njemačkom tržištu je osigurati zamjenu postojećih nuklearnih jedinica uz daljnje poboljšanje sigurnosti i konkurentnosti elektranama na fosilna goriva. Iako su sadašnje potrebe za dodatnim pokrivanjem baznog opterećenja niske EPR će za nekoliko godina moći udovoljiti i tim zahtjevima.

U Francuskoj, uz financijsku potporu, EDF podupire ovaj

[1] European Pressurized-Water Reactor

Tablica 1. Napredni termički reaktori

Zemlja	Reaktor / snaga (MWe)	Faza razvoja	Glavne značajke
SAD-Japan (GE-Hitachi-Toshiba)	ABWR / 1300	• Japan: probni rad, komercijalna proizvodnja 1996-7. • SAD: odobren zahtjev za dozvolu izgradnje i pogona 12/96.	• evolucijski tip • veća iskoristivost, manje otpada • pojednostavljen pogon i izgradnja (48 mjeseci) • poboljšane sigurnosne značajke
SAD (ABB Combustion Engineering Nuclear Power)	System 80 + (PWR) / 1300	• odobren zahtjev za dozvolu izgradnje i pogona 12/96. • neke izvedbene značajke uključene u južnokorejske reaktore tipa System 80 u izgradnji	• evolucijski tip • povećana pouzdanost • pojednostavljen pogon i izgradnja (48 mjeseci) • poboljšane sigurnosne značajke
SAD (Westinghouse)	AP-600 (PWR) / 600	• sredinom 1997. očekuje se odobrenje zahtjeva za dozvolu izgradnje i pogona	• pasivna sigurnost • pojednostavljen pogon i izgradnja (48 mjeseci)
SAD-Rusija (General Atomics-Minatom)	GT-MHR (HTGR) / 250-285	• projekt u razvoju (moguće korištenje plutonija iz nuklearnog oružja)	• pasivna sigurnost • keramički obložene čestice goriva • pogon na visokoj temperaturi • visoka efikasnost goriva
Japan (Mitsubishi) Kanada (AECL)	PWR-21 / 1400 CANDU-9 / 925-1300	• u tijeku razvoj osnovnog projekta (basic design) • u tijeku revizija regulativnog tijela • odobrenje 1996?	• pasivna sigurnost • pojednostavljen pogon i izgradnja • evolucijski tip • pasivna sigurnost • jedna zasebna jedinica • široke mogućnosti uporabe goriva
Kanada (AECL)	CANDU-3 / 480	• projekt dovršen 70% • privremeno obustavljen	• potpuno standardizirano postrojenje • produžen radni vijek goriva (obogaćenje 0.9-1.2%) • radni vijek elektrane 60 godina • brža izgradnja • poboljšane sigurnosne značajke
Francuska-Njemačka (NPI)	EPR (PWR) / 1450	• potvrđen kao standard za buduće francuske elektrane • završni projekt (final design) 1997.	• evolucijski tip • poboljšane sigurnosne značajke • povećana pouzdanost • radni vijek elektrane 60 godina
Rusija (Atomenergoproject Gidropress)	V-407 (VVER-640) V-392 (VVER-1000)	• izgradnja prve tri jedinice V-407 početkom 1997. • planirane dvije jedinice V-392	• pasivna sigurnost • radni vijek elektrane 60 godina • pojednostavljen pogon i izgradnja
SAD (GE)	SBWR / 600 (1000)	• 2/96. povučen zahtjev za odobrenje projekta zbog promjene programa (razvoj projekta za jedinice veće snage)	• pasivna sigurnost • pojednostavljen pogon i izgradnja
Njemačka (Siemens)	SWR 1000 (BWR) / 1000	• u tijeku razvoj osnovnog projekta (basic design)	• evolucijski tip • pasivna sigurnost • pojednostavljen pogon i izgradnja (48 mjeseci)

projekt i izvođenjem dijela projektnih radova. Narudžba prve jedinice planira se prije 2000. uz uvjet da se prethodno osigura ekonomičost. Treba imati na umu da Francuska nema prirodnih resursa te da je razvoj nuklearne energije bio nužan izbor. Francuska trenutno ima u pogonu 55 tlakovodnih nuklearnih reaktora, koji su u 1996. proizveli 77% električne energije.

U Njemačkoj 30% potražnje za električnom energijom pokriva se iz 19 nuklearnih jedinica, što nuklearnu energiju čini važnim energetskim izvorom. S današnjim niskim porastom potražnje električne energije u sljedećih deset godina ne planira se izgradnja novih nuklearnih jedincia. Ipak, njemačke elektroprivrede smatraju apsolutno nužnim zadržati nuklearnu opciju, s obzirom na to da je danas Njemačka među vodećim zemljama u nuklearnoj industriji i ne želi taj status izgubiti.

2.2. Glavne značajke primarnog kruga

Izvedba i raspored komponenata primarnog kruga bliski

su onima u već postojećim francuskim i njemačkim nuklearnim elektranama (serija N4, Konvoi). Glavna razlika se očituje u povećanju unutrašnjeg slobodnog volumena glavnih komponenata (povećanje inventara vode) čime se ublažavaju efekti prijelaznih pojava te produžuje vrijeme unutar kojeg operateri trebaju poduzeti odgovarajuće akcije. Tako npr. povećani volumen tlačnika omogućuje da se dio prijelaznih pojava svlada bez otvaranja sigurnosnih ili rasteretnih ventila, dok u slučaju gubitka napojne vode veći volumen parogeneratora produljuje vrijeme isušivanja i time daje više vremena za poduzimanje protumjera.

Reaktorska posuda je projektirana za radni vijek od 60 godina. Masivna unutrašnja posuda, veći razmak između unutrašnje i vanjske reaktorske posude, te teški reflektor od nehrđajućeg čelika osiguravaju pojačanu zaštitu od neutronskog toka. Reflektor se nalazi između vanjskog dijela jezgre i cilindrične stijenke unutrašnje posude, a uloga mu je izravnavanje raspodjele proizvedene snage, odnosno smanjenje bijega brzih neutrona čime se smanjuje utjecaj neutronskog toka na reaktorsku posudu. Teški reflektor predstavlja inovaciju u odnosu na prijašnje izvedbe čiji je cilj, osim doprinosa zaštiti reaktorske posude, postići i uštedu u troškovima goriva (3-5%). Sama jezgra je nešto većih dimenzija (241 gorivni element, 17x17 raspored gorivnih štapova) u odnosu na reaktore iz serije N4 (205, 18x18) i Konvoi (193, 18x18). Ostale karakteristike reaktorske jezgre, kao i drugi parametri prikazani su u tablici 2. Dodatne su značajke i smještaj aktivne jezgre ispod najniže točke primarnih cjevovoda, te povećani stupac vode iznad gornjeg ruba jezgre i otvora ulaznih i izlaznih cjevovoda, čime je smanjena vjerojatnost oštećenja jezgre u slučajevima gubitka primarnog hladioca.

Tablica 2. Osnovni projektni parametri

• toplinska snaga	4250 MW
• električna snaga	1450 MW
• sustav reaktorskog hladioca	
broj rashladnih petlji	4
radni tlak	155 bar
temperatura ulaz/izlaz	291.3/326.3 °C
ukupni maseni protok	21050 kg/s
• tlak pare na punom opterećenju	72.5 bar
• tlak pare u toploj obustavi	84.6 bar
• reaktorska jezgra	
gorivo	MOX (50%), UO_2 (100%)
odgor	45 MWd/kg MOX, 60 MWd/kg UO_2
broj gorivnih elemenata	241
broj gorivnih štapova u elementu	17x17 - 25
aktivna visina jezgre	420 cm
srednja linearna gustoća snage	155 W/cm
ukupni inventar goriva	aproks. 141 t
maksimalno obogaćenje	4.9% U235
gorivni ciklus	12-24 mjeseci

Osim većeg volumena, ugradnja aksijalnog pregrijača pare u parogeneratore još je jedna razvojna značajka. Pregrijač pare omogućuje povišenje tlaka pare za 3 bara, čime je postignuto povećanje stupnja iskorištenja elektrane preko 36%. Što se tiče materijala za izradu U-cijevi u obzir dolaze Incoloy 800, odnosno Inconel 690.

Tlačnik je klasične izvedbe s povećanim slobodnim volumenom, te s naglaskom na olakšani pregled i zamjene sustava za ubrizgavanje i grijača. Kako bi se, još dodatno, dostigao radni vijek od 60 godina te zadovoljili zahtjevi za fleksibilnošću, linije sustava za ubrizgavanje vode u normalnom pogonu i pomoćna linija su u potpunosti međusobno odvojene.

Crpka rashladnog fluida reaktora zadržava postojeću izvedbu uz dodatno ugrađene brtve. Funkcija tih brtvi je spriječiti propuštanje rashladnog fluida u slučaju degradacije brtvi na osovini kod gubitka svih izmjeničnih napajanja.

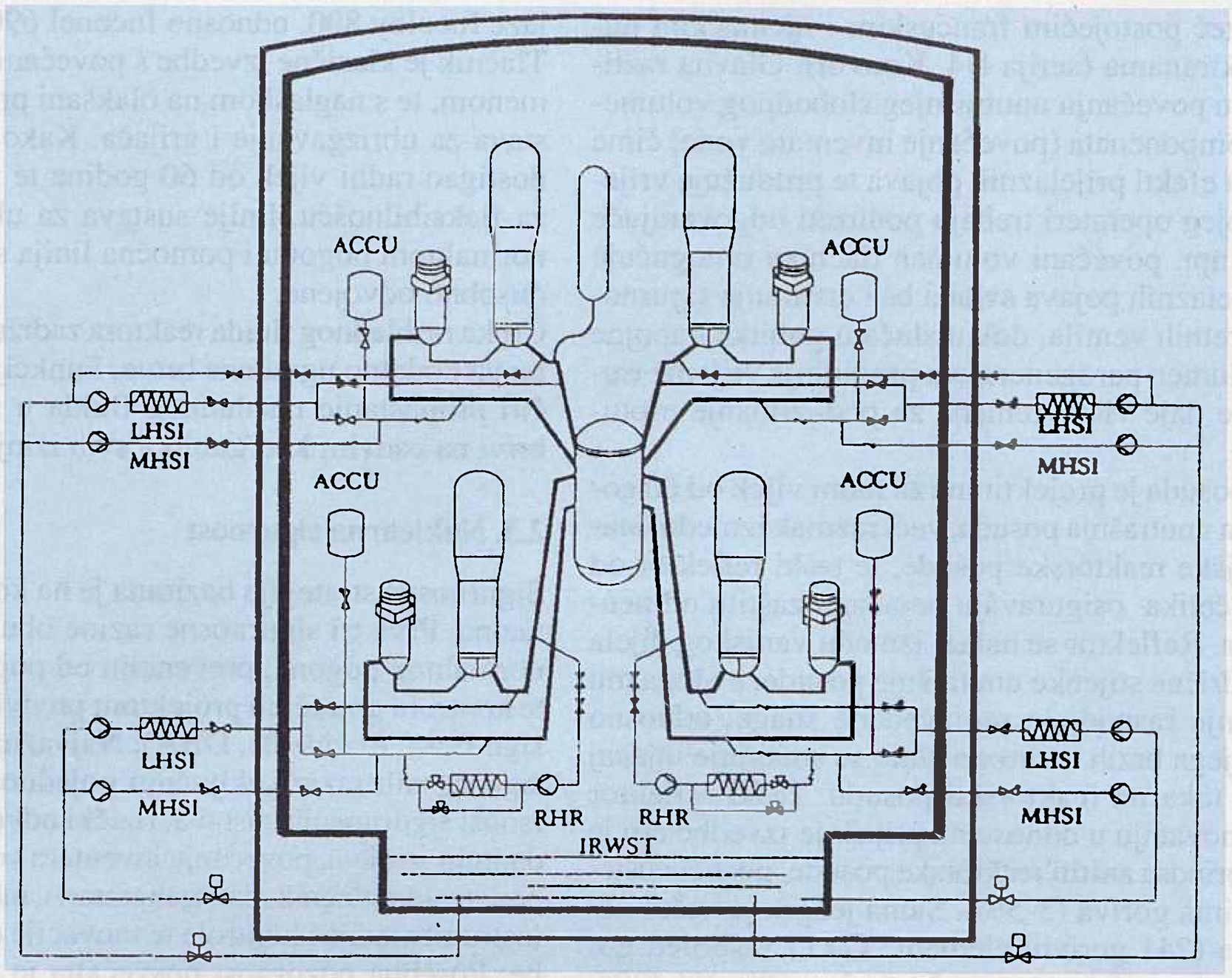
2.3. Nuklearna sigurnost

Sigurnosna strategija bazirana je na konceptu sigurnosnih razina. Prve tri sigurnosne razine obuhvaćaju održavanje normalnog pogona, prevenciju od pogonskih poremećaja te kontrolu graničnih projektom predviđenih kvarova (Design Basis Accidents, DBA). Najvažnija poboljšanja ovih sigurnosnih razina uključuju pojednostavljenje i raznovrsnost sigurnosnih sustava, fizički odvojen smještaj redundantnih sustava, povećanje inventara vode u važnijim komponentama (tlačnik, parogeneratori), modernizaciju sustava instrumentacije i kontrole te inovacije unutar kontrolne sobe. Posebna pozornost posvećana je uvođenju nove, četvrte sigurnosne razine za kontrolu ozbiljnih kvarova (izvan graničnih projektom predviđenih kvarova – *beyond DBA*). Mjere predviđene za svladavanje takvih kvarova sastoje se od prevencije pojava koje dovode do topljenja jezgre, zadržavanja rastopljene jezgre unutar zaštitne zgrade, održavanja kratkotrajnih i dugotrajnih funkcija zaštitne zgrade, zaštite od direktnog propuštanja zaštitne zgrade, te osiguravanja adekvatnog dugotrajnog hlađenja.

2.3.1. *Sigurnosni sustavi*

Sigurnosni sustavi s pripadajućim funkcijama (sigurnosno ubrizgavanje, napojna voda u nuždi, hlađenje komponenata, električno napajanje u nuždi) bazirani su na kombinaciji principa raznovrsnosti (N4) i četverostruke redundancije (Konvoi). Svaki sustav se sastoji od četiri identična podsustava (za svaku primarnu petlju) koji su smješteni u različite, fizički međusobno odvojene dijelove sigurnosnih zgrada. Odvojeni fizički smještaj komponenata dodatna je sigurnosna mjera za sprečavanje otkazivanja svih podsustava, npr. u slučaju požara ili poplave. Raznovrsnost izvedbi osigurava očuvanje integriteta sigurnosnih funkcija. U slučaju otkazivanja identičnih podsustava zbog istog uzroka (propusti u konstrukciji ili izvedbi komponenata), sigurnosnu funkciju preuzimaju sustavi bazirani na drugim principima rada. Kombinacija visokog stupnja redundantnosti i različitih principa rada ne samo da povećava pouzdanost sigurnosnih sustava, već i daljnje smanjuje vjerojatnost pojave teških nezgoda. Shematski prikaz sigurnosnih sustava primarnog kruga nalazi se na slici 1.

Sustav sigurnosnog ubrizgavanja (*safety injection*) mora ublažiti sve akcidente gubitka hladioca, specifične događaje u sekundarnom krugu (lom glavnog parovoda), te slijed događaja koji vode do pogona napajanjem i istjecanjem hladioca (*feed and bleed operation*). Sustav mora osigurati odvođenje topline, inventar hladioca te kontrolu reaktivnosti. Sustav sigurnosnog ubrizgavanja sastoji se



ACCU: akumulator,
LHSI: sustav sigurnosnog ubrizgavanja niskog tlaka,
MHSI: sustav sigurnosnog ubrizgavanja srednjeg tlaka,
RHR: sustav za odvođenje ostatne topline,
IRWST: spremnik borirane vode za izmjenu goriva

Slika 1. Sigurnosni sustavi primarnog kruga

od tri podsustava. To su sustav sigurnosnog ubrizgavanja srednjeg tlaka (proradni tlak 80 bara), akumulatori pod tlakom dušika (45 bara), te sustav sigurnosnog ubrizgavanja niskog tlaka (25 bara). Proradni tlak sustava srednjeg tlaka podešen je ispod postavnih vrijednosti rasteretnih i sigurnosnih ventila parogeneratora. U slučaju loma cijevi u parogeneratoru doći će do izolacije oštećenog parogeneratora i izjednačavanja primarnog i sekundarnog tlaka, čime će se ispuštanje radioaktivnih tvari koje prati ovakve akcidente svesti na zanemarivu razinu. Svaki akumulator volumena 50 m^3 ubrizgava vodu u odgovarajuću hladnu granu, kao i sustav srednjeg tlaka. Sustav niskotlačnog sigurnosnog ubrizgavanja kombinira ubrizgavanje i u hladnu i u toplu granu, što omogućuje ravnomjerniju raspodjelu koncentracije bora u reaktorskoj jezgi. Osim toga proradni tlak od 25 bara povoljno djeluje na pogon napajanjem i istjecanjem, te podupire ubrizgavanje iz akumulatora na optimalan način čime pokriva širok spektar veličina loma. Pomoćna funkcija niskotlačnog sustava je i nadopuna sustava za odvođenje ostatne topline.

Sustav napojne vode u nuždi (*emergency feedwater*) sastoji se od četiri odvojena i nezavisna podsustava, od kojih svaki osigurava ubrizgavanje u odgovarajući parogenerator. Voda se usisava iz spomenika napojne vode u nuždi, koji su zajedno s ostalim komponentama sustava smješteni u sigurnosnim zgradama. Usisne crpke pogone elektromotori koji se napajaju iz dva različita izvora. Za uvjete ulaska i izlaska iz pogona predviđen je i odgovarajući sustav za pokretanje i obustavu. Namjena sustava je smanjenje učestalosti aktivacije sustava napojne vode u nuždi te time povećanje ukupne pouzdanosti opskrbe napojnom vodom. Sustav napojne vode u nuždi mora osigurati dovoljan kapacitet za odvođenje topline, te omogućiti kontinuirano odvođenje ostatne topline tijekom 24 sata, kad temperatura reaktorskog hladioca ne prelazi nominalne uvjete u obustavi.

Sustav odvođenja ostatne topline *(residual heat removal)* kombinira pogonske i sigurnosne funkcije. U normalnom pogonu, nakon reaktorske obustave, funkcija mu je sniziti temperaturu primarnog hladioca na 60°C uz pretpostavku rada barem jedne reaktorske crpke i maksimalne predviđene temperature pomoćne vode (za hlađenje sustava za hlađenje komponenata). Sigurnosna mu je funkcija zadržati temperaturu rashladnog fluida pri ulazu u toplu granu ispod 180°C nakon reaktorske obustave. Sustav se sastoji od dva odvojena i nezavisna podustava smještena unutar zaštitne zgrade što minimizira rizik od zaobilaženja zaštitne posude *(containment bypass)*. Svaki podsustav je priključen paralelno s pripadajućom glavnom rashladnom petljom. Crpke sustava oduzimaju vodu za hlađenje iz tople grane koja se nakon prolaska kroz izmjenjivač topline vraća u hladnu granu. Zaobilaženjem izmjenjivača topline moguće je kontrolirati brzinu hlađenja. Izmjenjivači topline se hlade preko sustava za hlađenje komponenata, koji su smješteni u istom dijelu s pripadajućim sustavom za odvođenje ostatne topline. Pod uvjetima normalnog hlađenja prijelaz s odvođenja topline preko parogeneratora na sustav za odvođenje ostatne topline predviđen je kod prosječne temperature primarnog hladioca od 120°C. U slučaju otkazivanja sustava njegovu funkciju preuzimaju dva podsustava niskotlačnog sigurnosnog ubrizgavanja, koji mu služe kao rezerve, a priključeni su na druge dvije glavne rashladne petlje.

2.3.2. *Zaštitna zgrada*

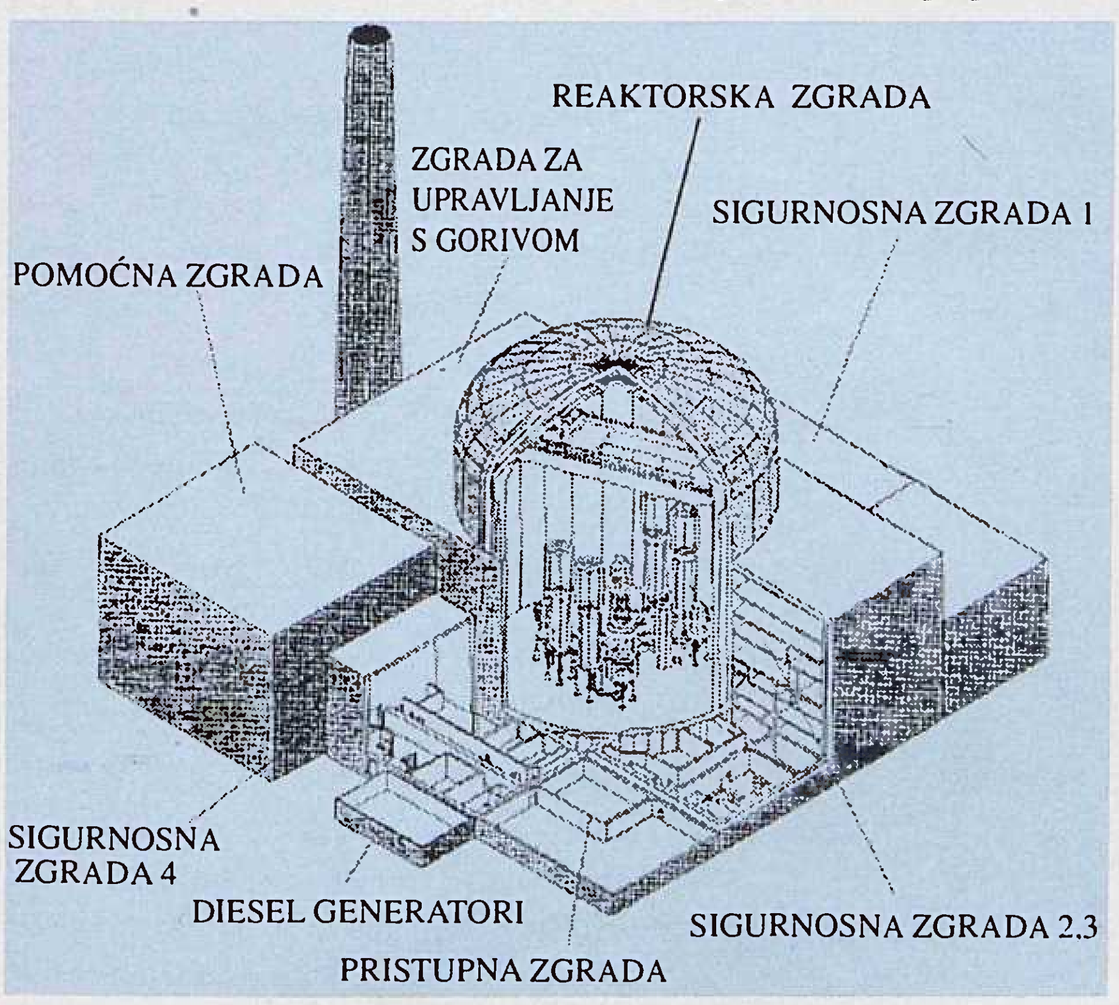
Zaštitna zgrada s dvostrukim zidovima osigurava pojačanu zaštitu i prema okolini i prema reaktoru. Unutrašnja zaštitna posuda izrađena je od prednapregnutog betona i projektirana na tlak od 6.5 bara, uz maksimalno propuštanje koje je za taj slučaj manje od 1% dan ukupnog volumnog sadržaja. Moguće propuštanje zadržava se i filtrira unutar prstenastog prostora između unutrašnje posude i vanjske zaštitne zgrade.

Ispod reaktorske posude nalazi se poseban prostor čija je funkcija zadržavanje rastopljene jezgre unutar zaštitne zgrade. Nakon što reaktorska posuda izgubi integritet, rastopljena se jezgra pod djelovanjem gravitacije usmjerava u taj prostor *(core-spreading compartment)* gdje se širi i formira tanak sloj kojeg se hlađenjem prevodi u kruto stanje i zadržava unutar zaštitne zgrade. Za hlađenje rastopljene jezgre koristi se voda iz spremnika vode za izmjenu goriva koji se smješten unutar zaštitne zgrade (*in-containment refueling water storage tank*). Smještajem tog spremnika unutar zgrade i pojednostavljenjem sustava sigurnosnog ubrizgavanja omogućeno je reduciranje veličine sustava za tuširanje unutrašnjosti zaštitne posude.

2.3.3. *Prostorni raspored objekata postrojenja*

Reaktorsku zgradu okružuje zgrada za rukovanje s gorivom te četiri sigurnosne zgrade u kojima su smješteni sigurnosni sustavi, slika 2. Svi sigurnosno orijentirani sustavi projektirani su po principu četverostruke redundacije, potpuno su fizički odvojeni i raspoređeni u četiri međusobno nezavisne jedinice. Svaka se jedinica sastoji od komponenata sustava niskotlačnog ubrizgavanja s pripadajućim sustavom za hlađenje komponenata, sustava srednjetlačnog ubrizgavanja te sustava napojne vode u nuždi, a nalazi se u odgovarajućoj sigurnosnoj zgradi. Pripadajući električni sustavi i sustavi instrumentacije i kontrole smješteni su na višoj elevacijskoj razini. Takav prostorni raspored proizišao je iz zahtjeva da spojevi sigurnosnih sustava na primarni rashladni sustav budu što kraći.

Reaktorska zgrada, zgrada za rukovanje s gorivom te sigurnosne zgrade smještene su na zajedničkoj temeljnoj podlozi i projektirane tako da izdrže vanjske udare poput eksplozije ili potresa. Zaštita objekata od pada zrakoplova postignuta je dodatnim ojačanjem (*bunkerization*) reaktorske zgrade, zgrade za rukovanje s gorivom te dvije sigurnosne zgrade u kojima se nalazi i glavna kontrolna soba. Unutrašnje strukture odvojene su od vanjskih kako bi se umanjile inducirane vibracije. Preostale dvije sigurnosne zgrade smještene su na suprotnim stranama reaktorske zgrade što u slučaju hipotetičke nezgode umanjuje rizik otkazivanja sigurnosnih sustava u obje zgrade istodobno.



Slika 2. Prostorni raspored objekata

2.4. Ekonomičnost

Iako će dodatne sigurnosne mjere povećati investicijske troškove, EPR mora ostati konkurentan drugim tipovima elektrana u pogledu troškova proizvodnje električne energije. Stoga se niži troškovi proizvodnje nastoje postići dodatnim mjerama već u samoj fazi projektiranja i to:

Jednostavnijom i redundantnijom konfiguracijom sigurnosnih sustava. Pojednostavljenje konfiguracije sigurnosnih sustava jedan je od projektnih pristupa koji osigurava prednost ekonomičnosti EPR-a. Kako je već ranije spomenuto, izvedba kombinira prednosti sistemske konfiguracije koja koristi raznovrsne pomoćne sigurnosne funkcije s konceptom osiguranja visokog stupnja redundantnosti međusobnim razdvajanjem funkcija. Visok stupanj redundancije ima značajne prednosti u pogledu optimizacije preventivnog održavanja što omogućuje da se održavanje i inspekcija odvijaju tijekom pogona. Time se skraćuje trajanje godišnjeg remonta i povećava raspoloživost elektrane.

Standardizacijom postrojenja i komponenata. Izgradnja jedne ili više standardiziranih jedinica, osobito na istoj lokaciji, dozvoljava smanjenje investicijskih troškova svakog sljedećeg postrojenja. Standardizacija se ne primjenjuje samo na postrojenje već i na opremu i komponente unutar postrojenja čime se smanjuju troškovi inžinjeringa, dobave, treninga osoblja, rezervnih dijelova i dr. Već od samog početka rada na osnovnom projektu posebna se pozornost posvetila uvođenju kataloga opreme (cijevi, ventila, ugrađenih dijelova i sl.). Osim ako vjerojatnosna sigurnosna procjena ne zahtijeva raznovrsnu opremu, radi olakšanog i jednostavnijeg održavanja koristit će se identične komponente (crpke, izmjenjivači topline).

Povećanom raspoloživošću i iskorištenjem. EPR je projektiran na ukupnu prosječnu raspoloživost veću od 87%. Najvažniji faktor koji tome pridonosi je trajanje izmjene goriva koje se prema zacrtanom cilju ne predviđa duže od 25 dana. Učestalost automatske brze obustave reaktora planira se smanjiti (manje od jednog događaja godišnje) uvođenjem posebnih I&C funkcija *(Instrumentation & Control functions)* kako bi se izbjegle obustave izazvane određenim tranzijentima.

Veličinom jedinica (1500 MW). Veće jedinice imaju niže specifične troškove. Troškovi pogonskog osoblja, drugi troškovi pogona i održavanja ne ovise o veličini jedinice, te se mogu smatrati fiksnim troškovima. Stoga je očito da veličina jedinica ima značajan utjecaj na specifične troškove pogona i održavanja, a time i na troškove proizvodnje električne energije. (Gornje ograničenje snage uvjetovano je stabilnošću elektroenergetske mreže).

Projektnim parametrima jezgre. Produljenje gorivnog ciklusa, povećani odgor, te poboljšanje iskorištenja goriva utječu na smanjivanje troškova goriva.

Produženjem radnog vijeka (60 g). Duži radni vijek pridonosi održavanju niskih troškova proizvodnje jer se time osigurava i duži vremenski period za povrat investicija.

3. ZAKLJUČAK

U svijetu je trenutno u razvoju nekoliko projekata naprednih tipova reaktora, reaktora za 21. stoljeća. Jedan od tih projekata je i zajednički francusko-njemački tlakovodni reaktor (EPR), koji će zasigurno postaviti nove standarde u sigurnosti i ekonomičnosti nuklearnih postrojenja. Prema sadašnjim procjenama, prva bi se EPR jedinica trebala priključiti na mrežu do 2005. godine u Francuskoj i/ili Njemačkoj. Dokaže li svoju ekonomičnost, EPR bi mogao biti dobar izbor, kako za zamjenu starijih postrojenja u drugim industrijskim zemljama, tako i onih nižih sigurnosnih standarda, osobito u zemljama Istočne Europe. Isto tako ne treba zanemariti ni pokrivanje porasta potražnje za električnom energijom, prvenstveno u onim zemljama za koje se predviđa ili koje su u zadnjih nekoliko godina doživjele nagli razvoj.

LITERATURA

[1] L. KABANOV: "Future nuclear power plants: Harmonizing safety objectives", IAEA Bulletin <URL:http//www.iaea.or.at/worldatom/inforesource/bulletin/bull374/kabanov.html>, (03.03.1997.)

[2] "Advanced Reactors", Nuclear Issues Briefing Paper 16, January 1997. <URL:http://www.uic.com.au/nip16.htm>, (26.02.1997.)

[3] "Advanced-Design Nuclear Power Plants", January 1997. <URL:http//www.nei.org/main/pressrm/facts/alwrs.htm>, (06.03.1997.)

[4] D. FERETIĆ, N. ČAVLINA, T. BAJS "Analiza razvoja i sigurnosti nove generacije nuklearnih elektrana", Zagreb 1994.

[5] "European Pressurized Water Reactor: The future european reactor", press kit, Strasbourg-13 November 1995, <URL:http// www.edf.fr/html/en/edf/scr/niv3/eprf.htm>, (03.03.1997.)

[6] "Main nuclear systems of the future european pressurized water reactor", Framatome Nuclear Newsletter No. 49, March 1996.

[7] W. BÜRKLE: "Evolutionary safety for the European PWR", Modern Power Systems, April 1993.

[8] R. LEVERENZ: "The European Pressurized Water Reactor: Toward Enhanced Safety and Operating Economy", Siemens Power Journal 2/96, International Edition, August 1996.

[9] U. FISCHER: "Reduction of operation & maintenance costs from the design point of view of the EPR", Nuclear Europe Worldscan 11-12/1996.

ADVANCED CONSTRUCTION OF NUCLEAR REACTORS: EUROPEAN PRESSURISED REACTOR (EPR)

Increasing consideration of the influence of fossil fuels burning on the environment led to the renewal of interest for nuclear technology. A review of the development of the advanced nuclear reactors in the world is given whereby French-German project of the pressurised reactor is emphasized. Special attentiond is paid to security measures and facility economy.

FORTSCHRICHTSGERECHTE LÖSUNGEN VON KERNMEILERN: DER AUROPÄISSCHE DRUCKWASSERREAKTOR

Der Einfluss der Verbrennung fester, flüssiger un gasförmiger Brennstoffe auf die Umwelt ruft wachsende Besorgtheit hervor und hat zur Eneuerung des Interesses für kerntechnische Verfahren geführt. Im Artikel wird der Rückblick auf den alweltlichen Entwicklungszustand fortschrichtsgerechter Lösungen von Kernmeilern mit Nachdruck auf den französisch-deutschen Entwurf des Druckwasserreaktors gegeben. Den Sicherheitsmaßnahmen und der Wirschaftlichkeit ist dabei eine besondere Aumerksamkeit gewidmet.

Naslov pisca:

Renata Matanić, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda d.d.
Direkcija za proizvodnju
Ulica grada Vukovara 37
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1997-05-05.

OPTIMIZACIJA TIPA I PRESJEKA ZAŠTITNOG UŽETA NA DV 400 kV ŽERJAVINEC - HEVIZ

Mr. sc. Davor Nevečerel dipl. ing. - Predrag Pavlović, dipl. ing., Zagreb

UDK 621.316.9
STRUČNI ČLANAK

Izložena je problematika dimenzioniranja zaštitnog užeta DV 400 kV ŽERJAVINEC - HEVIZ, u dilemi odabira između zaštitnog užeta HRN N.C1.551 – 120/70 – AlMg1E/Č i HRN N.C1. 551 – 240/55 – AlMg1E/Č.

Ključne riječi: zaštitno uže, dimenzioniranje, podnosiva termička struja kratkog spoja.

1. UVOD

Direakcija za upravljanje i prijenos Hrvatske elektroprivrede je u realizaciji uspostave elektroenergetske 400 kV veze prema Mađarskoj odredila osnovne parametre potrebnog dalekovoda, u odnosu na izbor tipa voda (dvosustavni vod tipa "bačva"), izbor vodiča (dva užeta 490/65 Al/Č) i zaštitnog užeta (uže 240/55 Al/Mg1E/Č sa 24 svjetlovodna vlakna).
Sagledavajući moguću optimizaciju presjeka zaštitnog užeta u odnosu na eventualnu primjenu užeta manjih dimenzija, Stručni savjet Direkcije za upravljanje i prijenos Hrvatske elektroprivrede je ugovorio izradu studije [1], koja je trebala dati odgovor na zadani izbor između dva klasična i tipizirana zaštitna užeta primijenjena u Hrvatskoj na 400 kV vodovima, tj. između

– užeta HRN N.C1.551 - 240/55 - AlMg1E/Č, i
– užeta HRN N.C1.551 - 120/70 - Al/Mg1E/Č

uz napomenu da navedena užeta trebaju biti dodatno opremljena sa 24 svjetlovodna vlakna.
Kad pretpostavke podnosivih termičkih struja kratkog spoja (kA u sec) korišteni su podaci od 12,7 kA za uže nazivnih dimenzija 120/70, odnosno 23,2 kA za zaštitno uže 240/55.
Studijom [1] obrađeni su slučajevi za stanja planiranih elektroenergetskih mreža za 2000., 2010. i 2040. godine u Republici Hrvatskoj, sa ciljem da projektantima i investitoru predmetnog dalekovoda daju valjane podatke za izradu glavnog projekta i eventualne pripreme i planove za natječaje za isporuku zaštitnog užeta sa svjetlovodnim vlaknima, uvažavajući činjenicu da u elektroenergetskom sustavu Hrvatske elektroprivrede još nisu tipizirana zaštitna užeta sa svjetlovodnim vlaknima.

2. PERSPEKTIVE RAZVOJA KRATKOSPOJNIH SNAGA NA SABIRNICAMA 400 kV POSTROJENJA TS ŽERJAVINEC

Perspektiva razvoja kratkospojnih snaga na sabirnicama 400 kV rasklopnog postrojenja Žerjavinec sagledana je u tri karakteristična horizonta. To su:

I – elektroenergetski sustav nazivne 2000. godine (ulazak TS 400 kV Žerjavinec u pogon)
II – elektroenergetski sustav nazivne 2010. godine (perspektiva srednjeročnog razvoja mreže)
III – procjena razvoja 400 i 220 kV mreže Hrvatske za daljnju budućnost (nazivna 2040. godina)

Elektroenergetski sustav nazivne 2000. gdine (ulazak TS 400 kV Žerjavinec u pogon) prikazan je na slici 1., elektroenergetski sustav nazivne 2010. godine (srednjeročni razvoj mreže) na slici 2., a procjena razvoja 400 i 220 kV mreže Hrvatske za daljnju budućost (nazivna 2040. godina) na slici 3. Napomenimo, da su navedene konfiguracije mreže polazne mreže "Predstudije o dugoročnom razvoju veleprijenosne 400 i 220 kV mreže".
Za navedene mreže u nastavku je proveden proračun najvećih struja jednopolnog kratkog spoja, na kojem su temeljene sve daljnje analize.

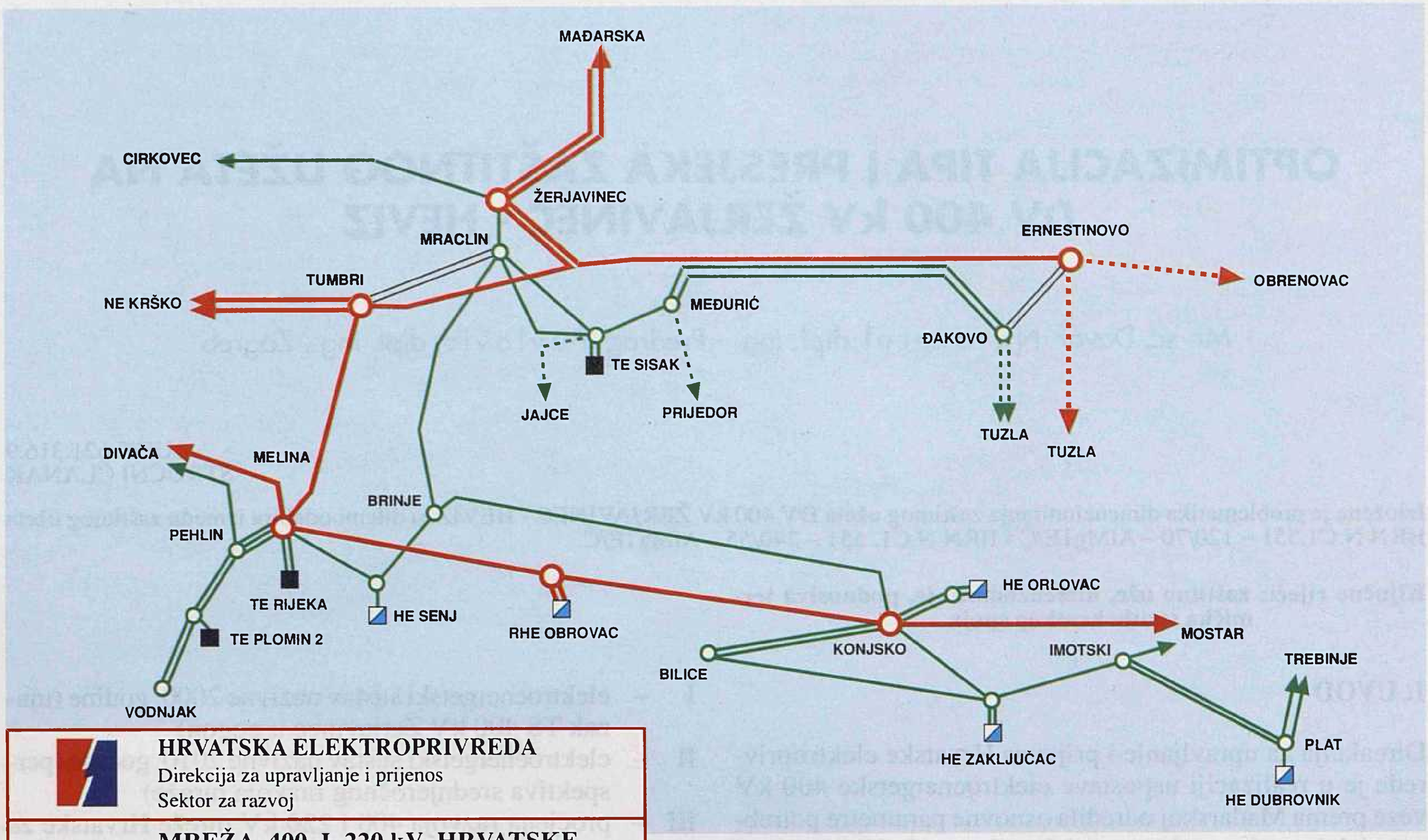
3. PRORAČUN NAJVEĆIH VRIJEDNOSTI POČETNIH STRUJA KRATKOG SPOJA NA SABIRNICAMA 400 kV TS 400/220/110 kV Žerjavinec

Rezultati proračuna kratkog spoja u mreži Hrvatske za nazivne 2000., 2005 i 2040. godinu, uz puno angažiranje svih objekata elektroenergetskog sustava (potpuno uzamčena mreža uz izravno uzemljenje svih angažiranih transformatora), daje slijedeće rezultate ukupnih početnih struja tropolnog i jednopolnog kratkog spoja na sabirnicama 400 kV u TS 400/220/110 kV Žerjavinec, za varijante razmatranih zaštitnih užeta:

varijanta 1 – zaštitno uže 240/55 AlMg1/Č sa svjetlovodnim vlaknima
varijanta 2 – zaštitno uže 120/70 AlMg1/Č sa svjetlovodnim vlaknima.

Za potrebe ove razrade razmotrene su sve tri moguće varijante transformacija 400/220/110 kV u TS Žerjavinec:

a) transformacija 400/115/31,5 kV, 300/300/100 MVA
b) transformacija 400/231/31,5 kV, 400/400/100 MVA
   transformacija 220/115/31,5 kV, 2x150/150/50 MVA

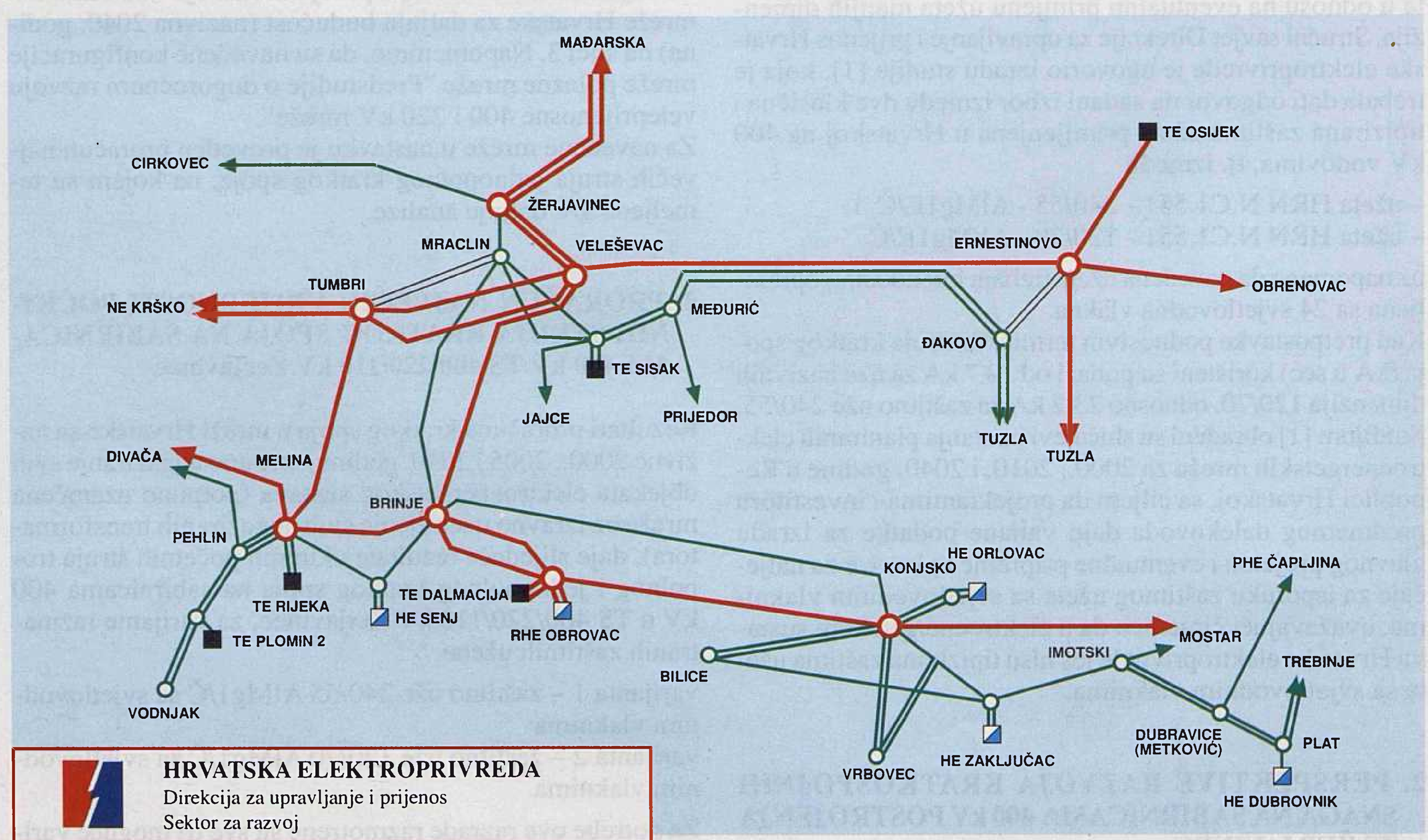


HRVATSKA ELEKTROPRIVREDA
Direkcija za upravljanje i prijenos
Sektor za razvoj

MREŽA 400 I 220 kV HRVATSKE STANJE NAZIVNE 2000.g.

Izradili : Anđelko Dujmović, dipl.ing.
Božidar Radmilović, dipl.ing.
Franjo Vidaković, dipl.ing.
Željko Koščak, dipl.ing.

Slika 1.

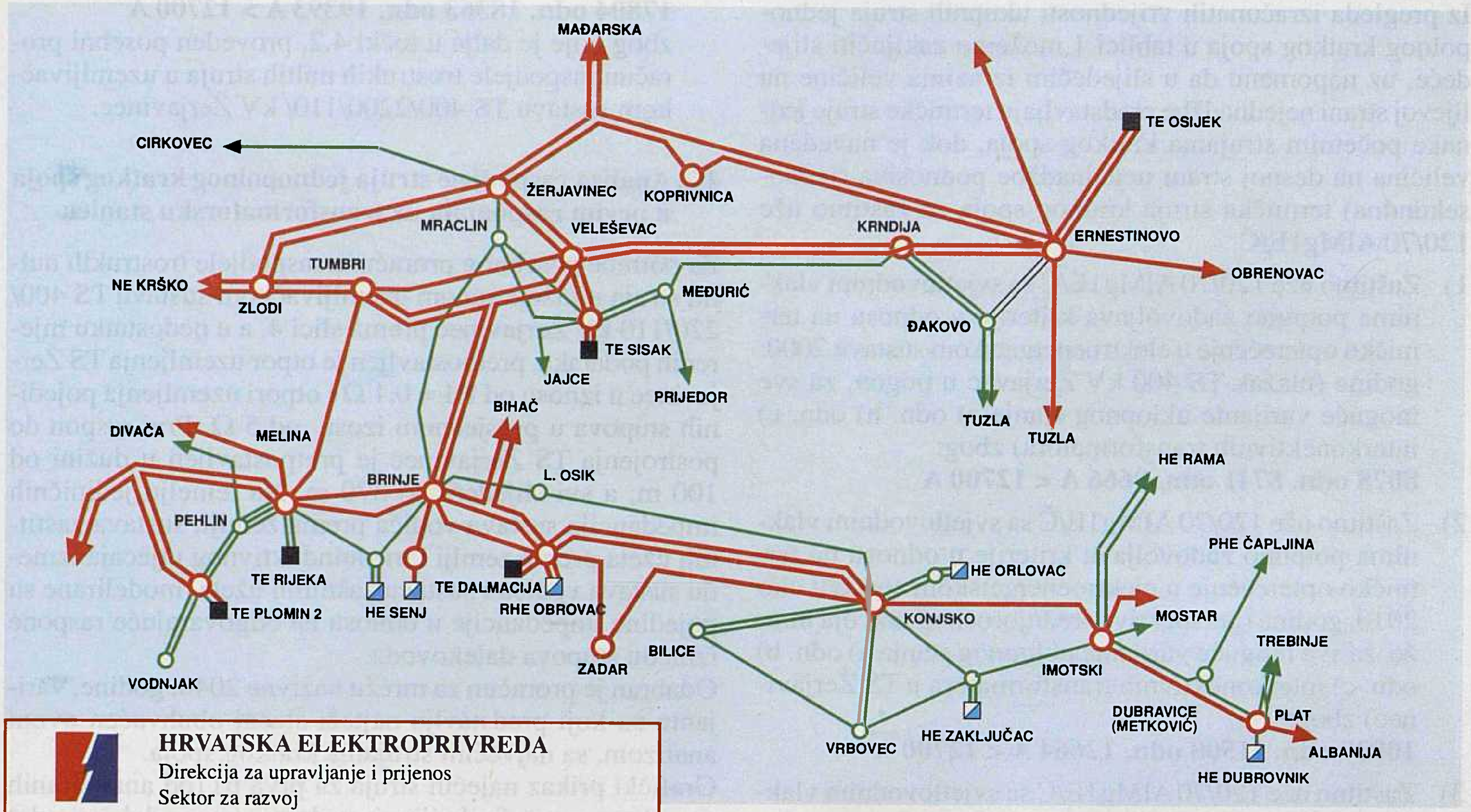


HRVATSKA ELEKTROPRIVREDA
Direkcija za upravljanje i prijenos
Sektor za razvoj

MREŽA 400 I 220 kV HRVATSKE STANJE NAZIVNE 2010.g.

Izradili : Božidar Radmilović, dipl. ing.
Željko Koščak, dipl. ing.

Slika 2.



HRVATSKA ELEKTROPRIVREDA
Direkcija za upravljanje i prijenos
Sektor za razvoj

MREŽA 400 I 220 kV HRVATSKE. STANJE NAZIVNE 2040.g.

Izradili : Anđelko Dujmović, dipl.ing.
Božidar Radmilović, dipl.ing.
Franjo Vidaković, dipl.ing.
Željko Koščak, dipl.ing.

Slika 3.

c) transformacija 400/231/31,5 kV, 400/400/100 MVA
transformacija 400/115/31,5 kV, 300/300/100 MVA

Pregled izračunatih vrijednosti ukupnih struja jednopolnog kratkog spoja za mreže nazivne 2000. godine, nazivne 2010. godine i nazivne 2040. godine, za sve varijante proračuna u odnosu na priključak interkonekonektivnih transformatora u TS Žerjavinec prikazuje tablica 1.

Tablica 1. Pregled ukupnih struja jednopolnog kratkog spoja

Situacija	Varijanta	zaštitno uže: 240/40 AlMg1/Č	zaštitno uže: 120/70 AlMg1/Č
	a	8086	8078
Mreža nazivne 2000. g.	b	8717	8711
	c	9671	9666
	a	10945	10937
Mreža nazivne 2010. g.	b	11515	11508
	c	12671	12664
	a	17815	17804
Mreža nazivne 2040. g.	b	18363	18356
	c	19399	19393

Navedeni podaci izračunatih vrijednosti ukupnih struja jednopolnog kratkog spoja za mreže nazivne 2000. godine, nazivne 2010. godine i nazivne 2040. godine, za sve varijante proračuna u odnosu na priključak interkonekonektivnih transformatora u TS Žerjavinec predstavljaju dalje polazni podatak za provedbu dimenzione analize navedenih zaštitnih užadi.

4. PRORAČUN NAJVEĆIH VRIJEDNOSTI TROSTRUKIH NULTIH STRUJA U ZAŠTITNOM UŽETU DV 400 kV ŽERJAVINEC - HEVIZ

4.1. Određivanje najveće moguće struje jednopolnog kratkog spoja u zaštitnom užetu prema jednostavnom aproksimativnom proračunu

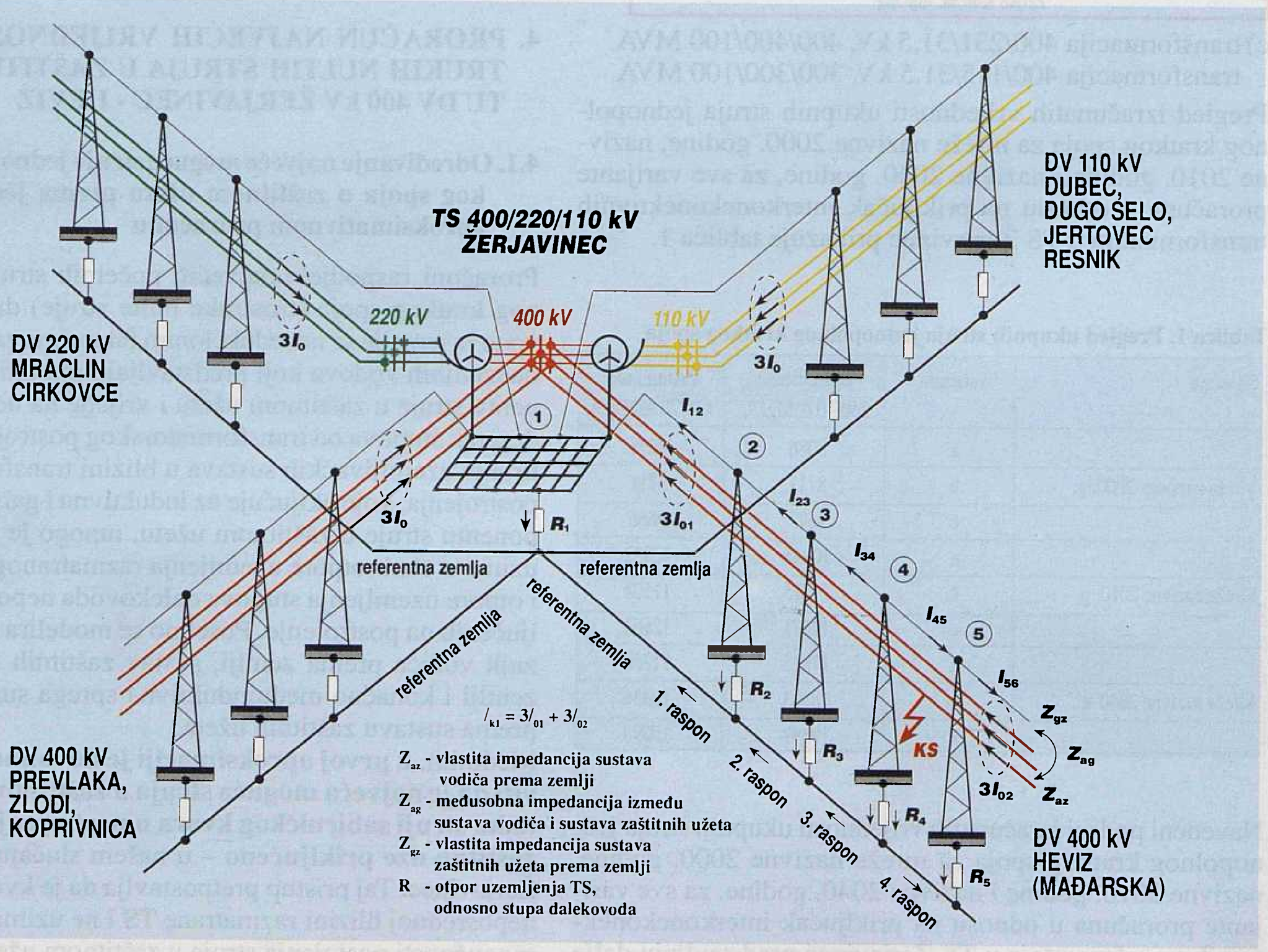
Proračuni raspodjele najvećih početnih struja jednopolnog kratkog spoja (trostruke nulte struje) duž pojedinih vodova temelje se na redukcionim faktorima zaštitnih užeta nadzemnih vodova koji predstavljaju induktivnu komponentu struje u zaštitnom užetu i vrijede na udaljenosti od desetak stupova od transformatorskog postrojenja. Modeliranje uzemljivačkih sustava u blizini transformatorskog postrojenja, koje uključuje uz induktivnu i galvansku komponentu struje u zaštitnom užetu, mnogo je složenije jer uzima u obzir otpore uzemljenja razmatranog postrojenja i otpore uzemljenja stupova dalekovoda neposredno priključenih na postrojenje. Posebno se modelira sustav trofaznih vodiča prema zemlji, sustav zaštitnih užeta prema zemlji i konačno međuinduktivna sprega sustava vodiča prema sustavu zaštitnih užeta.
Međutim, **u prvoj aproksimaciji je dovoljno pretpostaviti da je najveća moguća struja u zaštitnom užetu jednaka struji sabirničkog kvara u postrojenju na koje je zaštitno uže priključeno** – u našem slučaju TS 400 kV Žerjavinec. Taj pristup pretpostavlja da je kvar nastupio u neposrednoj blizini razmatrane TS i ne uzima u obzir niti mogućnosti postojanja struje u zaštitnom užetu iz suprotne TS, koja se ne superponira ukupnoj struji kratkog spoja.

Iz pregleda izračunatih vrijednosti ukupnih struja jednopolnog kratkog spoja u tablici 1 možemo zaključiti slijedeće, uz napomenu da u slijedećim izrazima veličine na lijevoj strani nejednadžbe predstavljaju termičke struje jednake početnim strujama kratkog spoja, dok je navedena veličina na desnoj strani nejednadžbe podnosiva (jednosekundna) termička struja kratkog spoja za zaštitno uže 120/70 AlMg1E/Č.

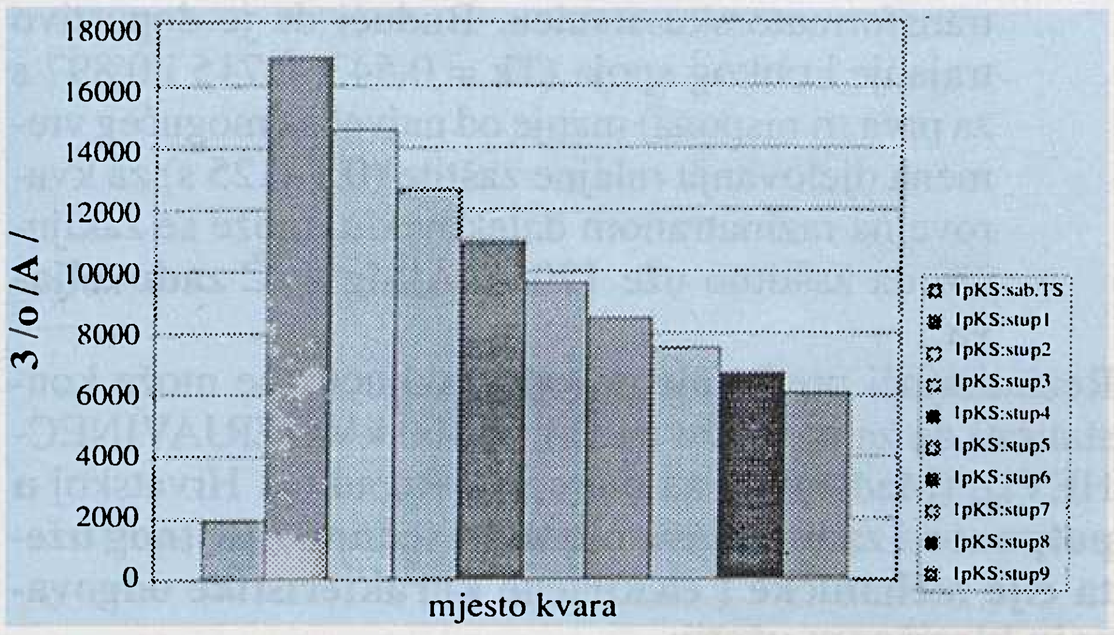
1) Zaštitno uže 120/70 AlMg1E/Č sa svjetlovodnim vlaknima potpuno zadovoljava kriterije u odnosu na termičko opterećenje u elektroenergetskom sustavu 2000. godine (ulazak TS 400 kV Žerjavec u pogon, za sve moguće varijante uklopnog stanja a) odn. b) odn. c) interkonektivnih transformatora) zbog:
8078 odn. 8711 odn. 9666 A < 12700 A
2) Zaštitno uže 120/70 AlMg1E/Č sa svjetlovodnim vlaknima potpuno zadovoljava kriterije u odnosu na termičko opterećenje u elektroenergetskom sustavu oko 2010. godine (perspektiva srednjoročnog razvoja mreže, za sve moguće varijante uklopnog stanja a) odn. b) odn. c) interkonektivnih transformatora u TS Žerjavinec) zbog:
10937 odn. 11508 odn. 12664 A < 12700 A
3) Zaštitno uže 120/70 AlMg1E/Č sa svjetlovodnim vlaknima u odnosu na kriterije termičke opteretivosti u elektroenergetskom sustavu Hvatske za daljnju budućnost (nazivna 2040. godina), za sve moguće varijante uklopnog stanja a) odn. b) odn. c) interkonektivnih transformatora u TS Žerjavinec, pokazuje relaciju:
17804 odn. 18363 odn. 19393 A > 12700 A
zbog koje je dalje u točki 4.2. proveden posebni proračun raspodjele trostrukih nultih struja u uzemljivačkom sustavu TS 400/2200/110/ kV Žerjavinec.

4.2. Analiza raspodjele struja jednopolnog kratkog spoja u prvim rasponima uz transformatorsku stanicu

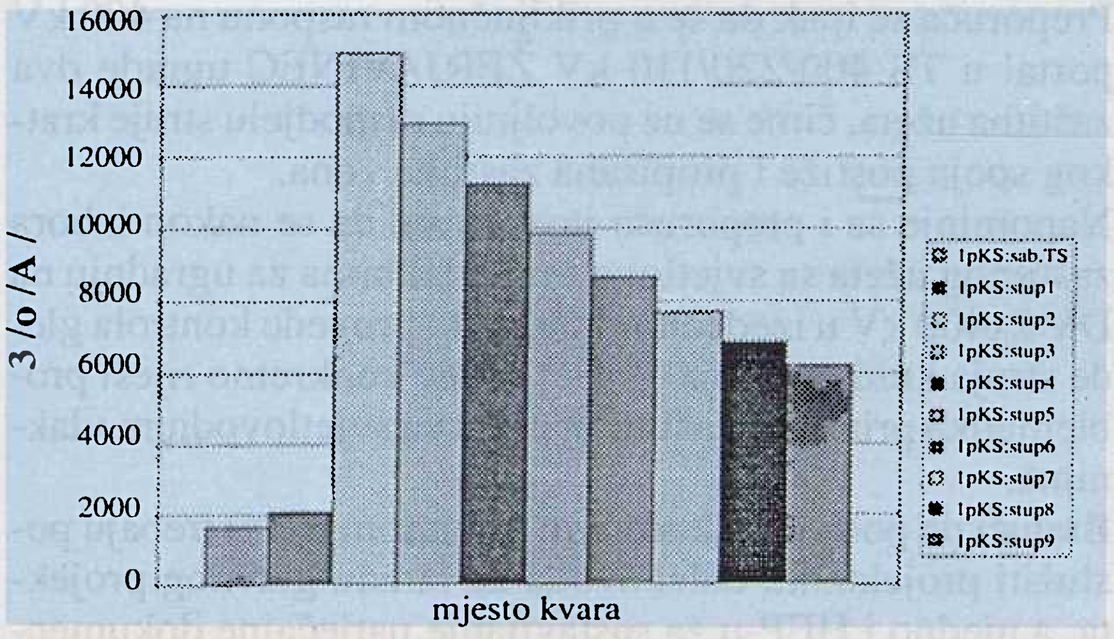
Za potrebe posebnog proračuna raspodjele trostrukih nultih struja u razmatranom uzemljivačkom sustavu TS 400/220/110 kV Žerjavinec prema slici 4, a u nedostatku mjerenih podataka, pretpostavljen je otpor uzemljenja TS Žerjavinec u iznosu od R1 = 0.1 Ω i otpori uzemljenja pojedinih stupova u prosječnom izosu od 5 Ω. Prvi raspon do postrojenja TS Žerjavinec je pretpostavljen u dužini od 100 m, a svi slijedeći po 370 m. Na temelju jediničnih impedancija sustava vodiča prema zemlji, sustava zaštitnih užeta prema zemlji i međuinduktivnog utjecaja između sustava vodiča i sustava zaštitnih užeta, modelirane su pojedine impedancije u odnosu na odgovarajuće raspone između stupova dalekovoda.
Odabran je proračun za mrežu nazivne 2040. godine, varijanta c., koji predstavlja najteži slučaj obuhvaćen ovom analizom, sa najvećim strujama kratkog spoja.
Grafički prikaz najećih struja za prva tri (od analiziranih osam) raspona u funkciji mjesta kvara (stupa dalekovoda) prikazan je na slikama 5-7, iz kojeg je vidljivo da se tjeme struje u zaštitnom užetu pomiče sa mjestom kvara, sa tendencijom pada u odnosu na udaljenost od uzemljivača postrojenje TS Žerjavinec.



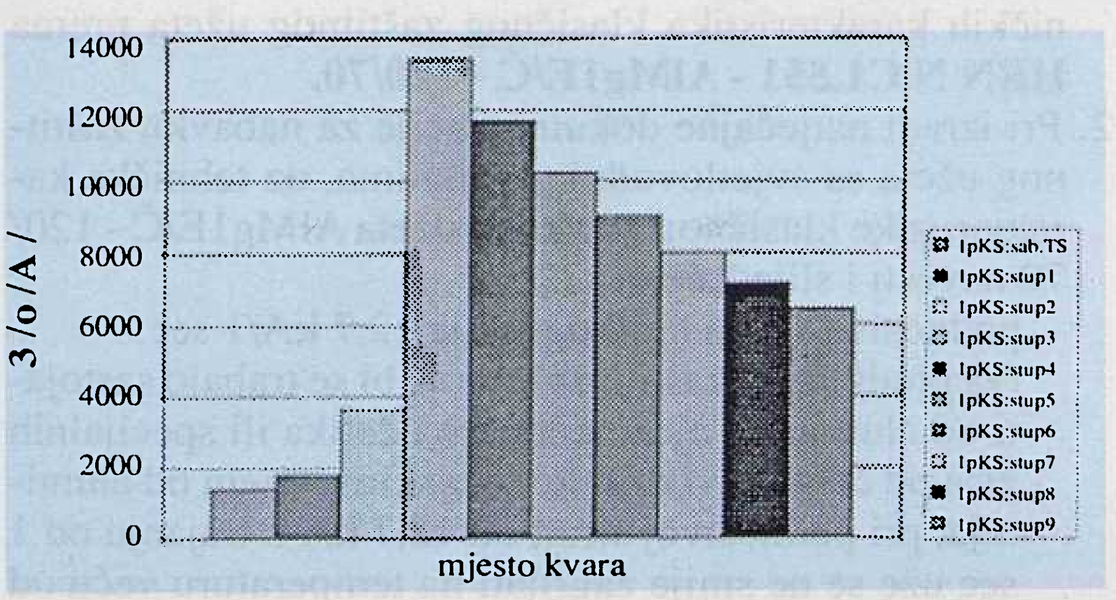
Slika 4. Principijelna shema uzemljivačkog sustava TS Žerjavinec za proboj izolacije prema uzemljenom stupu br. 4 DV 400 kV za mrežu nazivne 2040. godine



Slika 5. Struje 3*Io* u zaštitnom užetu prvog raspona DV 400 kV Žerjavinec-Heviz u zavisnosti od mjesta kvara (stup DV), za EES Hrvatske nazivne 2040. godine



Slika 6. Struje 3*Io* u zaštitnom užetu drugog raspona DV 400 kV Žerjavinec-Heviz u zavisnosti od mjesta kvara (stup DV), za EES Hrvatske nazivne 2040. godine



Slika 7. Struje 3*Io* u zaštitnom užetu trećeg raspona DV 400 kV Žerjavinec-Heviz u zavisnosti od mjesta kvara (stup DV), za EES Hrvatske nazivne 2040. godine

Najveće početne struje u zaštitnim užetima po pojedinim rasponima prikazuje tablica 2.

Tablica 2. Najveće početne struje u prvim rasponima razmatranog DV 2x400 kV

Raspon	struja 3*Io* /A/
1	16894
2	14903
3	13407
4	12321
5	11568
6	11058
7	10712
8	10464

U prva tri raspona struja u zaštitnom užetu 120/70 AlMg1E/Č sa svjetlovodnim vlaknima je veća od podnosive (jednosekundne) termičke struje kratkog spoja od 12,7 kA, dok je u četvrtom rasponu već manja od podnosive (jednosekundne) termičke struje kratkog spoja, tako da prilike u rasponima zaštitnog užeta od četvrtog raspona na dalje možemo smatrati zadovoljavajućim u odnosu na termičko opterećenje u trajanjima kratkog spoja Tk do 1 s.
Razmatranje termičkog opterećenja zaštitnog užeta u prilikama kratkog spoja sveli smo prema navedenom na prva tri raspona zaštitnog užeta.
Najveće početne struje u prva tri raspona zaštitnog užeta 120/70 AlMg1E/Č iznose:

$I_k^{"}(1) = 16894$ A (struja u zašt. užetu 1. raspona DV 400 kV)
$I_k^{"}(2) = 14903$ A (struja u zašt. užetu 2. raspona DV 400 kV)
$I_k^{"}(3) = 13407$ A (struja u zašt. užetu 3. raspona DV 400 kV)

Ukoliko kritički razmotrimo navedene veličine struja početnog kratkog spoja u odnosu na podnosivu (jednosekundu) termičku struju kratkog spoja, koja za zaštitno uže 120/70 AlMg1E/Č iznosi 12700 A, možemo dalje zaključiti slijedeće:
Zbog $I^{term}_{TK} = I^{term}_{1s}/\sqrt{T}k = 12700/\sqrt{T}k$ i uvjeta da mora biti zadovoljena nejednadža Ik" $\sqrt{(m+n)} \le I^{term}_{Tk}$ možemo postaviti izraz:

$$I\text{k}'' \sqrt{(m+n)} \le 12700 / \sqrt{T}\text{k}$$

U prvoj aproksimaciji vrijedi za $\sqrt{(m+n)} = 1$, pa dobivamo dopustivo trajanje kratkog spoja Tk^{dop} za određenu vrijednost početne struje kratkog spoja Ik"(i):

$T_k^{dop} \le (I_{ls}^{term} / I_k^{"}(i))^2$ =
$= (12700/16894)^2 = 0.565$ s – za 1. raspon zašt. užeta
$= (12700/14903)^2 = 0.726$ s – za 2. raspon zašt. užeta
$= (12700/13407)^2 = 0.897$ s – za 3. raspon zašt. užeta,

Ukoliko iterativnim postupkom odredimo dopustivo trajanje kratkog spoja Tk^{dop} kao funkciju Ik"$\sqrt{(m+n)}$, dobivamo korigirane vrijednosti za Tk^{dop}

$T_k^{dop} \le (I_{ls}^{term} / (I_k^{"}(i)\sqrt{(m+n)}))^2$
odn. = 0.543 s – za 1. ras. zašt. užeta
odn. = 0.715 s – za 2. ras. zašt. užeta
odn. = 0.897 s – za 3. ras. zašt. užeta,

Dakle, za vremena trajanja kratkog spoja Tk^{dop} u mreži za 2040. godinu od

$T_k^{dop} \le 0.543$ s za 1. raspon zaštitnog užeta 120/70 AlMg1E/Č
$T_k^{dop} \le 0.715$ s za 2. raspon zaštitnog užeta 120/70 AlMg1E/Č
$T_k^{dop} \le 0.897$ s za 3. raspon zaštitnog užeta 120/70 AlMg1E/Č

možemo zaključiti, da zaštitno uže 120/70 AlMg1E/Č **zadovoljava,** jer se navedena vremena nalaze u okvirima mogućeg djelovanja relejne zaštite kod razmatranih kvarova na vodu.

Napomenimo ovdje da je problematiku velikih struja u prvom rasponu moguće rješavati i na druge načine (udvostručenje zaštitnih užeta u prvom rasponu, direktno galvansko povezivanje uzemljivača prvog stupa sa uzemljivačem postrojenja i sl.)

5. ZAKLJUČAK

Proračuni kratkog spoja, kao osnova za optimizaciju zaštitnog užeta na DV 2x400 kV ŽERJAVINEC-HEVIZ (Mađarska) za dionicu u Republici Hrvatskoj, provedeni su za stanje elektroenergetskih sustava 2000., 2010 i 2040. godine i za klasična zaštitna užeta:

a) uže HRN N.C1.551 - 240/55 - AlMg1E/Č
b) uže HRN N.C1.551 - 120/70 - AlMg1E/Č

Proračunima su dobivene početne struje kratkog spoja (3Io") na 400 kV sabirnicama u TS 400/220/110 kV Žerjavinec. Relativni iznosi mjerodavni za dimenzioniranje zaštitnog užeta, u najgrubljoj aproksimaciji računati sa ukupnim strujama sabirničkog kratkog spoja, prikazani su u tablici 3.

Tablica 3. Najveće struje početnog sabirničkog jednopolnog kratkog spoja u TS Žerjavinec

Stanje godine	Struje kratkog spoja 3Io" (A)	za slučaj primjene zaštitnog užeta
	240/55 AlMg1E/Č	120/70 AlMg1E/Č
2000	9671/-83,4°	9666/-83,3°
2010	12671/83-5°	12664/83,4°
2040	19399/-83,9°	19393/-83,8°

Uvažavajući navedeno moguće je iznijeti slijedeće konstatacije:

I.) Budući da je na DV 2x400 kV Žerjavinec-Heviz (Mađarska) na području Republike Hrvatske predviđena montaža vodiča Al/Č uže 490/65 mm², te da su na postojećim 400 i 220 kV vodovima u Hrvatskoj, uz netom navedene vodiče ugrađena klasična zaštitna užeta s kojim je provedena analiza u ovoj studiji, evidentno je da s aspekta mehaničkih prilagodbi ovom studijom ne treba obavljati posebnu analizu. Isto trebaju prilagoditi projektanti pri razradi glavnog projekta dalekovoda.

II.) Analizirajući mogućnost primjene zaštitnog užeta sa svjetlovodnim vlaknima čije karakteristike odgovaraju klasičnom zaštitnom užetu AlMg1E/Č 120/70, može se konstatirati slijedeće, prema **jednostavnom aproksimativnom proračunu iz točke 4.1.**

a) Za slučajeve elektroenergetskih mreža do 2010. g. najveća početna struja kratkog spoja iznosi 12664 A i manja je od podnosive (jednosekundne) termičke struje kratkog spoja za uže 120/70 AlMg1E/Č:
12664 A < 12700 A
što potpuno rješava problematiku primjene razmatranog zaštitnog užeta i nakon 2010. godine.

b) Stanje elektroenergetske mreže za 2040. godinu karakterizira pojava početnih struja kratkog spoja u prvim rasponima zaštitnog užeta većih od podnosive (jednosekundne) termičke struje kratkog spoja, koje za uže AlMg1E/Č 120/70 mm2 iznosi 12.7 kA. Stoga je u točki 4.2. određeno dopustivo trajanje kratkog spoja u prvim rasponima zaštitnog užeta uz transformatorsku stanicu. Budući da je dopustivo trajanje kratkog spoja (Tk = 0.543, 0.715 i 0.897 s za prva tri raspona) manje od najvećeg mogućeg vremena djelovanja relejne zaštite (0.1-0.25 s) za kvarove na razmatranom dalekovodu, može se zaključiti da zaštitno uže 120/70 AlMg1E/Č **zadovoljava.**

Rezimirajući prethodne navode zaključno se može konstatirati da za montažu na DV 2x400 kV ŽERJAVINEC-HEVIZ (Mađarska), za dionicu u Republici Hrvatskoj **u potpunosti zadovoljava montaža jednog zaštitnog užeta čije mehaničke i električne karakteristike odgovaraju klasičnom užetu:**

UŽE HRN N.C1.551 - AlMg1E/Č - 120/70

Preporuča se ipak da se u priključnom rasponu na 400 kV portal u TS 400/220/110 kV ŽERJAVINEC ugrade dva zaštitna užeta, čime se uz povoljniju raspodjelu struje kratkog spoja postiže i propisana zaštitna zona.

Napominje se i preporuča investitoru da se nakon izbora zaštitnog užeta sa svjetlovodnim vlaknima za ugradnju na DV 2x400 kV u izedbenom projektu provede kontrola glede struja kratkog spoja (1 sec) i time konkretno riješi problematika primjene zaštitnog užeta sa svjetlovodnim vlaknima.

Budući da podaci o klasičnom zaštitnom užetu trebaju poslužiti projektantu dalekovoda za izradu glavnog projekta, a ujedno i HEP-u za sastavljanje natječajne dokumentacije za nabavku zaštitnog užeta sa svjetlovodnim vlaknima, preporuča se slijedeće:

1. Razraditi glavni projekt dalekovoda uz uvažavanje tehničkih karakteristika klasičnog zaštitnog užeta prema **HRN N.C1.551 - AlMg1E/Č - 120/70.**
2. Pri izradi natječajne dokumentacije za nabavku zaštitnog užeta sa svjetlovodnim vlaknima, uz tehničke karakteristike klasičnog zaštitnog užeta AlMg1E/Č - 120/70 navesti i slijedeće:
   - podnosiva struja kratkog spoja 12,7 kA/1 sec.
     (za predviđeno zaštitno uže koje bi se trabalo sastojati od aluminija, njezine legure i čelika ili specijalnih žica od čelika s vodljivim vanjskim slojem od aluminija, pri podnosivoj struji od 12,7 kA u trajanju od 1 sec uže se ne smije zagrijati na temperaturu veću od 160°C.
   - svjetlovodna vlakna (24 kom) trebaju se nalaziti u metalnoj cjevčici ili najviše dvije metalne cjevčice. Iste ne smiju biti u vanjskom sloju užeta. Tehničke karakteristike svjetlovodnih vlakana trebaju biti definirane od stručnjaka za telekomunikacije
   - projektant dalekovoda treba odrediti srednja godišnja naprezanja zaštitnog užeta, te pri nabavki užeta uvjetovati njegov iznos.

LITERATURA

[1] D. NEVEČEREL, G. JERBIĆ, I. ŠABAN, P. PAVLOVIĆ: "Optimizacija tipa i presjeka zaštitnog užeta na DV 400 kV Žerjavinec-Heviz.", IE d.d. Zagreb, 1997.

Energija, god. 46 (1997) 5, 311-317

OPTIMISATION OF TYPE AND SECTION OF THE GROUND WIRE ON 400 kV LINE ŽERJAVINEC - HEVIZ

Problems of the ground wire dimensioning on 400 kV transmission line Žerjavinec - Heviz are given, between two options of the ground wire HRN N.C1.551 - 120/70 - AlMg1E/Č and HRN N.C1.551-240/55 - AlMg1E/Č.

OPTIMIERUNG DES TYPS UND DES QUERSCHNITTES DES ERDSEILES DER 400 kV-FERNLEITUNG ŽERJAVINEC - HEVIZ

Dargestellt sin die Fragen der Bemessung des Erdseiles der 400 kV-Fernleitung Žerjavinec - Heviz, welche bei der Auswahl zwischen dem Erdseil HRN N.C1.551 - 120/70 - AlMg1E/Č und jenem HRN N.C1.551 - 240/55 - AlMg1E/Č erschienen sind.

Naslov pisaca:

Mr. sc. Davor Nevečerel, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu i energetiku d.d.
Ulica grada Vukovara 37
10000 Zagreb, Hrvatska

Predrag Pavlović, dipl. ing.
Dalekovod
Ulica grada Vukovara 37
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1997-06-03

HRVATSKA ELEKTROPRIVREDA d.d.

HRVATSKA ELEKTROPRIVREDA DONOSI SVJETLO

U TAMU GDJE TMUŠU NEČOVJEK STVORI

Tijekom ljeta Gospodnjeg 1997, Hrvatska elektroprivreda prispoji u svoj, nikad otuđeni elektroenergetski sustav, njegov dio iz hrvatskog Podunavlja.

DE Vukovar 3 (21 agregat; 15 MW)

U trenu reintegracije okupiranog hrvatskog prostora i prijeke potrebe za nezavisnom opskrbom električnom energijom, umom i rukama svojih djelatnika i brojnih drugih tvrtki obnovi se i izgradi u 3 mjeseca:

60 km dalekovoda	110 kV,
75 km dalekovoda	35 kV,
45 km dalekovoda	10(20) kV.

Instalira se na 5 lokacija interventne elektrane s ukupno:

64 diesel agregata i ukupnom instaliranom snagom od 44 MW.

I bi svjetla!

OSNOVE OPTIČKIH KOMUNIKACIJA - I. DIO: PRIJENOS OPTIČKOG SIGNALA SVJETLOVODNIM VLAKNOM

Mr. sc. Dubravko S a b o l i ć, Zagreb

UDK 621.394.73
PREGLEDNI ČLANAK

Prikazane su osnove teorije prijenosa optičkog signala dielektričnim valovodom (svjetlovodom), kao i temelji teorije disperzije optičkih impulsa prenošenih njime. Opisane su također tehnološke metode redukcije disperzije i solitonski prijenos signala, te gušenje u optičkom vlaknu. teorijsko izlaganje potkrijepljeno je na kraju kratkim pregledom tvorničkih podataka o prijenosnim svojstvima komercijalnih svjetlovoda.

Ključne riječi: Svjetlovod, jednomodni i višemodni prijenos, modalna i kromatska disperzija, solitoni, gušenje svjetlovoda.

Uvod

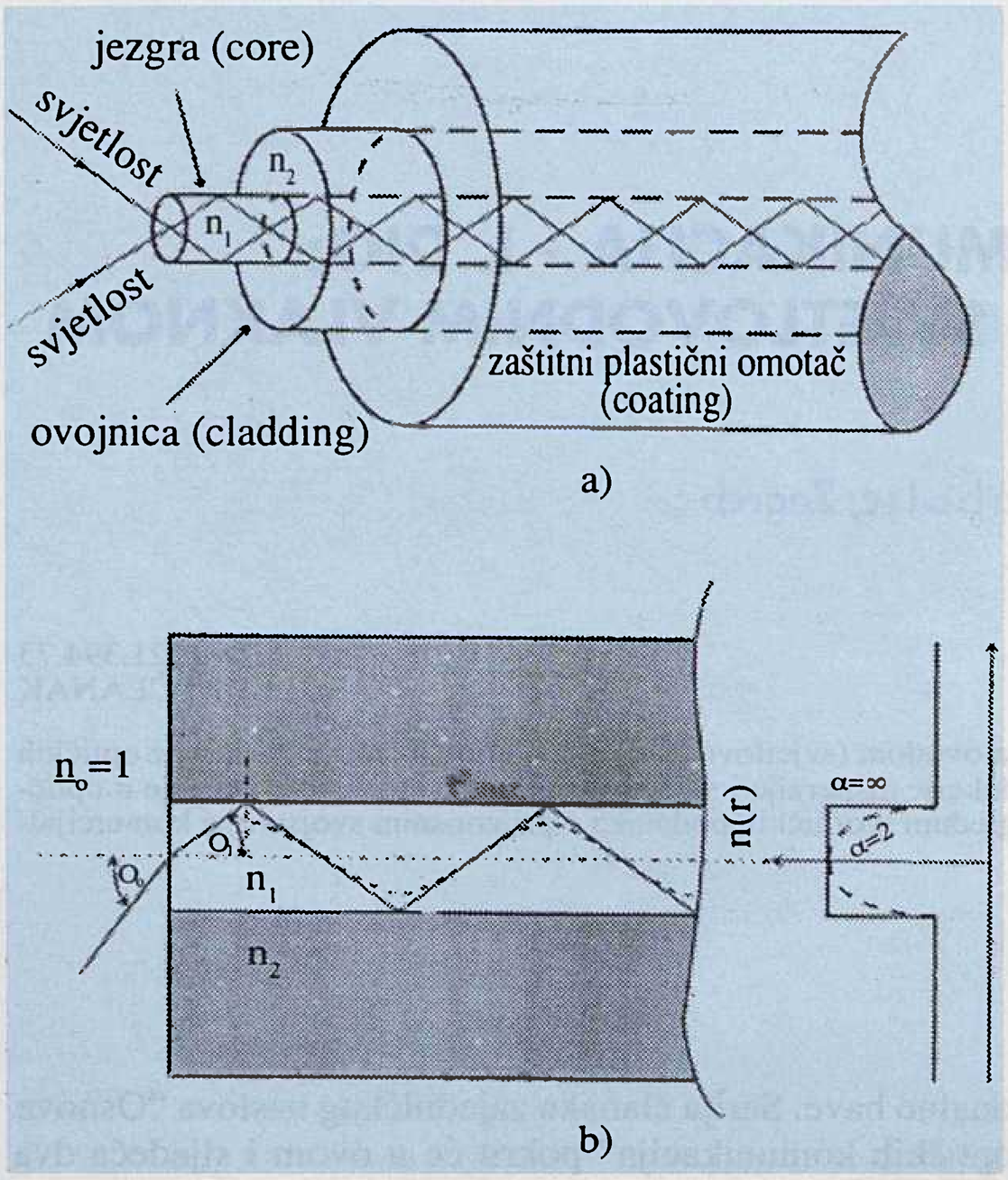
Tehnika optičkog prijenosa informacija, u obliku u kakvom je danas poznajemo, stečevina je posljednjih nekoliko godina burnoga razvoja. Kada su razriješeni glavni tehnološki problemi proizvodnje dovoljno prozirnog stakla i izvlačenja dovoljno tankih (monomodnih) niti, otvorile su se mogućnosti koje nije imao niti jedan dotadašnji prijenosni medij. Izvanredna atraktivnost svjetlovoda, radi s današnje točke gledišta neograničenog kapaciteta prijenosa infomacija, dovela je brzo do masovnosti uporabe, pa time i do pada cijene optičkih niti. Danas je red veličine cijene jednog monomodnog vlakna već ispod 0.15 USD po metru duljine, tako da u kabelima s dvadesetak niti samo svjetlovodi čine otprilike polovinu ukupne cijene, ovisno o vrsti kabela. Ostali dio cijene čine sintetički zaštitni oklopi i čelična armatura. Cijene kabela, koje se kreću do nekih 10 USD/m (20 niti, instalacija na kopnu), treba evaluirati s obzirom na transmisijske mogućnosti koje se dobivaju izgradnjom svjetlovodne infrastrukture. Primjerice, u usporedbi s cijenom koštanja instaliranja jednog govornog PCM kanala (64 kb/s) poslanog radijskom vezom ili bakrenim kabelom, isti takav kanal u optičkom sustavu zapravo ne košta ništa. Zato je vrlo prisutna tendencija da se iz planova novih izgradnji izbacuju bakreni vodovi i radijske veze kada god je to moguće. Optička vlakna stigla su već i do pristupne razine mreže. Nije daleko vrijeme kada ćemo u svojim domovima imati optičku instalaciju neusporedivo većih mogućnosti od dašanje bakrene telefonske parice.

Hrvatske elektroprivreda bavi se ovih godina planiranjem i izgradnjom svojeg transmisijskog sustava baziranog upravo na optičkim valovodima, koji će biti vrlo važan dio buduće telekomunikacijske mreže. Vrijednost svjetlovodne infrastrukture sigurno će dodatno porasti kada se zakonski omogući konkuriranje u području javnog pružanja telekomunikacijskih usluga. Radi se o razvoju najsuvremenije tehnologije, koja je uvijek zanimljiva, ali i mnogim elektrotehničkim stručnjacima u poduzeću ovoga tipa nedostupna, radi drugog područja struke kojime se profesionalno bave. Serija članaka zajedničkog naslova "Osnove optičkih komunikacija" pokrit će u ovom i sljedeća dva broja "Energije" nekoliko važnih poglavlja u domeni svjetlovodnih komunikacija: fizikalne osnove tehnologije optičkih valovoda, proizvodnja, detekcija i pojačanje optičkih signala, primjene u prijenosu digitalnih informacija, te predvidive i već izvjesne perspektive razvoja optičkih sustava u slijedećoj dekadi. Pristup gradivu bit će dosta rigorozan. U prvom dijelu npr. bilo bi poželjno da se čitatelj sijeća osnova matematičke analize. Ipak, za diplomiranog inženjera to štivo ne bi trebalo biti preteško. Drugi dio bit će u formalnom pogledu već znatno lakši, dok zaključni dio serijala ne traži poznavanje matematičkog formalizma.

Svrha ove serije napisa je pružanje osnova tehnologije u prvoj polovici građe, odnosno osnova primjene u drugoj, kako bi zainteresirani čitatelj mogao steći solidan fizikalni temelj s bazičnim formalizmom, potreban za daljnje proučavanje *ozbiljne* stručno - znanstvene literature. Prema tome, "Osnove optičkih komunikacija" predstavljaju uvod u tematiku prvenstveno namijenjen elektroinženjerima kojima to neće biti prvi i posljednji susret s literaturom o svjetovodnim sustavima.

1. OPTIČKI VAL U DIELEKTRIČNOM VALOVODU

Optički val je elektromagnetski val vrlo visoke frekvencije, odnosno vrlo male valne duljine. U optičkim komunikacijama koriste se svjetlosni izvori valnih duljina oko 1300 nm i 1550 nm, iz razloga koji će biti objašnjeni kasnije. Izvori optičkih valova koji se danas najviše koriste jesu laserske diode (LD, Laser Diode) i svjetlosne poluvodičke diode (LED, Light Emitting Diode), pri čemu se potonje koriste u manje zahtjevnim aplikacijama. Temeljni problem optičkih komunikacija je prijenos moduliranih svjetlosnih signala na vrlo velike udaljenosti, uz zadržavanje potrebne kvalitete, koja se na kraju u digitalnim sustavima manifestira kao dovoljno niski udio pogrešno detektiranih bitova (BER, Bit Error Rate).



Slika 1. a) struktura optičkog vlakna; b) propagacija centralne zrake i ilustracija indeksa loma u jezgri i ovojnici za slučaj skokovite i kvadratične promjene - vidjeti jednadžbu (28)

Optički val prenosi se optičkim vlaknom, koje je ilustrirano slikom 1. Na ovoj je slici dan tradicionalni prikaz puta centralno spregnutog snopa svjetlosti, kako bi se mogli definirati osnovni parametri niti. (Vrlo često se za optičko vlakno ili nit koristi engleska riječ fibre, ili američka verzija fiber, što su sve sinonimi). Svjetlost prigodom upada u vlakno doživljava lom, tako da upad pod kutem θ_0 uzrokuje u svjetlovodu kut loma θ_1. Dalje bi se zraka svjetlosti lomila na granici jezgre i ovojnice vlakna pod nekakvim kutem θ_2, koji je sa θ_1 povezan Snellovim zakonom loma, tj. jednadžbom: $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$, gdje su n_1 i n_2 indeksi loma stakla redom u jezgri (core) i ovojnici (cladding). Kada je kut loma u ovojnici θ_2 jednak taman 90° prema normali na granicu, događa se upravo granični slučaj tzv. totalne refleksije, gdje se zbog previše horizontalnog upadnog kuta u sredstvu $n1$ zraka ne može slomiti u sredstvo n_2, već se potpuno reflektira natrag u n_1, i tako opet mnogo puta, pa ostaje zarobljena u tom sredstvu. Stavivši da je $\sin\theta_2=1$, iz Snellova zakona izlazi da je granični upadni kut u sredstvu n_1 dat sa $\sin\theta_{gran}=n_2/n_1$, a pomoću slike 1b to se može zapisati u obliku $\cos\theta_{1gran}=n_2/n_1$. S obzirom da je funkcija cos uvijek između -1 i 1, te da su indeksi loma pozitivni brojevi, slijedi nužan uvjet da bi prikazana struktura mogla djelovati kao optički valovod:

$$n_2 < n_1 \qquad (1)$$

Na slici 1b vidi se i situacija na granici zrak/jezgra. Da i zraka ostala zarobljena u jezgri, kut θ_1 ne smije biti već od $A\cos n_2/n_1$, što pak znači da niti θ_0, upadni kut u zraku, ne smije biti veći od neke vrijednosti. Sve zrake koje upadnu pod većim kutom od toga bit će unutar niti lomljene u ovojnicu i tamo izgubljene. Kako je u zraku $n_0=1$, lako je uporabom Snellovog zakona izračunati da je maksimalni upadni kut θ_0 u zraku, koji se posebno označuje kao θ_A, određen izrazom:

$$\eta_A = \sin\theta_A = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \qquad (2)$$

gdje je η_A oznaka za "numeričku aperturu" vlakna. Sve zrake koje na centralni dio jezgre upadnu iz konusa određenog sa θ_A bit će vođene u valovodu. U praksi se indeksi lomova jezgre i ovojnice razlikuju tek za nekoliko postotaka.

Važan parametar vlakna je devijacija indeksa definirana kao:

$$\Delta = (n^2_1 - n^2_2)/(2n^2_1). \qquad (3)$$

Uz rečeni uvjet da je $n_1 \approx n_2$, ovaj se izraz pojednostavnjuje:

$$\Delta \approx (n_1 - n_2)/n_1, \qquad (4)$$

pa se devijacija može interpretirati kao razlika indeksa lomova normirana na n_1. Pogledamo li (2), vidimo da sin θ_A za slučaj $n_1 \approx n_2$ ima malu vrijednost, što znači da je privatni konus uzok, odnosno val se mora širiti skoro paralelno s osi vlakna, ne želi li biti lomljen u ovojnicu i tamo raspršen. Dakle, izbor mogućih upadnih kutova je vrlo sužen, pa se govori o valovodu sa slabim vođenjem.

Ovakav prikaz višestruke refleksije radi svoje elementarnosti i slikovitosti vrlo je očit i jasan. Međutim, treba reći da je on korektan samo ako je promjer jezgre vlakna mnogo veći od valne duljine svjetlosti, pa bi se prije moglo govoriti o staklenom štapiću, nego o staklenoj niti. U stvarnosti, u svim primjenama koriste se vlakna čije je debljina samo nekoliko desetaka puta veća od valne duljine svjetlosti, odnosno ona čije je debljina sasvim bliska valnoj duljini lasera. Prvi tip vlakna naziva se multimodnim vlaknom i podržava širenje tipično do stotinjak modova, tj. do stotinjak diskretnih upadnih kutova θ_0 unutar prihvatnog konusa prema (2). Tih je kutova ipak dosta, pa je situacija slična do sada izloženoj, ali su oni svejedno točno određeni i konačna su broja, što znači da ne može bilo koji kut unutar θ_A dovesti do propagacije u valovodu. Drugi tip valovoda, kod kojega je promjer jezgre samo nekoliko puta veći od valne duljine, naziva se monomodnim vlaknom, jer omogućuje širenje jednog jedinog moda, koji u tradicionalističkoj slici odgovara upadu svjetlosti paralelnom osi svjetlovoda. Ta vrsta vlakna se danas, kada su sazrijevanje tehnologije proizvodnje i širenje tržišta omogućili strmoglavi pad njegove cijene, jedino i rabi, osim u krajnje jednostavnim i nezahtjevnim primjenama. Naime, monomodna vlakna imaju superiorna prijenosna svojstva u odnosu na multimodna. Suštinska razlika ovih dviju vrsta optičkih niti je u tome da je jezgra monomodne niti za red veličine tanja od jezgre u multimodnom vlaknu.

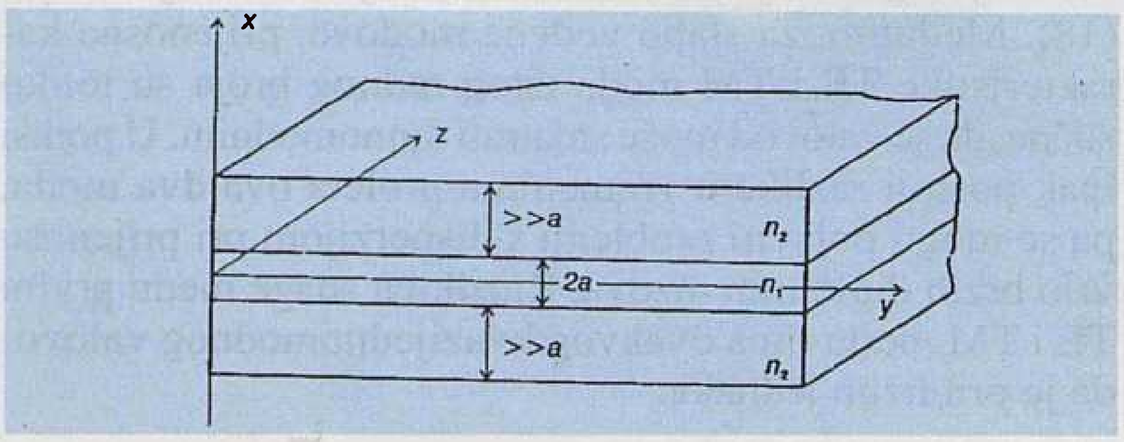
Prilaz problematici svjetlovoda pomoću geometrijske optike, koji je rabljen u ovom uvodnom dijelu, vrijedi samo za vlakna čije je jezgra barem stotinama puta deblja od valne duljine, pa može doći do širenja toliko velikog broja modova, da oni daju prividno kontinuirani pojas upadnih kutova između θ_0 i θ_A. Kako se danas takva vlakna više uopće ne koriste, teoriju transmisije optičkog vala svjetlovodom potrebno je uobličiti rješavanjem Maxwellovih jednadžbi i nametanjem fizikalnih rubnih uvjeta u cilindričnom dielektričnom valovodu sa slabim vođenjem [1]. Za

razliku od metalnog valovoda iz mikrovalne tehnike, dielektrični valovod sa slabim vođenjem ima na granici jezgre i ovojnice vrlo mali diskontinuitet elektromagnetskih osobina, jer je $n_1 \approx n_2$, tj. $\sqrt{\varepsilon_{r1}} \approx \sqrt{\varepsilon_{r2}}$. To unosi dodatne matematičke komplikacije u račun, pa će se uvodno, u slijedećem odjeljku, najprije riješiti valovod znatno jednostavnije geometrije, a to je pločasti ili planarni dielektrični valovod, čime će se pružiti značajan kvantum kvalitativno vrijednih informacija i olakšati razumijevanje složenije cilindrične strukture. (Čitatelj ne treba misliti da je "nezgrapni" planirani valovod nepostojeća stvar. Dapače, on je vrlo eksploatiran u mikrovalnim integriranim strukturama za milimetarsko valno područje).

1.1. Planarni dielektrični valovod

Na slici 2 prikazan je segment beskonačnog planarog valovoda smješten u odgovarajući koordinatni sustav. Valna jednadžba koja slijedi iz rotorskih Maxwellovih jednadžbi u svakom sloju glasi:

$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2}=\mu\varepsilon\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \qquad (5)$$



Slika 2. Planarni dielektrični valovod

Sa slike je vidljivo da geometrija problema dozvoljava promatranje širenja ravnog vala u smjeru osi z, uz određivanje razdiobe amplitude polja u smjeru osi x. Time se ne gubi na općenitosti, pa se u smjeru osi y ne događa ništa zanimljivo. Val koji propagira u z smjeru može se prikazati kao:

$$\vec{E}=\vec{E}_0\cdot\exp\left[j\omega\left(t-z/v_f\right)\right], \qquad (6)$$

gdje je ω kružna frekvencija vala, a v_f je fazna brzina u sredstvu određane sa $v_f=c/n=c/\sqrt{\varepsilon_r}$. c je brzina svjetlosti u vakuumu. Uvaživši razdiobu amplitude po koordinati x, u malo drukčijem obliku se dobija:

$$\vec{E}=\vec{E}(x)\cdot\exp\left[j\left(\omega t-\beta z\right)\right] \qquad (7)$$

Sada je to uobičajeni prikaz ravnog vala u smjeru +z, gje je β [rad/m] konstanta širenja u sredstvu bez gubitaka. Ta konstanta iznosi $\beta=\omega\sqrt{\varepsilon_r}/c$. Član $E(x)$ označuje sada još nepoznatu razdiobu amplituda po x koordinati, i jedino još njega treba odrediti. Uvrstivši (7) u (5) i zanemarivši derivacije amplitude po z i y, te provevši vremensko deriviranje u fazorskoj domeni, izlazi lako:

$$\frac{\partial^2 \vec{E}(x)}{\partial x^2}+\left(k^2 n_i^2-\beta^2\right)\vec{E}(x)=0 \;\; ; \;\; i=1,2. \qquad (8)$$

Valni broj k jednak je $k=\omega/c=2\pi/\lambda$, gdje je λ valna duljina u vakuumu. Za y komponentu vektora električnog polja iz (8) pretpostavljaju se rješenja u obliku:

$$\begin{cases} E_y(x)=A\exp\left[-p\left(|x|-a\right)\right] & \text{za } |x| \geq a, \text{ tj. za sredstvo } n_2 \\ E_y(x)=\begin{cases} B\cos(hx); \text{ parni modovi} \\ B\sin(hx); \text{ neparni modovi} \end{cases} & \text{za } |x| \leq a, \text{ tj. za sredstvo } n_1 \end{cases}$$

Konstante iz tih rješenja određuju se nametanjem rubnih uvjeta na granicama $x=a$.
Izjednače li se sve parcijalne derivacije po y s nulom (planarni val), rotorske Maxwellove jednadžbe u fozorskoj domeni raspadaju se na šest izraza:

$$\left.\begin{aligned} &\partial E_y/\partial z = -j\omega\mu H_x \; (*)\} \\ &\partial E_x/\partial z - \partial E_z/\partial x = -j\omega\mu H_y \; (**) \\ &\partial E_y/\partial x = -j\omega\mu H_z \; (*) \\ &-\partial H_y/\partial z = j\omega\varepsilon E_x \; (**) \\ &\partial H_x/\partial_z - \partial H_z/\partial x = j\omega\varepsilon E_y \; (*) \\ &\partial H_y/\partial_x = j\omega\varepsilon E_z \; (**) \end{aligned}\right\} \qquad (10)$$

Sustav jednadžbi označenih jednom zvjezdicom ne sadrži nigdje komponentu električnog polja u smjeru širenja E_z, pa predstavlja jednadžbe transverzalnih električnih modova TE. Od električnog polja u njima figurira samo komponenta E_y. Rubne uvjete možemo, s obzirom na jednostavnu vezu sa H_z, nametnuti samo njoj, i tako isplivati s rješenjima konstanti u (9). Izrazi s dvije zvjezdice tvore sustav jednadžbi transverzalnih magnetskih ili TM modova, jer ne sadrže Hz komponentu. U njima od komponenti magnetskog polja figurira samo Hy, pa se radi jednostavne veze sa Ez rubni uvjeti mogu nametnuti samo njoj, i tako riješiti TM modovi.

TE modovi

Rubni uvjeti propisuju kontinuitet tangencijalnih komponenti polja na granicama. Te komponente su očito E_y i H_z. Treći izraz u (10) govori da je kontinuitet H_z ekvivalentan kontinuitetu parcijalne derivacije $\partial E_y/\partial_x$, pa se (9) lako razrješava.
Kontinuitet E_y na granici $x=a$ lako daje:

$$\left.\begin{aligned} &A=B\cos(ha); \text{ parni modovi} \\ &A=B\sin(ha); \text{ neparni modovi} \end{aligned}\right\} \qquad (11)$$

Kontinuitet prve derivacije iste komponente na istoj granici jednostavno daje:

$$\left.\begin{aligned} &-pa=-Bh\sin(ha); \text{ parni modovi} \\ &-pa=Bh\cos(ha); \text{ neparni modovi.} \end{aligned}\right\} \qquad (12)$$

Iz (11) i (12) slijede *karakteristične jednadžbe* za parne i neparne modove:

$$\left.\begin{aligned} &pa=ha\tan(ha); \text{ parni modovi} \\ &pa=-ha\cot(ha) \text{ neparni modovi.} \end{aligned}\right\} \qquad (13)$$

S druge strane, jednadžbe (8) i (9) gledane kao sustav daju:

$$\left.\begin{aligned} &\beta^2=k^2n^2_2+p^2 \qquad \text{za } |x| \geq a \\ &\beta^2=k^2n^2_1-h^2 \qquad \text{za } |x| \leq a, \end{aligned}\right\} \qquad (14)$$

iz čega jednostavnom manipulacijom slijedi važna veza parametara ha i pa:

$$(pa)^2+(ha)^2=V^2. \qquad (15)$$

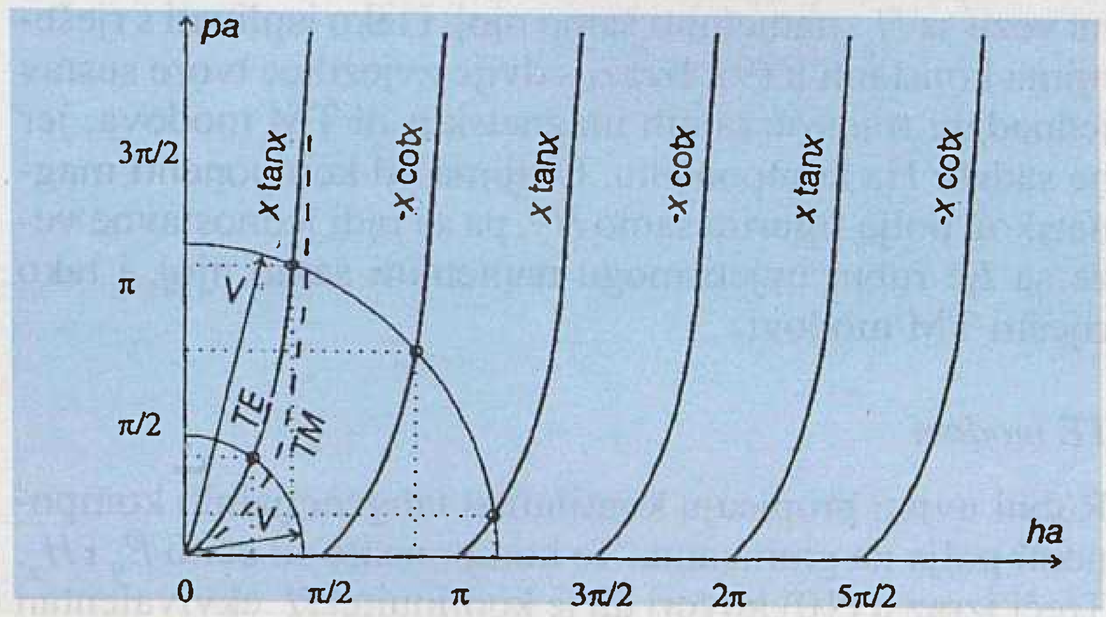
Pritom je normalizirana frekvencija V jednaka:

$$V=ka\sqrt{n^2_1-n^2_2}=ka\eta_A=2\pi(a/\lambda)\sqrt{n^2_1-n^2_2}. \qquad (16)$$

λ je valna duljina pri frekvenciji ω u vakuumu. Mi, naravno, tražimo parametre h i p, koji se u (13) i (15) javljaju normirani "polumjerom" jezgre valovoda a. Parametri h i p, odnosno ha i pa, karakteriziraju modove, tj. amplitudnu razdiobu po osi x za svaki pojedini mod. Slika 3 daje grafičko rješenje sustava jednadžbi (13) i (15). Radius kružnice V je prema (16) ovisan o konstrukciji valovoda (a, n_1, n_2) i frekvenciji svjetlosti ($f=c/\lambda$), pa je za svaki pojedini valovod uz danu frekvenciju svjetla skup mogućih rješenja (modova), prikazan svim presjecišnim točkama V-kružnice s $x\tan x$ i $-x\cot x$ granama slike 3, jedisntven i nepromjenjiv. Broj modova se za svaki V lako može pobrojati na slici 3, i očitati se njegovi ha i pa. Što je omjer a/λ veći, V je veći, pa je veći (ii najmanje jednak) i broj modova koji se mogu širiti. Očito vrijedi logički izraz:

$$(a_1/\lambda > a_2/\lambda) \Rightarrow (M_1 \geq M_2). \qquad (17)$$

Sa M je označen broj modova kojega valovod podržava. Ako je omjer a/λ umjeren, broj modova je mali, i porastom a/l on raste u diskretnim koracima. Ako je a/λ goleme vrijednosti, broj modova je toliko velik da se mogu primijeniti zakonitosti geometrijske optike.

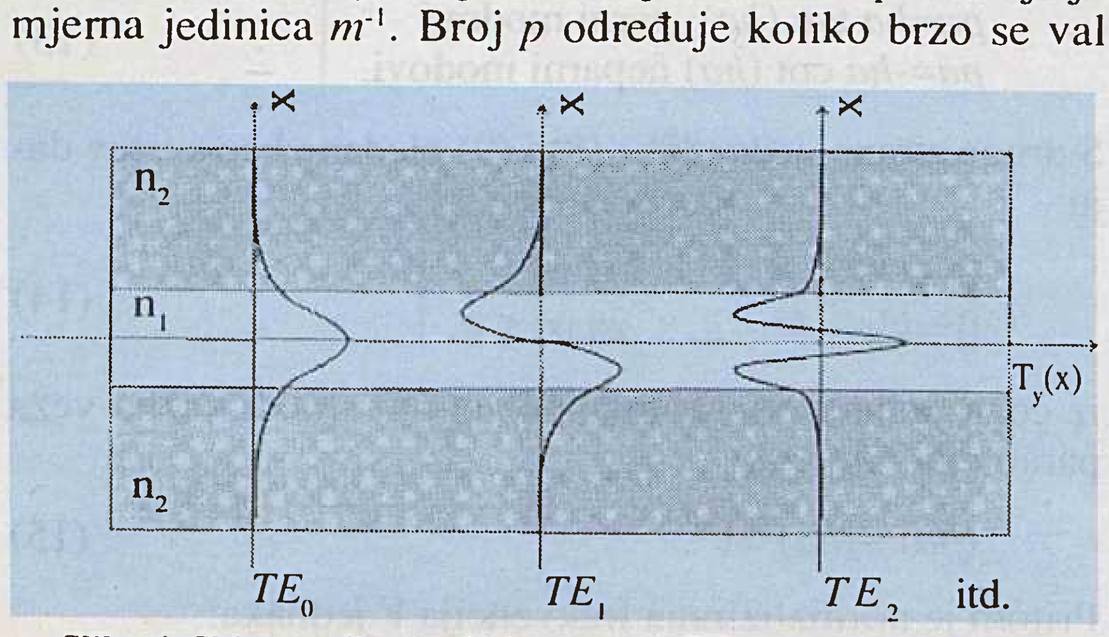


Slika 3. Dobivanje rješenja za TE modove

Najzanimljiviji i najvažniji je slučaj kada je $v<\pi/2$. Sa ilustracije je očito da tada valovod podržava širenje samo jednog TE moda. Lako je utvrditi uvjet za to:

$$a \prec \frac{\lambda}{4\sqrt{n_1^2 - n_2^2}} \qquad (18)$$

Slika 4 prikazuje razdiobu amplituda $E_y(x)$ za prvih nekoliko TE modova. Vidi se da su rješenja unutar omeđenog prostora indeksa loma n_1 periodičkog tipa (cos za parne, a sin za neparne modove). Unutar materijala indeksa n_2 polje se eksponencijalno prigušuje. To se vidi i u (9). Slika 4 će pomoći razumijevanju značenja konstanti p i h, čija je mjerna jedinica m^{-1}. Broj p određuje koliko brzo se val prigušuje u sredstvu n_2 odmicanjem od jezgre (vidjeti u (9)), a broj h određuje koliko je sinusoida (kosinusoida) u n_1 "razvučena". Naime, u valovodu s tvrdim rubnim uvjetima (npr. metalnom) bi h uvijek bio jednak višekratniku od π/a za neparne, a neparnom višekratniku od $\pi/(2a)$ za parne modove. U valovodima sa slabim vođenjem ne mora biti amplituda na granici jednaka 0, pa su razdiobe malo razvučene prema van, kao što se lijepo vidi na slici 4.



Slika 4. Skica prvih parnih i neparnih TE modova planarnog dielektričnog valovoda

TM modovi

Postupak rješavanja za TM modove prati potpuno istu proceduru, pa se ovdje neće ponavljati. Karakteristične jednadžbe ispadaju malo drugačije nego u (13):

$$\begin{aligned} pa &= (n_2/n_1)^2\, ha \tan(ha); \text{ parni modovi} \\ pa &= (n_2/n_1)^2\, ha \cot(ha) \text{ neparni modovi.} \end{aligned} \qquad (19)$$

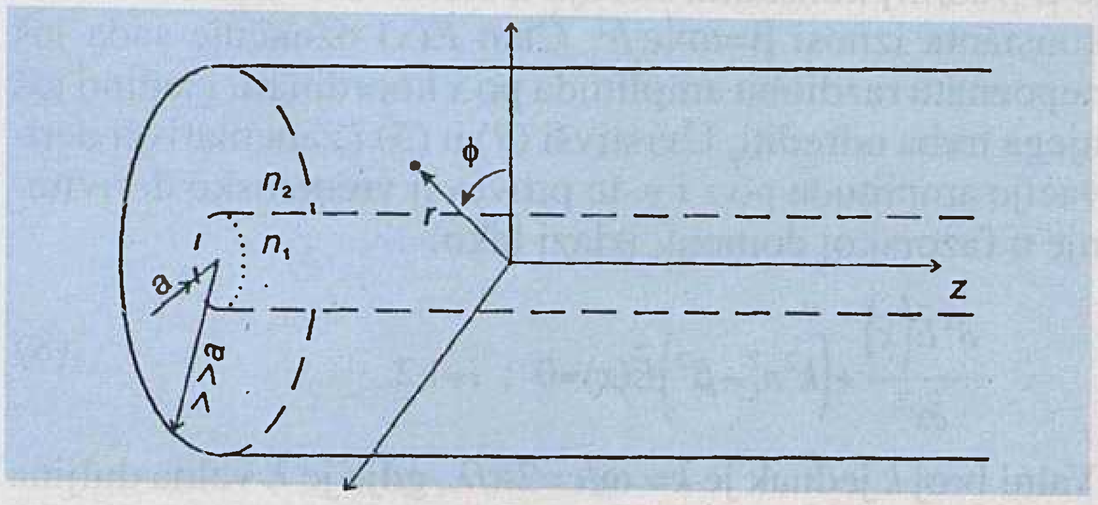
Rješavanjem zajedno sa (15) dobijaju se TM modovi. S obzirom da je $n_1 \approx n_2$ i $n_2 < n_1$, očito su karakteristične krivulje TM modova neznatno ispod onih za TE modove, kako je nacrtano na slici 3. Zato su i rješenja TM modova bliska onima od TE modova. Strogo gledajući, planarni dielektrično valovod ne može biti monomodni, jer prenosi barem jedan TE i jedan TM mod, ako je zadovoljen uvjet (18). Međutim, za slabo vođene modove, prijenosne karakteristike TE i TM moda istog rednog broja su toliko slične, da se valovod može smatrati monomodnim. U praksi ipak postoji razlika u vremenima proleta ova dva moda, pa se mogu pojaviti problemi s disperzijom pri prijenosu vrlo brzih digitalnih nizova. Razdioba snage među prvim TE i TM modovima ovakvog kvazijednomodnog valovoda je približno jednaka.

1.2. Cilindrični dielektrični valovod - optičko vlakno

Cilindrična geometrija u matematičkom je smislu kompliciranija od pravokutne, pa rješavanje Maxwellovih jednadžbi, koje radi promjene tipa koordinatnog sustava mijenjaju svoj oblik, postaje mnogo složenije. Zato će se iskoristiti znanje koje je čitatelj upravo stekao u lako shvatljivom prethodnom odjeljku, da bi se preskočili teški i dugotrajni izvodi za cilindrični dielektrični vodovod, i da bi se u nekoliko koraka došlo do razumljivog rješenja modova u njemu. Slika 5 definira koordinatni sustav u kojemu se promatra svjetlovodna nit. Koordinate točke u tom sustavu više nisu (x, y, z), već su (r, φ, z). Valna jednadžba transformirana u cilindrični koordinatni sustav glasi:

$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial \vec{E}}{\partial r} + \left(k^2 n_1^2 - \beta^2 - \frac{v^2}{r^2} \right) \vec{E} = 0; \quad i = 1,2 \qquad (20)$$

To je parcijalna diferencijalna jednadžba Besselovog tipa.



Slika 5. Cilindrični dielektrični valovod u koordinatnom sustavu

Opći karakter rješenja sliči onome kod planarnog valovoda: u jezgri rješenja (modovi) imaju radijalnu razdiobu amplituda zadanu Besselovim funkcijama J_ϑ, gdje je v cijeli broj, naime redni broj azimutalnog moda. U ovojnici je ta razdioba prigušena, a ima oblik modificiranih Besselovih funkcija K_ϑ. Sve potrebno o Besselovim funkcijama, njihovim vrstama i rekurzivnim relacijama čitatelj može naći u nekom dobrom matematičkom priručniku, npr. u [2]. Rješenja imaju opći oblik:

$$\vec{E}=\vec{E}(r)\cdot\exp(jv\varphi)\cdot\exp\, j(\omega t-\beta z) \qquad (21)$$

Tu se vidi ovisnost amplitude o r, periodičnost po azimutu φ, te širenje u smjeru z. Prisjetimo se da je jezgra planarnog valovoda imala harmonička rješenja (sinuse i kosinuse), što je analogno funkcijama J_ϑ, koje izgledom podsjećaju na nekakve prigušene sinusoide. Njima amplituda pada porastom udaljenosti r od osi koordinatnog sustava. Ovojnica planarnog valovoda eksponencijalno prigušuje val. Kod cilindričnoga tu ulogu igraju modificirane Besselove funkcije K_v, koje su slična oblika, ali porastom r padaju nešto brže od eksponencijalnih.

Karakteristične jednadžbe TE modova pravokutnog valovoda imale su oblik (13). Kod cilindričnog, nametanje rubnih uvjeta (kontinuitet tangencijalnih komponenti vektora električnog i magnetskog polja) daje mnogo složeniji opći izraz:

$$\left[\frac{J_v'(ua)}{ua\cdot J_v(ua)}+\frac{K_v'(wa)}{wa\cdot K_v(wa)}\right]\cdot\left[\frac{n_1^2}{n_2^2}\frac{J_v'(ua)}{ua\cdot J_v(ua)}+\frac{K_v'(wa)}{wa\cdot K_v(wa)}\right]=$$

$$=v^2\left[\frac{1}{(ua)^2}+\frac{1}{(wa)^2}\right]\cdot\left[\frac{n_1^2}{n_2^2}\frac{1}{(ua)^2}+\frac{1}{(wa)^2}\right] \qquad (22)$$

Značenja parametara u i w analogna su značenjima h i p. Naime, $J_\vartheta(ur)$ korespondira sa $\sin(hx)$ i $\cos(hx)$ kod planarnog valovoda. $K_\vartheta(wr)$ korespondira sa $\exp(-px)$. Interesantno je da i za u i w vrijedi jednadžba kružnice:

$$(ua)^2+(wa)^2=V^2, \qquad (23)$$

gdje je V definiran sa (16). No, crtanje karakteristične jednadžbe (22) očigledno je prilično složen numerički postupak koji je potreban za rješavanje sustava (22) i (23).

S obzirom da je razlika indeksa lomova uvijek vrlo mala, uvrštavanje uvjeta $n_1\approx n_2$ u (22) bitno pojednostavnjuje tu jednadžbu i omogućava nešto lakše rješavanje modova:

$$\frac{J_v'(ua)}{ua\cdot J_v(ua)}+\frac{K_v'(wa)}{wa\cdot K_v(wa)}=\pm v\left[\frac{1}{(ua)^2}+\frac{1}{(wa)^2}\right] \qquad (24)$$

Korištenjem rekurzivnih formula za Besselove i modificirane Besselove funkcije [1,2], ovaj se izraz može zapisati u općenitijem obliku:

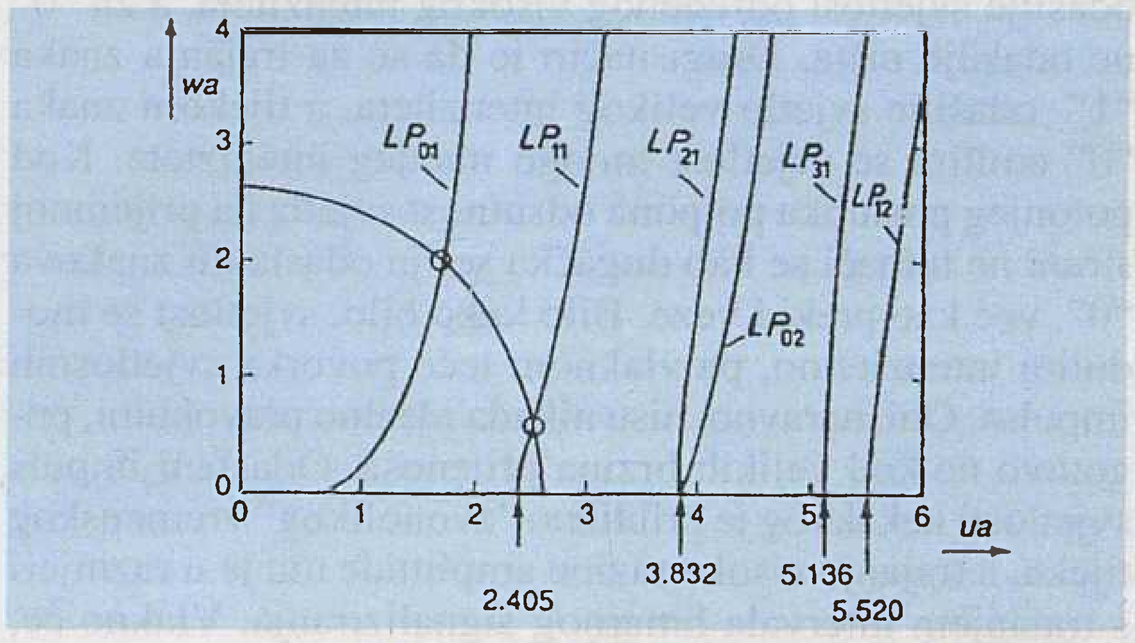
$$\frac{ua\cdot J_{m-1}(ua)}{J_m}=-\frac{wa\cdot K_{m-1}(wa)}{K_m(wa)}, \qquad (25)$$

gdje m poprima vrijednosti:

- $m=1$ ako je $v=0$
- $m=v+1$ i $m=v-1$ ako je $v>0$.

Kada je $v=0$, rješenje (21) ne ovisi o azimutu, te prema tome sadrži klasične TE i TM modove. Za $m=v+1$ dobijaju se tzv. EH modovi, a za $m=v-1$ izlaze HE modovi. Primjerice, $m=1$ daje za $v=0$ TE i TM modove, te za $v=2$ HE modove. Pri $m=2$ nastaju za $v=1$ EH modovi, a za $v=3$ HE modovi. Da bi se sistematizirala ova šuma nastalih modova, uveden je način označavanja: (LP, Linearly Polarized) modovi. U žargonu oni imaju još dva česta naziva: slabo vođeni (weakly guided) modovi - radi pretpostavke koja je dovela do oblika (24), te degenerirani modovi - radi toga što iz jedne karakteristične jednadžbe (25) nastaje za jednu vrijednost m više različitih modova. U oznaci $LP_{m,n}$ broj m je parametar vidljiv u jednadžbi (25) i potom objašnjen, a n je radni broj grane nastale od karakteristične jednadžbe za zadani m(analogno granama $x\tan x$ i $-x\cot x$) kod planarnog valovoda). Kako to izgleda za prvih nekoliko LP modova, ilustrirano je na slici 6. Dobro je usporediti ovu sliku sa slikom 3, i opaziti da se u suštini dobilo isto, samo su krivulje na slici 6 "ružnije" radi kompliciranije matematičke pozadine iza njih. Granične frekvencije modova, koje su se na slici 3 vrlo lako određivale iz trivijalno poznatih nultočaka funkcija $x\tan x$ i $x\cot x$, ovdje slijede iz uvjeta:

$$J_{|m-1|}(ua)=0. \qquad (26)$$



Slika 6. LP modovi u cilindričnom dielektričnom valovodu

Najzanimljivije je utvrditi graničnu frekvenciju moda $LP_{1,1}$, jer padom V ispod te vrijednosti postaje moguće širenje samo jednog moda, i to $LP_{0,1}$. Rješavanjem (26) i uvrštavanjem tog broja u (23), uz $wa=0$, ispada da uvjet za jednomodni prijenos glasi $V<2.405$, što daje:

$$\frac{a}{\lambda}<\frac{1}{2.613\sqrt{n_1^2-n_2^2}} \qquad (27)$$

Uočimo koliko se taj izraz malo razlikuje od (18). Ako je uvjet (27) zadovoljen, dakle ako je jezgra niti dovoljno tanka, optičko vlakno je monomodno, i to u prvom smislu riječi, jer podržava samo mod $LP_{0,1}$ (koji je vrste $HE_{1,1}$), za razliku od pravokutnog valovoda, koji može biti najmanje dvomodni, jer istodobno podupire barem dva moda: TE_0 i TM_0.

Svaki LP mod osim $LP_{0,1}$ sastoji se od više modova, jer se svaki m može dobiti od v na više načina, kako je već objašnjeno. Svi modovi oblika $LP_{0,n}$ sadrže dva moda tipa $HE_{1,n}$. Svi modovi $LP_{1,n}$ sadrže po 4 moda: $TE_{0,n}$, $TM_{0,n}$, te dva moda vrste $HE_{2,n}$. Svi modovi $LP_{m,n}$ za $m>1$ sadrže po dva moda $EM_{m-1,n}$, i dva moda $HE_{m+1,n}$. Dok je zadovoljen uvjet slabog vođenja, svi degenerirani modovi unutar jednoga LP moda su identični i imaju iste prijenosne karakteristike, jer jedan broj m daje jedno rješenje (25). Porastom razlike indeksa loma n_1 i n_2 LP modovi se rascjepljuju na upravo navedene, pa se broj različitih modova drastično

povećava. Međutim, s obzirom da se mod $LP_{0,1}$ sastoji samo od jednog $HE_{1,1}$ moda, on se nikako ne može rascijepiti, tako da jednomodni prijenos može postojati i ako uvjet slabog vođenja nije zadovoljen.

U [1] je pokazano da je za multimodne valovode sa slabim vođenjem, ako je broj mogućih modova barem nekoliko desetaka, taj broj približno jednak $V^2/2$ za skokoviti prijelaz indeksa loma na granici jezgre i ovojnice, odnosno $V^2/4$ za kvadratični profil indeksa loma n_1. Opći profil indeksa loma n_1 promjenjivog s radiusom r definiran je kao:

$$n_1(r)=n_1(r=0)-\left[n_1(r=0)-n_2\right](r/a)^{\alpha} \quad \text{za } r\le a \ , \tag{28}$$

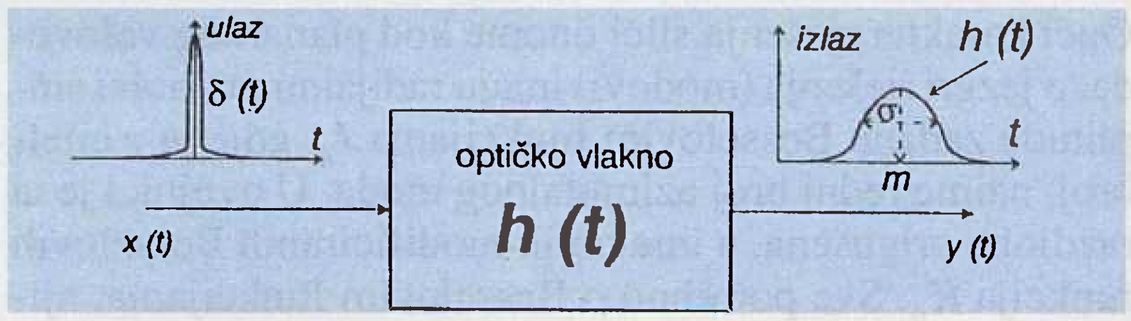
gdje je a stupanj polinoma koji opisuje funkciju $n_1(r)$. Indeks n_2 uvijek je konstantan.

2. DISPERZIJA

Optičkim se sustavima danas uglavnom prenose digitalne informacije. Digitalnim signalom modulira se amplituda svjetlosnog izvora, npr. tako da za binarni znak "1" izvor odašilje svjetlost određenog visokog intenziteta, a za "0" ne odašilje ništa. Drugi način je da se za trajanja znaka "1" odašilje svjetlo velikog intenziteta, a tijekom znaka "0" emitira se svjetlost mnogo manjeg intenizteta. Kod potonjeg postupka potpuna odsutnost svjetla na prijemnoj strani ne tumači se kao dugačka serija odaslanih znakova "0", već kao prekid veze. Bilo kako bilo, svjetlost se modulira intenzitetno, pa vlaknom teče povorka svjetlosnih impulsa. Oni, naravno, nisu nikada idealno pravokutni, pogotovo ne kod velikih brzina prijenosa. Odaslani impuls svjetlosti nekakvog je približno "zvonolikog" vremenskog tijeka, a trajanje visoke razine amplitude mu je u razmjeri s trajanjem intervala binarnog signaliziranja. Vlakno će, međutim, iz razloga koji će biti opisani u ovom poglavlju, distordirati oblik prenošenih implusa u tom smislu da će se oni proširiti. Oštar kratkotrajni impuls na ulazu može se na izlazu pojaviti kao umekšani impuls produljena trajanja. Naravno, kada se prenosi brza povorka binarnih signala, proširenje pulsa na detektorskoj strani znači da će tako izobličeni impuls djelovati na sebi susjedne i izazivati greške u detekciji. Ta se pojava naziva intersimbolnom interferencijom, a posljedica je disperzije u optičkom vlaknu. Disperzija potječe od više uzroka, ali je svim njenim vrstama zajedničko da proširenje pulsa raste linearno s duljinom vlakna. To znači da pojava međusimbolnog utjecaja uzrokovanog disperzijom ograničava duljinu dosega optičke veze. Disperzijske prilike u multimodnim vlaknima su vrlo loše, pa su ih monomodna vlakna, čim su tehnološki dozrela, potisnula iz ozbiljnih aplikacija. Ipak, niti monomodne niti nisu lišene ove štetne pojave. Poglavlje koje upravo slijedi treba nam pokazati da i disperzija, a ne samo gušenje u staklu, skraćuje domet veze, i da je riječ o fundamentalnom problemu koji postavlja izazove tehnologiji svjetlovoda.

2.1. Veličine u linearnim sustavima

Da bismo shvatili građu koja slijedi, moramo najprije definirati osnovne veličine kojima se formalno opisuju linearni sustavi, kakav je i sustav optičkog vlakna pobuđenog ne prevelikim intenzitetom svjetlosti. Neka je vlakno prema slici 7 predstavljeno "crnom kutijom" prijenosne funkcije $h(t)$ u vremenskoj domeni. Ako se ulaz sustava karakteriziranog sa $h(t)$ pobudi vrlo uskim svjetlosnim Diracovim impulsom $x(t)=d(t)$, na izlasu će se pojaviti impuls oblika $y(t)=h(t)$, čiji je dakle vremenski tijek jednak funkciji $h(t)$. Na njemu ćemo definirati neke važne veličine.



Slika 7. Optičko vlakno kao sustav prijenosne funkcije $h(t)$

Mjera zakašnjenja signala $y(t)$ prema $x(t)$ ocjenjuje se medijanom:

$$m_t=\frac{1}{A_h}\int_{-\infty}^{\infty} t\cdot h(t)\cdot dt \ , \tag{29}$$

gdje je A_h "površina" ispod pulsa na izlazu:

$$A_h=\int_{-\infty}^{\infty} h(t)\cdot dt \ . \tag{30}$$

Vremensko proširenje, tj. promjena oblika impulsa, definira se standardnom devijacijom:

$$\sigma_t^2=\frac{1}{A_h}\int_{-\infty}^{\infty}(t-m_t)^2 h(t)\cdot dt=\frac{1}{A_h}\int_{-\infty}^{\infty}(t^2 h(t)\cdot dt-m_t^2 \ . \tag{31}$$

Sustavu prijenosne funkcije u vremenskoj domeni $h(t)$ jednoznačno odgovara prijenosna karakteristika $H(\omega)$ u frekvencijskoj domeni. Između ove dvije funkcije postoji dobro poznata veza:

$$\left.\begin{aligned} H(\omega)&=\int_{-\infty}^{\infty} h(t)\cdot e^{-j\omega t}\cdot dt \\ h(t)&=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} H(\omega)\cdot e^{-j\omega t}\cdot d\omega \end{aligned}\right| \tag{32}$$

$H(\omega)$ uobičajeno se predstavlja svojim amplitudinim i faznim dijelom:

$$H(\omega)=A(\omega)\cdot e^{j\Phi(\omega)} \ . \tag{33}$$

Može se pokazati [1] da vrijedi:

$$m_t=\tau(0) \tag{34}$$

$$\sigma_t^2=\gamma(0)/A_h \tag{35}$$

gdje je $\gamma(\omega)$ grupno kašnjenje:

$$\tau(\omega)=-\frac{d\Phi(\omega)}{d\omega} \ , \tag{36}$$

a $\gamma^2(\omega)$ je veličina koja se obično naziva disperzijom, i iznosi:

$$\gamma^2(\omega)=-\frac{d^2A(\omega)}{d\omega^2} \tag{37}$$

Isto tako vrijedi $A_h=A(0)$.

U linearnim sustavima vrijedi važan teorem kaskadiranja, koji kaže da se u kaskadi dvaju takvih sustava vremena kašnjenja i disperzije zbrajaju, tj.:

$$\tau_2=\tau+\tau_1 \tag{38}$$

$$\sigma^2{}_2=\sigma^2+\rho^2{}_1. \tag{39}$$

Kod signala moduliranih na nosioc frekvencije ω_0 ove relacije vrijede za anvelopu signala (to je ono što nas zanima kod amplitudno moduliranog optičkog signala), ako je

optički signal vrlo uska pojasa u odnosu na val nosioc ($\omega_0 >> 2\pi/\sigma_t$), a to je uvijek tako radi goleme frekvencije svjetlosti. To znači da grupno kašnjenje i disperzija na frekvenciji nosioca određuju kašnjenje i disperziju anvelope, tj. modulacionog digitalnog signala u osnovnom pojasu:

$$\tau=\tau(\omega_0) \tag{40}$$

$$\sigma^2_t=\gamma^2(\omega_0)/A_h \tag{41}$$

2.2. Vrijeme proleta signala u optičkom valovodu

U optičkom valovodu duljine L grupno kašnjenje je prema (36):

$$\tau(\omega)=L(d\beta/d\omega)=(L/c)(d\beta/dk). \tag{42}$$

Pogodno je definirati normaliziranu konstantu širenja:

$$b=\frac{\beta^2/k^2-n_2^2}{n_1^2-n_2^2}=\frac{(\beta/k-n_2)(\beta/k+n_2)}{(n_1-n_2)(n_1+n_2)}. \tag{43}$$

Uz uvjet slabog vođenja, te uz uvažavanje $n_1 \geq \beta/k \geq n_2$, te uz supstituciju $n_1-n_2=n_1\Delta$ lako se dobije izraz za konstantu širenje:

$$\beta \approx k(n_1 b\Delta+n_2), \tag{44}$$

iz čega slijedi:

$$\frac{d\beta}{dk}=n_2+n_1\Delta\frac{d(kb)}{dk}+k\left(b\Delta\frac{dn_1}{dk}+\frac{dn_2}{dk}\right)+n_1 kb\frac{d\Delta}{dk}. \tag{45}$$

Prva dva pribrojnika na desnoj strani predstavljaju kašnjenje u "idealnom" staklu, gdje indeksi loma ne ovise o k. Ostali daju kašnjenje uslijed ovisnosti indeksa loma o k(tj. praktički o λ svjetlosti). Može se pokazati da od potonjih najveće vrijednosti poprima izraz $k\, dn^2/dk$, dok su ostali zanemarivi. S obzirom da je k prema (16) u proporcionalnoj vezi s V prema (16), može se pisati $d(kb)/dk=d(Vb)/dV$, pa končan izraz za vrijeme proleta moda m ima oblik:

$$\tau_m=\frac{L}{c}\frac{d\beta_m}{dk}\approx\frac{L}{c}\left\{n_2\left[1+\Delta\frac{d(Vb_m)}{dV}\right]+k\frac{dn_2}{dk}\right\}, \tag{46}$$

gdje je pretpostavljeno da je $n_1 \approx n_2$. Veličina $d(Vb_m)/dV$ prikazana je za LP modove cilindričnog dielektričnog valovoda na slici 8a. Slika 8b pak prikazuje ovisnost n_2 o λ, iz koje se može izračunati termin dn_2/dk u (46)

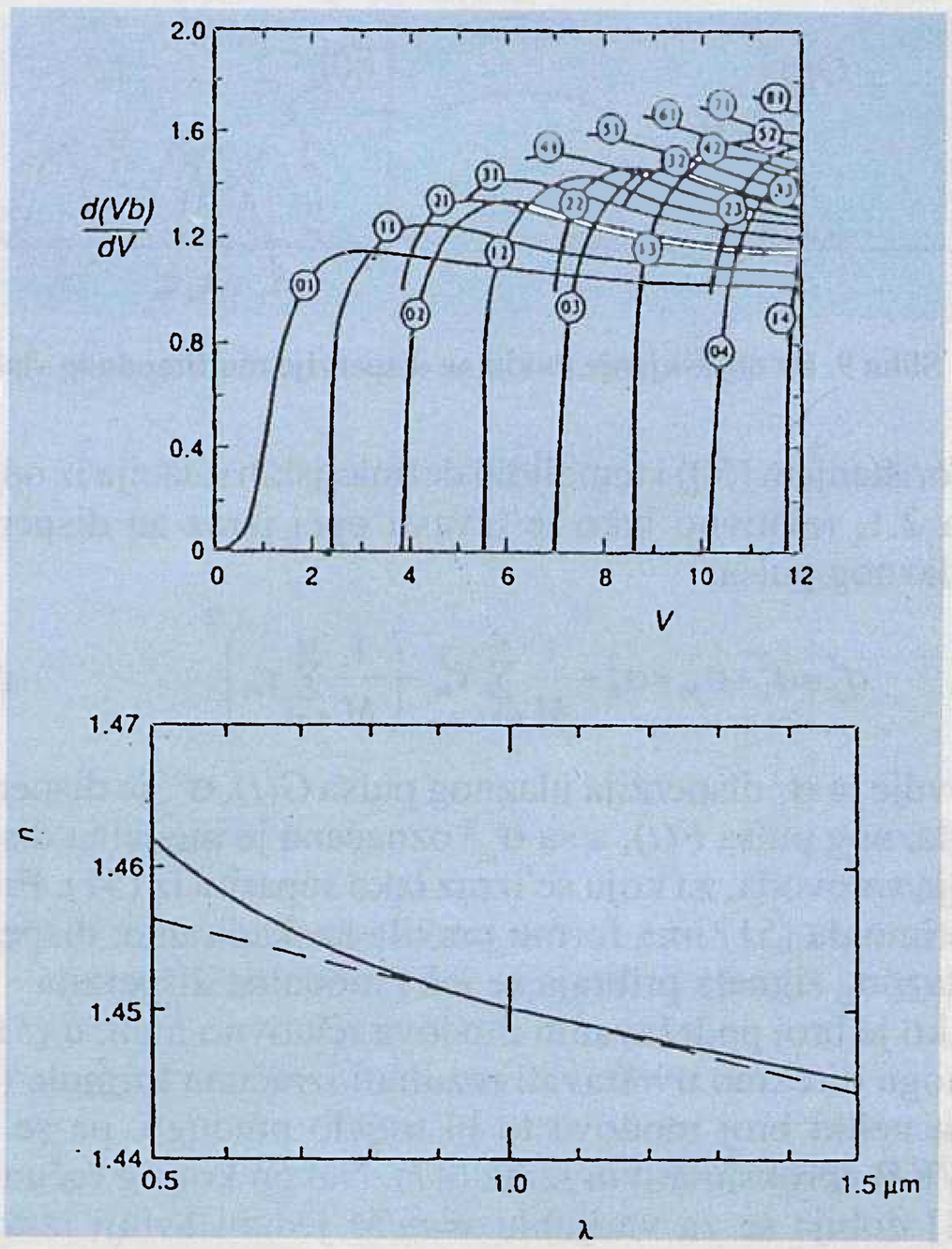
Spomenimo još i to da pri računanju disperzije u "širokom" valovodu, koji podržava vrlo veliki broj modova, uporaba formule (46) neće biti pogodna, radi prevelike količine potrebnog računanja. Umjesto toga, taj se oblik korištenjem WKB aproskimacije (prema autorima postupka, Wenzelu, Kramersu i Brillouinu) [1] može dovoljno približno izraziti bez nezgodnog termina $d(Vb_m)/dV$:

$$\tau_m=\frac{Lkn_1}{c\beta_m}\left[N_1-\frac{4\Delta}{2+\alpha}\left(N_1+\frac{n_1 k}{2\Delta}\frac{d\Delta}{dk}\right)\left(\frac{m}{M}\right)^{\alpha/(2+\alpha)}\right], \tag{47}$$

gdje je a definrian u (28). M je ukupni broj modova, a m je broj modova s normaliziranom konstantom propagacije prema (43) većom od b_m. N_1 je grupni indeks definran kao:

$$N_1=\frac{d(n_1 k)}{dk}=n_1+k\frac{dn_1}{dk}. \tag{48}$$

a)



Slika 8. a) *d(Vbm)/dV* za prve modove cilindričnog dielektričnog valovoda; b) indeks loma silica stakla *n* kao funkcija valne duljine

2.3. Modalna disperzija u multimodnom vlaknu

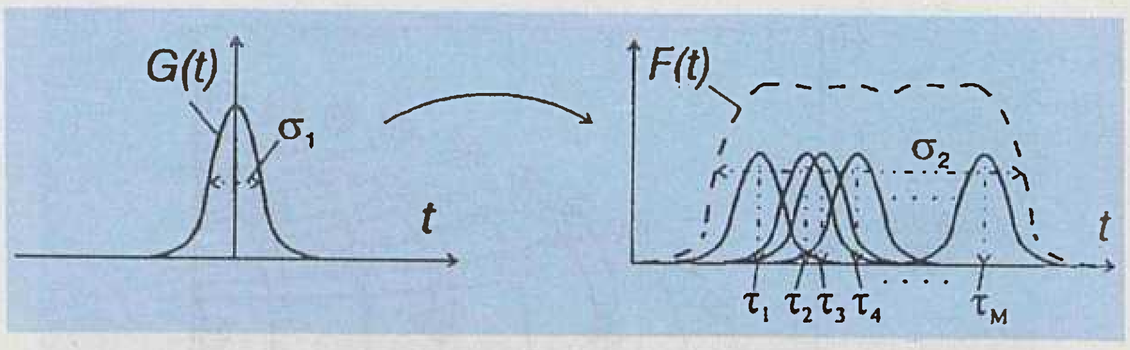
Fizikalnu predodžbu o uzrocima nastanka modalne disperzije lako je dobiti. Ključ razmatranja je u formuli (46): različiti modovi očito imaju različita vremena proleta. U multimodnim vlaknima ukupna svjetlosna energija ubačena u valovod može se širiti na M različitih načina, tj. u M modova s različitim propagacijskim osobinama. Zato će jedan dio svjetlosne energije doći na cilj (drugi kraj vlakna) ranije, a drugi kasnije. Što je vlakno dulje, to su i vremena proleta i njihove razlike veće, te je veća i disperzija (proširenje) pulsa. Situacija je zorno ilustrirana na slici 9, na kojoj je pretpostavljeno da je razdioba snage po modovima jednolika, pa svaki puls pristigao bilo kojim modom ima istu amplitudu. Uočimo da radi različitih kašnjenja ovih impulsa ukupni impuls, dobiven intenzitetnim sumiranjem doprinosa svih modova, evidentno trpi proširenje. Pretpostavka o intenzitetnom sumiranju dobro funkcionira za izvore svjetlosti koji se standardno koriste, dočim pretpostavka o jednolikoj razdiobi snage po modovima ne mora biti bliska istini, ali daje u svakom slučaju najlošije rezultate (najveću disperziju), pa stoga omogućuje procjenu najgorih mogućih prilika. Uz to, ona znatno pojednostavnjuje računanja.

Pretpostavimo da je intenzitet moduliranog ulaznog optičkog impulsa vremenska funkcija $G(t)$. Vrijedi:

$$x(t)=\text{konst.}\cdot\sqrt{G(t)}\cdot\exp(\omega_0 t) \tag{49}$$

Na izlazu se pojavljuje intenzitetna suma doprinosa pojedinih modova, pa je ukupna vremenska funkcija intenziteta na izlazu (vidjeti sliku 9):

$$F(t)=(1/M)\sum_{m=1}^{M} G(t-\tau_m). \tag{50}$$



Slika 9. Uz objašnjenje modalne disperzije multimodnog vlakna

Korištenjem (50) i temeljnih definicijskih relacija iz odjeljka 2.1, relativno lako je izvesti opći izraz za disperziju izlaznog pulsa:

$$\sigma_2^2=\sigma_1^2+\sigma_M^2=\sigma_1^2+\frac{1}{M}\sum_{m=1}^{M}\tau_m^2-\left(\frac{1}{M}\sum_{m=1}^{M}\tau_m\right)^2 \qquad (51)$$

Ovdje je σ_1^2 disperzija ulaznog pulsa $G(t)$, σ^2_2 je disperzija izlaznog pulsa $F(t)$, a sa $\sigma_m{}^2$ označena je modalna disperzija valovoda, za koju se izraz lako separira iz (51). Primijetimo da (51) ima formu pravila kaskadiranja: disperziji ulaznog signala pribraja se još i modalna disperzija.
Ako je broj podržavanih modova relativno mali, u (51) se mogu direktno uvrštavati rezultati izračuna formule (46). Za veliki broj modova to bi trajalo predugo, pa se rabi WKB aproksimativni izraz (47). Nakon kraćeg računanja [1] dobija se za varijablu $x=m/M$ jednostavniji izraz za kašnjenje:

$$\tau(x)=(LN_1/c)(1+c_1\Delta x^{\varphi}+c_2\Delta^2 x^{2\varphi}), \qquad (52)$$

gdje su:

$$\left.\begin{aligned} c_1&=(\alpha-2-\varepsilon)/(2+\alpha) \qquad \varepsilon=(2n_1/N_1)(k/\Delta)(\partial\Delta/\partial k)\\ c_2&=(3\alpha-2-2\varepsilon)/(4+2\alpha) \qquad \gamma=\alpha/(2+\alpha)\end{aligned}\right\} \qquad (53)$$

Izraz (52) zapravo je ekvivalentan (47), samo je zapisan u zgodnijem obliku. Sume iz (51) mogu se za veliki broj modova M nadomjestiti ingralima:

$$(1/M)\sum_{m=1}^{M}\tau_m\approx\int_0^1\tau(x)dx \;\text{ i }\; (1/M)\sum_{m=1}^{M}\tau_m^2\approx\int_0^1\tau^2(x)dx, \qquad (54)$$

pa je račun dalje sasvim jednostavan, jer se prelazi na elementarne integrale polinoma. Na taj se način dobiva opći izraz za modalnu disperziju multimodnog vlakna:

$$\sigma_M^2=\left(\frac{LN_1\Delta}{c}\right)^2\frac{\alpha^2(2+\alpha)}{4(\alpha+1)^2(3\alpha+2)}\left[c_1^2+\frac{4\Delta c_1c_2(\alpha+1)}{2\alpha+1}+\frac{16\Delta^2c_2^2(\alpha+1)^2}{(5\alpha+2)(3\alpha+2)}\right]. \qquad (55)$$

Iz toga slijede zanimljivi posebni slučajevi glede odabira stupnja a funkcionalne ovisnosti indeksa loma jezgre o udaljenosti od osi vlakna prema (28). Za skokovitu promjenu indeksa loma na granici jezgre i ovojnice $a\to\infty$, pa limes izraza (55) daje:

$$\sigma^2_{M,\infty}=(1/12)(LN_1\Delta/c)^2 \qquad (56)$$

Ako je $\alpha=2+\varepsilon$, tada je $c_1=0$, a $c_2=1/2$, pa uz $\Delta<<1$ i $\varepsilon<<1$ izlazi:

$$\sigma^2_{M,2+\varepsilon}=(1/12)(\Delta/2)^2(LN_1\Delta/c)^2. \qquad (57)$$

Interesantno je da postoji broj α_0 koji minimizira (55), a taj iznosi:

$$\alpha_0=2+\varepsilon-\Delta(4+\varepsilon)(3+\varepsilon)/(5+2\varepsilon), \qquad (58)$$

pa uz $\Delta<<1$ i $\varepsilon<<1$ izlazi:

$$o^2_{M,nq}=(1/12)(\Delta/10)^2(LN_1\Delta/c). \qquad (59)$$

Oznaka "*nq*" dolazi od "near quadratic profile", jer je α_0 samo neznatno veći od 2. Takav profil indeksa loma daje minimalnu vrijednost modalne disperzije multimodnih vlakana, što je i vidljivo iz (56,57,59). U odnosu na disperziju vlakna sa skokovitom promjenom indeksa loma, *nq* profil uz uobičajenih $\Delta\approx0.01$ daje i do 500 puta manji iznos modalne disperzije. Zato su *nq* multimodna vlakna bila vrlo popularna, sve do pojave monomodnih vlakana.

2.4. Kromatska disperzija u monomodnom vlaknu

Osim modalnoj disperziji, multimodna vlakna također su podložna i tzv. kromatskoj, ali je ona toliko manja, da je osim možda u *nq* vlaknima zanemariva. Pošto monomodno vlakno ne dozvoljava propagaciju nikojega drugog moda osim $LP_{0,1}$ modalne disperzije u njemu nema. Zato je proizvodnja dovoljno tankih staklenih niti značila jedan od dva fundamentalna tehnološka napretka, koji su omogućili izgradnju velikih optičkih mreža. (Drugi je proizvodnja stakla dovoljni niskog specifičnog gušenja.)
Kromatska disperzija, kako ćemo vidjeti, ovisi o konstrukcijskim svojstvima valovoda i o tehnološkim osobinama stakla, ali porijeklo vuče iz nekoherentnosti svjetlosnog izvora. Proces koji se događa u laseru stohastičkog je tipa, i laserska dioda ne može nikada proizvesti monokromatsku svjetlost samo jedne "boje", tj. valne duljine. Umjestno toga, njena svjetlost sadrži kontinuirani spektar valnih duljina opisan funkcijom $P(\lambda)$. Snaga emitirana na nekoj valnoj duljini λ jednaka je $P(\lambda)dp$. Mjera spektralne širine izvora svjetlosti je veličina:

$$\sigma_\lambda^2=\frac{\int_0^\infty(\lambda-\lambda_0)^2P(\lambda)d\lambda}{\int_0^\infty P(\lambda)d\lambda} \qquad (60)$$

U nazivniku figurira ukupna zračena snaga svjetlosti. Valna duljina λ_0 je ona na kojoj funkcija razdiobe $P(\lambda)$ ima maksimum. To je, dakle, dominantna valna duljina izvora (njegova boja). Što je ova disperzija izvora veća, dakle što je on nekoherentniji (lošiji), signali prenošeni optičkim sustavom trpjet će veću kromatsku disperziju. LED diode su u tom pogledu mnogo lošije od laserskih, pa se u ozbiljnim primjenama uopće ne koriste. Veličina σ_λ, dakle korijen od (60), ima dimenziju valne duljine (najčešće se rabi nm), i označuje na neki način spektralnu širinu izvora, o kojoj direktno ovisi veličina disperzije u monomodnom vlaknu. Kromatska disperzja monomodnog vlakna [1] može se izvesti kao:

$$\sigma_k^2=\sigma_k^2\left(\frac{d\tau}{d\lambda}\right)^2. \qquad (61)$$

Kada se izračuna dp/dy, taj izraz poprima svoj konačan oblik:

$$\sigma_k=\frac{L}{c}\sigma_\lambda\left[\frac{n_{2\Delta}}{\lambda}V\frac{d^2(Vb)}{dV^2}+\lambda\frac{d^2n_2}{d\lambda^2}\right]. \qquad (62)$$

Zamijetimo da prvi član zagrade na desnoj strani ovisi samo o konstrukciji valovoda, a drugi o promjeni indeksa loma stakla s valnom duljinom. Dakle, kromatska disperzija sastoji se od valovodne i materijalne komponente. Oba ova člana razmjerna su, naravno, duljini vlakna i spektralnoj širini izvora.
Zanimljivo je da član materijalne disperzije u (62) može biti negativan, pa se teoretski može poništiti s valovodnim članom. U praksi, s obzirom da je (62) aproksimativna for-

mula, kromatska disperzija može se samo minimizirati, i to vrlo značajno. Za silica staklo područje negativne materijalne disperzije oko λ=1300 nm. Dopiranjem nečistoća u materijal moguće je, po cijenu blago povećanog gušenja, područje negativne disperzije pomaknuti u pojas oko λ=1500 nm, koji je karakteriziran najmanjoj specifičnom atenuacijom (oko 0.25 dB/km). Tako dobivena monomodna vlakna zadnja su riječ tehnologije i omogućuju realizaciju dugačkih dionica (reda 100 km) bez regeneratora.

2.5. Rekapitulacija disperzije

Ponovimo u nekoliko rečenica važnu problematiku disperzije.

Dispezija ograničava umnožak dosega otpičke veze i maksimalne digitalne brzine na njoj adi unošenja intersimbolne interferencije. Multimodna vlakna pate od **modalne** disperzije, nastale uslijed različitih vremena proleta prisutnih modava. U monomodnim vlaknima *nema* modalne disperzije, već postoji samo *kromatska*, koja ima svoj *valovodni i materijalni* član, a *uzrokovana* je *nekoherentnošću* svjetlosnog izvora. Valovodni član posljedica je toga što različite valne duljine u svjetlosnom signalu imaju, naravno, različit omjer λ/a naspram polumjeru valovoda, pa imaju i različita propagacijska svojstva, te se pojedini dijelovi ukupne optičke snage šire različitim faznim brzinama. Materijalna disperzija postoji radi ovisnosti drugog bitnog parametra valovoda, a to je indeks loma, o valnoj duljini. Valovodna i materijalna disperzija mogu se približno poništiti. Multimodno vlakno *nq* profila ima najmanju modalnu disperziju, pa se kod njega osjeća utjecaj i kromatske disperzije, inače zanemarive kod drugih tipova multimodnih vlakana. Proizvođači vlakana izriču njihova disperzijska svojstva na dva načina: kod multimodnih niti uobičajeno je specificirati maksimalan umnožak širine pojasa i dosega veze MHz km], a kod monomodnih izriče se veličina $\sigma_k c/(\sigma_\lambda L)$ mjernom jedinicom [ps/nm/km], gdje se nm odnosi na spektralnu širinu izvora σ_λ.

3. SOLITONSKI PRIJENOS

U prethodnom poglavlju vidjeli smo da se kromatska disperzija monomodnih vlakana u linearnom optičkom mediju (kojemu indeks loma *ne ovisi* o amplitudi optičkog polja) može minimizirati, ali se ne može poništiti. Najuzbudljiviji napredak uopće u tehnici optičkog prijenosa današnjice bazira se na *potpunom* poništenju disperzije monomodnog vlakna uporabom optičkih pulseva velike snage, koja dovodi stakleni medij u nelinearni režim rada, u kojemu se ispoljava *Kerrov efekt* ovisnosti indeksa loma o amplutidi svjetlosnog signala. Ako je ta amplituda dovoljno velika, indeks loma ovisi o jakosti električnog polja elektromagnetskog optičkog vala na način:

$$n=n_0+n_2\left|E\right|^2 \tag{63}$$

Konstanta n_2 ima očio dimenziju m^2/V^2. U optičkom mediju tada vrijedi nelinearna valna jednadžba:

$$\frac{\partial E}{\partial z}+\left(\frac{\partial\beta}{\partial\omega}\right)\frac{\partial E}{\partial t}-j\left(\frac{\partial^2\beta}{\partial\omega^2}\right)\frac{\partial^2 E}{\partial t^2}+jk_0(n_2\left|E\right|^2)E=0, \tag{64}$$

gdje je k_0 efektivna vrijednost konstante analogna pravoj konstanti iz linearne valne jednadžbe. Uz transformaciju koordinata $x=(t-z\partial\beta/\partial\omega)/\tau_0$, te uz pretpostavku rješenja u obliku:

$$E=Ay(x)e^{jaz}, \tag{65}$$

jednadžba poprima jednostavniji oblik:

$$y''-\frac{2a\tau_0^2}{\partial^2\beta/\partial\omega^2}y-\frac{2k_0n_2\tau_0^2}{\partial^2\beta/\partial\omega^2}A^2y^3=0. \tag{66}$$

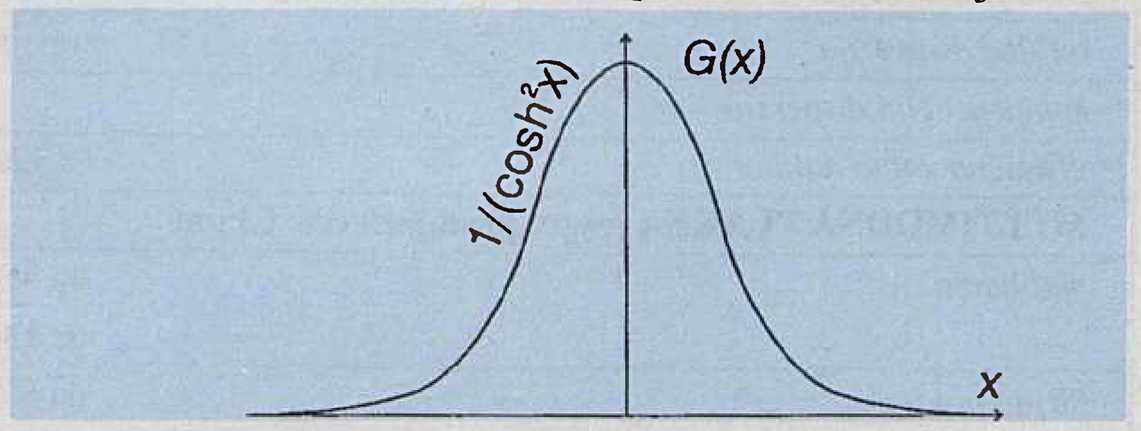
Rješenje ove običe diferencijalne jednadžbe ima oblik $y(x)=1/\cosh x$, odnsno impuls optičke snage ili intenziteta izražen transformiranom koordinatom x ima oblik:

$$G(x)\rightarrow 1/\cosh^2 x, \tag{67}$$

dok su konstante određene kao:

$$a=-(k_0n_2A^2)/2 \text{ i } \tau_0=\sqrt{(1/2a)(\partial^2\beta/\partial\omega^2)} \tag{68}$$

Izgled solitonskog impulsa (67) prikazan je slikom 10. On putuje vlaknom bez promjene oblika, tj. vrijedi: $G(z,t)=G(z-vT,t\ T)$ za gibanje duž osi z brzinom v. Prema tome, on *ne podliježe* disperziji. U stvari, nelinearni Kerrov efekt kompenzia rezidualnu kromatsku disperziju monomodnog vlakna. Iz (68) se visi da su amplituda i brzina solitonskog vala međuovisne veličine. Solitonski prijenos moguće u pojasu λ>1300 nm. Naime, u njemu je $\partial_\beta^2/\partial\omega^2<0$, što mora biti zadovoljeno s obzirom na negativnost veličine, a koja figurira ispod korijena u (68). Jaki i uski solitoni putuju brži od slabih i širokih. Kada brži soliton sustigne sporijega, složenim mehanizmom nelinearne interakcije oni se stapaju u jedan puls i nastavljaju dalje putovati zajedno. Ovaj efekt uzrokuje Gordon-Hausov limit u prijenosu vrlo brzih digitalnih signala na vrlo velikim daljinama. Gušenjem u vlaknu amplutuda solitona se smanjuje, radi čega slabi Kerrov efekt (63). Zbog toga treba periodično duž dionice vršiti regeneraciju signala. Sretnom igrom okolnosti, u zadnje vrijeme razvijena je tehnika *čisto optičkog pojačanja* signala svjetlovodnim pojačalima onečišćenim erbijem (detaljnije u slijedećem nastavku), bez potrebe za međukonverzijom u električki. Ova pojačala mogu bii integrirana u kabel, a vrše direktno pojačanje svjetlosti, bez obzira na rabljenu modulacionu tehniku. Solitonski prijenos uz periodičko optičko pojačanje signala omogućio je *spektakularan* napredak u transmisijskoj moći optičkih sustava. U cikličkim formama svjetlovoda već je više puta demonstriran prijenos na daljine od 40000 km (opseg Zemlje) i više, praktički bez i najmanje mjerljive disperzije. Što više, uz periodičku obnovu amplitude i sinkornizacije pulseva (dakle uz elektroničku konverziju s ciljem prevladavanja Gordon-Husovog limita), prije 4 godine je u Japanu demonstriran ciklički prijenos preko *milijuna kilometara*, što znači da je tehnologija svjetlovoda sazrela u tolikoj mjeri da može pružiti *praktički beskonačan* transmisijski spektar. Ograničenje danas leži u nemogućnosti elektroničkih multipleksa i komutacija da ra-



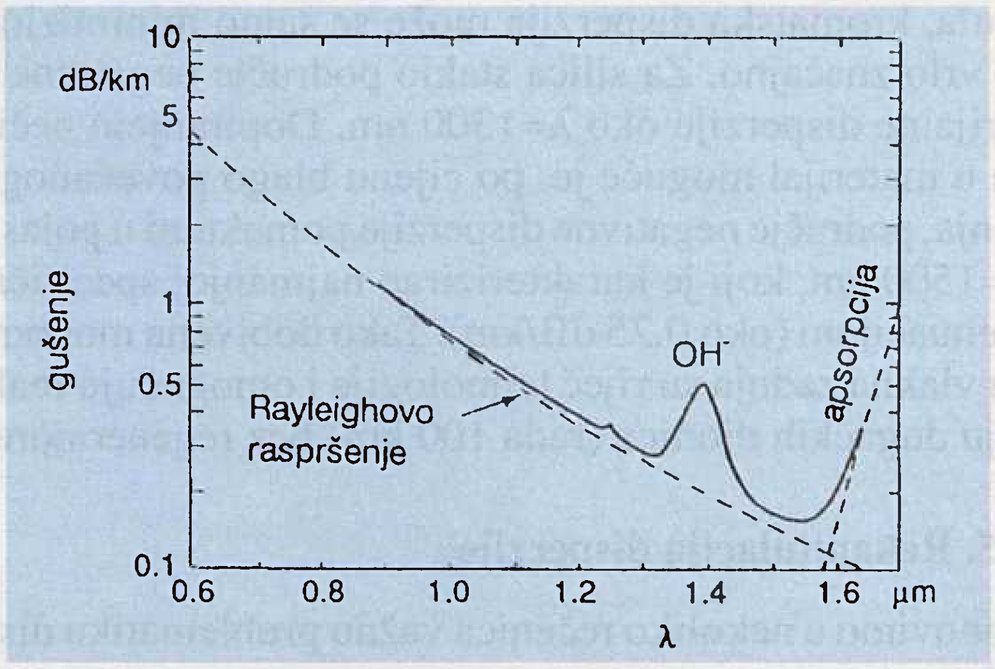
Slika 10. Valni oblik solitonskog impulsa

de sa signalima brzžim od 10 Gb/s. Razvojem *optičkih komutacija* očekuje se u slijedećim godinama porast propusne moći sustava do reda 1000 Gb/s po jednoj optičkoj parici na bilo kojoj udaljenosti ostvarivoj na planeti Zemlje. Danas su vrlo veliki istraživački napori tehnologa usmjereni u tom pravcu.

4. GUŠENJE OPTIČKIH VLAKANA

Prigušenje optičke snage prilikom prolaska svjetlosti kroz staklo bio je ključni problem u ostvarenju optičkog prijenosa. Do 1968. godine bilo je nemoguće, uz tada najsavršeniju tehnologiju, proizvesti staklo gušenja manjeg od 1000 dB/km. Ozbiljan proboj napravljen je 1970. u USA, kada je načinjeno staklo s gušenjem od samo 20 dB/km, što je omogućilo realizaciju multimodnih vlakana s kilometarskim dosegom veze. Danas je tehnologija silica stakla došla do stadija pri kojemu se uspijeva proizvesti materijal gušenja od samo 0.2 dB/km!

Gušenje optičkog medija jako ovisi o valnoj duljini. Na malim λ najveću ulogu igra Rayleighovo raspršenje na nehomogenostima strukture stakla, koje ima ovisnost tipa $1/\lambda^4$. Ova vrsta gušenja zanemariva je za λ>1600 nm u silica staklu. Druga vrsta gušenja nastaje apsorpcijom fotona od strane staklenog materijala SiO_2, koja ima rezonantni vrh na nekih 900 nm, a u području iznad 1600 nm preuzima glavnu ulogu od Rayleighovog raspršenja. U proizvodnji stakla nemoguće je iz njega potpuno eliminirati vodu, pa zaostali OH^- ioni uzrokuju apsorpciju s rezonantnim vrhom na 2730 nm, tj. s njegovim 2. harmonikom na nekih 1365 nm. Tijek ukupne krivulje gušenja silica stakla prikazan je na slici 11. Na njoj se mogu zapaziti dva "prozora" s niskim specifičnim gušenjem. U prozoru oko 1300 nm gušenje iznosi približno 0.35 dB/km. U njemu je moguća kompenzacija kromatske disperzije. Pri λ oko 1500 nm, gdje gušenje može pasti ispod 0.2 dB/km, izvediva je kompenzacija kromatske disperzije u tzv. dopiranim disperzijski pomaknutim vlaknima (uz cijenu povećanja gušenja



Slika 11. Krivulja gušenja silica stakla

na nekih 0.25 dB/km), i moguće je korištenje solitoskog prijenosa. Sreća je što je priroda omogućila da upravo u tom atraktivnom području mogu postojati efikasni laseri i optička erbijeva pojačala. Valna duljina apsolutnog minimuma gušenja silica stakla je 1550 nm. Dodatni izvori gušenja u optičkim sustavima su konverzija modova kod multimodnih vlakana, nesavršena geometrijska vlakna, mikrosavijanja valovoda i prisutnost sprežnika, spojeva i konektora.

5. NEKI TVORNIČKI PODACI

Da bi se zorno ilustriralo dosadašnje izlaganje, u tablici 1 dani su najvažniji parametri optičkih vlakana koje na tržištu trenutno nudi Ericsson [3].

6. ZAKLJUČAK

Prikazana su temeljna fizikalna svojstva prijenosa svjetlosnog signala optičkom niti, problemi vezani uz disperziju optičkih impulsa i metode borbe protiv njenih neželjenih efekata. Dan je osvrt na stanje tehnologije i perspektive razvoja optičkog prijenosnog medija.

Tablica 1 - Transmisijske karakteristike optičkih vlakana koja nudi Ericsson [3]

JEDNOMODNA VLAKNA jezgre promjera 9 μm. Jezgra je od dopiranog silica stakla, ovojnica od čistog stakla, a omotač od UV-otpornog akrilata.		
slabljenje	u pojasu 1285-1330 mm	<0.38 dB/km
	na 1310 nm	< 0.36 dB/km
	u pojasu 1530 - 1570 nm	< 0.25 dB/km
	na 1550 nm	< 0.20 dB/km
kromatska disperzija	na 1550 nm	< 18 ps/nm/km
kompenzacija disperzije		između 1304 i 1324 nm
granična valna duljina		< 1260 nm
DISPERZIJSKI POMAKNUTA JEDNOMODNA VLAKNA za 1550 nm, uz promjer jezgre od 8 μm		
srednje slabljenje		< 0.25 dB/km
totalna disperzija	u pojasu 1525 - 1575 nm	< 2.7 ps/nm/km
kompenzacija disperzije		između 135 i 1565 nm
granična valna duljina	< 1250 nm	
MULTIMODNA VLAKNA jezgre promjera cca. 63 μm		
slabljenje	na 850 nm	< 3.5 dB/km
	na 1300 nm	< 1.0 dB/km
širina pojasa	na 850 nm	> 200 MHz km
	na 1300 nm	> 500 MHz km

LITERATURA

[1] G. EINARSSON: "Principles of Lightwave Communications", John Wiley & Sons Inc, Chichester, 1996.
[2] BRONŠTEJN - SEMENDJAJEV, "Matematički priručnik za inženjere i studente", Tehnička knjiga, Zagreb, 1991.
[3] Ericsson Cabels AB, "Optical Fiber Cabels, Product Information", Hudiksvall, 1995.
[4] R. L. FREEMAN "Reference Manual for Telecommunications Engineering", second ed, John Wiley & Sons Inc, New York, 1994.
[5] S. HAYKIN, "Communications Systems", 3rd ed, John Wiley & Sons Inc, New York, 1994.

BASIC OPTICAL COMMUNICATIONS - PART 1: TRANSMISSION OF OPTICAL SIGNALS BY LIGHT-CONDUCTING FIBER

Basic optical signal transmission theory by dielectric wave conductor (light conductor) is described as well as the foundations of the optical impulse dispersion theory transmitted by it. The technological possibilities of dispersion reduction are also given together with solitonal signal transmission and suppression in the optical fiber. The theory explained is finally substantiated by factory data on transmission parameters of the commercial light conductors.

GRUNDLAGEN DER OPTISCHEN FENMELDETECHNIK - I. TEIL: ÜBERTRAGUNG DES OPTISCHEN SIGNALS MITTELS EINES LICHTLEITERFASSERS

Dargestellt sind die Grundlagentheorien der Übertragung optischer Signale mittels dielektrischer Wellenleiter (Lichtleiter), sowie die Grundlagentheorien der Streuung derart über tragener optischer Impulse. Beschrieben sind ebenfalls verfahrenstechnische streuungmindernde Methoden und die solitone Signalübertragung, sowie die Dämpfung im optischen Faser. Am Ende sind theoretische Darstellungen durch eine Übersicht technischer Angaben bezüglich Übertragungseigenschaften handelsüblicher Lichtleiter bewiesen.

Naslov pisca:
Mr. sc. Dubravko Sabolić, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda d.d.
Prijenosno područje Zagreb
Ulica grada Vukovara 37
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1997-08-24.

PODUNAVLJE PONOVNO SASTAVNI DIO ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA HRVATSKE

Dio elektroenergetskog sustava u hrvatskom Podunavlju koji je pod UNTAES-om pokriva Prijenosno područje Osijek za prijenosnu mrežu 110 i 400 kV, te distribucijska područja DP Elektroslavonija Osijek i DP Elektra Vinkovci.
Da bi se ovaj dio elektroenergetskog sustava reintegrirao u elektroenergetski sustav Hrvatske elektroprivrede potrebno je, osim uvođenja organizacijskog sustava HEP-a, obaviti sanaciju postojećih dalekovoda, izgraditi nove dalekovode i osigurati dodatne izvore električne energije, jer se to područje dosada napajalo električnom energijom iz Vojvodine u SRJ. Radovi su opsežni i složeni s obzirom na dijelove miniranog terena na trasama dalekovoda. U okviru njih potrebno je:

- izvršiti sanaciju DV 110 kV Valpovo-Beli Manastir i DV 110 kV Vinkovci - Vukovar
- izvršiti sanaciju DV 35 kV Osijek - Dalj
- izvršiti sanaciju DV 20 kV Osijek - Tenja
- izgraditi DV 20 kV Opatovac - Šarengrad
- instalirati 5 dizelskih elektrana (iz Dalmacije): u Dalju (10 MW), Vukovaru dvije (12 i 13 MW), Tovarniku (7 MW) i ILok (4 MW).

Izgradnjom dvostrukog kabelskog dalekovoda 35 kV Osijek - Bilje osigurat će se trajna i sigurna opskrba kvalitetnom električnom energijom gotovo polovice područja hrvatskog Podunavlja.

Radove obavljaju stručnjaci distribucijskih područja iz cijele Hrvatske. Objekti se postupno stavljaju u funkciju kako se završavaju. Očekuje se njihovo kompletno dovršenje do kraja jeseni ove godine.

SBK

STIGLA PTE DUJMOVAČA U EL-TO ZAGREB

U okviru cjelokupne obnove El-TO Zagreb uključeno je i preseljenje PTE Dujmovača 2 x 25,6 MW iz Splita. Naime, PTE Dujmovača je izgubila svoju funkciju uspostavom jedinstvenog elektroenergetskog sustava ponovnim priključenjem Dalmacije. Tako je ostala kao rezerva, što je bilo prilično skupo. Na drugoj strani El-TO Zagreb teško uspijeva zadovoljiti potrebe potrošača. Svestranom analizom utvrđeno je da je isplativo PTE Dumovaču premjestiti u Zagreb. Ovime će se rasteretiti energetski sustav u zimskim mjesecima te povećati pouzdanost isporuke električne i toplinske energije iz EL-TO Zagreb.
U tijeku su također radovi na spajanju EL-TO visokotlačnim plinovodom do magistralnog plinovoda INA-Naftaplin. Kako postojeća plinska mreža ne udovoljava uvjetu visine tlaka na ulazu u turbinu moralo se prići izgradnji spoja na magistralni plinovod.

SBK

NASTAVLJAJU SE ISTRAŽIVANJA VJETROPOTENCIJALA PRIOBALJA

Skupina znanstvenika sa splitskog Fakulteta elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje na čelu sa Prof. dr. sc. Ljiljanom Pilić-Rabadan čini tim koji koristeći Ekspertni sustav CRO-EOL istražuje mogućnost korištenja energije vjetra u proizvodnji električne energije. Kao rezultat višegodišnjeg istraživanja našeg priobalja i otoka sredinom prošle godine dovršena je "Studija o mogućnostima proizvodnje električne energije iz energije vjetra u Republici Hrvatskoj."

Ove godine Ministarstvo znanosti i tehnologije odobrilo je nastavak istraživanja korištenjem ovog ekspertnog sustava kroz novi istraživački projekt "CRO-EOL 2", koji bi trebao biti završen do 2000. godine. U ovom dijelu istraživanja na terenu će se provjeriti mogućnosti pretvorbe eolne energije pomoću vjetrogeneratora.
Dosadašnja istraživanja potvrdila su da na našem priobalju ima neiskorištenih vjetropotencijala. Studija je utvrdila makrolokacije, polazeći od osnovnog kriterija da se obuhvaćaju područja gdje je prosječna snaga vjetra na visini od 10 m od tla ≥ 100 W/m^2. Pri tome su iz razmatranja isključena područja:

- sigurnosti i zaštite objekata i ljudi
- specijalne namjene
- gdje fizički nije moguć smještaj vjetro-turbinsko-generatorskih (WTG) jedinica
- namijenjena za izgradnju stambenih i gospodarskih objekata
- iznimnih prirodnih ljepota i kulturnog naslijeđa
- na kojima nije moguće gospodarstveno korištenje energije vjetra.

Primijenjen je kriterij, prema svjetskim iskustvima, da se gospodarsko korištenje energije vjetra postiže na lokacijama na kojima su srednje godišnje brzine vjetra ≥ 6,0 m/s, odnosno faktor angažirane snage > 0,25.
Za rangiranje makrolokacija primijenjeni su kriteriji:

- srednja godišnja brzina vjetra

Tablica 1. Redoslijed 32 najboljih makrolokacija vjetroelektrana (VE)

Rang lokacije	Oznaka lokacije	Naziv lokacije	Ocjena	Klasa
1.	20	Krk 4	1,000	
2.	24	Rab 2	0,941	
3.	51	Dovanj 1	0,909	
4.	30	Pag 5	0,890	I
5.	18	Krk 2	0,887	
6.	14	Cres 2	0,877	
7.	22	Lošinj 1	0,874	
8.	21	Krk 5	0,849	
9.	76	Korčula 2	0,828	
10.	77	Korčula 3	0.815	
11.	10	Senj 2	0,814	II
12.	68	Lastovo 2	0,803	
13.	66	Vis 4	0,794	
14.	65	Vis 3	0,764	
15.	48	Kaštela 1	0,756	
16.	64	Vis 2	0,739	
17.	81	Pelješac 3	0,734	
18.	84	Pelješac 6	0,734	
19.	42	Zagora 1	0,733	
20.	9	Senj 1	0,729	III
21.	50	Mosor 2	0,728	
22.	75	Korčula 1	0,727	
23.	63	Vis 1	0,725	
24.	70	Biokovo 2	0,715	
25.	86	Mljet 1	0,709	
26.	44	Zagora 3	0,705	
27.	80	Pelješac 2	0,703	
28.	78	Korčula 4	0,698	IV
29.	85	Pelješac 7	0,686	
30.	67	Lastovo 1	0,677	
31.	25	Goli Otok	0,673	
32.	15	Cres 3	0,663	

Tablica 2. Redoslijed 18 makrolokacija nižih vjetropotencijala

Rang lokacije	Oznaka lokacije	Naziv lokacije	Ocjena	Klasa
1.	60	Hvar 2	1,000	
2.	82	Pelješac 4	0,997	
3.	79	Pelješac 1	0,970	
4.	74	Neretva 3	0,967	
5.	62	Hvar 4	0,963	
6.	71	Biokovo 3	0,960	
7.	46	Zagora 5	0,956	
8.	59	Hvar 1	0,953	
9.	43	Zagora 2	0,947	V
10.	73	Neretva 2	0,935	
11.	29	Pag 4	0,928	
12.	28	Pag 3	0,927	
13.	61	Hvar 3	0,927	
14.	83	Pelješac 5	0,926	
15.	47	Drvenik 1	0,923	
16.	45	Zagora 4	0,914	
17.	49	Mosor 1	0,880	
18.	55	Brač 2	0,862	

Tablica 3. Moguća godišnja proizvodnja električne energije

Klase	Poredak makro-lokacija u rang listi	WTG 250 kW			WTG 300 kW			WTG 500 kW		
		Broj WTG	Ukupna snaga MW	Ukupna godišnja energija MWh	Broj WTG	Ukupna snaga MW	Ukupna godišnja energija MWh	Broj WTG	Ukupna snaga MW	Ukupna godišnja energija MWh
I	1...8	225	56,25	138.874,84	186	55,80	177.248,93	155	77,50	257.190,79
II	9...14	119	29,50	56.437,05	100	30,00	75.422,45	82	41,00	113.903,81
III	15...24	313	78,25	126.928,6	258	77,40	167.397,92	213	106,50	254.926,25
IV	25...32	102	25,50	41.363,33	86	25,80	55.799,31	71	35,50	84.975,41
I-IV	1...32	759	189,75	361.607,87	630	189,00	475.868,61	521	260,50	710.996,26
V	1...18	606	151,50	211.502,01	501	150,30	281.575,67	413	206,50	428.765,78
Ukupno	1...32 & 1...18	1.365	341,25	573.109,88	1.131	339,30	757.444,28	934	467,00	1,139.762,04

- veličina lokacije (broj mogućih WTG jedinica)
- udaljenost lokacije od cesta
- udaljenost lokacije od električne mreže
- mogućnost održavanja i nadzora vjetroenergetskog postrojenja
- pogodnost tla za poljoprivrednu proizvodnju
- šumovitost područja
- utjecaj na ptice i ostale životinjske zajednice.

Rezultati vrednovanja 32 vjetro-energetski najbolje makrolokacije prikazani su u tablici 1.
Također su razmatrane makrolokacije nižih vjetropotencijala čije je srednja godišnja brzina vjetra od 5,6 do 6,0 m/s (na visini od 25 m od tla). Na 18 takvih makrolokacija također je moguće pri primjeni određenih vjetroturbinskih generatora postići zadovoljavajući faktor angažirane snage. Rezultati rangiranja ovih makrolokacija prikazani su u tablici 2.
Energetski kapacitet (bruto) prema Studiji na 32 makrolokacije iznosi 361,6 GWh, 475,9 ili 711 GWh ovisno o veličini WTG jedinica (250 kW, 300 kW ili 500 kW) i njihova broja. Tablica 3. prikazuje ukupnu moguću godišnju snagu i električnu energiju triju varijanti (250, 300 i 500 kW) za 32 makrolokacije iz tablice 1, sa dodatnih 18 makrolokacija iz tablice 2.
Proračun cijene električne energije iz vjetroelektrana (VE) načinjen je uz pretpostavku slijedećih olakšica:

a) - besplatno ustupanje zemljišta
b) - investicijske olakšice u cijeni kapitala i roku otplate (7% kamatna stopa na 20 godina)
c) - oslobađanje od carine za opremu koja se ne proizvodi u zemlji
d) - oslobađanje od plaćanja priključka na elektroenergetsku mrežu
e) - participacija povratom iz CO_2 takse (1,8 USc/kWh).

Sadašnja otkupna cijena električne energije HEP-a iz vjetroelektrana iznosi 90% od prosječne cijene električne energije u potrošnji (7,07 USc/kWh).
U tablicama 4. i 5. prikazani su podaci proračuna cijene kWh za četiri skupine veličina WTG jedinica: od 220-280 kW, 281-400 kW, 401-500 kW i 501-600 kW nazivne instalirane snage.
U tablici 4. prikazan je proračun cijene električne energije s olakšicama pod: a, b, c, i d za 32 makrolokacije is Studije. Vidljivo je da kriterij isplativosti zadovoljava rad najvećih WTG jedinica (iz zadnjeg stupca) na osam makrolokacija, dok manji WTG iz preostalih triju grupa samo na dvije lokacije s vrha rang liste.
U tablici 5. prikazani su rezultati proračuna cijene električne energije za 32 makrolokacije s olakšicama a, b, c i d uz povrat CO_2 takse od 1,8 USc/kWh. Ovdje se polje isplativnosti proširuje na veći broj makrolokacija i veličina strojeva nego u tablici 4. To su lokacije:

- 8 makrolokacija s radom strojeva od 220-280 i 281-400 kW instalirane snage
- 14 makrolokacija s radom strojeva 401-500 kW instalirane snage
- 32 lokacije s radom strojeva 501-600 kW instalirane snage.

Prijedlog aktivnosti na poticanje korištenja vjetroenergetskih potencijala iz Dopune Studiji prenosi se u cijelosti. On obuhvaća mjere i olakšice koje bi mogle biti primjerene uvjetima u Republici Hrvatskoj. Sudeći prema rezultatima učinka poticajnih mjera za istraživanje, razvoj, izgradnju i rad vjetroenergetskih postrojenja u Europskoj uniji i SAD, u Hrvatskoj bi trebalo:

1. da Nadležni organi vlade RH donesu odluke o slijedećim olakšicama:
   - potpuno oslobađanje od carinskih pristojbi na uvoz (vjetroenergetskih) postrojenja koja se ne proizvode u zemlji, a koriste čisti energetski izvor
   - oslobađanje od poreza na dobit iz rada VE prvih 10 godina
2. da Nadležni organi donesu zakon i zakonsku odredbu o plaćanju zagađivanja zraka svih zagađivača plinovima koji nastaju izgaranjem fosilnih goriva i drugim kemijskim reakcijama, uz obvezno uvođenje praćenja (monitoring) otpadnih produkata:
   - iz fonda plaćanja zagađivanja odrediti iznos potpore u okviru otkupne cijene energije iz VE (npr. 1 do 2 c/kWh). Ovim bi se u pristupu proračuna cijene kWh uvažila zaštita okoliša.
3. da Hrvatske banke (Banka za obnovu i razvoj i druge investicijske banke) skupa s kreditorima razvoja "čiste" tehnologije iz inozemstva (Europska investicijska banka i druge) trebaju podržati kreditiranje izgradnje vjetroenergetskih postrojenja sa prihvatljivom cijenom kapitala i rokom otplate (5-7% na 15 do 20 godina).
4. da Županije daju besplatne koncesije za izgradnju vjetrelektrana na područjima njihovih makrolokacija.

Tablica 4. Prosječne cijene u US centima po kWh elektrine energije za 32 makrolokacije

Br.	Odrednica	Lokacija	V_{SR} m/s	220-280 kW	281-400 kW	401-500 kW	501-600 kW
20	Krk 4	Gajen	8.00	6.74	6.90	6.60	5.77
24	Rab 2	Kamenjak	8.00	6.81	6.95	6.64	5.80
14	Cres 2	Vrana	7.00	7.99	8.21	7.71	6.70
18	Krk 2	Obzova	7.00	8.04	8.25	7.71	6.72
21	Krk 5	Organ	7.00	8.11	8.31	7.78	6.75
22	Lošinj 1	Osorčica	7.00	8.17	8.36	7.82	6.80
30	Pag 5	Zaglava	7.00	8.01	8.23	7.73	6.71
51	Dovanj 1	Dovanj	7.00	7.97	8.19	7.70	6.69
10	Senj 2	Vratnik	6.50	8.82	9.09	8.49	7.33
65	Vis 3	Široko Brdo	6.50	9.14	9.35	8.68	7.50
66	Vis 4	Hum	6.50	9.09	9.32	8.65	7.47
68	Lastovo 2	Hum	6.50	8.84	9.11	8.50	7.33
76	Korčula 2	Kom	6.50	8.78	9.06	8.46	7.31
77	Korčula 3	Klupca	6.50	8.83	9.10	8.49	7.33
9	Senj 1	Bile	6.00	10.00	10.33	9.61	8.24
15	Cres 3	Konfin	6.00	10.38	10,66	9.84	8.43
25	Goli Otok 2	Goli	6.00	10.04	10.37	9.63	8.24
42	Zagora 1	Orlice	6.00	9.99	10.32	9.60	8.23
44	Zagora 3	Botići	6.00	10.34	10.61	9.81	8.41
48	Kaštela 1	Kozjak	6.00	9.98	10.32	9.59	8.23
50	Mosor 2	Kostanje	6.00	10.21	10.51	9.74	8.36
63	Vis 1	Radino Brdo	6.00	10.03	10.35	9.61	8.24
64	Vis 2	Podhumlje	6.00	9.93	10.27	9.57	8.20
67	Lastovo 1	Poljanica	6.00	10.26	10.55	9.76	8.37
70	Biokovo 2	Brikva	6.00	9.99	10.33	9.60	8.23
75	Korčula 1	Blato	6.00	9,93	10.27	9.56	8.20
78	Korčula 4	Blaca	6.00	9.97	10.29	9.58	8.22
80	Pelješac 2	Ćućin	6.00	10.27	10.55	9.77	8.37
81	Pelješac 3	Mokalo	6.00	10.03	10.36	9.63	8.26
84	Pelješac 6	Vitar	6.00	10.08	10.39	9.65	8.27
85	Pelješac 7	Rota	6.00	10.01	10.34	9.61	8.24
86	Mljet 1	Veli Grad	6.00	9.94	10.28	9.57	8.20

Napomena:

područja s prosječnim cijenama koje su isplative, tj. proizvodna cijena manja je od 90% pune prosječne otkupne cijene (<7,07 USc/kWh)

područja koja obuhvaćaju raspon od 90% do pune prosječne otkupne cijene, tj. granično područje interesa (7,07-7,86 USc/kWh)

područja cijena koja su do 10% veća od prosječne otkupne cijene tj. područja s budućim očekivanim najbržim padom cijena (7,86-8,65 USc/kWh)

područja izvan područja isplativnosti u ovom trenutku prema zadanom osnovnom kriteriju isplativosti

5. da Hrvatska elektroprivreda financira:
   - katalog makrolokacija za izgradnju vjetroelektrana
   - nastavak studije mikrolokacija u okviru kojih provođenje mjerenja vjetropotencijala i simulaciju rada WTG jedinice u pretvorbi energije i radu na sustav električne mreže. Ove aktivnosti bi HEP mogao planirati svake godine u svom proračunu.
   - odnosno razmotriti mogućnost povećanja otkupne cijene iz vjetroelektrana energetskom taksom (odnosno iz takse za angažiranu snagu) koju HEP naplaćuje od svih potrošača električne energije.

Tablica 5. Prosječne cijene u US centima po kWh elektrine energije za 32 makrolokacije s otkupnom cijenom koja uključuje penalizaciju emisije CO_2

Br.	Odrednica	Lokacija	V_{SR} m/s	220-280 kW	281-400 kW	401-500 kW	501-600 kW
20	Krk 4	Gajen	8.00	6.74	6.90	6.60	5.77
24	Rab 2	Kamenjak	8.00	6.81	6.95	6.64	5.80
14	Cres 2	Vrana	7.00	7.99	8.21	7.71	6.70
18	Krk 2	Obzova	7.00	8.04	8.25	7.71	6.72
21	Krk 5	organ	7.00	8.11	8.31	7.78	6.75
22	Lošinj 1	Osorčica	7.00	8.17	8.36	7.82	6.80
30	Pag 5	Zaglava	7.00	8.01	8.23	7.73	6.71
51	Dovanj 1	Dovanj	7.00	7.97	8.19	7.70	6.69
10	Senj 2	Vratnik	6.50	8.82	9.09	8.49	7.33
65	Vis 3	Široko Brdo	6.50	9.14	9.35	8.68	7.50
66	Vis 4	Hum	6.50	9.09	9.32	8.65	7.47
68	Lastovo 2	Hum	6.50	8.84	9.11	8.50	7.33
76	Korčula 2	Kom	6.50	8.78	9.06	8.46	7.31
77	Korčula 3	Klupca	6.50	8.83	9.10	8.49	7.33
9	Senj 1	Bile	6.00	10.00	10.33	9.61	8.24
15	Cres 3	Konfin	6.00	10.38	10,66	9.84	8.43
25	Goli Otok 2	Goli	6.00	10.04	10.37	9.63	8.24
42	Zagora 1	Orlice	6.00	9.99	10.32	9.60	8.23
44	Zagora 3	Botići	6.00	10.34	10.61	9.81	8.41
48	Kaštela 1	Kozjak	6.00	9.98	10.32	9.59	8.23
50	Mosor 2	Kostanje	6.00	10.21	10.51	9.74	8.36
63	Vis 1	Radino Brdo	6.00	10.03	10.35	9.61	8.24
64	Vis 2	Podhumlje	6.00	9.93	10.27	9.57	8.20
67	Lastovo 1	Poljanica	6.00	10.26	10.55	9.76	8.37
70	Biokovo 2	Brikva	6.00	9.99	10.33	9.60	8.23
75	Korčula 1	Blato	6.00	9,93	10.27	9.56	8.20
78	Korčula 4	Blaca	6.00	9.97	10.29	9.58	8.22
80	Pelješac 2	Ćućin	6.00	10.27	10.55	9.77	8.37
81	Pelješac 3	Mokalo	6.00	10.03	10.36	9.63	8.26
84	Pelješac 6	Vitar	6.00	10.08	10.39	9.65	8.27
85	Pelješac 7	Rota	6.00	10.01	10.34	9.61	8.24
86	Mljet 1	Veli Grad	6.00	9.94	10.28	9.57	8.20

Napomena:

područja s prosječnim cijenama koje su isplative, tj. proizvodna cijena manje je od 90% pune prosječne cijene (<8,7 USc/kWh)

područja koja obuhvaćaju raspon od 90% do pune prosječne otkupne cijene, tj. granično područje interesa (8,7-9,66 USc/kWh)

područja cijena koja su do 10% veća od prosječne otkupne cijene tj. područja s budućim očekivanim najbržim padom cijena (9,66-10,63 USc/kWh)

područja izvan područja isplativnosti u ovom trenutku prema zadanom osnovnom kriteriju isplativosti

SBK

STATISTIČKI POKAZATELJI ZA ELEKTROPRIVREDNU DJELATNOST ZA PRVO POLUGODIŠTE 1997. GODINE

Od prvog siječnja ove godine statistički izvještaji se prikupljaju za područje industrije i rudarstva (u koje je uključena i elektroprivreda) po Nacionalnoj klasifikaciji djelatnosti (NKD). Statitisičke jedinice za mjesečne izvještaje jesu trgovačka društva razvrstana u područja C, D i E u Registru poslovnih subjekata. Pri određivanju statističkih jedinica poštivan je i teritorijalni princip

na razini županija tj. jedna statistička jedinica obuhvaća samo jednu županiju, pa je Hrvatska elektroprivreda dužna ispuniti toliko izvještaja koliko ima županija iako je jedan poslovni subjekt.

Između statističkih podataka objavljenih u Mjesečnom statističkom izvješću 7/1997. Državnog zavoda za statistiku izabrani su najvažniji podaci za elektroprivrednu djelatnost, za razdoblje I-VI. 1997. godine. Obuhvaćeni su:

- indeksi fizičkog obujma proizvodnje
- podaci o proizvodnji električne energije
- podaci o broju zaposlenih u elektroprivredi
- podaci o bruto i neto plaći po zaposlenom u elektroprivredi, te
- indeksi cijena.

Indeksi fizičkog obujma industrijske proizvodnje za industrijske grane djelatnosti izračunati su po Lasperyesovoj formuli. Za izračunavanje indeksa temelj su podaci o proizvodnji u naturalnom izrazu prema nomenklaturi industirijskih proizvoda i pondera za te proizvode koji predstavljaju dodanu vrijednost za jediničnu proizvodnju u kojoj se proizvod iskazuje u naturalnom izrazu. Indeksi fizičkog obujma industrijske proizvodnje za ukupno izračunati su na temelju indeksa odjeljaka i stopa kojom odjeljci sudjeluju u ukupnoj dodanoj vrijednosti u području industrije i rudarstva.

Znak "ϕ" ispred brojčane vrijednosti označava godišnji prosjek.

Indeksi fizičkog obujma proizvodnje za elektroprivrednu djelatnost prikazani su u tablici 1a i b.

U tablici 2. i slici 1. prikazana je ukupna proizvodnja električne energije, te količine električne energije proizvedene u hidroelektranama i termoelektranama. Podaci o radnicima prema tablici 3. i slici 2. iskazani su kao godišnji prosjek podataka prikupljenih polugodišnjim izjvešćem sa stanjem 31. ožujka i 30. rujna. Godišnji prosjek broja zaposlenih izračunat je kao aritmetička sredina dvaju polugodišnjih stanja. Podaci o zaposlenima koji se odnose na mjesečno stanje rezultat su obrade podataka redovnog mjesečnog izvješća.

Podaci o prosječnim neto-plaćama po zaposlenom u elektroprivredi prikazani su u tablici 4. i slikama 3. i 4. U zaposlene se ubrajaju svi zaposleni, bez obzira na to jesu li svoj radni odnos zasnovali na određeno ili neodređeno vrijeme.

Tablica 1a. Indeksi fizičkog obujma proizvodnje po područjima i odjeljcima NKD-a, 1995=100

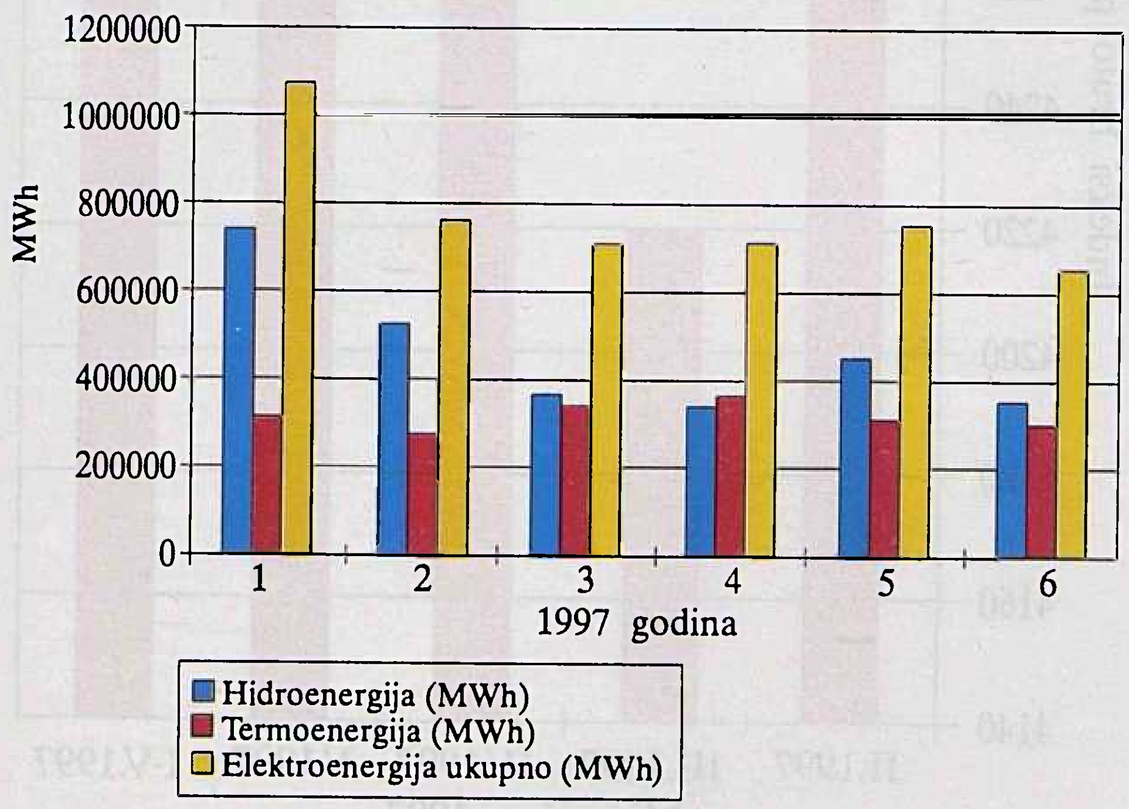
			1993/ ø 1995.	1994/ ø 1995.	1996/ ø 1995.	1996/ø1995.			1997/ø1995.					
						V.	VI.	VII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
E	40	Opskrba električnom energijom, plinom i vodom	103,2	95,3	125,4	113,4	112,6	108,0	176,3	160,4	162,1	161,1	152,2	129,0
		Opskrba električnom energijom, plinom, parom i toplom vodom	103,2	95,3	125,4	113,4	112,6	108,0	199,1	177,3	173,6	169,0	158,1	130,2

Tablica 1b. Indeksi fizičkog obujma industrijske proizvodnje po područjima i odjelcima NKD-a

			1994/ ø 1993.	1995/ ø 1994.	I-VI.1996/ I-VI.1995.	I-VI.1996/ I-VI.1995.	1997/ø1996.			1997/ø1995.				
							V.	VI.	VII.	II.	III.	IV.	V.	VI.
E	40	Opskrba električnom energijom, plinom i vodom	92,4	104,9	122,8	119,7	90,4	89,8	86,2	128,0	129,3	128,5	121,4	102,9
		Opskrba električnom energijom, plinom, parom i toplom vodom	92,4	104,9	122,8	132,0	90,4	89,8	86,2	141,4	138,5	134,8	126,1	103,8

Tablica 2. Proizvodnja električne energije

	Jedinica mjere	1995.	1996.	I-VI.		1996.					1997.					
				1996.	1997.	V.	VI.	VII.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
Hidroenergija	MWh	5614448	8137914	4348812	2743232	627322	571162	560168	807280	897889	730650	516192	373923	343692	431702	347073
Termoenergija	MWh	3531206	3326602	1699446	1917865	237139	287180	262857	250732	250282	311350	259977	344083	370543	327917	304995
Elektroenergija ukupno:	MWh	9145654	11464516	6048258	4661097	864461	858342	823025	1058012	1149171	1042000	776169	718006	714235	759619	651068



Slika 1. Proizvodnja električne energije za razdoblje I-VI. 1997. godine

Mjesečna neto plaća obuhvaća plaće zaposlenih za izvršene poslove na osnovi redovitog radnog odnosa i naknade za:

- godišnji odmor
- bolovanja do 42 dana
- državne blagdane
- plaćeni dopust
- obavljanje građanskih dužnosti
- čekanje i zastoj bez krivnje zaposlenog
- odsustvo za stručno obrazovanje
- obnašanje vojne obveze
- topli obrok i
- regres za godišnji odmor.

Bruto-plaća po zaposlenom u elektroprivredi prikazana je u tablici 5. i slikama 5. i 6.

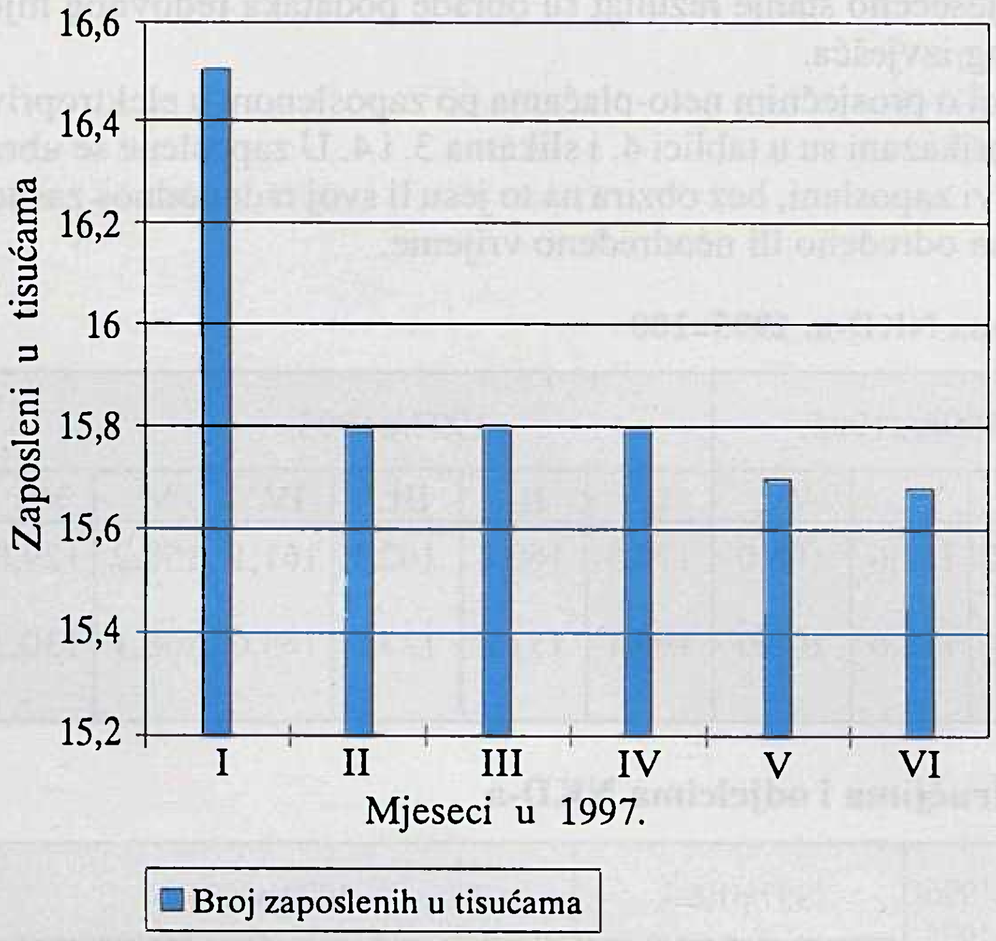
Mjesečna bruto-plaća obuhvaća sve vrste neto isplata na osnovi redovitog radnog odnosa i zakonom propisana obvezna izdvajanja, doprinose, poreze i prireze. Nominalni indeksi neto i bruto plaća izračunavaju se iz podataka o prosječnim mjesečnim iznosima neto i bruto plaća po zaposlenom.

Tablica 3. Broj i struktura zaposlenih u elektroprivredi (u tisućama)

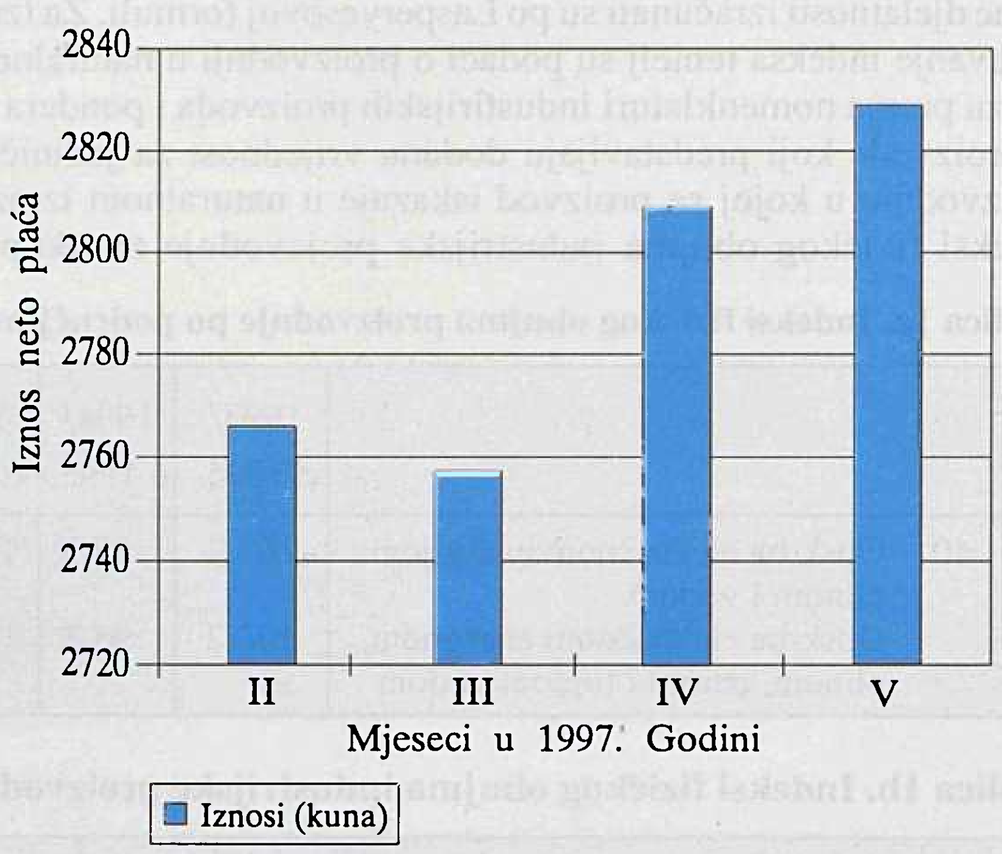
Prosjek		1995.		1996.			1997.					
1994.	1995.	XI.	XII.	V.	VI.	XII.	I.	II.[1]	III.	IV.	V.	VI.
16,0	16,0	16,1	16,1	15,4	15,5	16,5	16,5	15,8	15,8	15,8	15,7	15,7

Tablica 4. Neto plaća i indeksi netoplaće po zaposlenom u elektroprivredi

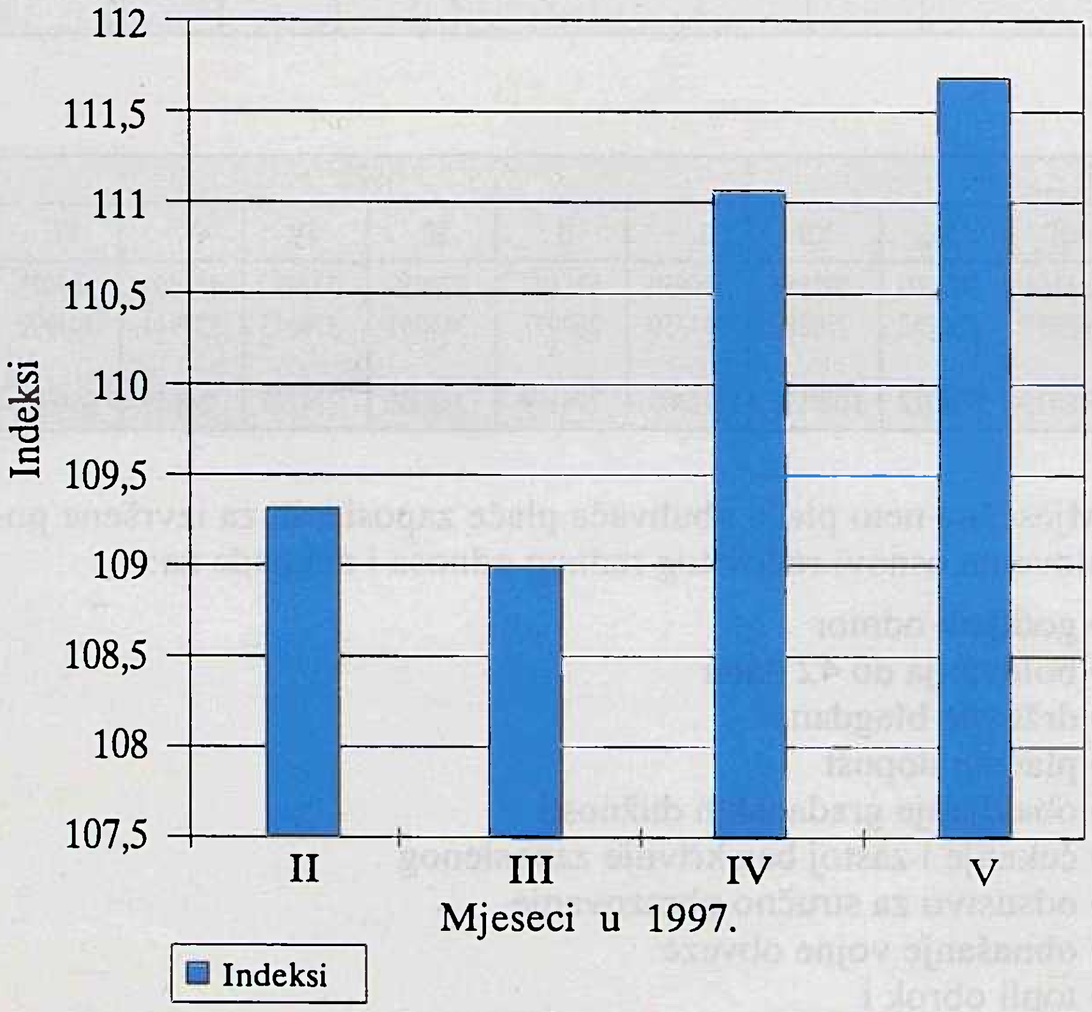
	Prosjek		Prosjek		I-V.			1996.	1997.		
	1995.	1996.	1996.	1997.	III.	IV.	V.	II.	III.	IV.	V.
Iznosi (kuna)	2032	2529	2560	2711	2265	2409	2705	2766	2757	2810	2826
Indeksi	53,4	80,3	101,2	109,6	89,6	95,3	107,0	109,4	109,0	111,1	111,7



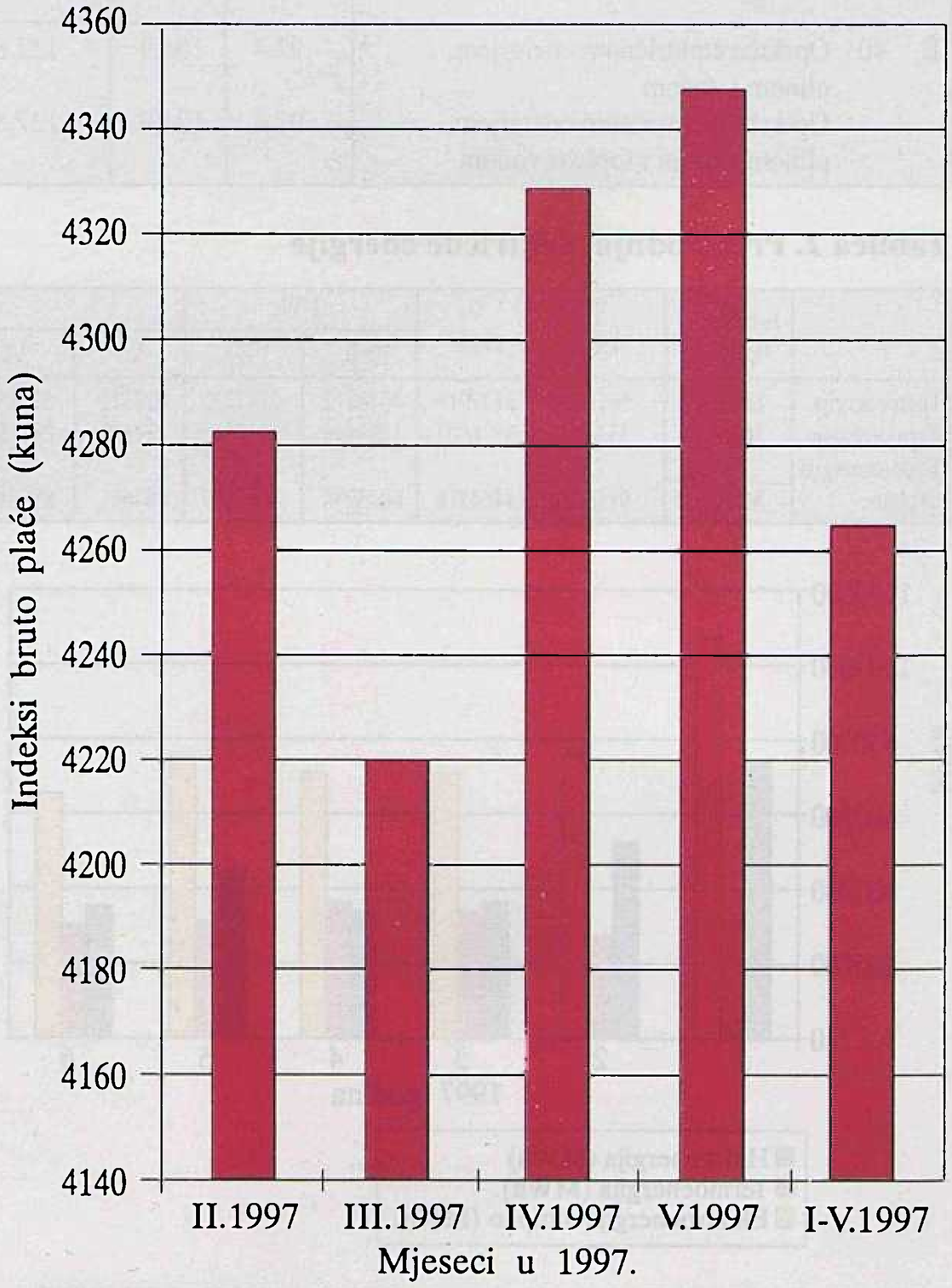
Slika 2. Broj zaposlenih za razdoblje I-VI. 1997. godine



Slika 3. Neto plaća po zaposlenom za razdoblje II-VI. 1997. godine



Slika 4. Indeksi neto plaće u elektroprivredi za razdoblje II-VI. 1997.



Slika 5. Bruto plaća u elektroprivredi za razdoblje II-V.1997.

U tablici 6. i slici 7. prikazani su indeksi cijena električne energije. Indeksi cijena pri proizvođačima dostavljaju izabrane izvje-

[1] Privremeni podaci za II, III, IV, V i VI mjesec 1997. godine. Zbog korekcije broja zaposlenih za 1996. godinu promijenjeni su i podaci po mjesecima za 1997. godinu.

Tablica 5. Broto plaća i indeksi bruto plaće u elektroprivredi po zaposlenom

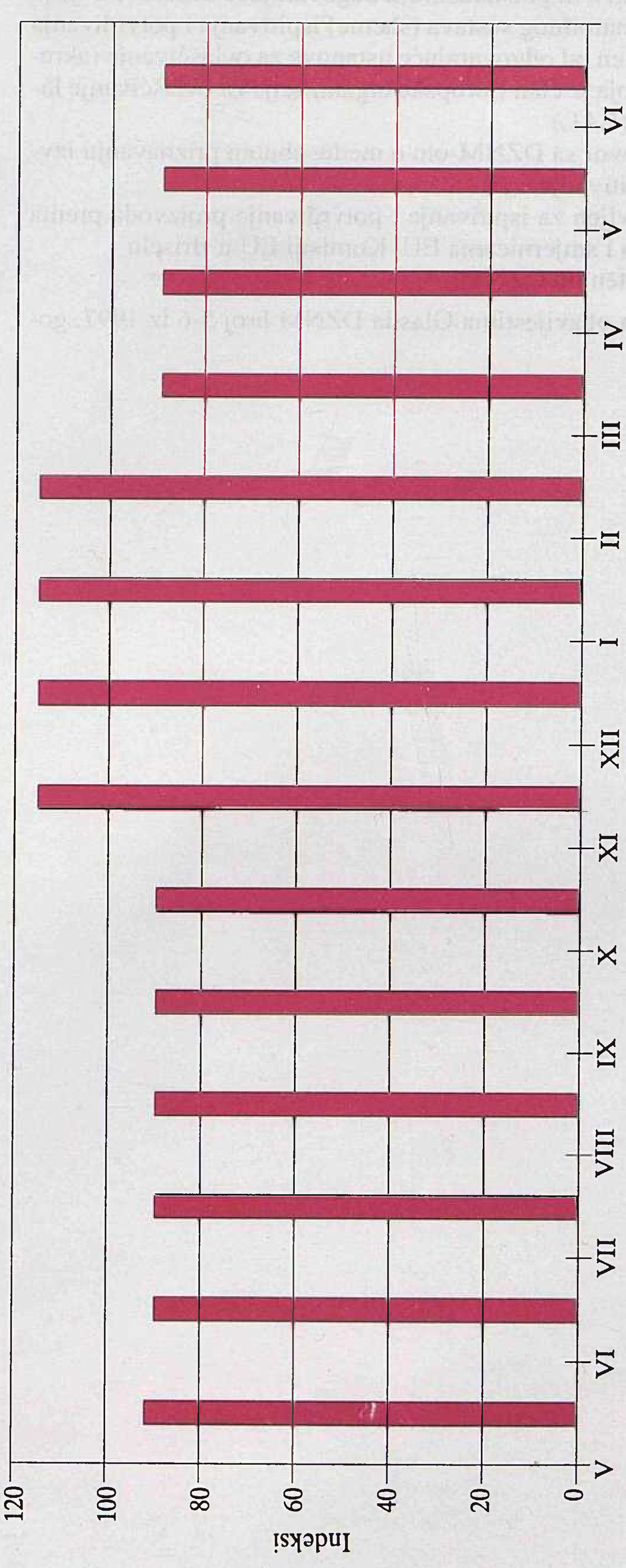
Mjeseci	Prosječno bruto plaće po zaposlenom u elektroprivredi (kuna)					Indeksi bruto plaće po zaposlenom		
	II.1997.	III.1997.	IV.1997.	V.1997.	I-V.1997./	III.1997. II.1997.	IV.1997./ III.1997.	V.1997./ IV.1997
	4281	4220	4328	4346	4263	98,6	102,6	100,4

Tablica 6. Indeksi cijena

1994.	1995.	1996.								1997.				
		V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	I.	II.	III.	IV.	V.
104,4	99,2	92,4	89,4	89,4	89,4	89,4	89,4	116,5	116,5	116,5	116,5	89,3	89,3	89,3

Slika 6. Indeksi bruto plaće za razdoblje II-V. 1997.

štajne jedinice za najvažnije proizvode tj. proizvode s najvećom prodajom na domaćem tržištu, čije cijene mogu reprezentirati opće kretanje cijena i po namjeni proizvoda. Opći indeks cijena i indeksi cijena po granama utvrđuju se ponderiranim postupkom, pri čemu se za pondere uzima vrijednost proizvoda prodanih na domaćem tržištu.



Slika 7. Indeksi cijena električne energije

SBK

PRIZNAVANJE IZVJEŠĆA O ISPITIVANJU IZDANIH U INOZEMSTVU I CERTIFIKACIJA SUKLADNOSTI PROIZVODA S PROPISIMA

U narodnim novinama broj 69 od 4. srpnja 1997. godine objavljen je "Pravilnik o uvjetima i načinu priznavanja izvješća o ispitivanju izdanih u inozemstvu i idavanja potvrda o sukladnosti". Ovim Pravilnikom propisuju se uvjeti i način priznavanja tih izvješća te o načinu provođenja postupka certifikacije proizvoda na temelju njih.

Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo (DZNM) će priznati izvješće o ispitivanju ukoliko laboratorij iz inozemstva koji je izdao izvješće o ispitivanju ispunjava barem jedan od slijedećih uvjeta:

- da je u sastavu ili pod nadzorom odgovarajuće ustanove koja je član međunarodnog sustava (sheme) ispitivanja i potvrđivanja
- da je ovlašten od odgovarajuće ustanove za ovlašćivanje (akreditaciju) koja je član Europske organizacije za ovlašćivanje laboratorija (EAL)
- da ima ugovor sa DZNM-om o međusobnom priznavanju izvješća o ispitivanju
- da je prijavljen za ispitivanje i potvrđivanje proizvoda prema zahtjevima i smjernicama EU, Komisiji EU u Briselu
- da je ovlašten od DZNM.

U službenim obavijestima Glasila DZNM broj 5-6 iz 1997. godine objavljen je "Naputak za rad prilikom provedbe postupka priznavanja izvješća o ispitivanju izdanih u inozemstvu i potvrđivanja sukladnosti proizvoda s propisima", koji je donio ravnatelj DZNM. Ukratko, Naputkom se utvrđuje način provedbe postupka priznavanja izvješća o ispitivanju izdanih u inozemstvu i potvrđivanja sukladnosti proizvoda s propisima na temelju tih izvješća. Ovaj postupak može provoditi DZNM ili ovlaštena pravna osoba.

Podnositelj zahtjeva treba dostaviti slijedeću dokumentaciju:

- zahtjev za priznavanje izvješća o ispitivanju izdanog u inozemstvu
- izvješće o ispitivanju izdano u inozemstvu ovjereno od laboratorija koji ga je izdao
- izjavu koju pribavlja dobavljač od proizvođača da se izvješće o ispitivanju izdano u inozemstvu, odnosi na uvezeni proizvod kao i da je proizvod odgovarajuće označen
- dokaz da je izvješće o ispitivanju izdano od laboratorija u inozemstvu koji ispunjava barem jedan od uvjeta iz članka 2. spomenuto Pravilnika.

Potvrda se izdaje na rok predviđen našim propisima.

Proizvodi za koje je izdana povrda o sukladnosti prema ovom Naputku podliježu obveznoj provjeri uzorka na skladištu uvoznika ili na mjestu ugradbe i to najmanje jednom godišnje. Ako se provjerom utvrdi da proizvod ne zadovoljava propisane uvjete, poništava se izdana potvrda o sukladnosti.

SBK

NJEMAČKA ENERGIJA ZA ČEŠKU

Uskoro će Njemačka izvoziti električnu energiju u Češku, kako bi češke termoelektrane Tusinice I i II mogle smanjiti proizvodnju. Takav je dogovor načinjen između obiju država jer Njemačka želi zaštititi svoje Rudogorje (Erzgebirge) od zagađenja dimnim plinovima koje ispuštaju sjevernočeške termoelektrane, koje nisu sanirane prečišćivačima. Njemačka će elektroprivreda prodavati Češkoj struju po proizvodnim troškovima od 5,3 Pf/kWh.

VEÖ Journal, god. 1997. br. 3

Mrk

U UKRAJINI RASTE UDIO ELEKTRIČNE ENERGIJE IZ NUKLEARNIH ELEKTRANA

Prema podacima ukrajinskog državnog ureda Goskomatom, udio električne energije proizvedene u nuklearkama stalno raste. Taj je udio 1991. godine iznosio 27,1%, 1995. 36,7%, a 1996. 44%. Tome je doprinio ulazak u pogon novog bloka u Zaporožju, na obali Dnjepra i mnoga tehnička poboljšanja.

VEÖ Journal, god. 1997, br. 3

Mrk

KORIŠTENJE BIOMASE

Već u pradavna vremena čovjek je koristio biomasu za kuhanje i grijanje, no unatoč tome do početka devedesetih godina nije postojala tehnologija za njeno korištenje usporediva s tehnologijom na kojoj se temelji rad velikih elektrana. Posljednjih su godina provedena istraživanja kako bi uređaji za korištenje biomase bili što učinkovitiji, a cijena dobivene energije što snošljivija. U cijelom problemu korištenja biomase osnovno je pitanje ekonomičnost.

U studenom 1996. objelodanila je EU "zelenu knjigu" o zajedničkoj strategiji korištenja obnovljive energije. Izneseni su i prijelazi osnovnih elemenata za korištenje biomase. U nastojanju da se što više proširi upotreba biomase kao energenta, uz potporu EU razrađeno je nekoliko projekata kao npr. projekt TINA za loženje u elektranama - toplanama.

Istraživanja, koja se i nadalje provode, su pokazala da je korištenje takvog obnovljenog goriva ekonomski primjenjivo u manjim energetskim postrojenjima:

- u parnim procesima postrojenja ispod 15 MW
- u plinskim motorima 1 do 10 MW
- stirling motorima ispod 1 MW.

VEÖ Journal, god. 1997, br. 3

Mrk

VJETROELEKTRANE U AUSTRIJI

Izgradnja vjetroelektrana u Austriji započela je osamdesetih godina. U Leobersdorfu je uz suradnju triju ministarstava i austrijske elektroprivrede podignut ispitni park vjetroelektrana sa 4 jedinice različite snage i to od 1kW do 30 kW. Uređaj je izgrađen zbog stjecanja tehničkih iskustava, bez obzira na gospodarstvenu stranu. Pokusne su vjetroelektrane montirane i u alpskim područjima, no pojavili su se problemi zbog udarca vjetra, zaleđivanja i teške dostupnosti. Koncem 1996. Austrija je imala 11.775 kW instalirane snage u vjetroelektranama s mogućnošću proizvodnje od 18.000 MWh.

Pokazalo se da povećanjem instalirane snage u jedinicama od 500 kW do 1.500 kW takve elektrane mogu biti konkurentne u proizvodnji električne energije.

Za godinu 1997. postoje projekti za izgradnju vjetroelektrana ukupne instalirane snage oko 45 MW.

U okviru europskog istraživačkog projekta razvija se vjetroelektrana snage 1,5 MW specijalno namijenjena za područja sa slabim vjetrom. Moguća će biti regulacija brzine rotora i položaja listova. Time će elektrana moći davati konstantnu snagu u rasponu brzine vjetra od 3 m/s do 27 m/s. Promjer rotora bit će 66 m, a visina osovine nad zemljom 62 m.

VEÖ Journal, god. 1997, br. 3

Mrk

AUSTRIJSKI VERBUND SLAVI PEDESETGODIŠNJICU

Na temelju 2. državnog zakona o podržavljenju osnovano je 1947. godine austrijsko savezno elektroprivredno poduzeće Die Österreichische Elektrizitätswirtschafts-AG (Verbund), koje ove godine slavi svoju 50-godišnjicu djelovanja. Neposredno nakon osnivanja najvažniji je zadatak bio ponovno oživljavanje gospodarstva razorenog u ratu. Prvi je korak bio sređivanje pravnih pa onda tehničkih pitanja. Verbund je postao organizacijska nadgradnja postojećih elektroprivrednih poduzeća. Ono je preuzelo nacionalnu visokonaponsku električnu mrežu i time osiguralo stalnu jeftinu i sigurnu opskrbu zemlje električnom energijom. Izgradilo je velike elektrane u prvom redu hidroelektrane i time osiguralo ravnotežu proizvodnje i potrošnje. Osim toga, dobilo je monopol za međunarodnu trgovinu strujom. U podizanju austrijske elektroprivrede, odmah nakon II. svjetskog rata, mnogo je pomogao Marchall-ov plan.

Proizvodnja hidroelektrana narasla je do godine 1995. od 3.200 GWh na 38.000 GWh. Potrošak električne nergije po glavi stanovnika u godini 1944. bio je 810 kWh, a godine 1995. 6.650 kWh.

U godini 1996. Verbund se prestrukturirao iz graditeljskog u pogonski koncern.

VEÖ Journal, god. 1997, br. 3

Mrk

POBOLJŠANJE ALKALNIH BATERIJA

Daljnji razvoj alkalnih akumulatorskih baterija učinjen je na temelju RAMTM tehnologije. Nova baterija ima mnoge predosti. Napon pojedine ćelije iznosi 1,5 kV. Baterija ima vrijeme skladištenja od 5 godina, a samopražnjenje kod sobne temperature iznosi 3%. Može raditi do temperature od 45°C. Ne sadrži niti žive niti kadmija.

ETZ, god. 118(1997), br. 7

Mrk

INTERES ZA STUDIJ ELEKTROTEHNIKE U NJEMAČKOJ

U ovoj je rubrici već nekoliko puta pisano o problemu budućih elektroinženjera u Njemačkoj. (Energija god. 44(1995), br. 5-6 god. 46(1997), br. 1). Prema izvješću odbora VDE za inženjersku izobrazbu stanje se nije bitno promijenilo. Na 12 njemačkih sveučilišta i 106 stručnih viših škola bilo je godine 1990. upisano 21.500 novih studenata da se taj broj u školskoj godini

1996/97. smanji na 10.210, dakle na polovicu. VDE također smatra da će Njemačka uskoro imati premalo elektroinženjera, čime se u toj struci predviđaju velike mogućnosti zaposlenja.

ETZ, god. 118(1997), br. 7

Mrk

SOLARNI ZRAKOPLOV

U Njemačkoj je izgrađen zrakoplov – motorna jedrilica na pogon sunčevom energijom. Bitno je bilo da cijeli pogonski sustav uključivo i solarne ćelije, bude što lakši i učinkovitiji. Na konstrukciji takvog sustava su surađivali Sveučilište u Stuttgartu i TU Braunschweig. Za konstrukciju su postavljeni slijedeći uvjeti:

- razviti ekstremno laganu konstrukciju letjelice, s malom pogonskom snagom
- ugraditi solarne ćelije i električni sustav u konstrukciju letjelice
- regulirani pogon solarnih ćelija
- solarni sustav visoke koristi
- elektromotor vrlo visoke gustoće snage, velike korisnosti i što manje mase.

Ispunjenje navedenih uvjeta tražilo je mnoge inovacije. Motorna jedrilica nazvana Icare'2, ima slijedeće karakteristike:

raspon	23,0 m
duljina	8,1 m
površina sunčevih ćelija	20,7 m^2
energija baterija	750 Wh
težina	290 kg
brzina	120 km/h
mehanička snaga	12 kW
masa motora	11,6 kg

ETZ, god. 118(1997), br. 7

Mrk

PRIJEDLOG ZA NOVU EUROPSKU ENERGETSKU POLITIKU

Predsjednik Europske zaklade za energiju dr. R. Linkohr apelirao je u Europskom parlamentu na institucije EU da tijekom godine 1997. provedu novu energetsku politiku zbog zaštite klime. Predlaže slijedeće mjere: redukciju i racionalizaciju potroška energije i unapređivanje obnovljive energije. Predlaže, nadalje, osnivanje europskog fonda za unapređenje, istraživanje, razvoj i širenje obnovljive energije i novih tehnologija u cilju smanjenja energetske potrošnje.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 9

Mrk

POGONSKO ISPITIVANJE KABELA

Kabeli, osobito oni veće duljine, predstavljaju relativno veliki kapacitet, pa bi pri ispitivanju pogonskom frekvencijom od 50 Hz tražili velike jalove snage, a za to bi ipak trebali veliki ispitni uređaji. Doprema takvih uređaja na mjesto ispitivanja napr. prilikom stavljanja kabela u pogon, bio bi poseban problem. Zbog toga se unatoč manjkavosti i tehničkog rizika, usvojio način ispitivanja istosmjernom strujom visokog napona. Takav se pak način ispitivanja pokazao neprimjeren kod kabela s umjetnom izolacijom. Istraživanja su pokazala da se grubi kvarovi u kabelu i priboru mogu otkriti tek pri vrlo visokim istosmjernim naponima, no takvi istosmjerni naponi mogu dovesti do oštećenja izolacije. Navedene poteškoće i manjkavosti mogu se izbjeći ako se primjeni novi način ispitivanja, rezonantnim ispitnim sustavom s varijabilnom frekvencijom. Uređaj je smješten na posebnom kamionu i lako se prevozi na mjesto ispitivanja. Priključak ispitnog uređaja također nije problem jer ne iziskuje velike snage. Ovakvim načinom ispitivanja nije potrebna jalova snaga što čini da ispitni uređaji ne budu previše glomazni i time lako pokretljivi.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 9

Mrk

SIMPOZIJ O FOTOVOLTAICI

Bavarska akademija za tehnologiju Otti u Regensburgu u suradnji sa 5 udruga za solarne energetiku iz Njemačke, Austrije i Švicarske organizirala je u veljači ove godine simpozij o problemima fotovoltaike. Simpoziju je prisustvovalo 450 stručnjaka iz područja planiranja, gradnje i primjene solarnih elektrana. Kao osnovno na simpoziju je izneseno slijedeće:

- Današnja cijena električne energije iz solarnih elektrana od 1,5 do 3 DM/kWh može biti konkurentna za decentralizirano napajanje umjesto proizvodnje u elektranama s dizelskim motorima. Eksperti smatraju da će solarne elektrane oko godine 2020. moći konkurirati elektranama na fosilna goriva, jer će takva goriva znatno poskupjeti.
- Cijena iz solarnih elektrana će se sniziti zbog standardizacije i minijaturizacije elemenata elektrane.
- Izradom kristaličnih silicijskih folija ćelije će znatno pojeftiniti. Već je uspjelo izraditi takve folije čija je iskoristivost 19%.

ETZ, god. 118 (1997), br. 8/9

Mrk

PERMANENTNI MAGNET ZA SVEMIRSKA ISTRAŽIVANJA

Za potrebe svemirskih istraživanja sagrađen je u ETH Zürich dipolni permanentni magnet duljine 0,8 m, promjera 1,5 m. Magnet se sastoji iz 5.000 kvadara dimenzija 50x50x25 mm (mase 2,5 t) iz danas najboljeg materijala za permanentne magnete neodim-željezo-bor (NeFeB). Ovaj će magnet biti jezgra detektora svemirskih čestica kako bi se mogle dokazati čestice antimaterije. Planira se da bi uređaj, nakon testiranja, mogao biti ugrađen godine 2001. na svemirsku stanicu Internacional Space Station (ISS).

ETZ, god. 118 (1997), br. 8/9

Mrk

USPJEŠAN TEST PEM GORIVE ĆELIJE

U laboratoriju tvrtke Siemens uspješno je zavren test nove gorive ćelije. To je polimer-elektrolit-membranska ćelija (PEM), korisnosti preko 60%. Kao gorivo služi vodik, a kisik kao oksidaciono sredstvo. Rezultat izgaranja je čista voda, što je ekološki vrlo povoljno. Stručnjaci se nadaju da bi se cijena ćelije mogla sniziti na manje od 1.000 DM. Tvrtka Siemens ulaže u razvoj ove ćelije oko 6 milijuna DM u tekućoj poslovnoj godini. Primjena ovakve gorive ćelije predviđena je kao izvor električne energije u stabilnim postrojenjima i za pogon vozila.

ETZ, god. 118 (1997), br. 8/9

Mrk

PWR REAKTORI MOGU RADITI 40 GODINA

Nuklearni lakovodni reaktori na vodu pod tlakom mogu biti u pogonu 40 godina, objavila je francuska ustanova za nuklearnu energiju. To je zaključeno na temelju rezultata ispitivanja mate-

rijala uređaja koji su bili izloženi struji neutrona. Ispitivan je materijal dobiven nakon prve faze zaustavljanja nuklearne elektrane u francuskim Ardenima.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96 (1997), br. 9

Mrk

ŠVICARSKE SU NUKLEARKE VRHUNSKE

Od početka korišenja nuklearne energije u Švicarskoj, godine 1969/70, porastao je udio električne energije proizvedene u nuklearkama od 5% na 43% u godini 1996. Pet Švicarskih nuklearki proizvelo je u 1996. godini oko 24 TWh električne energije. Raspoloživost im je bila 88%, što ih ubraja među vrhunske u svijetu. Nuklearke su ukupno radile 106 pogonskih godina bez spomena vrijednih poteškoća.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96 (1997), br. 10

Mrk

BRZ RAZVOJ ELEKTROENERGETIKE U KINI

Kina je zemlja u jakom gospodarskom usponu, veliko tržište za sve industrijske zemlje. Unatoč velikim investicijama Kini je uspjelo sniziti inflaciju od 25% od prije nekoliko godina na 6% u godini 1996. Gospodarski rast, naravno, nije moguć bez dovoljnih količina energije. Prosjek potrošnje električne energije iznosi samo 500 kWh. No treba reći da je razvijenost Kine vrlo različita u pojedinim njenim provincijama. Najrazvijeniji je istočni i obalni dio. Još uvijek je oko 60 milijuna stanovnika Kine bez priključka na elektroenergetsku mrežu.
Na početku tekućeg petogodišnjeg plana, koji je započeo 1996. Kina je imala oko 200 GW instalirane snage u elektranama, a planom je predviđeno da će se ova snaga povećati do kraja planskog razdoblja na 300 GW. Oko 3/4 električne energije proizvodi se na bazi ugljena, oko 1/4 u hidroelektranama i 1% u nuklearkama. U planu je da se udio nuklearnih elektrana znatno poveća. Računa se da će u golemim investicijama za elektroenergetski razvoj sudjelovati i strani investitori sa 20% do 25%.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96 (1997), br. 9

Mrk

PROJEKT RÜGEN ZA ELEKTRIČNA VOZILA

Ispitivanje električnih vozila na njemačkom otoku Rügenu (Projekt Rügen, Energija, god. 44 (1995), br. 1) završen je ljeti 1995. godine i tom je prigodom sastavljeno završno izvješće. U normalnoj praktičnoj upotrebi trebalo je testirati baterije i pogonski sustav i utvrditi energetske i ekološke bilance. U projektu su sudjelovale tvrtke proizvođača automobila, baterija i tehničke visoke škole. Ispitivanja su trajala od 1992. do 1996. sa 60 ispitnih vozila. Vozila su prošla ukupno 1,300.000 km. Trošovi se procjenjuju na 60 milijuna DM koje su pokrile zainteresirane tvrtke i savezno ministarstvo. Sažeto bi se mogli iznijeti slijedeći zaključci:

- Električni pogonski sustav pakazao se pouzdanim.
- Baterije su tijekom testiranja stalno poboljšavane što će mnogo doprinijeti prigodom serijske proizvodnje.
- Doseg vožnje jednim punjenjem baterija iznosio je, već prema tipu baterija, 80 km do 130 km. Uz brzo punjenje moglo se dnevno prevaliti preko 300 km.
- Dio potrebne električne energije dobavile su solarne ćelije, pa je na taj način namaknuto oko 8% potrebne energije.
- Elektro vozila potpuno su ispunila svoju zadaću s obzirom na prilike na otoku Rügen.

Ekološki gledano, zbog neispuštanja štetnih plinova i male buke elektrovozila imaju nesumljivu prednost pred motornim vozilima, no ako električna energija za pogon dolazi iz termoelektrana prilike u globalu su nešto drugačije. To svakako treba još istraživati. Nakon sakupljenih iskustava iz navedenog testa do 2000. godine predviđa se:

- Smanjenje pogonske energije za 30% zbog smanjenja težine vozila i poboljšanja korištenja energije kočenja.
- Smanjenje toplinskih gubitaka $NaNiCl_2$ baterija za 20%.
- Poboljšanje sustava za punjenje. Povećanje učinkovitosti od 85% na 94%.

Daljnja se poboljšanja očekuju još iza tog roka.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96 (1997), br. 9

Mrk

AUTOMOBILI NA ZEMNI PLIN

U Njemačkoj, u Bremenu se ispituju automobili transporteri, za gradske potrebe, na pogon zemnim plinom. Ukoliko budu ispitivanja uspješna, u promet će se ubaciti još tri takva vozila, a potom još i više. Pokusni transporter stavit će na raspoloženje gradska poduzeća koja jedina imaju stanicu za punjenje zemnim plinom. Upravo pomanjkanje infrastrukture mogao bi biti razlog neuspjeha ispitivanja. Ukoliko u tanku auta ponestane plina, automatski uređaj prebacuje pogon na bezolovni benzin. Organizatori ovog test-programa vrlo su optimistični i nadaju se da će nekih 60% vožnji unutar grada moći biti na pogon plinom.

Energie Spectrum, god. 11 (1997), br. 7/8

Mrk

AUTOBUS NA POGON GORIVIM ĆELIJAMA

Tvrtka Daimler-Benz u suradnji s kanadskom tvrtkom Ballard Power Systems konstruirala je linijski autobus, dosega vožnje 250 km, na pogon vodikovim gorivim ćelijama. Proizvođači smatraju tehnologiju takvog tipa gorivih ćelija riješenom, no treba provjeriti cijeli sustav sa svim elementima. Daljnji je cilj serijska proizvodnja, jer takav je tip linijskog autobusa, prema tvrdnji proizvođača, znatno ekonomičniji od šinskih vozila.

Energie Spectrum, god. 11 (1997), br. 7/8

Mrk

BRITANSKI PLIN ZA NJEMAČKU

Prema planovima trebao bi od listopada 1998. godine britanski zemni plin iz sjevernog mora teći u Njemačku. Položio bi se plinovod iz V. Britanije do belgijskog kopna, zatim Belgijom do njemačke granice. Radovi bi počeli u proljeće 1998. godine. Prema ugovoru s tvrtkom British Petroleum, Njemačka bi godišnje uvezla iz V. Britanije 1,5 milijardi m^3 zemnog plina.

Energie Spectrum, god. 11 (1997), br. 7/8

Mrk

SREDNJE ELEKTRANE VISOKE ISKORISTIVOSTI

Finsko poduzeće Wärtsila Diesel iznijelo je svoj originalni koncept kombielektrane, snage od oko 100 MW, električne korisnosti od 50%. Jezgra postrojenja su 6 dizelskih agregata po 15,8 MW, s parnom turbinom snage 8 do 11 MW. Poduzeće se nada da će tijekom slijedećih godina razviti takvo postrojenje s iskoristivosti od 55%. U planu je da se na istom konceptu izradi manje postrojenje od 50 MW. U takvoj bi varijanti bila ugrađena tri dizelska motora.

Posebno je važno naglasiti da je emisija buke vrlo niska. Nekih 100 metara od postrojenja buka iznosi još 45 dB. Ovakva su postrojenja predviđena za industriju i rezervne elektrane.

Energie Spectrum, god. 11 (1997), br. 7/8

Mrk

VJETROELEKTRANE KORISNE I U UNUTRAŠNJOSTI ZEMLJE

Nedavno je u području Osnabrücka stavljena u pogon najveća njemačka vjetroelektrana izgrađena izvan morske obale. To je prototip elektrane čiji će se pokusni rad pratiti godinu dana. Snaga je elektrane 1,5 MW, a predviđena proizvodnja električne energije 2,5 milijuna kWh godišnje.

Energie Spectrum, god. 11 (1997), br. 7/8

Mrk

POKAZIVAČ KRATKOG I ZEMNOG SPOJA ZA NADZEMNE VODOVE

Francuska tvrtka Soulé Bardin, Boulogne razvila je pokazivač kratkih i zemnih spojeva koji se pričvrsti na vodiče dalekovoda. Uređaj se izoliranom motkom pričvršćuje na vodiče, a tako i skida. U obzir za montažu dolaze nadzemni vodovi napona 1 do 60 kV, s vodičima promjera 5 do 25 mm. Kad nastane neki poremećaj detektor s mikroprocesorom daje signal žmigajućim svjetlom. Pričvršćeni uređaj izdrži brzinu vjetra do 150 km/h, a baterije mu omogućuju kapacitet žmiganja od 400 sati.

Energie Spectrum, god. 11 (1997), br. 7/8

Mrk

UČINKOVITI SPREMNIK ZA VODIK

Stručni tim sveučilišta Boston North-Eastern University (SAD) pod vodstvom dr. N. Rodrigueza i dr. T. Bakera razvio je spremnik za vodik do sada nedostižnog kapaciteta. Materijal koji služi za apsorpciju vodika su mikroskopski male grafitne niti koje uslojene mogu apsorbirati količinu vodika do trostruke svoje težine. To je oko deset puta više od mogućnosti dosadašnjih sistema. Time se omogućuje vozilima na pogon vodikom ili vodikovim gorivim ćelijama doseg vožnje od 8.000 km jednim punjenjem. Način proizvodnje grafitnih niti i detalji cijelog sistema drže se još u tajnosti, no objavljeno je da proizvodnja grafitnih niti po kilogramu neće stajati niti puni jedan dolar. Za ovim pronalaskom vlada veliko zanimanje mnogih tvrtki, također i tvrtka Daimler-Benz.

Energie Spectrum, god. 11 (1997), br. 7/8

Mrk

DOPLATAK ZA REGENERATIVNU ENERGIJU

Uskoro će austrijski potrošači električne energije moći dobiti "eko-struju" ukoliko su spremni platiti povišenu cijenu. Gornjoaustrijsko električno poduzeće OKA smatra da bi za dobavu električne energije iz vjetroelektrana i termoelektrana na pogon biomasom trebalo dignuti cijenu kWh za 30 do 49%. Time bi prosječno kućanstvo bilo financijski opterećeno za dodatnih 4.000 šilinga godišnje.
Štajersko elektroprivredno poduzeće STEAG nudi drugi model, gdje bi povećanje cijene po kWh iznosilo 20 groša. Austrijska savezna elektroprivreda namjerava osnovati udrugu za "čistu energiju" koja bi sakupljala dodatak na normalnu tarifu i time financirala izgradnju vjetroelektrana i termoelektrana loženih biomasom.
Budući da će i druga elektroprivredna poduzeća u Austriji dati svojim potrošačima sličan prijedlog, u poduzeću OKA smatraju da bi se austrijski elektroprivrednici složili da odrede za "eko-struju" jednaku cijenu.

Energie Spectrum, god. 11 (1997), br. 7/8

Mrk

LJUDI ZASLUŽNI ZA ELEKTROTEHNIKU

U ovu tekuću 1997. godinu pada nekoliko okruglih godišnjica rođenja odnosno smrti znanstvenika i istraživača koji su svojim fundamentalnim otkrićima dali značajan doprinos temeljima današnje elektrotehnike.
Kratki prikazi života i rada dani su za tri znanstvenika prema godinama rođenja, a za tri prema godinama smrti. Na koncu je dan životopis najvećeg hrvatskog popularizatora prirodnih nauka i profesora O. Kučere, rođenog 1. siječnja 1857. godine. On se doduše ne može svrstati među znanstvenike o kojima je riječ, ali je svojim radom kao profesor, pisac mnogo doprinio da se hrvatski čitatelj upozna sa stanjem elektrofizike i elektrotehnike onog vremena. Treba naglasiti da do tada, koncem prošlog i početkom ovog stoljeća, sličnih edicija na hrvatskom jeziku uopće nije bilo. Ako već govorimo o zaslužnima za elektrotehniku za naše hrvatske prilike svakako moramo spomenuti i popularizatora Kučeru.

Luigi Galvani (1737-1798) profesor anatomije i praktične medicine na sveučilištu u Bologni, otkrio je trzanje žabljih mišića kod dodira metalnih lukom.
Kod seciranja žaba slučajno je u dodiru s konduktorom električnog stroja skočila električna iskra pri dodiru žabinog badrenog živca, a kraci su se zgrčili. Kad je pak preparirane žablje krakove vješao na željeznu ogradu opazio je da se kraci grče bez električne iskre. Grčenje je također postigao ako je različitim metalima dotaknuo žabin bedreni živac i mišić. Svoje je pokuse objavio 1791. i postavio teoriju o životinjskom elektricitetu. Alessandro Volta svojim je pokusima dokazao da je ova teorija pogrešna makar se krakovi grče ako se upotrijebi luk od samo jednog metala. Premda je teorija o životinjskom elektricitetu imala na početku mnogo pristalica, Voltino je stanovište preovladalo. Pod starost Galvani je ostao sam shrvan nepovoljnim obiteljskim i političkim prilikama, umire 1798. u 61. godini života. Njemu u čast njegovim su imenom nazvane istosmjerne električne struje, različiti aparati i procesi.

Georg Simon Ohm (1787-1854), njemački fizičar, rođen u Erlangenu, od oca bravara, istakao se radovima na području elektriciteta i magnetizma. Uspio je dobiti dopuštenje da kao gostslušatelj prisustvuje predavanjima na sveučilištu. Godine 1817. postao je profesor matematike na gimnaziji u Kölnu i već tada se bavio pokusima o električnoj vodljivosti metala. O tome je godine 1824/25 napisao posebnu raspravu. Zbog nerazumijevanja okoline napustio je mjesto profesora, neko vrijeme teško živio nezaposlen, a zatim primio mjesto nastavnika na vojnoj školi u Berlinu. Od 1833. do 1848. direktor je Politehnike u Nürbergu, a konačno 1849. kao svjetski priznati znanstvenik imenovan profesorom eksperimentalne fizike na tehničkoj visokoj školi u Münchenu.
Najpoznatiji je po zakonu prema kojemu je jakost struje koja prolazi vodičem proporcionalna naponu, a obrnuto proporcionalna električnom otporu. Taj je zakon dobio njegovo ime, a jedinica električnog otpora u njegovu je čast prozvana om, oznaka Ω.

Heinrich Rudolf Herz (1857-1894), njemački fizičar, rođen u Hamburgu od oca uspješnog odvjetnika. Nakon završetka studija fizike i kemije radio je kod poznatog njemačkog znanstvenika

Helmholtz-a. Bio je privatni docent na sveučilištu u Kielu, a 1885. postaje redovni profesor fizike na sveučilištu u Karlsruhe, a zatim u Bonnu, gdje kao tridesetogodišnjak umire 1894. godine. Herz se posebno bavio elektromagnetskim valovima. Godine 1887. eksperimentirajući s elektromagnetskim oscilatorima otkrio je elektromagnetske valove koji se šire na daljinu. Ovaj je pronalazak bio temelj kasnijeg razvoja bežične telegrafije i telefonije, radija i televizije. Herz je eksperimentalno dokazao Faraday-Maxwelovu valnu teoriju. Njegovi elektromagnetski valovi imali su valne duljine od nekoliko cenimetara, vrlo pogodnim za proučavanje valnih svojstava.
U njegovu čast prozvana je jedinica za periodičke pojave tj. frekvenciju herz (Hz).

Alessandro Volta (1745-1827) rođen je u Comu (Italija) kao sedmo dijete obitelji s devetero djece. Školovanjem stekao je solidnu naobrazbu, a izučavanjem električnih i magnetskih pojava počeo je vrlo rano. Već na temelju svojih prvih radova napr. pronalaskom elektrofora postavljen je 1774. za nastavnika kraljevske škole u Comu, a zatim profesorom eksperimentalne fizike. Volio je prirodu i putovanja. Proputovao je mnoge zemlje Europe upoznavši se s mnogim tadašnjim znanstvenicima s kojima je ostao u stalnom dopisivanju. Kao profesor fizike na sveučilištu u Paviji djelovao je od 1779. do 1819. godine gdje je u svom laboratoriju učinio veliki broj pronalazaka. Prema vijesti da je talijanski liječnik Luigi Galvini pronašao životinjski elektricitet bio je vrlo kritičan, pa je nakon niza pokusa potpuno negirao njegovo postojanje.
Volta je 1797. prvi put proizveo električnu struju, bez električnog kondenzatora, koji je također njegov pronalazak. Uronjavanjem dvaju različitih metala u zakiseljenu otopinu proizveo je trajnu električni struju. Još pogodniji izvor struje dobio je naizmjeničnim slaganjem pločica dvaju metala, između kojih je umetnuo natopljeno sukno i tako dobio po njemu nazvan Voltin stup. Pronalazak je objavio 1800. a 1801. prikazao ga u Francuskoj akademiji u Paziru u prisustvu cara Napoleona. Iz mnogih strana kao i od cara Napoleona, koji ga je visoko cijenio, doživio je mnoge počasti i priznanja. Godine 1819. napušta sveučilište u Paviji, vraća se u rodni Como, gdje umire 1827. Njemu u čast nazvana je jedinica za električni napon (elektromotornu silu i potencijal) volt, oznaka V.

Michael Faraday (1791-1867), engleski fizičar i kemičar, rođen u Newingtonu, predgrađu Londona, kao sin kovača. Sa 13 godin došao je u London i počeo učiti knjigoveški zanat. Taj ga posao nije zanimao, pa ga je uskoro napustio. Već se zarana počeo baviti fizikalnim i kemijskim pokusima, izradio si je Voltin stup i time dobio izvor električne struje za svoje pokuse. Godine 1813. uposlio se kao laboratorijski pomoćnik kod poznatog istraživača i znanstvenika Davya. U svojim istraživanjima toliko je napredovao da je naslijedio Davya i postao direktor laboratorija Royal Institution u Londonu, a 8 godina kasnije i profesor kemije.
Već 1821., na temelju Ampera i Oersteda, proučava pojave elektromagnetizma, dijamagnetizma, teoriju magnetskog i električnog polja. Godine 1831. otkriva elektromagnetsku indukciju što je bio temelj za izradu električnih strojeva i transformatora. Učinio je niz pronalazaka u području kemije, a bavio se i svjetlošću. Utro je put elektromagnetkoj teoriji svjetlosti, koju je teorijski kasnije razradio Maxwell.
Farady se bavio elektrolizom (Faradyevi zakoni) i postavio elektrokemijski ekvivalent. Mnogo je pronalazaka također učinio na polju kemije. Ukratko, bio je veliki genijalni eksperimentator i pronalazač. Umro je u Hamton Courtu, kraj Richmonda, godine 1867. Njemu u čast proglašena je jedinica za električni kapacitet farad, oznaka F.

Gustav Robert Kirchhof (1824-1887), njemački je fizičar, rođen u Königsbergu, djelovao je kao profesor na sveučilištima u Breslau-u (Wroclawu), Heidenbergu i Berlinu. U suradnji s Bunsenom razvio je spektralnu analizu, od velikog značenja za kemiju, astronomiju i prirodne znanosti. Pomoću spektralne analize otkrio je kemijske elemente rubidij i cezij. Formulirao je zakon temperaturne ovisnosti toplinskog efekta koji prati kemijske reakcije. U području elektrotehnike ispitao je grananje električne struje i postavio poznate zakone koji su dobili njegovo ime. Dokazao je da se električne pojave prostiru vodičem brzinom svjetlosti bez obzira na brzinu gibanja elektrona. Proširio je Ohmovu teoriju jednodimenzionalnog vodiča na trodimenzionalni slučaj.

Oton Kučera (1857-1931), rođen je u Petrinji, od oca učitelja. Studirao je u Beču matematiku, fiziku i astronomiju. Kao srednjoškolski profesor bio je nastavnik u Vinkovcima, Sl. Požegi i Zagrebu. Doktorirao je 1899. godine, a 1909. postao je sveučilišni profesor u Zagrebu. Uz svoj nastavnički rad pisao je udžbenike iz fizike i knjige u kojima je popularizirao nauke. Naročito je poznata knjiga iz astronomije Naše nebo (1895). Bio je predsjednik Hrvatskog prirodoslovnog društva i osnivač zvjezdarnice u Zagrebu (1903). Iz područja elektrofizike i elektrotehnike treba istaknuti knjige crtice iz magnetizma i elekriciteta (1891), Valovi i zrake (1903) i Novovjeki izumi (1910). Umro je u Zagrebu 1931. godine.

Mrk

TRANSPORT PLINA U ČEŠKU

Istočnonjemački plinski gigant Verbundnetz Gas (VNG) dobio je ugovor za transport norveškog plina u jednu od pokrajina Češke republike, odakle prema drugima prolazi plinovod.
Ugovor na 20 godina, vrijedan 600 milijuna DM (325 milijuna US$) potpisan je s češkom kompanijom za plin Cesky Plynaresky Podnik (CPP) / Transgas. Ovim ugovorom osigurava se doprema plina do češke mreže plinovoda u Steinitz i natrag u Hora Sv. Katerini u Erzgebirg planinama.
Ova suradnja traje već niz godina. Naime Cesky Plynaresky Podnik / Transgas je prenosio ruski plin do Verbundnetz Gas-a još od 1973. godine.

European Energy Report, 25 April 1997

SBK

NOVI POTICAJ ZA SMANJENJE EMISIJE CO_2

Nizozemska vlada odabrala je prvih 12 projekata koje će potpomoći sa 750 milijuna Dfl (389 milijuna US$). Cilj ovih projekata je smanjenje emisije CO_2. Za prve projekte namijenjena su sredstva u iznosu od 281,7 Dfl, dok će ukupna investicija iznositi 1.726,4 milijarde Dfl. Očekuje se da će se kombinacijom ovih 12 projekata postići smanjenje od 1,7 milijuna tona CO_2. Projekti su grupirani u tri grupe:

- nove tehnologije
- obnovljive energije
- poboljšanje energetske infrastrukture.

Projektima se ubrzava priključenje na inter-modalni transport vodenim putem između Rotterdama i Moskve, poboljšanje lokalnog sustava grijanja u Hangelou i korištenje staklenih vlakana za noseće elemente u autoindustriji.

European Energy Report, 25 April 1997

SBK

MHyLab - PRVI SVJETSKI ISTRAŽIVAČKI CENTAR ZA MALE HIDROELEKTRANE

Švicarska je odlučna da počne izgradnju prvog svjetskog istraživačkog centra za razvoj malih hidroelektrana. Poznat kao

MHyLab, vrijedan 4 milijuna SFr, laboratorij će biti smješten na hidroelektrani Montcherand u kantonu Vaud. Pri uspostavljanju laboratorija sudjelovat će Švicarski institut za tehnologiju iz Laussane (EPFL) i Institut za hidrauliku, fluide i mehaniku. Zadatak je istražiti i razviti takav tip malih hidroelektrana koje će imati niske troškove izgradnje, visoku energetsku iskoristivost i pouzdanost.
Potpomagan od "Švicarskog energetskog programa 2000" laboratorij je usmjeren na povećanje broja malih hidroelektrana u zemlji. U 1914. godini u Švicarskoj je bilo 6700 malih hidroelektrana sa ukupno instaliranim kapacitetom od 85 MW, 1985. godine ovaj broj je pao na 700, a ukupno instalirani kapacitet na 46 MW i prosječno proizvodnje 190 GWh na godinu.
Prema izjavi predstavnika švicarske nacionalne elektroprivrede (CVE) laboratorij će nadopuniti vlastite istraživačke projekte R&D, koji su previše industrijski da bi ih izvodio institut i previše neprofitabilni da bi za njih bio zainteresiran glavni proizvođač turbina kao što je ABB. Poduzeća iz Francuske, Indije, Indonezije i Pakistana su zainteresirane za usluge ovog ispitnog centra, uvjereni da će to biti prvi svjetski neprofitni laboratorij za razvoj "mini" turbina snage 20 kW do 1 MW.

Power in Europe, 23 May 1997, 249/25

SBK

VJETROELEKTRANE U NJEMAČKOJ

Njemački RWE Energie je stavio u pogon dvije vjetroturbine u svibnju ove godine. Njihovo postavljanje je financirano sredstvima iz proračuna. Jedna turbina je financirana kroz program poduzeća iz tzv. "tarife za okoliš". Druga turbina je financirana kroz razvojno istražvački projekt, težak 5 milijuna DM, za koji je RWE Energie dobio 1 milijun DM od Federalnog ministra za istraživanje.
500 kW vjetroturbinu izgradio je Enerco. To je šesta turbina financirana iz RWE Energie programa "tarife za okoliš". Prethodnih pet bile su voltaičke elektrane. Turbina je instalirana u Kirfu u regiji Eifel. Očekuje se da će davati oko 750.000 kWh na godinu, što će biti dovoljno da zadovolji potrebe od 3. 250 potrošača grupe "tarife za okoliš".
RWE Energie ima sada ukupno oko 10.000 potrošača evidentiranih prema toj tarifi. Naime, ovi potrošači dobrovoljno plaćaju veću cijenu električne energije od uobičajene. Izdvojenim novcem se, pak, pomaže gradnja obnovljenih izvora energije. RWE Energie tom iznosu dodaje još 20 milijuna DM za pokrivanje dodatnih troškova pri izgradnji obnovljivih izvora radije nego za izgradnju konvencionalnih elektrana.
Donedavna RWE Energie je bio orijentiran na izgradnju fotovoltaičkih elektrana (pv), jer su ove mogle biti izgrađene u blizini sjedišta poduzeća i na taj način su izbjegavani problemi vezani za dozvole eksperimentiranja sa vjetroelektranama, a posebno s hidroelektranama. Jedna hidroelektrana je u fazi planiranja, dok se vjetroelektrane ne spominju.
Vjetroturbina odabrana za razvoj i istraživanje je veličine 1,5 MW, a izgradilo ju je poduzeće Tacke Windtechnik iz Salzbergena. Montirana je krajem travnja u Stemwedeu blizu Osnabruecka. Očekivana proizvodnja je oko 2,3 GWh na godinu. Namjera je istraživačkog i razvojnog projekta optimiranje tipa turbine za korištenje u kontinentalnim područjima, gdje vjetar ima znatno veću turbulenciju i češće promjene smjera nego uz morsku obalu. Namjera je također smanjenje troškova gradnje vjetroelektrane, kako bi bila konkurentna u odnosu na druge vrste energije.

Power in Europe, 23 May 1997, 249/16

SBK

PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE U EU U 1996. GODINI

Prema preliminarnim podacima EUROSTAT-a proizvodnja električne energije 15 država članica EU porasla je za 3,2% prošle godine ili za 70,8 TWh. Najveće povećanje bilo je u Danskoj (45,7%), Finskoj (9,6%), Španjolskoj (6,1%) i Irskoj (6,0). Austrija i Švedska imale su pad proizvodnje za 5,8% odnosno 4,6 izazvan niskim vodostajima. Norveške hidroelektrane imale su pad od 14,9% ili 18,2 TWh u 1996. godini zbog nedostatka vode. EUROSTAT je objavio da su konvencionalne termoelektrane povećale proizvodnju za 3,1% u prošlog godini u usporedbi s 1995., te sudjeluju sa 51,1% u ukupno proizvedenoj energiji. Proizvodnja hidroelektrana bila je manja za 1,2%, te sudjeluje sa 13,5% u ukupno proizvedenoj električnoj energiji.
Ukupna proizvodnja dobavljača energije u EU prošle godine bila je 2. 243,6 TWh, što je povećanje od 2,1% u odnosu na 1995. godinu. Prošle godine EU je postala izvoznik električne energije. Francuska, Njemačka, Danska i Irska su izvozile, a Italija i Velika Britanija su bile najveći uvoznici električne energije. EUROSTAT također iznosi i cijene električne energije - izuzimajući VAT te usklađujući s inflacijom - kroz pregled većine pokrajina širom EU za 6 mjeseci, do siječnja 1997. godine, za sve kategorije potrošača. Najveća smanjenja zabilježena su u Njemačkoj, posebno u Frankfurtu i Rostocku. Povećanja su uglavnom bila u Nizozemskoj, izuzev Rotterdama gdje su cijene pale, te u Italiji i Francuskoj. Najveće povećanje cijena bila je u Švedskoj i Velikoj Britaniji, najviše u Londonu i Birminghamu.

Power in Europe, 23 May 1997, 249/15.

SBK

KOROZIJA NAPADA I KONDENZATORE OD TITANA

U nuklearkama i fosilnim elekranama hlađenim morskom vodom mnogo se koriste kondenzatori od titana zbog dobrih antikorozivnih karakteristika.
Međutim, na nedavnoj ASME konferenciji (International Joint Power Generation Conference) izvjestio je Juri Tavast, ABB Stal (Finspong, Sweden), da je usprkos više nego zadovoljavajućem iskustvu sa njima na 15 od 20 kondenzatora od titana otkrivena kapljasta erozija na vodenoparnoj strani. Posljedica toga je curenje blizu 30 cijevi.
To je iznenadilo proizvođača, jer su cijevi od bakrenih slitina zamijenjene sa cijevima od titana upravo zbog istog razloga. Dosadašnja iskustva su pokazala da na cijevima od titana nije dosada bilo kapljaste erozije.
Iako se kratkotrajna izloženost eroziji, tolerira, ona reducira veličinu rashladne površine i degradira performanse. Dodavanjem zaštitnih štitova ili mrežnih panela povećao se pad tlaka. Danas u Švedskoj i Finskoj kao rješenje ima prednost pojedinačno platiranje druge generacije sa visokolegiranim austenitnim čelicima. Tavast izvješćuje o nekoliko različitih materijala za cijevi i za površinski sloj cijevi (platirani sloj), koji su utvrđene ispitivanjem i navedene za različita postrojenja koja su imala platirane cijevi od dva austenitna čelika, 654 SMO i 254 SMO.
Elektrane izvješćuju o kapljastoj eroziji koja se pojavila u kondenzatorima od titana u vremenskom razdoblju od 15 godina. Međutim, pojava je bila otrkivena poslije 2 do 12 godina eksploatacije ovisno o postrojenju. Autor naglašava da bez obzira na ukupni broj procurivanja to izgleda beznačajno u usporedbi sa proucurivanjem bakrenih cijevi. To znatno smanjuje troškove kontrole i preventivnih mjerenja. Naime, jedan kondenzator s bakrenim cijevima može imati 20-30 procurivanja u lošoj godini.

Electric Power International, March 1997/13

SBK

SVUDA ISTI PROBLEM S NUKLEARNIM ODLAGALIŠTIMA

Prije 10 godina američki kongres je odlučio da treba smjestiti

28 000 tona otpada iz nuklearnih elektrana na jednom stalnom mjestu u Nevadi. Ovaj otpad privremeno je smješten u 10 skladišta u 35 država. Prema provedenom istraživanju za trajno odlagalište radioaktivnog otpada trebao bi poslužiti 5 milja dug tunel u Yucca Mountain u Nevadi. Međutim, voditelj ovog istraživanja nije siguran da će odlagalište ugledati svjetlo dana.
Kočnicu predstavlja tzv. slučaj Nimby, što u prijevodu znači "ne u mom dvorištu". Naime, nitko ne želi odlagalište radioaktivnog otpada u svojoj blizini. Protivnici izgradnje odlagališta nastoje taktikom izvrdavanja odložiti izgradnju. Ta prepucavanja značе otezanje sa radovima u tunelu koji traju već 4 godine. Ovaj slučaj Nimby je jedan od najduljih nacionalnih slučajeva.
Kongres podupire druge programe za izgradnju privremenih skladišta izvan Yucca Mountaina. Na kraju Bijela kuća mora odlučiti slijedeće godine, da li je Yucca Mountain jedina moguća lokacija za trajno odlaganje radioaktivnog otpada. Ministarstvo za energiju (DOE) izjavljuje da izgradnja trajnog skladišta u planini neće biti dovršena sve do 2007. godine.

Electrical World, May 1997

SBK

TREBA LI RAZMATRATI PROPELERNE TURBINE ZA MALI PAD

Prekomorska agencija za razvoj (The Overseas Development Agency) izradila je studiju koja govori u prilog razvoja propelernih turbina za mali pad. Lokalna industrija u zemljama u razvoju mogla bi ih ekonomično proizvoditi. Imidiate Technology iz Velike Britanije potvrdila je studiju. Istraživači smatraju da postojeći tipovi turbina, proizvedenih u lokalnoj industriji, izvedbe Pelton, Francis i Kaplan, imaju nedostatak i općenito su nepouzdane s obzirom na brtvljenje i kvalitetu ležajeva. Dalje studija zaključuje da lokalna industrija može ekonomično proizvesti turbine većeg promjera , sporohodne i za manji pad.
Prema studiji najbolje je potpumagati male hidroelektrane u zemljama u razvoju kroz osiguranje pomoći u razvoju preopelernih turbina. Trebalo bi se usmjeriti na projekte od 5-25 kW i promjera 4-8 m za gradska područja, 1-5 kW i promjera 1-4 m za seoska područja.

HRW - Hydro review Worlwide, May 1997

SBK

PFBC PEPEO - MATERIJAL ZA KOMERCIJALNU UPOTREBU

Dugotrajna istraživanja procesa tlakom fluidiciranog slojevitog izgaranja - PFBC (pressurised fluidized bed combustion) u proteklih 20 godina, posebno u Švedskoj, rezultirala su procesom s ekološkim prednostima pri kojem nastaje mala emisija štetnih plinova i kruti talog koji se može komercijalno iskoristiti. PFBC tehnologija zbrinjavanja pepela pretvara termoelektrane u proizvođače izvrsnog građevinskog materijala.
PFBC tehnologija se koristi u kombiniranom ciklusu, tj. tamo gdje generator pokreću plinska i parna turbina. Rezultat je visoko iskorištenje te smanjena potrošnja goriva za oko 15% u usporedbi sa konvencionalnim tehnologijama. Izgara fluidizirani sloj ugljena, stlačen na 5-12 bara, na temperaturi izgaranja od 820 do 880 °C, što rezultira vrlo malom emisijom NO_x koji se inače stvara samo na višim temperaturama. Ugljen mora biti usitnjen u zrna ne veća od 5 mm i pomiješan s apsorbentima (obično vapnenasti dolomit). Tijekom izgaranja apsorbent veže sumpor u obliku bezopasnog kalcijevog sulfata. PFBC postrojenje koristi vrlo široki asortiman krutih goriva: od malokvalitetnih subbitumenoznih ugljena do visoko kvalitetnih kamenih ugljena.
Talog iz PFBC postrojenja javlja se u tri oblika:

- granulat slojevitog pepela
- lebdeći pepeo izoliran u ciklonima
- filtarski pepeo (svega 1-2%).

U pilot tvornici ABB Carbon u Finsong-u provedeno je istraživanje primjene i svojstava proizvoda iz pepela stockholmske PFBC termoelektrane Värtan, koja uglavnom koristi poljski ugljen. Za komercijalnu upotrebu pripremljene su tri grupe proizvoda:

- sintetički šljunak za temeljni sloj u cestogradnji
- kocke (blokovi) za završni sloj nogostupa ili cesta
- upotreba PFBC pepela kao zamjena za cement i pijesak kod izrade završnog sloja ploča u građevinarstvu.

Ovi materijali su u tijeku višegodišnjih testiranja bili podvrgnuti različitim temperaturnim uvjetima, tlakovima, te dugotrajnom tretmanu vodenog mlaza pod tlakom. Utvrđeno je da u odnosu na klasične građevne materijale imaju značajne prednosti:

- temperaturno područje upotrebe u vodi od 18 °C do +50 °C
- izdržljivost na visoki površinski tlak
- visoki koeficijent elastičnosti
- visoka otpornost na toplinske utjecaje
- vrlo mali udio teških metala (mnogo manje nego u prirodnim materijalima)
- niska cijena.

Istraživanja se nastavljaju s ciljem da se PFBC pepeo upotrijebi kao stabilizator pomiješan s cementom, čime bi cement poprimio nova svojstva.

ABB Review, 2/97, 42-49

SBK

ENERGIJA IZ OTPADA

Podružnica iz Manheima poduzeća Energie und Wasserwerke Rhein-Neckar (EWRN) planira postaviti četvrti kotao na kućni otpad u elektrani Heizkraftwerk Nord. Nova jedinica će spaljivati 130.000 t/god otpada, pa će se količina spaljenog otpada povećati na 380.000 t/god. To znači povećanje za oko 4,6 GWh na godinu. Dosada je spaljivano 50% otpada i 50% plina i nafte. Ugradnjom novog kotla omjer će biti 80% otpada i 20% plina i nafte. Ovaj četvrti kotao bi trebao riješiti probleme sa smještajem kućnog otpada 1,4 milijuna stanovnika okruga Rhein-Neckar.
Elektrana Nord opskrbljuje toplinom 70 lokalnih poduzeća uključujući i Mercedes-Benz, dok je proizvodnja električne energije minimalna. Osim što će značajno pokriti potrebe za energijom Manheima, 20 km dugački cjevovod opskrbljivat će vrućom vodom i susjedni Heidenberg.
Novu jedinicu će kreditirati banka Landesbank Hessen-Tueringen. Isto tako se traže i investitori sa minimalnim udjelom od 110.000 DM.

Power in Europe, 9 May 1997, 248/20

SBK

AGIPOV VENECIJANSKI PLAN

U idućih 25 godina AGIP planira izvući oko 30 milijardi m^3 plina iz podmorskih nalazišta na širem području Venecije. To područje ima izvanredne prednosti za eksploataciju plina, jer je bogato plinom, razlike u razini morske površine između plime i oseke su svega nekoliko cm, a udaljeno je od talijanske obale 15-50 km.
AGIP predviđa da će sa 1 275 milijardi lira (756 milijuna US $) postaviti 19 izvlačivih platformi za 83 bušotine na dubinama 700-1800 m, te podvodnim plinovodom transportirati plin u 250 km udaljenu Ravenu za nacionalnu distribuciju. Godišnji troškovi održavanja će biti oko 10 milijardi lira. Prema procjeni lista La republica naknada od poreza pokrajini Veneto je oko 90 milijar-

di lira. Zaštitari okoliša, pak, budno prate što se događa na tom području.
Otkrivanje mogućnosti korištenja plina iz podmorja je u pravo vrijeme. Naime, zahvaljujući intenzivnoj kampanji "zelenih" na referendumu je odbijena izgradnja postrojenja za replinifikaciju i terminala na jednoj lokaciji na jadranskoj obali, gdje se trebao dopremati prirodni tekući plin (LNG) iz Nigerije sa kojom je ENEL sklopio ugovor goleme vrijednosti. Financijske posljedice raskida ugovora nisu još poznate.

European Energy Report, 21 March 1997

SBK

SMANJENJE POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE U PROIZVODNJI ALUMINIJA UPOTREBOM NOVIH MATERIJALA

Upotreba novih materijala u proizvodnji aluminija povećava energetsku iskoristivost i smanjuje potrošnju električne energije. Klasičan proces dobivanja aluminija elektrolizom odvija se u Hall-Heroult-ovim ćelijama. Elektrokemijski proces teče kroz ugljene anode i aluminijske katode. No, za taj proces troši se značajna količina električne energije, pa se već dugo vremena traži rješenje koje će rezultirati smanjenjem potrošnje električne energije potrebne za taj proces. Proizvođači aluminija polagali su velike nade u novi materijal nazvan titanov diborid. Iako ovaj materijal ima mnoge prednosti, ima i mnogo problema vezanih za njegovu proizvodnju, a i cijenu.
1988. godine nastavljaju se istraživanja sa ciljem pronalaska boljeg rješenja. Rezultat istraživanja je novi materijal titanov diborid-grafit (TiB2G). Upotrebom ovog materijala značajno se smanjuje napon potreban za održavanje luka, odnosno smanjuje se potrošnja električne energije za više od 20% u odnosu na klasičan način dobivanja aluminija. Aluminijska industrija u USA koristeći novi materijal postiže godišnju uštedu na električnoj energiji u iznosu od nekoliko stotina milijuna US$.
Prednosti novog materijala, titanovog diborid grafita mogu se sažeti u:

- dugi životni vijek
- kemijska stabilnost
- mehanička otpornost
- otpornost na termičke šokove
- mogućnost proizvodnje najrazličitijih komponenata

http:llcs.inel.gov. 16 July 1997

SBK

SPORAZUM O PRIZNAVANJU CERTIFIKATA O ELEKTROMAGNETSKOJ KOMPATIBILNOSTI IZMEĐU EUROPSKE UNIJE TE AMERIKE I KANADE

Krajem ljeta ove godine stupa na snagu novi dogovor (MRA) između Europske Unije i Amerike i Kanade o uređivanju međusobnih odnosa vezanih za troškove i izdavanje certifikata o elektromagnetskoj kompatibilnosti i električnoj sigurnosti proizvoda koji se prodaju na jednom i drugom tržištu. Time bi se otklonile smetnje regulative na tržištu električnih proizvoda. MRA pokriva pet sektora od farmaceutskih proizvoda do električnih aparata. Za usaglašavanje predviđen je period od dvije godine. Izvješća i certifikati izdani u Americi i Kanadi vrijedit će u Europskoj uniji i obratno. Proizvodi će biti stavljeni na tržište bez ikakvog ponovnog testiranja i certifikacije u zemljama uvoznicima.

Power in Europe, 20 June 1997, 251/11

SBK

BUDUĆNOST LOKALNOG GRIJANJA U AUSTRIJI

Pokrajinske i gradske organizacije u Austriji koje osiguravaju lokalno grijanje predviđaju u bliskoj budućnosti povećanje proizvodnje ukoliko ih razne prepreke ne spriječe u tome. Jedna od njih su birokratski postupci pri dobivanju odobrenja za nove instalacije koji su dugotrajni i skupi, ali potrebni za realizaciju vladine regulative za sigurnost i kontrolu okoliša. Pristalice ovakve vladine politike dokazuju kako ona ustvari pridonosi uspjehu lokalnog grijanja. Oni drugi primjenjuju druge mjere koje imaju za posljedicu veći cijenu lokalnog grijanja.
Bez obzira na to, 11% austrijskih kućanstava vezano je danas na lokalne sustave grijanja, prema samo 4% u 1990. godini. Industrija planira rast od 20%, od 10,03 TWh u 1996. godini na 12,02 TWh u 2004. godini. Očekuje se proširenje distribucijske mreže sa 2,330 km u 1996. godini na 2,856 km u 2002.
godini. Međutim tu nisu uključeni i brojni mali lokalni projekti koji još nisu registrirani ili su još u nacrtima.

European Energy Report, 25 April 1997, Page 14

SBK

PRIMJENA BIOLOŠKIH KATALIZATORA U RAFINERIJAMA NAFTE

Biološki katalizator mogao bi biti najveće otkriće u rafiniranju nafte u slijedećih 25 godina, smatra dr. sc. Grahm Butler, savjetnik za tehnologiju u BP Oil International. Naftne kompanije rade na razvoju bakterije koje kao katalizatori uklanjaju sumor iz sirovih i srednje kiselih destilata; što je sirovina bogatija i kiselija efekt katalitičkog procesa bit će veći. Exxon, Shell i Sasol Ltd razmatraju ulaganja u postrojenja u iznosu 30-50.000 milijardi funti u slijedećem razdoblju.

Energy Economist, April 1997, 186/32

SBK

INCIDENT U JAPANSKOJ NUKLEARKI

Osoblje japanske nuklearne korporacije za razvoj i reaktore (Power Reactor and Nuclear Development Corporation), poznate kao "Donen", pozvani su 11.300 stanovnika u Tokai, da im se ispričaju zbog incidenta kod zamjene goriva u nuklearnoj elektrani kada je pobjegao radioaktivni plin. Donen-ovo osoblje zatajilo je informacije o jedanaest slučaja propuštanja radioaktivne tekućine iz sustava pri gašenju vatre u elektrani. Nezadovoljstvo stanovništva moglo bi ozbiljno ugroziti ambiciozni japanski nuklearni program.

Energy Economist, April 1997, 186/32

SBK

POVEZIVANJE ISTOČNE EUROPE U EUROPSKU ENERGETSKU MREŽU

Još od sastanka u Beču u travnju ove godine članice UCPTE-a poduzimaju potrebne korake za priključenje Poljske, Češke, Slovačke i Mađarske na zapadno-europsko električnu mrežu. Ove četiri zemlje osnovale su 1992. godine regionalnu elektroprivrednu asocijaciju poznate kao "CENTREL" sa svrhom da ih uključi u europsku elektroprivredu asocijaciju UCPTE. Od listopada prošle godine njihove elektrodistributivne mreže su na testiranju koje se kontrolira iz zajedničkog ureda i tehničke službe u Varšavi. One će se pridružiti zemljama članicama UCPTE krajem godine. Primarni uvjet za prijam u članstvo UCPTE bio je zadovoljavajuća sinhronizacija i kontrola napona tijekom pune godine dana.
UCPTE se nada postupnoj integraciji srednje europskih zemalja, uključivo i svih zemalja bivše Jugoslavije, što bi omogućilo Grčkoj koja je članica UCPTE-a puno povezivanje za zapadno-europskom električnom mrežom. Rumunjska i Bugarska su za-

tražile povezivanje, ali prije moraju udovoljiti strogim tehničkim kriterijima. Direktno povezivanje ovih zemalja ne očekuje se prije 2000. godine.
Za proširenje UCPTE na istok, veze kojima upravlja Bayernwerk iz Njemačke i dvije koje pripadaju Verband-u iz Austrije postaju zastarjele. Verbund iz Austrije neće više investirati u tu vezu, nego se nada da će prodati noviju jedinicu Mađarskoj.
Na sastanku u Beču također je bilo razmatrano buduće proširenje UCPTE u nekoliko drugih pravaca. Razmatrana je mogućnost polaganja podmorskog kabela između Maroka i Španjolske, te između Tunisa i Italije. Predviđeno je međusobno povezivanje Maroka, Alžira i Tunisa koje će omogućiti direktnu razmjenu električne energije sa Španjolskom preko predloženog podmorskog kabela kroz Gibraltar. Također je predviđeno priključenje Turske i međusobno priključivanje uključujući Siriju, Jordan, Irak i Egipat. Egipatsko-libijski čvor trebao bi kompletirati prsten trofaznog sustava oko Mediterana.
Sve članice UCPTE nisu oduševljene ovim proširivanjem internacionalne mreže. Austrija na primjer je zadovoljna sa Verbundovom vezom sa Češkom i Mađarskom, ali ne baš s budućim uvozom jeftinije električne energije iz liberalizirane Europske unije. Verbund bi prihvatio minimum normi za proizvodnju električne energije, pretpostavljajući da bi trebala biti ograničena razmjena električne energije proizvedene u problematičnim nuklearkama i termoelektranama, naposljetku i unutar Europske unije.
Unutar UCPTE od proizvedenih 1,7 TWh u 1996. godini 45% je podrijetlom od tradicionalnih ugljkovodikovih izvora (plin, ugljen, nafra), 40% je iz nuklearki iz 15% iz hidro izvora. Francuska koju je u UCPTE-u prezentira EdF najveći je izvoznik s 68 GWh, Italija koju predstavlja ENEL, najveći uvoznik, s 37,4 GWh. UCPTE priznanje to obojici, ali njezini članovi moraju se prilagoditi novim uvjetima.

Power in Europe, 25 April 1997, 247/15,16

SBK

PRIVATIZACIJA PORTUGALSKE ELEKTROPRIVREDE

Portugalsko nacionalno poduzeće za elektroprivredu Electricidade de Portugal ponudila je malim investitorima bonus udjele u prodaji dionica da bi privukla male štediše. Investitor koji kupi do 2.000 dionica dobit će jednu bonus dionicu za svakih 25 dionica kupljenih u tijeku jedne godine. Također dobiva 6% popusta na ponuđenu cijenu i obvezan je tri mjeseca ne prodavati dionice. Za usporedbu je poslužila privatizacija iz prethodnih 6 mjeseci.
Predviđa se da se na ovaj način priključi više od 200.000 dioničara, što je skoro trostruko više od broja malih štediša koji su dotada investirali u privatizaciju elektroprivrede.

Power in Europe, 25 April 1997, 247/25,26

SBK

SUSTAV ZA SINHRONIZACIJU VJETROELEKTRANA NA MREŽU

Španjolsko inženjering-poduzeće SEC zahtijeva da se iskoristi domaća mogućnost korištenja vjetroenergije kao obnovljivog izvora energije i vanjska veza s danskim proizvođačem vjetroturbina Vestas. Inženjerski tim i potudeće Energia Hidroelectrica de Navarra (EHN), osnivač vjetrofarme, razvijaju novi generatorski kontrolni sustav za promjenljivu brzinu zraka kojim se povećava snaga generatora do 10%.

Prema riječima direktora inženjerskog tima Gregoria Rivasa, sustav je poznat kao Ingecon W. Ovaj sustav stabilizira ulaz na priključnu mrežu i produžava životni vijek turbine uz relativno male troškove. Sustav Ingecon W sastoji se od generatora i kontrolnog sustava koji dozvoljava rad turbine kod promjenjljive brzine vjetra, proizvodeći "sinhronu" električnu energiju, te smanjuje oštećenje i habanje postrojenja. To je sinhrona struja koja čini sustav atraktivnim za španjolsko tržište, jer nacionalno zakonodavstvo predviđa plaćanje penala za one proizvođače električne energije koji ne mogu udovoljiti utvrđenim uvjetima. Druga prednost je da ovaj sustav može biti primijenjen i kod turbina koje su već u eksploataciji.
Dosada su postavljena dva prototipa ovog sustava na Gamesa Eolica-i sa 500 kW turbinama na vjetrofarmi El Perdon i Navarre-i, te su pokazala 100%-tnu uspješnost. Ista vjetrofarma je već naručila 34 komada komercijalne verzije sustava. Inženjerski tim planira podići tvornice u Navarre-i i susjednoj pokrajini Baskiji za proizvodnju sustava Ingecon W. Izgradnju tvornica financirat će Ingeteam, EHN i Gamesa Eolica.
Direktor poduzeća EHN, Estaban Morras smatra da će zahvaljujući ovom sustavu Španjolska tehnologija vjetroturbina zauzeti mjesto koje joj pripada i time joj stvoriti sjajne ekonomke uvjete. Razvoj Ingecon W sustava financirala je regionalna vlada Navarre i centralno ministarstvo industrije.

Power in Europe, 215 April 1997, 247/26

SBK

ELEKTROMOTORI VELIKIH BRZINA

U 100 godina postojanja elektromotori su ugrađivani u bezbroj industrijskih i drugih pogona. Suvremena indusrija, posebno kemijska, zahtijeva pogonske strojeve velikih snaga (od 100 kW pa do 20 MW) i velikih brzina do 48.000 o/min. Klasični motori na izmjeničnu struju ovdje ne nalaze primjenu zbog dva osnovna razloga: frekvencija mreže od 50 Hz limitira im broj okretaja na 3.000 o/min, a mehanički multiplikatori zbog malog korisnog učinka i velike cijene nemaju širu primjenu.
EdF je napravio studiju o neelektričnim pogonskim strojevima u Francuskoj, snage veće od 100 kW te o mjestima njihove primjene. Konstatirano da je u pogonu više od 400 turbina ukupne snage veće od 800 MW. Više od 50% ovih turbina imaju brzine veće od 5.000 o/min, a četiri petine broja locirano je u kemijskoj industriji. Izvan kemijske industrije područje primjene je:

- pogoni za posebne alate u avio i auto industriji
- pogoni za zračne kompresore, snage 1-20 MW, broj okretaja više od 8.000 o/mn
- pogoni za kompresore plina u skladištenju i plinovodima, sa brojem okretaja od 10.000 o/min do 20.000 o/min
- pogoni crpki snage veće od 1 do 10 MW, brzine veće od 5.000 o/min u nuklearnim elektranama, za pogone napojnih crpki te injekcionih sigurnosnih crpki.

Istraživanja koja je EdE pokrenuo prije 20 godina u svom institutu DER (Direction des Etudes et Recherches) završila su izradom prototipa te njegovim testiranjem. Poteškoće i problemi koje je trebalo rješavati mogu se svrstati u četiri grupe:

- dimenzioniranje mehaničkih dijelova zbog velikih sila nametnutih geometrijom dijelova (masivni roto ili rotor napravljen od limova visokih mehaničkih svojstava). Postojeći alati za dimenzioniranje mehanike dali su zadovoljavajuće rezultate
- elektromagnetsko dimenzioniranje tradicionalnim metodama bilo je puno grešaka: gubici prisutnih nesinusoidalnih valova i u visokim frekvencijama
- termičko dimnzioniranje učinilo je gubitke jedva vidljivim kao i od oplakivanja; konstruktori su bili dovedeni u situaciju da predimenzioniraju svoje motore što se penalizira kod klasičnih strojeva i dovodi do suprotnih efekata kod motora s velikim brzinama
- cijena (trošak) elektronike bila je značajna i ovisi o brzini motora, te je bilo nužno koristiti veliki broj elektroničkih pretvarača uz opadanje snage na izlazu.

Rješavanje ovih problema dovelo je do razvoja komponenata, kao na primjer tranzistora UGBT (tranzistor s izvojenom rešetkom).

Koristeći se snažnim alatima u proračunima 2D, 3D i N3S istraživači DER-a modelirali su prototip na kojem su mjerenjima potvrdili svoje proračune, te područje primjene asinhronih motora, u bliskoj budućnosti, proširili i na brzine znatno veće od 3.000 o/min. No, treba naglasiti da ovakav projekt zahtijeva multidisciplinarni pristup u optimiranju odabranih materijala (elektromagnetski, termički, termomehanički i aeroulički).

EPURE, (EdF) 54, avril 1997

SBK

POPRAVAK SARKOFAGA U ČERNOBILU

Ukrajina uz pomoć zemalja okupljenih u G-7 namjerava stabilizirati oštećeni sarkofag kojim je optočen četvrti reaktor u Černobilu nakon poznate katastrofe. Nuclear safety Account (NSA) pomaže s 118 milijuna ECU-a. Namjera je Ukrajine da se stabilizacija sarkofaga obavi prije 2000. godine kada bi trebalo zatvoriti cijelu elektranu. Trošak zatvaranja ove nuklearke procjenjuje se na 780 milijuna US$. Ukrajina ima velikih problema oko zatvaranja financijske konstrukcije za ove aktivnosti na Černobilu. Osim Černobila u Ukrajini postoji još 14 reaktora koji su dotrajali i čiji je životni vijek pri kraju. U slijedećih 6-8 godina trebalo bi osigurati 8-9 milijardi US$ za zatvaranje dotrajalih reaktora. Ukrajina nema tih sredstava. Međunarodna zajednica će pomoći kreditima, no njih treba vraćati.

East European Energy, 67/13,14

SBK

HRVATSKA INTENZIVIRA KARTOGRAFIRANJE

Ove godine INA popunjava 2D i 3D seizmičke karte kao dopunu programa kopnenog istraživanja. Planira se kartografiranje ukupno 1700 km² u tri hrvatska sedimentaciona bazena: Panonska ravnica, bazen rijeke Save i Dinaridi - područje uz Jadransko more. INA je opremila svoj kompjutorski centar u Zagrebu suvremenim hardverom i softverom za obradu i prikazivanje podataka svojih polja. Od 1997. godine postoje geofizički i geoseizmički podaci, te podaci o glavnim bušotinama. Za ukupno 26 istraživačkih projekata bit će izvršena analiza te dopune prema potrebi. 10 od ovih projekata bit će spremno za proizvodnju u 1998. godini.

Ugovor vrijedan 3 milijuna US$ sklopljen s mađarskim GES-om ostvarit će se kartografiranje 800 km" u 3D polju Molve i bazen rijeke Save u idućih nekoliko mjeseci. Prošle godine kartografirana su polja Črnec i Vučkovac, a upravo se kartografira 200 km² na polju Donji Miholjac. Naftaplin će obraditi GES-ove podatke o poljima u vlastitom kompjutorskom centru.
Ove godine INA se priprema nastaviti kartografiranje u području Dinarida. Zatražena je dozvola za rad na 2D seizmičkom kartografiranju područja prikupljajući podatke za slijedeće 3D istraživanja, koja su također planirana u ovoj godini.
INA Naftaplin kontaktira sa više stranih poduzeća u vezi suradnje na ovom istraživanju. Dosada su obavljeni razgovori sa OMV-om i Petroleum Ltd (USA). Dogovoreno je s Amoco-m istraživanje tri područja ukupne površine 27.000 km², a koje je zbog rata bilo u prekidu više od 6 godina.

East European Energy, 67/18,19

SBK

HLAĐENJE ENERGETSKOG TRANSFORMATORA TEKUĆIM DUŠIKOM

Poduzeće ABB pustilo je u komercijalnu eksploataciju u Geneva-i prvi električni transformator u koje su korišteni visokotemperaturni supravodljivi vodiči za namot. Pojam supravodljivosti poznat je već od 1911. godine. Naime, svi metali ohlađeni na temperaturu apsolutne nule, 0 °K = -273 °C, ne daju nikakav otpor prolazu električne struje. U mnogim laboratorijima širom svijeta, posebno u IBM-u Zürichu, ispituju se različiti materijali i postupci čiji je cilj da se postigne supravodljivost na višim temperaturama. Ovaj transformator rezultat je tih istraživanja.
Sam transformator konstruiran je kao 3 jedinice cilindra visine 2 m i promjera 1 m. U namot je ugrađeno 6.000 m žice od posebne slitine proizvedene u američkoj tvornici American Superconductor. Međuizolacija je debljine 0,25 mm. Supravodljivost je postignuta tako što je svaki cilindar napunjen tekućim dušikom temperature 77 °K. Snaga transformatora je 630 kVA. Cijena ovog projekta iznosila je 5 milijuna US$.
Iako nije postignuta savršena supravodljivost to je značajan korak k primjeni supravodoljivosti u elektrotehnici. Ne treba zanemariti ni ekološki aspekt. U slučaju havarije klasičnog transformatora rashladno trafo-ulje je često uzrokom dugotrajnog zagađenja okoliša, dok dušik odlazi u atmosferu bez zagađivanja okoliša.

IEC Bulletin, May/June 1997

SBK

ELEKTRONIČKI OTPAD

Malo je poznato da poduzeće Siemens-Nixdorf ima posebno poduzeće koje se bavi preradom, sortiranjem i recikliranjem dijelova i komponenata informatičke opreme (PC, kase, telefoni itd.). Poduzeće, osnovano 1988. godine nalazi se u Paderborn-u. Smješteno je na površini od 9.000 m² i zapošljava oko 80 radnika. Godišnje se preradi oko 5.000 tona elektroničkog otpada i zaradi oko 9 milijuna US$ na godinu.
Od prerađene količine otpada oko 10% kao dijelovi idu natrag u prodaju kao rezervni dijelovi starijih proizvodnih programa. Ostatak, odnosno veći dio se reciklira ili priprema za recikliranje.

New World - The Siemens Magazine, 3/97, Page 26-31

SBK

GEOTERMALNA ENERGIJA

Unocal je vodeće svjetsko poduzeće za proizvodnju geotermalne energije. Poduzeće ima više od 30 godina iskustva na istraživanju, razvoju, ekonomici i financiranju, te gradnji privatnih geotermalnih elektrana.
Nedugo su puštene u rad 4 elektrane i to u sjevernoj Kaliforniji, Filipinima i Indoneziji, instalirane ukupne snage 1850 MW. Sada su u tijeku veliki radovi na novoj elektrani u Indoneziji. Tijekom 1995. godine poduzeće je u svojim geotermalnim elektranama imalo dnevnu prosječnu proizvodnju od 16,1 milijun kWh, što odgovara ekvivalentu od 24.000 barela nafte. Inače provjerena količina geotermalne energije u svijetu odgovara ekvavalentu od najmanje 215 milijuna barela nafte.
Sam princip rada takve elektrane sastoji se u tome da se na pogodnim geološkim slojevima buše bušotine dubine oko 3.000 m u koje se injektira voda. Tamo se voda zagrije, pretvara u paru koja se nakon filtriranja slanih rastvora koristi za pogon parne turbine. Slani rastvor te kondenzat injektiraju se ponovno u bušotinu.
Na svijetu postoje dvije lokacije gdje iz prirodnih pukotina već izlazi vodena para pogodna za direktan pogon turbine, pa nije potrebno injektiranje. To su: The Geysers u sjevernoj Kaliforniji i Lardarello u Italiji.

16/7/97

SBK

JAPANSKI TOMEN INVESTIRA 1,5 MILIJARDI US$ U VJETROELEKTRANE ŠIROM EUROPE

Japansko trgovačko poduzeće Tomen Corporation objavila je da

financira sa 1,5 milijardi US$ dugoročni plan razvoja vjetroelektrana u Španjolskoj, Italiji i Portugalu. Projekt bi trebao imati paeuropski aspekt. U Tomen-u sada razmatraju mogućnost jointventure veza sa njihovim glavnim europskim investitorskim partnerima; finskim Imatran Voima (IVO) i vodećim danskim proizvođačima turbina. Prema dugoročnoj strategiji Tomen-a planira se izgradnja 1000 turbinskih jedinica u Europi u slijedećih 6 godina: 619 u Španjolskoj, 361 u Italiji te 20 u Portugalu. Narudžbe danskih proizvođača trebaju prvenstveno pokriti španjolski projekt. No situacija bi se mogla promijeniti ako se danska grupa složi i prihvati Tomen-ove ponude za direktno sudjelovanje u planovima japanskog poduzeća za europski razvoj. Stav finskog poduzeća IVO prema jointventure je pozitivan, a zainteresirana su i druga finska poduzeća uključujući i NESTE.
Prema izjavi Tomen-ovog direktora za Europu, Masaaki Matsuoka, oni planiraju da najveći broj turbina koje će se koristiti u Europi kupuju od danskih proizvođača. Sve dok Danci prednjače u tehnologiji na ovom području to ima komercijalno značenje. Matsuoka je potvrdio da su pregovori Tomen-a s danskim najvećim poduzećima za proizvodnju turbina i opreme Vestas Wind System i Bonus Energy uznapredovali.
Tomen-ov plan za Europu zaista je ambiciozan. Cijeli projekt izgradnje turbina za tržište Španjolske, Portugala i Italije predviđenog je kapaciteta između 765 i 900 MW. Tomen-ove vjetrofarme bit će prema planu stavljene u pogon 2003. godine. Prema tvrdnji Tomen-a ovaj plan predstavlja pojedinačno najveći vjetroprojekt u tijeku planiran do danas. Japansko poduzeće planira osigurati 25% sredstava iz vlastitih sredstava gotovine, dok će ostatak posuditi od europskih, japanskih i američkih banaka.
Vestas Wind System najveći proizvođač turbina, dok je Bonus Energy rangiran kao četvrti na svjetskoj ljestvici. Unatoč ozbiljnim pregovorim, velike narudžbe su još uvijek u fazi pregovora, iako su prethodne isporuke već usaglašene. Bonus Energy isporučit će 66 turbina za Tomen-ov vjetropark u Galiciji u Španjolskoj već ove jeseni. Ova narudžba vrijedi oko 40 milijuna US$. Bonus Energy se nada da će sa Tomen-om imati više poslova u budućnosti.
Tomen je u tijeku stavljanja u pogon brojnih malih vjetrofarmi u Velikoj Britaniji, koje zajedno proizvode 58 MW električne energije. Bonus Energy je također isporučitelj turbina za ove vjetroparkove. Tomen ima također vjetroelektrane u USA, koje djeluju u sklopu multielektrana na plin, ugljen ili naftu.
Tomen smatra da je poticajna porezna politika te novčana pomoć ponuđena od nekih europskih zemalja atraktivna za ulaganje u vjetroelektrane u Europi. A posebno je važna činjenica da Tomen može prodati električnu energiju lokalnim distribucijama. Takvi uvjeti ne postoje u Japanu.
Velika je razlika između europskih zemalja i Japana prema tretmanu investicija u vjetroenergiju. Slične investicije se ne planiraju u Japanu.
Danski proizvođači vjetroturbina ocjenjuju kako će broj velikih narudžbi za Tomen učvrstiti danske pozicije kao vodećih proizvođača turbina u svijetu bez obzira na povećanu konkurenciju proizvođača u USA.

Renewable Energy Report, 6 June 1997, 19/1,2

SBK

BIOMASA U INDUSTRIJI I PROIZVODNJI ENERGIJE

Biomasa je definirana kao vrsta rastresitog organskog materijala biljnog ili životinjskog podrijetla namijenjena za upotrebu u industriji ili proizvodnji energije.
Značaj biomase u suvremenom svijetu može se vidjeti iz osnovnih statistički pokazatelja:

- sudjelovanje u opskribljivanju primarnom energijom u svijetu 14%
- sudjelovanje u opskrbljivanju primarnom energijom u EU 2% (25,4 milijuna tona)
- potencijalna količina u EU do 2005. godine 75 milijuna tona.

Izvori biomase u EU su:

Rastresiti materijali	Sadašnji izvori (milijuna t/god)	Budući izvori (milijuna t/god)
- Drvo za energetsku upotrebu	5	75
- Drveni otpaci	50	70
- Poljoprivredne kulture za energetsku upotrebu	-	250
- Poljoprivredni otpaci	250	250
- Smeće i otpaci	50	75
- Industrijski otpad	90	100

Uz sadašnje izvore biomase ukupno proizvedena energija iz biomase u odnosu na ukupnu proizvedenu energiju kreće se u pojedinim zemljama:

Finska, Švedska, Irska	13-14%
Norveška, USA, Kanada	3-4%
Danska, Švicarska, Vel. Britanija	0,3-2%.

Proces prerade biomase u industriji te za proizvodnju energije odvija se kroz različite oblike konverzije i to:

- biokemijska konverzija: etanol, kompost, energija
- termokemijska konverzija: prirodni i bio plin te energija
- digestija: papir.

Biljka budućnosti za proizvodnju biomase je kineska šećerna trska koja može rasti i u hladnijim klimatskim područjima te davati značajan prinos. Na oglednim parcelama postignuti su rezultati koji će natjerati mnoge poljoprivrednike u bliskoj budućnosti da razmisle na koji način da se uključe u njezinu proizvodnju.
Na parceli od 8.000 ha može se ostvariti ukupan prinos od 320.000 t/god kineske šećerne trske (sorghum). U primarnoj preradi iz ove biomase dobije se 72.000 t tekućeg šećera te 248.000 t krutog ostatka. U sekundarnoj fazi prerade iz tekućeg šećera dobije se šećer te etanol, a iz krutog ostatka papir, biogorivo, kompost te oko 250 GWh električne energije. Ukupna čista dobit sa 8.000 ha odgovara iznosu od 39 milijuna ECU-a na godinu. Ono što posebno treba naglasiti jest da proizvodnja i prerada biomase znači otvaranje novih radnih mjesta i to jedno novo radno mjesto na svakih 500 t/god proizvedene biomase.

http:llnmrc.ucc.ie, 16/09/97

SBK

OBNAVLJANJE HIDROELEKTRANE: PREGRADNJA BEZ RIZIKA

Povećanje snage i stupnja korisnosti stroja često su ciljevi obnavljanja hidroelektrana. Pri tom se postavlja pitanje sigurnosti dijelova koji bi se i nadalje koristili. Problemi sigurnosti uvijek se pojavljuju onda ako se analiziraju samo pojedini umjesto sviju opterećenih dijelova postrojenja i ako ih ojačamo ili obnovimo, ako je to potrebno. Previše napregnute komponente kriju rizik skupih i opasnih kvarova.
Pregradnja postojećih hidroelektrana dobiva u usporedbi s izgradnjom novih postrojenja sve više na značaju. Korisnik u okviru "Life Cycle Engineering-a" ne očekuje samo zamjenu istrošenih rotora, već često i povećanje proizvodnje energije. Ovo je moguće postići poboljšanjem stupnja korisnosti kao i povećanjem korisnog pada ili protoka.

Safety Engineering

Navodimo neke metode analiza za kontrolu sigurnosti hidrauličkog postrojenja:

Proračun preostalog životnog doba
Analiza konačnim elementima (naprezanje i deformacija)
Mehanika loma
Analiza zamora uzimajući u obzir koroziju
Analiza vlastite frekvencije i rezonancije.

Izbjegavanje šteta

Poticaj za pregradnju često su pogonski problemi npr. jake vibracije u postrojenju, koje uzrokuju pojave pukotina u rotoru ili drugim komponentama. U tim slučajevima uz rješenje problema često je poželjno povećanje proizvodnje. Ako se u takvoj situaciji zamjenjuje samo oštećeni rotor, tada ni u kom slučaju nije zajamčeno da će nestati problemi vibracija i s tim uzrok šteta. Radi povećanja snaga dijelovi postrojenja bit će jače napregnuti i radi toga postoji opasnost da ostale komponente npr. cjevovodi, zaporni organi, osovina ili ležaji neće izdržati povećano opterećenje. Nova oštećenja na postrojenju i stajanje pogona mogu biti uzrokom skupih posljedica.

Analize sprečavaju katastrofe

Stoga razumni konstruktori preporučuju svojim kupcima da prije rekonstrukcije podvrgnu kritične elemente analize sigurnosti i provedu mjere poboljšanja. Opsežnije razmatranje obuhvaća cjelokupni sustav, tj. cijeli lanac dijelova postrojenja između gornje i donje vode. Za korisnika na taj se način povećavaju izdaci, koji će se međutim isplatiti radi povećane pogonske sigurnosti i povećanog životnog doba.
Ako prethodne konstrukcije komponenata ne dozvoljavaju veća naprezanja, moglo bi naknadno povećanje snage pregradnjom dovesti do naprezanja koja ne bi bila dozvoljena. Ako dijelovi postrojenja nisu dorasli tim povećanim zahtjevima, događaju se havarije. Analize kvarova ukazuju na slijedeće izvore grešaka:

Analize sigurnosti nisu obuhvatile cjelokupan sustav.
Analiza pojedinih dijelova nije bila točna.
U novim pogonskim uvjetima izmijenjeno preostalo životno doba nije bilo ili je bilo neprecizno definirano.

Sigurnosni inženjering

Sulzer Hydro je iz spomenutih razloga matricu pregradnje, koja polazeći od predviđenih izmjena ukazuje na komponente postrojenja koje valja preispitati (v. sl.). Ako se npr. povećava pad Pelton-postrojenja, moraju se kontrolirati račva, sustav sapnica, sustav otklanjača mlaza, rotor i regulator. Ako se dodatno poveća protok, moraju se također kontrolirati kućište i naprava za ozračivanje. Rezultirajuće povećanje snage uzrokuje nužnim da se izvrši kontrola osovine, spojki i generatora.
Matrica rekonstrukcije se primjenjuje u okviru Design-Review-a, kako bi preispitali da li su svi aspekti rekonstrukcije koji pripadaju sigurnosti uzeti u obzir. Tako još mogu biti uočene moguće slabosti prije nego se komponente postrojenja dadu u izradu.

Izmjena pogonskih uvjeta				Izmjena geometrije									Izmjena naprezanja					
Snaga	Pad	Protok	Brzina vrtnje	Promjer mlaza	Širina lopatice	Broj lopatica	Visina ugradnje	Promjer mlaznice	Hod igle	Otklanjač/rezač	Kružni cjevovod/račva	Kućište/obloga okna /donji kanal	Brzina pobjega	Rezultirajuća sila mlaza	Tlačni udar	Ozračivanje	Analiza preostalog životnog doba	Preispitivanje-komponente
	■														■			Razdijelna cijev
		■		■										■		■		Kućište
	■	■		■										■	■			Susav sapnica
	■			■														Sustav otklanjača
■	■	■	■	■	■	■	■						■	■			■	Rotor
■			■			■	■						■	■				Osovina i spojka
			■				■						■	■				Vodeći ležaj
			■										■					Noseći ležaj
			■				■					■	■					Osovinska brtva
	■	■	■					■	■	■					■			Regulator
		■					■									■		Uređaj za ozračivanje
■			■										■					Generator
							■				■	■						Građevina
	■	■													■			Zaporni organi
																		Tlačna cijev

Slika 1. Matrica pregradnje (za Pelton turbine) služi kao lista provjera kako bi svi aspekti koji se odnose na sigurnost pregradnje bili uzeti u obzir

Široka paleta metoda analize stoji na raspolaganju te sačinjava osnovicu za izmjene ili novu konstrukciju (vidi sliku). Rezultati analize i reporuke proizišle iz nje mogu poslužiti korisniku kao pomoć kod odluke za predstojeću pregradnju.

Primjer iz prakse

U jednom postrojenju sa više Pelton-turbina pojavile su se pukotine u osovini iako one nisu dostigle uobičajeno tehničko životno doba. Osovine su zamijenjene novim. Međutim poslije nekoliko godina opet su se pojavile pukotine u osovinama. Nakon toga je naručeno rješenje problema. Istodobno se razmatralo i povećanje snage s povećanom protokom uz isti pad.
Opsežna analiza postrojenja vodila je do novog dimenzioniranja ne samo rotora već i osovine i ležaja. Osovina je k tomu dobila prekriće kao zaštitu od vlage, jer je analiza pokazala da je i korozija sudjelovala u stvaranju pukotina.
Analiza je ocijenjena kao dobra i seriozna, pa su naručeni novi, rotori, osovine i ležaji za sve strojne grupe. Rotori će biti izrađeni vremenski kratkim postupkom mikro-liva i montirani još u 1997. godini.

Tehnical Review Sulzer, 2/1997.

E. H.

ELEKTRANE LOŽENE SMEĆEM - BUDUĆNOST BEZ OTPADAKA

Odlagališta smeća čine budućnost nesigurnom: U svakom trenutku opasni otrovi mogu dospjeti u podzemne vode i u zrak. Naprotiv, kod izgaranja smeća u suvremenim termoelektranama izlučuju se otrovne tvari, dok je vrlo smanjeni obujam moguće lakše držati pod nadzorom. Tako se danas rješava problem smeća i ne prebacuje se neodgovorno na buduće generacije.
Termoelektrane ložene smećem ne samo da koriste sadržaj energije iz otpadaka uz visoki stupanj korisnosti, nego također i štite čovjeka i okoliš od potenzijalno opasnih tvari. Otkako stoje na raspolaganju učinkovite tehnologije za čišćenje ispušnih plinova i postrojenja za kombiniranu proizvodnju topline i snage koja omogućavaju visoko energetsko iskorištenje, ovaj se način otklanjanja otpadaka sve više koristi, barem u Europi. Švicarska je vodeća u svijetu u termičkom zbrinjavanju smeća, ali i druge države, također, kao npr. Njemačka, mnogo rade na izgradnji takvih postrojenja. Calique A. G. - poduzeće Sulzer-a Infra - zauzima vodeću ulogu u Švicarskoj pri izgradnji energana za takva postrojenja.

Višenamjensko postrojenje

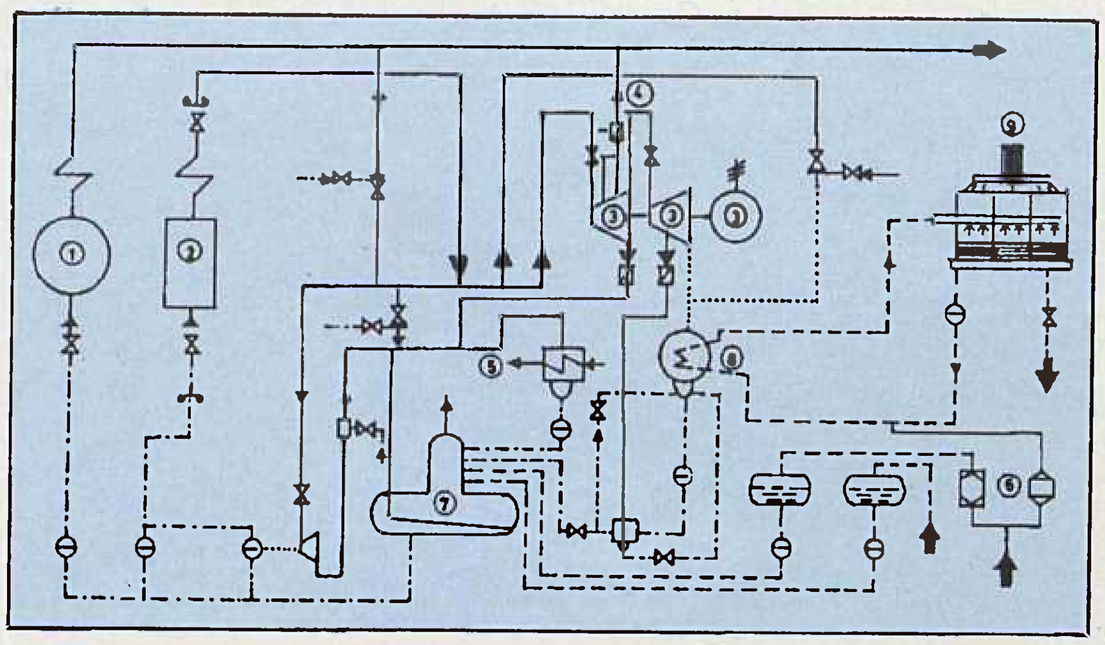
Suvremena termoelektrana ložena smećem predstavlja višenamjensko postrojenje koje proizvodi energiju i putem raznih kemijskih i fizikalnih postupaka smannuje štetne tvari (vidi sliku). Glavne su prednosti:

- Izgaranjem obujam otpada se znatno smanji
- Toplina izgaranja pretvara se u struju i u paru za korištenje u industriji odnosno za toplinsku mrežu grijanja
- Jedan dio ostatka izgaranja (troska) koristi se u cestogradnji.

Čišćenje ispušnih plinova vrši se s jedne strane pomoću elektrofitera, koji odvajaju prašinu i lebdeći pepeo, a s druge strane u filtrima s aktivnim ugljikom, koji odstranjuju teške kovine, dioksine i dušične okside.

Švicarska vodeća

Već odavno se Švicarska opredijelila na termičko otklanjanje otpadaka. U Švicarskoj je izgrađeno 30 postrojenja loženih smećem. Mnoga su nastala početkom sedamdesetih godina kao čista postrojenja za pretvaranje u pepeo (spaljivanje). Tijekom vremena su ona daljinsko grijanje. Danas ona pokrivaju više od desetine



Cjevovodi svježe pare
Cjevovodi napojne vode
Pare bez tlaka (podtlak)
Rashladni krug

1 Pomoćni kotao ložen uljem
2 Roštiljno ložiše s parnim kotlom
3 Parna turbina s generatorom (9,6 MW)
4 Izdvajanje topline za proizvodnju u obliku pare (19 bara)
5 Izdvajanje ogrijevne vode za vruću vodu (120 °C)
6 Priprema vode
7 Posuda napojne vode
8 Kondenzator
9 Rashladni toranj

Slika 1. Pojednostavljena shema cjevovoda postrojenja za spaljivanje smeća Dietikon, Švicarska, pokazuje kompleksnost energane

potreba električne struje domaćinstava u pripadnom području. U vremenu od 1988. do 1996. realizirano je 17 postrojenja za termičko korištenje s parnim turbinama (električne snage 3-21 MW) ili su pak još u fazi izgradnje. Na taj način stoji na raspolaganju dovoljno kapacitetya za cjelokupnu količinu otpada cijele države. U budućnosti ovdje će se pozornost više usmjeriti na održavanje i modernizaciju postojećih postrojenja.

Izgradnja u Njemačkoj

Njemačka je zakonski odredila da se uz nastojanje za izbjegavanje ili ponovno iskorištavanje otpadaka do 2005. godine preostalo smeće mora koristiti za proizvodnju energije i da predstavlja alternativno gorivo. Ova je pretpostavka uzrokovala jaku dinamiku u području planiranja; još 1994. godine se računalo s 100 postrojenja koja bi trebalo izgraditi do 2000. godine. Nastojanjima industrije ambalaže i pojačanom naknadnom korištenju-Recycling (odvajanju po vrstama) - preostale količine otpada su znatno više smanjene nego što je bilo prognozirano. Do 1996. godine je od 30 planiranih bilo u izgradnji sami 9 postrojenja.

Projekt Ulm

Nakon 20-godišnjeg političkog natezanja počela je 1995. godine gradnja termopostrojenja za spaljivanje smeća u Ulmu. Probni pogon počinje u svibnju 1997. godine. Pripadna daljinska mreža grijanja je dugačka 110 km, a koristit će se 120.000 tona otpada godišnje. Osim otpadaka grada Ulma prerađivati će se i otpaci okruga ALb-Donau, okruga Heoldenheim i Signaringen.

Technical Review Sulzer, 2/1997.

E. H.

UDK 621.31

ENJAAC 46 (6) — (1997) 353 - 430

ISSN 0013-7448

ČASOPIS
HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

energija

IZDAVAČI – PUBLISHER

Godište 46 (1997) Zagreb 1997 Br. 6

Hrvatska elektroprivreda

POMOĆ U IZDAVANJU

Ministarstvo znanosti, tehnologije i informatike

SADRŽAJ

Bajs D.: Sadašnji problemi i razvoj 110 kV mreže sjeverozapadnog dijela EES (Pregledni članak) 355

Klepo M.: Podloge za izgradnju tarifnog sustava za električnu energiju (Prethodno priopćenje) 367

Wagmann L. - Mihalek E.: Metoda procjene viših harmonika u NN mreži zbog uporabe električnih nelinearnih trošila u kućanstvima (Izvorni znanstveni članak) 379

Domac J. - Tomšić Ž.: Proizvodnja energije iz slame i kukuruzovine u Istočnoj Hrvatskoj (Prethodno priopćenje) 383

Sabolić D.: Osnove optičkih komunikacija - II. dio: Generiranje, detekcija i pojačanje svjetlosnih impulsa u digitalnim sustavima (Pregledni članak) 389

Jengić A.: Primjena polimernih materijala u elektrotehničkim proizvodima (Stručni članak) 403

Vijesti iz elektroprivrede 409

Iz strane stručne literature 417

Savjetovanja i konferencije 429

IZDAVAČKI SAVJET – THE PUBLISHING COUNCIL

Mr. sc. Branko *Grgić*, dipl. ing. (predsjednik), HEP Split – Adrijano *Fišer*, dipl. ing., HEP Rijeka – Marijan *Kalea*, dipl. ing., HEP Osijek – Damir *Karavidović*, dipl. ing., HEP Osijek – Mr. sc. Mladen *Mandić*, dipl. oec., HEP Zagreb – dr. sc. Vladimir *Mikuličić*, dipl. ing., FER Zagreb – dr. sc. Niko *Malbaša*, dipl. ing., Ekonerg, Zagreb

UREDNIČKI ODBOR - EDITORIAL BOARD

Glavni urednik - Editor-in-chief: dr. sc. Zorko *Cvetković*, dipl. inž.

Urednik - Editor: Zdenka *Jelić*, prof.

Urednici rubrika – Contributing Editors: »Energetski sistemi«, dr. sc. Goran *Granić*, dipl. ing. – »Hidroelektrane«, Vladimir *Prizl*, dipl. ing. – »Termoelektrane i toplane«, Ivan *Vučetić*, dipl. ing. – »Prijenos električne energije«, mr. sc. Zdenko *Tonković*, dipl. ing. – »Razvoj, distribucija i potrošnja električne energije«, Mladen *Ježić*, dipl. ing. i Dasenko *Baldasari*, dipl. ing. – »Ekonomsko poslovanje i tarifna politika«, dr. sc. Jure *Šimović*, dipl. ecc., mr. sc. Mladen *Mandić*, dipl. ecc. i Marijan *Magdić*, dipl. ecc. – »Ekologija«, dr. sc. Niko *Malbaša*, dipl. ing. – »Informatika«, Nikola *Lastrić*, dipl. ing. – Tehnički urednik – Technical Editor: Branko *Mališ* – Lektor – Lingvistic Adviser: Šimun *Čagalj*, prof. – Metrološka recenzija – Metrologic review: mr. sc. Mladen *Zeljko*, dipl. ing.

Redakcija završena 1997 – 11 – 17

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 6125-641 i 6125-111/641, telefax 6170-438

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 – 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 A4 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 članka 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 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, professional 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 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

SADAŠNJI PROBLEMI I RAZVOJ 110 kV MREŽE SJEVEROZAPADNOG DIJELA EES

Davor Bajs, Zagreb

UDK 621:316:621:315
PREGLEDNI ČLANAK

Analiziran je dio sadašnjih problema u radu prijenosne mreže sjeverozapadnog dijela ees, s posebnim osvrtom na opterećenja 110 kV vodova i sugurnost opskrbe grada Zagreba. Na osnovu trenutnih saznanja i analiza predloženi su mogući pravci razvoja visokonaponske mreže na širem zagrebačkom području.

Ključne riječi: prijenosna mreža, sigurnost opskrbe, pravci razvoja.

1. UVOD

U proteklih godinu dana u Energetskom Institutu "Hrvoje Požar" u dva je navrata analizirana problematika razvoja prijenosne mreže sjeverozapadnog dijela elektroenergetskog sustava, uglavnom u dijelu koji pripada Prijenosnom području Zagreb. Iako su analize obavljene uz različite podloge i pretpostavke prema tadašnjim saznanjima (ljeto 96., zima 97.), obje su studije ukazale na neke sadašnje probleme u obskrbi električnom energijom potrošača na tom području.

Prva analiza je obavljena za potrebe izrade studije *Novelacija osnovnog rješenja elektrodistributivne mreže 110 kV i 30 kV grada Zagreba* u kojoj su se na osnovi predviđene potrošnje, sagledane sa strane distribucije, i planirane revitalizacije TE-TO i EL-TO, analizirala stacionarna stanja, opterećenja vodiča i naponske prilike u slučajevima ispada pojedinih vodova ili agregata sa mreže za tadašnje stanje ees-a (ljeto 1996.), te za dva buduća vremenska presjeka nazivne 2000. i 2005. godine. U vrijeme izrade spomenute studije nisu postojala saznanja o mogućnostima izgradnje novog bloka u PTE Jertovec, čiji je priključak analiziran u *Studiji uklapanja novog kombi bloka snage 180 MW u PTE Jertovec* iz veljače i svibnja 1997. Kod analize priključka novog bloka u Jertovcu promatrano je predvidivo stanje ees-a u godini njegova puštanja u pogon (oko 2000.), pa možemo reći da rezultati ove studije nadopunjuju analize predviđenog razvoja mreže određenog u "Novelaciji osnovnog rješenja. . .".

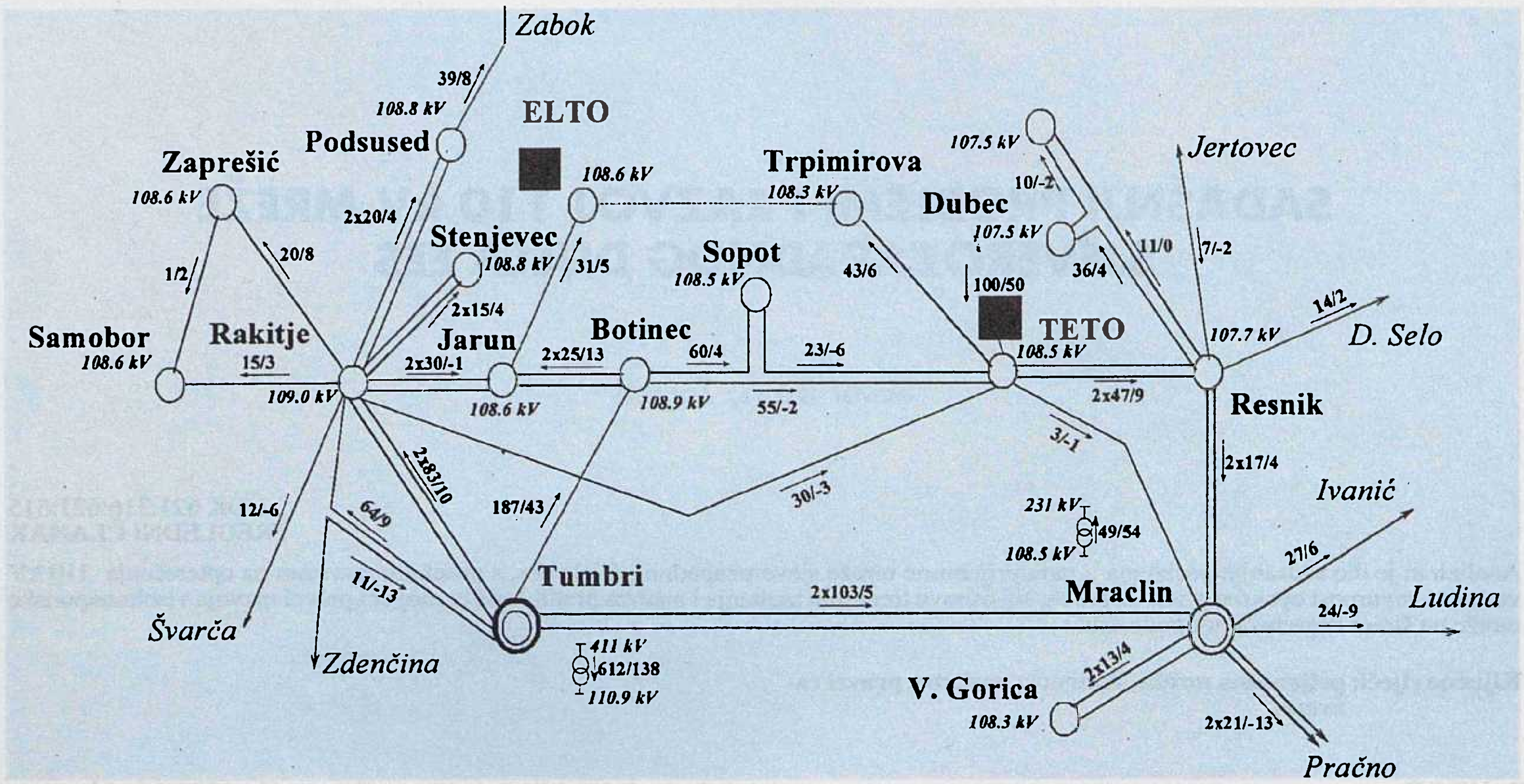
Osim izgradnje bloka 180 MW u PTE Jertovec do nazivne 2000. godine koji u prvoj studiji nije bio razmatran, osnovna razlika u početnim pretpostavkama u obavljenim analizama je u dinamici izgradnje TS Žerjavinec. Kod analize priključka novog bloka u Jertovcu razmatrana su stanja bez izgrađene TS Žerjavinec, s izgrađenom transformacijom 400/220kV i RP 110 kV, te s izgrađenom TS Žerjavinec u konačnoj etapi uključujući transformaciju 400/110 kV, za razliku od analize razvoja elektrodistributivne mreže 110 kV i 30 kV grada Zagreba kada je pretpostavljena transformacija 400/200 kV u Žerjavincu bez 110 kV naponske razine razmatrane nazivne 2000. godine, i potpuna izgradnja uključujući transformaciju 400/110 kV za nazivnu 2005. godinu. Ove razlike u početnim pretpostavkama omogućile su sveobuhvatnije sagledavanje razmatranog problema i definiranje potrebe izgradnje TS 400/220/110 kV Žerjavinec u konačnoj etapi, kao osnovnog i najvažnijeg rješenja oba analizirana problema u navedenim studijama, postizanja dovoljne sigurnosti opskrbe zagrebačkog konzuma i priključka novog bloka u Jertovcu.

2. ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA

Analizom tokova snaga u 400, 220 i 110 kV mreži sjeverozapadnog dijela elektroenergetskog sustava Hrvatske ispitane su naponske prilike i opterećenost pojedinih elemenata mreže na području Zagreba, ovisno o angažiranoj proizvodnji, razmjenama snage sa susjednim prijenosnim područjima i elektroenergetskim sustavima (Slovenija), topologiji mreže, i opterećenju po pojedinim 110 kV čvorištima mreže, za stanje elektroenergetskog sustava 1996. godine. Analizirana su i stanja koja nastaju u slučaju ispada nekih važnijih i jače opterećenih vodova na zagrebačkom području.

Opterećenje na zagrebačkom području određeno je na temelju analiza distributivnog konzuma po pojedinim manjim područjima grada, a u ostatku promatranog elektroenergetskog sustava modelirano je po pojedinim čvorištima 110/x kV na osnovi neistodobnih vršnih opterećenja uz pretpostavljeni faktor istodobnosti od 0,85.

Zbog velikih ratnih razaranja značajni dio visokonaponske mreže, uključujući i glavnu pojnu točku slavonsko-baranjskog područja TS 400/110 kV Ernestinovo je uništen, pa se veliki dio Slavonije napaja iz sjeverozapadnog dijela elektroenergetskog sustava 220 kV vodom Mraclin-Slavonija, te 110 kV vodovima Virovitica- P. Slatina, i N. Gradiška-S. Požega, što ima za posljedicu napajanje grada Zagreba samo preko čvorišta Tumbri, budući da se veliki dio snage preko TS 220/110 Mraclin prenosi prema istočnom dijelu sustava. Ukupno opterećenje grada Zagreba iznosi 450 MW. Na temelju uvida u pogonska izvješća



Slika 1. Naponske prilike i tokovi snaga u 110 kV mreži zagrebačkog područja (1996.)

HEP-a, pretpostavljen je rad elektrana u vrijeme vršnog opterećenja grada Zagreba na slijedeći način:

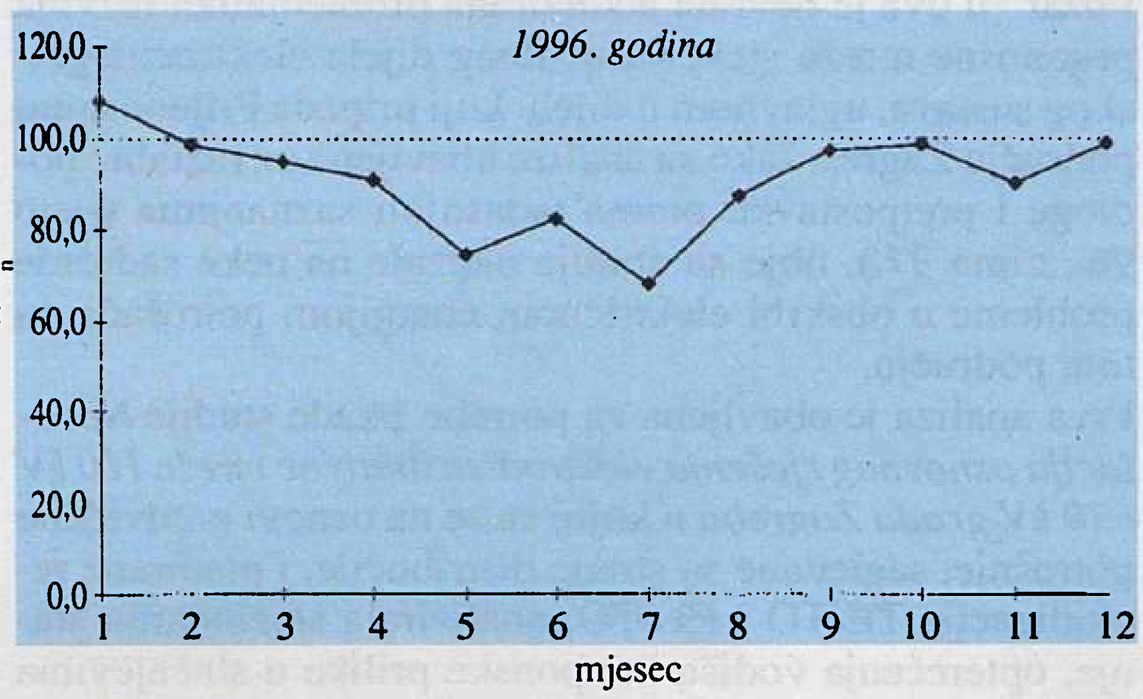
HE Čakovec:	45 MW/MVAr
HE Dubrava:	40 MW/MVAr
HE Varaždin:	45 MW/MVAr
TE-TO Zagreb:	100 MW/MVAr
TE Sisak:	150 MW/MVAr
TE-TO (PTE) Osijek:	75 MW/MVAr

Radi zadovoljenja ukupne bilance snage uvozi se na zagrebačko područje određena energija (snaga):

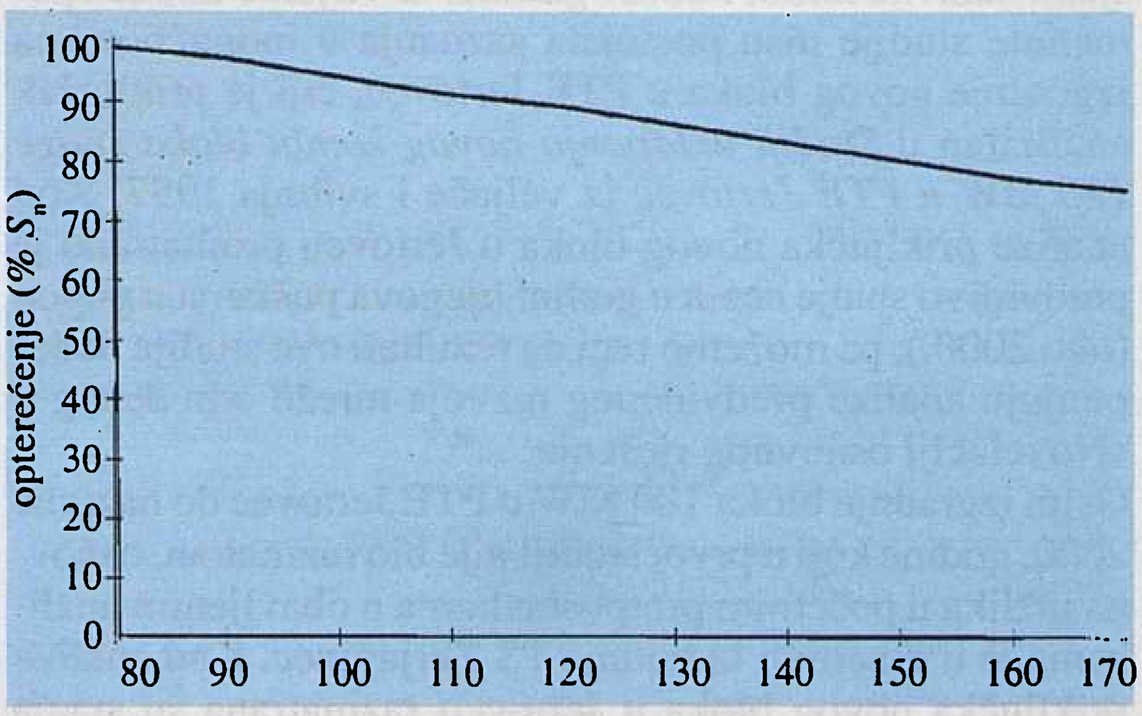
- Meline (400 kV):	279 MW/17 MVAr
- NE Krško (400 kV):	330 MW/100 MVAr
- Cirkovce i Brinje (220 kV):	120 MW/50 MVAr
- Moravice (110 kV):	20 MW/13 MVAr
- Gojak (110 kV):	40 MW/-5 MVAr
- Formin i Sojtor (110 kV):	70 MW/16 MVAr

Naponske prilike i tokove snaga na širem zagrebačkom području u slučaju raspoloživotsti svih elemenata mreže prikazuje slika 1. Zbog injektiranja velike snage preko TS 400/100 Tumbri u 110 kV mrežu Zagreba (vodom od Meline i iz NE Krško), te prijenosa 184 MW preko TS 220/110 Mraclin za Slavoniju, dolazi do opterećenja vodova Tumbri-Mraclin na 90% od njihove termičke granice. Jače opterećen je i dvosustavni vod Tumbri-Rakitje, i to 72% od dozvoljene granice.

Uvidom u lit. [2] potvrđeni su rezultati modelskih ispitivanja. Slika 2. prikazuje zabilježena maksimalna strujna opterećenja dalekovoda Tumbri-Mraclin 1 i 2 tijekom 1996. godine. Maksimalna opterećenja promatranog voda su se kretala od 306 A (51% od termičke granice) u svibnju, do 608 (101%) u siječnju za 1995. godinu, te 411 A (68%) u julu, i čak 654 A (108%) u siječnju 1996. godine. Očito je da su opterećenja promatranog voda nedopustivo visoka i na samoj granici ispada (preopterećenja su zabilježena u siječnju kada su vanjske temperature niske). Kasnija modelska ispitivanja pokazuju da je ovakvo stanje vrlo riskantno.

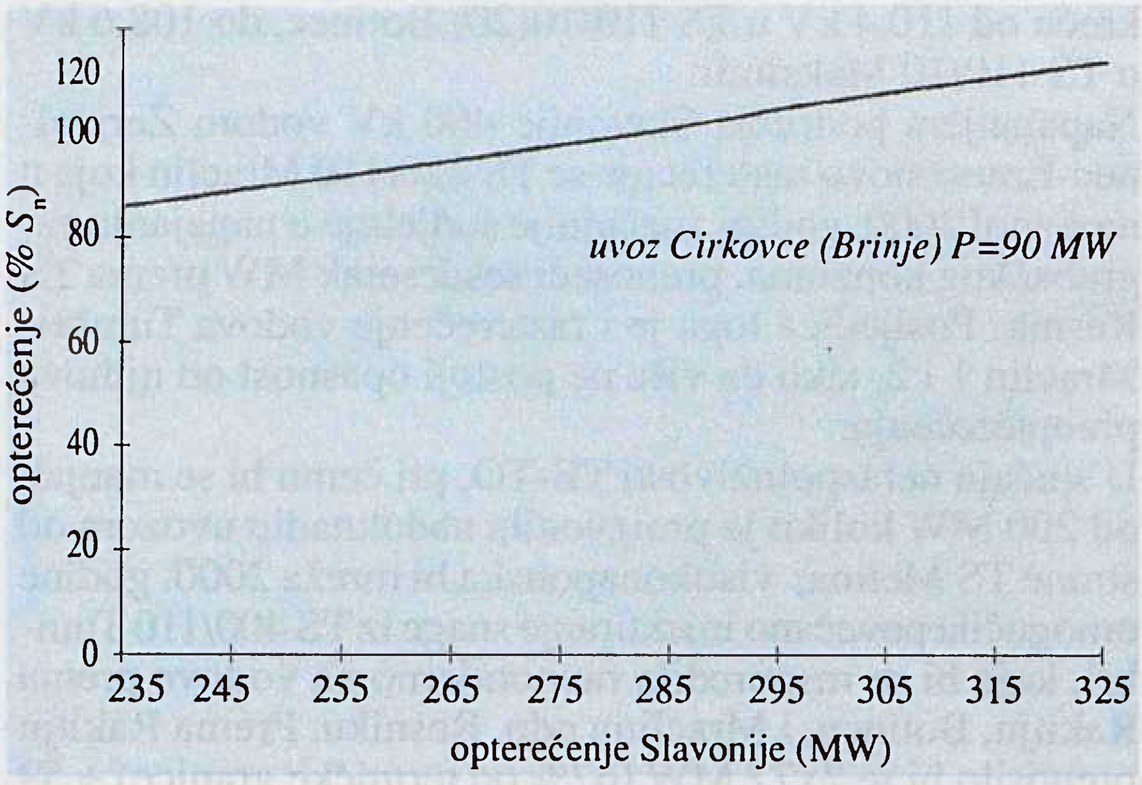


Slika 2. Maksimalna strujna opterećenja dvosustavnog voda Tumbri-Mraclin tijekom 1996.



Slika 3. Opterećenje dvosustavnog voda Tumbri-Mraclin ovisno o prijenosu iz Cirkovca i Brinja

Visoka opterećenja obje trojke voda Tumbri-Mraclin izravna su posljedica nedostatka snage u istočnom dijelu elektroenergetskog sustava, koji se najvećim dijelom napaja



Slika 4. Opterećenje dvosustavnog voda Tumbri-Mraclin ovisno o potrošnji Slavonije

220 kV vezom iz Mraclina. U slučaju manjeg opterećenja u Slavoniji, ili povećanja prijenosa iz Cirkovca ili Brinja, opterećenje spomenutih vodova se smanjuje, pa je moguć normalan pogon bez opasnosti od ispada pojedinih elemenata mreže. Tako će uz isto opterećenje u Slavoniji, povećanjem prijenosa 220 kV vodovima iz Cirkovca i Brinja na 180 MW, vodovi Tumbri-Mraclin biti opterećeni 72% od termičke granice, a prijenosom 220 MW, njihovo će opterećenje pasti na 62% od dozvoljene granice (slika 3).

Opterećenje vodova Tumbri-Mraclin 1 i 2 u opisanom pogonskom slučaju može se smanjiti još i povećanjem proizvodnje TE Sisak i TE-TO Zagreb radi čega se smanjuje uvoz od strane PrP Opatija, kao i energija (snaga) transformirana u TS 400/100 Tumbri.

2.1. Opterećenja elemenata mreže u slučaju ispada TE-TO Zagreb

Gubitkom 100 MW proizvodnje TE-TO Zagreb koji bi se nadoknadili dodatnim uvozom iz Meline, došlo bi do preopterećenja vodova Tumbri-Mraclin 1 i 2, i to 2% preko termičke granice (119 MVA), a vodovi Tumbri-Rakitje 1 i 2 bi bili opterećeni 83% od termičke granice (96 MVA). Transformatori u TS 400/100 Tumbri opterećeni su od 79% do 82% svoje nazivne prividne snage. Djelovanjem zaštite i isključenjem obje trojke voda Tumbri-Mraclin mreža ne bi mogla izdržati novonastalo stanje pa bi došlo do ograničavanja potrošnje na zagrebačkom području, a moguće i do raspada sjeverozapadnog dijela sustava i otočnog pogona pojedinih dijelova. Ukoliko se gubitak 100 MW snage u TE-TO Zagreb nadoknadi kroz povećanu proizvodnju TE Sisak uz istu uvezenu snagu iz Meline, situacija je znatno povoljnija, budući da su vodovi Tumbri-Mraclin 1, 2 i Tumbri-Rakitje 1, 2 opterećeni 75% odn. 77% od svoje termičke granice.

2.2. Opterećenja elemenata mreže u slučaju ispada kritičnih vodova

U slučaju ispada voda Tumbri-Botinec koji je u normalnom pogonu prenosio 187 MW i 43 MVAr-a, doći će do preopterećenja vodova Tumbri-Rakitje 1 i 2, i to za 14% preko termičke granice, a opterećenje vodova Tumbri-Mraclin 1 i 2 će se povećati na 118% termičke granice. Značajnije će se još povećati opterećenje vodova Rakitje-Jarun 1 i 2, na 74% od njihove termičke granice. Svi naponi su u dozvoljenim granicama, a najmanji je u TS 110/10 Dubec i Ksaver - 105,7 kV. Povećanjem uvoza iz Cirkovca, ili smanjenjem potrošnje Slavonije opterećenje vodova Tumbri-Mrazlin će se smanjivati, ali će vodovi Tumbri-Rakitje 1 i 2 ostati preopterećeni. Na njihovo opterećenje neće značajnije utjecati niti povećanje proizvodnje TE Sisak.

Pri ispadu jedne trojke voda Tumbri-Rakitje druga trojka je opterećena 95% od termičke granice, a opterećenje vodova Tumbri-Mraclin 1 i 2 povećava se na 94% termičke granice. Jače opterećen vod je i Tumbri-Botinec i to 72% od termičke granice. Najmanji napon je 107.3 kV u TS 110/10 Ksaver.

Ukoliko dođe do ispada jedne trojke voda Tumbri-Mraclin druga je trojka opterećena 28% preko termičke granice (94,21 MVA). Povećanjem uvoza iz Cirkovca za dodatnih 100 MW opterećenje se smanjuje, ali je još uvijek blizu granice. Povećanjem proizvodnje TE Sisak za 150 MW (blok 110 kV), vod Tumbri - Mraclin će biti opterećen 70% od termičke granice.

Kod ispada voda Mraclin-Resnik 1 (2), vodovima Tumbri-Mraclin 1 i 2 prenosi se 100,2 MVA (86% od termičke granice). Opterećenje vodova Tumbri-Rakitje neznatno raste u odnosu na stanje raspoloživosti voda Mraclin-Resnik na 73% od termičke granice. Najmanji napon je u TS 110/10 Ksaver - 107,3 kV.

2.3. Zaključno o postojećoj mreži

U 1996. godini funkcionalnost mreže 110 kV na području grada Zagreba umnogome je ovisna o napajanju područja Slavonije i Baranje, u kojem je angažirana TS 220/110 Mraclin, što za izravnu posljedicu ima napajanje konzuma Zagreba samo preko TS 400/110 Tumbri radi čega može doći do preopterećenja vodova Tumbri-Mraclin 1 i 2, te Tumbri-Rakitje 1 i 2, ovisno o prijenosu 220 kV vodovima iz Cirkovca u Sloveniji i Brinja, te proizvodnji TE Sisak i TETO Zagreb. U slučaju mogućeg preopterećenja vodova Tumbri-Mraclin 1 i 2 potrebno je povećati ili uvoz iz Cirkovca i Brinja, ili proizvodnju TE Sisak i TE-TO da bi se TS Tumbri rasteretila.

Budući da pojedini elementi mreže mogu biti preopterećeni već u slučaju njihove potpune raspoloživosti, može se očekivati da bi svaki ispad značajnijih vodova na zagrebačkom području (Tumbri-Botinec, Tumbri-Mraclin, Tumbri-Rakitje) doveo do nemogućnosti isporuke električne energije dijelu potrošača. Pretežno jednostrano napajanje preko čvorišta Tumbri tako velikog konzuma kao što je zagrebačko (1/4 potrošnje Hrvatske) izrazito je nepovoljno i ne zadovoljava osnovne kriterije pouzdanosti i sigurnosti opskrbe potrošača električnom energijom.

3. PREDVIDIVO STANJE NAZIVNE 2000. GODINE

Do 2000. godine planirana je izgradnja 400 kV postrojenja Žerjavinec (bez transformacije na 110 kV) i Prevlaka, te obnova TS 400/110 Ernestinovo u istočnom dijelu elektroenergetskog sustava koja bi trebala bitno poboljšati napajanje tog područja. Zajedno s novim 400/x kV postrojenjima u pogon ulaze i 400 kV vodovi Žerjavinec-Prevlaka-Tumbri, te Žerjavinec-Prevlaka-Ernestinovo. Na zagrebačkom području uvode se u pogon nove TS110/10(20) kV Jankomir, Maksimir, Pierottijeva, Trnje 2, i Žitnjak, te

se osim spoja tih transformatorskih stanica na postojeću 110 kV mrežu gradi i paralelni teški vod Tumbri-Botinec 2 radi povećanja sigurnosti napajanja zagrebačkog konzuma.
Od novih proizvodnih kapaciteta predviđena je revitalizacija TE-TO koja bi povećala ukupnu snagu na 292 MW (1x32 MW + 2x70 MW + 1x120 MW), te povećanje kapaciteta EL-TO na 94 MW (1x12 MW + 2x26 MW + 1x30 MW), te njen priključak na 110 kV mrežu. Ispitivanja su provedena uz ukupno opterećenje grada Zagreba u iznosu od 521 MW. Ukupna potrošnja u sustavu i po pojedinim čvorištima 110/x preuzeta je iz lit. [6]. Angažman elektrana u vrijeme vršnog opterećenja grada Zagreba pretpostavljen je na slijedeći način:

HE Čakovec:	45 MW/15 MVAr
HE Dubrava:	40 MW/10 MVAr
HE Varaždin:	40 MW/0 MVAr
TE-TO Zagreb:	200 MW/32 MVAr
EL-TO Zagreb:	60 MW/15 MVAr
TE Sisak:	150 MW/80 MVAr
TE-TO (PTE) Osijek:	75 MW/0MVAr

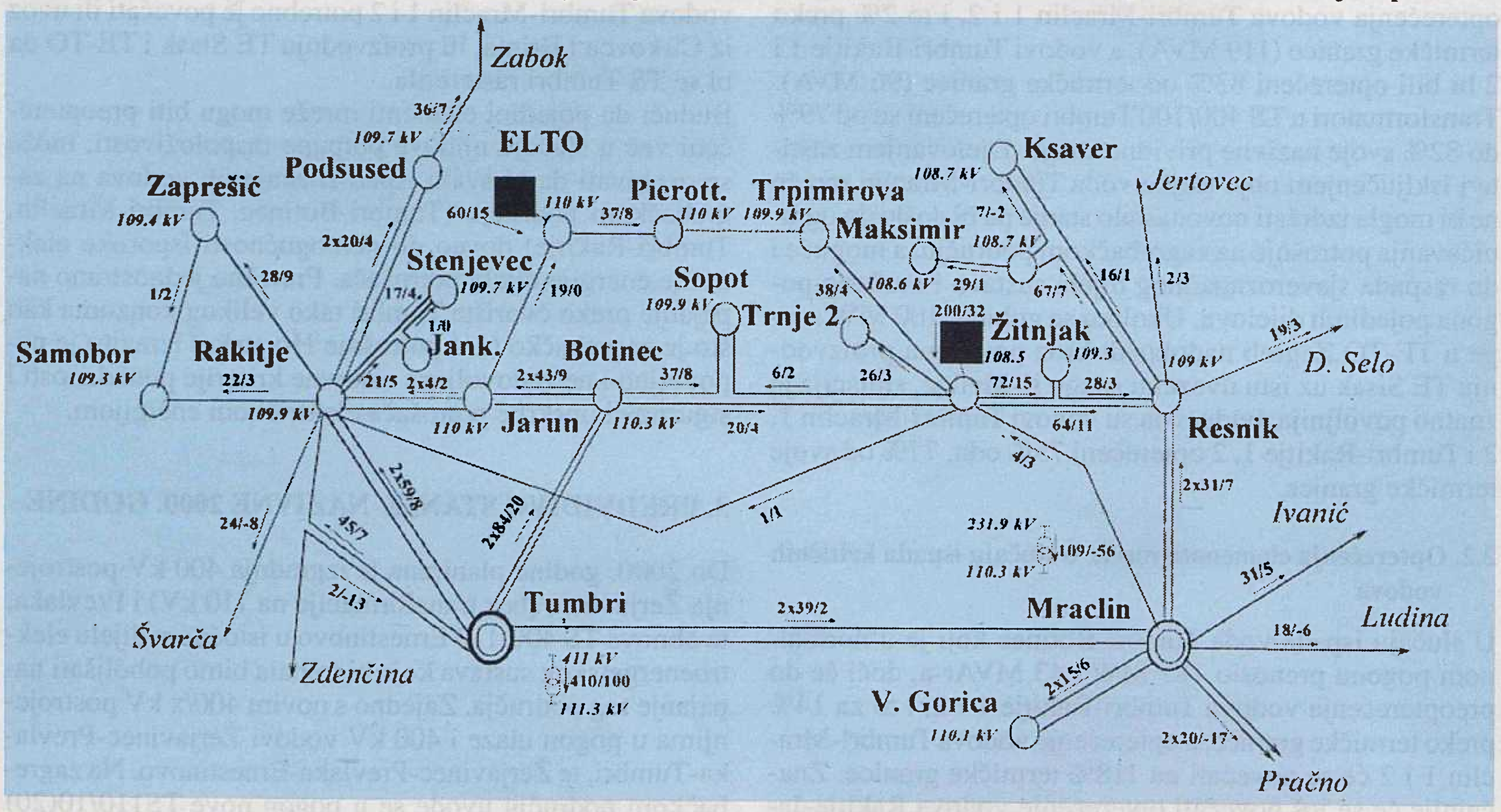
Radi zadovoljenja ukupne bilance snage na modelu se uvozi:

- Meline (400 kV):	153 MW/-9 MVAr
- NE Krško (400 kV):	330 MW/100 MVAr
- Hevitz (400 kV):	170 MW/-17 MVAr
- Cirkovce i Brinje (220 kV):	120 MW/-50 MVAr
- Moravice (110 kV):	20 MW/15 MVAr
- Gojak (110 kV):	40 MW/-2 MVAr
- Formin i Sojtor (110 kV):	70 MW/-1 MVAr

Naponske prilike i tokove snaga na širem zagrebačkom području u slučaju raspoloživosti svih elemenata mreže prikazuje slika 5. Opterećenja svih elemenata visokonaponske mreže nalaze se unutar dopuštenih granica. Najopterećeniji vod u odnosu na dozvoljenu granicu je TE-TO - Žitnjak, koji prenosi 72 MW/15 MVAr što je 64% od njegove termičke granice. Naponi na području Zagreba se kreću od 110,4 kV u TS 110/10(20) Botinec, do 108,6 kV u TS 110/10 Maksimir.
Napajanjem područja Slavonije 400 kV vodom Žerjavinec-Ernestinovo rasterećuje se TS 220/110 Mraclin koja u nazivnoj 2000. godini značajnije sudjeluje u napajanju zagrebačkog konzuma, prenoseći šesdesetak MW prema TS Resnik. Posljedica toga je i rasterećenje vodova Tumbri-Mraclin 1 i 2, tako da više ne postoji opasnost od njihova preopterećenja.
U slučaju neraspoloživosti TE-TO, pri čemu bi se manjak od 200 MW koliko je proizvodila nadoknadio uvozom od strane TS Melina, visokonaponska bi mreža 2000. godine omogućila povećano injektiranje snage iz TS 400/110 Tumbri, koja bi se rasporedila ravnomjerno na vodove prema Rakitju, Botincu, i Mraclinu odn. Resniku. Prema Rakitju prenosilo bi se 2x77 MW (67% od termičke granice) + 59 MW trećim vodom, prema Botincu 2x134 MW (45% od termičke granice), a vodovima Tumbri-Mraclin 1 i 2 2x62 MW (54% od termičke granice), i dalje prema Resniku 2x46 MW (42% od termičke granice).

3.1. Opterećenja elemenata mreže u slučaju ispada pojedinih vodova

U slučaju ispada jednog od paralelnih vodova Tumbri-Botinec ne dolazi do preopterećenja niti jednog voda. Vodovi Tumbri-Rakitje opterećeni su 60% od termičke granice. Naponi se na zagrebačkom području značajnije ne mijenjaju, a u Botincu napon pada za samo 0,2 kV. Ovakva mreža bi izdržala bez ikakvog ograničavanja potrošnje i ispad oba voda prema Botincu, a u tom slučaju vodovi prema Rakitju bili bi opterećeni 86% od termičke granice. Pri ispadu voda Tumbri-Rakitje 1 (2) snagu koja se prenosila u potpunosti preuzimaju paralelni vodovi koji su pri tom opterećeni 66% od termičke granice, odnosno 51%, te vodovi prema Botincu (opterećeni 33% od termičke granice). Naponi u Zagrebu se ne mijenjaju. Mreža lako podnosi i ispad obje trojke prema Rakitju (treći vod je tada opterećen 72% od termičke granice). U slučaju ispada vo-



Slika 5. Naponske prilike i tokovi snaga u 110 kV mreži zagrebačkog područja (nazivna 2000.)

da Tumbri-Mraclin 1 (2) paralelni vod je opterećen 46% od termičke granice, a vodovi Tumbri-Rakitje 54%. Naponi u TS 110/30 Resnik i TS 110/10 Maksimir padaju za svega 0,1 kV. Mreža podnosi i ispad oba paralelna voda Tumbri-Mraclin, pri čemu bi vodovi Tumbri-Rakitje bili opterećeni 59% od termičke granice, a značajnije bi još poraslo opterećenje voda TETO - Resnik na 74% termičke granice. Ukoliko bi došlo do ispada jedne trojke voda Mraclin-Resnik najopterećeniji vodovi u odnosu na njihovu termičku granicu bili bi TETO - Žitnjak (70%) i TETO - Resnik (66%). Najmanji napon je u TS 110/10 Maksimir od 108,4 kV. Mreža podnosi i ispad obje trojke Mraclin-Resnik, a opterećenje vodova Resnik - TETO, i TETO - Žitnjak raste na 85% od dozvoljenog.
Pri razmatranoj konfiguraciji mreže uz puni angažman TE-TO (292 MW nakon revitalizacije) dolazi do preopterećenja vodova TETO - Žitnjak ili TETO - Resnik kod ispada jednog od njih, ali bez opasnosti od daljnjih posljedica budući da gubitkom obje veze opterećenje ostalih vodova ostaje unutar dozvoljenih granica, a TS Žitnjak se u tom slučaju radijalno napaja preko Resnika. Dosljedno poštivanje kriterija n-1 u ovom slučaju značio bi potrebu za izgradnjom transformacije 400/110 kV u Žerjavincu, uz predviđen rasplet 110 kV vodova prema D. Selu, Dubecu, Resniku i Jertovcu. U tom bi slučaju ispad jednog od vodova iz TE-TO prema Žitnjaku ili Resniku, pri njenom punom angažmanu, uzrokovao opterećenje preostalog u iznosu do 75% od dozvoljene granice.

3.2. Zaključno o mreži nazivne 2000. godine

Uspostavom 400 kV veze između sjeverozapadnog i istočnog dijela ees, te povezivanjem sa elektroenergetskim sustavom Mađarske, dolazi do većeg i puno značajnijeg angažiranja TS 220/110 Mraclin u napajanju zagrebačkog konzuma, pa time i do rasterećenja TS 400/110 Tumbri. Gubitkom bilo kojeg voda (jednog ili oba paralelna) kojima se napaja 110 kV mreža grada Zagreba, neće doći do ozbiljnijeg pogoršavanja naponskih prilika i bilo kakvog ograničavanja potrošnje. Ipak, niti uz ovakvu konfiguraciju mreže, nastanak ozbiljnijeg kvara u TS Tumbri ne bi prošao bez većih posljedica.

Mreža 110 kV gradskog područja omogućava prihvat snage iz revitaliziranih TE-TO i EL-TO Zagreb, iako ne zadovoljava kriterij neraspoloživosti jedne grane mreže zbog mogućih preopterećenja vodova TETO-Žitnjak i TETO-Resnik čiji ispadi ne uzrokuju nikakvo ograničavanje potrošnje. Izgradnja transformacije 400/110 kV u Žerjavincu do razmatrane godine, omogućava ispunjenje n-1 kriterija i dodatno osigurava mrežu zagrebačkog područja čak i u slučaju ozbiljnog kvara u TS Tumbri. S obzirom na povećanje snage elektrana u gradu i napajanja konzuma s dvije strane, proračuni pokazuju da izgradnja paralelnog voda Tumbri-Botinec nije nužna do razmatrane godine, budući da će postojeći vod doći do granice preopterećenja (99% od termičke granice) tek u slučaju vrlo malo vjerojatnog, istodobnog ispada sva tri voda Tumbri-Rakitje, te oba voda Mraclin-Resnik, a da će gubitkom veze Tumbri-Botinec, vodovi prema Rakitju ipak biti ispod granice preopterećenja (86% od termičke granice). Budući da se do 2005. god. predviđa uvod i četvrtog voda od TS 110/30 Rakitje do TS 400/110 Tumbri koji bi potpuno otklonio opasnost od preopterećenja vodova Tumbri-Rakitje 1 i 2 u slučaju gubitka veze Tumbri-Botinec (bili bi opterećeni 65% od termičke granice), korisno bi bilo razmotriti prioritete gradnje spomenutih vodova (uvod Rakitje -Švarča u TS Tumbri do 2000., a novi vod Tumbri-Botinec do 2005).

4. PREDVIDIVO STANJE NAZIVNE 2005. GODINE

Do razmatrane godine očekuje se uspostava prijeratnih 400 i 220 kV veza sa Srbijom i Bosnom i Hercegovinom, čime bi se uz eventualnu izgradnju novoga bloka, približne snage od 150 MW u Osijeku ublažio problem napajanja slavonsko-baranjskog područja. Od značajnijih vodova u razmatranom dijelu elektroenergetskog sustava pretpostavljena je gradnja (400)220 kV vodova Međurić-Đakovo i Đakovo-Ernestinovo te puštanje u pogon 110 kV naponske razine u TS Žerjavinec uz izgradnju vodova prema TS 110/x Jertovec, Resnik, D. Selo, i Dubec. U ostalom dijelu razmatranog sustava izgradili bi se među ostalim i 110 kV vodovi Virje-Virovitica,Cementara-Požega, Ernestinovo-Osijek 2, Đakovo-Županja, i dr.

Na zagrebačkom području uveo bi se u TS Tumbri četvrti vod Tumbri-Rakitje, druga trojka voda Resnik-Ksaver u Dubec, i vod Rakitje - TETO u Botinec, položio bi se kabel Stenjevac-ELTO, a TS 110/10 Jankomir povezat će se s Rakitjem još jednim vodom 110 kV.

Od proizvodnih kapaciteta u razmatranom dijelu elektroenergetskog sustava osim novog bloka u Osijeku, pretpostavljeno je uvođenje u pogon još jednog bloka u Sisku. Opterećenje na području grada Zagreba iznosi 636 MW.

Rad elektrana u vrijeme vršnog opterećenja grada Zagreba pretpostavljen je na slijedeći način:

HE Čakovec:	45 MW/19 MVAr
HE Dubrava:	40 MW/13 MVAr
HE Varaždin:	40 MW/0 MVAr
TE-TO Zagreb:	200 MW/22 MVAr
EL-TO Zagreb:	60 MW/30 MVAr
TE Sisak:	340 MW/42 MVAr
TE-TO (PTE) Osijek:	150 MW/0 MVAr

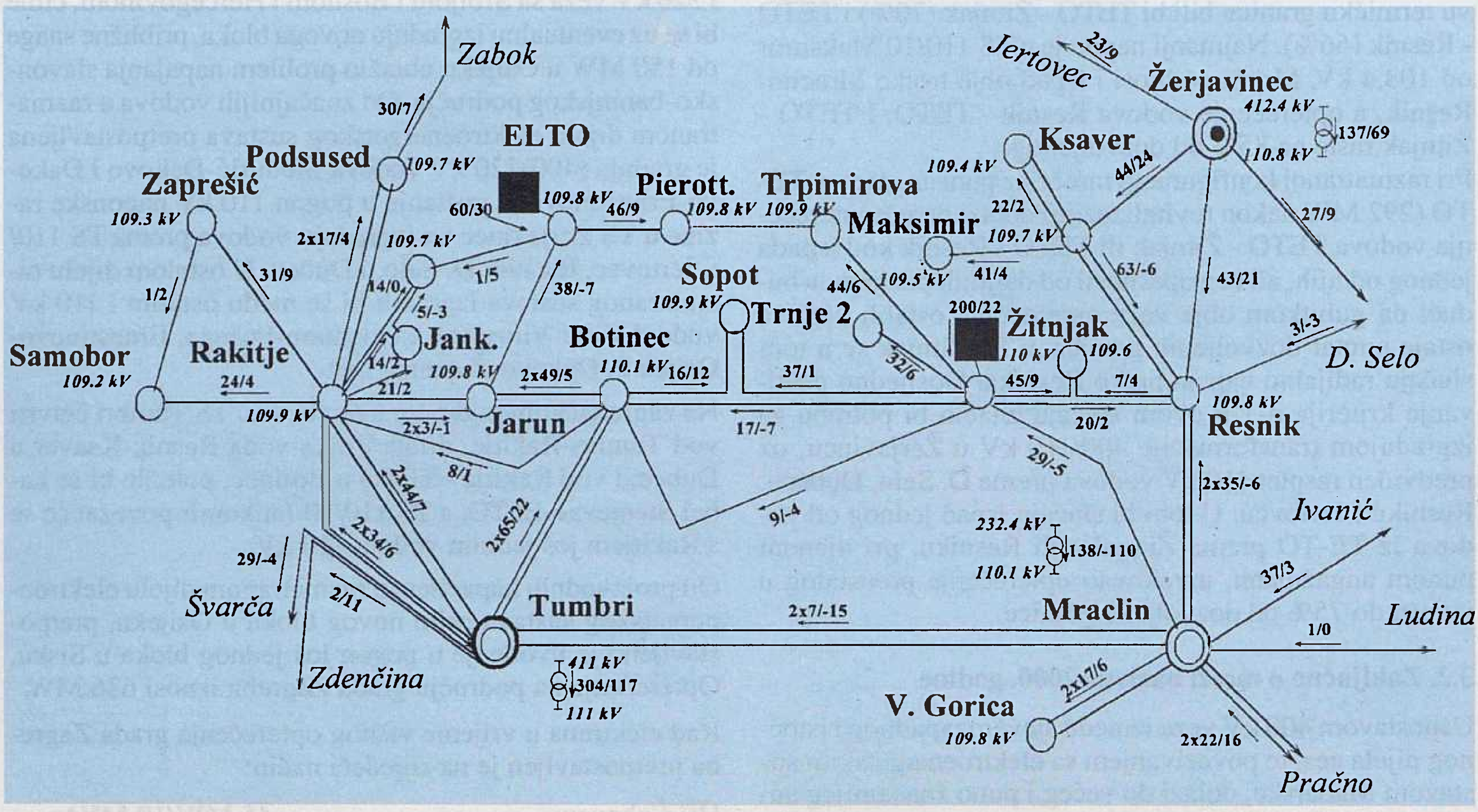
Radi zadovoljenja ukupne bilance snage uvozi se:

- Srbija (400 kV):	114 MW/20 MVAr
- BiH (220 kV):	97 MW/6 MVAr
- Meline (400 kV):	-
- NE Krško (400 kV):	330 MW/45 MVAr
- Hevitz (400 kV):	48 MW/-50 MVAr
- Cirkovce (220 kV):	120 MW/47 MVAr
- Moravice (110 kV):	20 MW/13 MVAr
- Gojak (110 kV):	40 MW/1 MVAr
- Formin i Sojtor (110 kV):	70 MW/-5 MVAr

Naponske prilike i tokove snaga na širem zagrebačkom području u slučaju raspoloživosti svih elemenata mreže prikazuje slika 6. Opterećenja vodova i kabela na zagrebačkom području 2005. godine ne prelaze 60% od njihove termičke granice. Svi naponi se kreću oko nazivne vrijednosti, najveći je u TS Botinec, gdje iznosi 110,1 kV a najmanji u TS Ksaver - 109,4 kV. TS 400/220/110 Žeravinec značajno sudjeluje u napajanju konzuma zagrebačkog područja predajući 90 MW vodovima prema TS Dubec i Resnik. Kod ovakvog pogonskog stanja grad Zagreb se napaja preko:

TS Tumbri	286 MW (60,2%)
TS Žerjavinec	90 MW (19.0%)
TS Mraclin	99 MW (20.8%)

Udjeli pojedinih TS u napajanju zagrebačkog konzuma mogu značajno varirati (posebno u slučajevima Žerjavinca i Mraclina) ovisno o tokovima snaga u 400 kV i 220 kV mrežama (s obzirom na angažman TE Sisak i uvoz iz Hevitza). Ovakva mreža, napajana iz tri čvrste pojne točke, izdržala bi ispad bilo koje transformatorske stanice



Slika 6. Naponske prilike i tokovi snaga u 110 kV mreži zagrebačkog područja (nazivna 2005.)

400 (220)/110 kV bez preopterećenja bilo kojeg elementa, a konzum bi se mogao zadovoljiti bez ikakvog ograničavanja potrošnje. U slučaju neraspoloživosti transformatora 400/110 kV u TS Žerjavinec najopterećeniji vod u mreži zagrebačkog područja je TETO - Žitnjak (64% od termičke granice). U slučaju neraspoloživosti svih transformatora 400/110 kV u TS Tumbri najopterećeniji vodovi bili bi Sopot - TETO i Tumbri-Mraclin (73% od termičke granice), te Žerjavinec-Resnik (72% od termičke granice), a u slučaju da su izvan pogona transformatori 220/110 kV u TS Mraclin najopterećeniji vod je Žerjavinec - Resnik (54% od termičke granice). Opterećenje dvosustavnog voda Tumbri-Rakitje u odnosu na njegovu termičku granicu je bitno manje nego na mreži 2000. godine radi uvođenja četvrtog voda u TS 400/110 Tumbri.

U slučaju gubitka 200 MW iz TE-TO Zagreb naponi bi se smanjili za 0,2-0,9 kV, ali ni u jednom čvorištu ne bi pali ispod 109,1 kV. Nedostatak snage nadoknadio bi se povećanom proizvodnjom TE Sisak i TE Urinj, uvozom iz Mađarske i Slovenije ili na neki drugi način, a mreža bi bila sposobna da prenese tu snagu iz bilo kojeg izvora.

4.1. Opterećenja elemenata mreže u slučaju ispada pojedinih vodova

Pri ispadu voda Žerjavinec-Resnik naponi se značajnije ne mijenjaju, a svi vodovi na zagrebačkom području ostaju opterećeni do 50% od njihove termičke granice.

U slučaju ispada voda Žerjavinec-Dubec naponi u TS Dubec, Ksaver, i Maksimir padaju za najviše 0,5 kV a jače se opterećuje vod Žerjavinec-Resnik (63% od termičke granice).

Ukoliko bi došlo do ispada vodova Tumbri-Rakitje 1 (2) ili Tumbri-Botinec 1 (2) naponi ostaju približno isti, a opterećenje ostalih vodova značajno se ne mijenja. U slučaju da postoji samo jedan vod Tumbri-Botinec, njegovim ispadom opterećenje dvosustavnog voda Tumbri-Rakitje bi poraslo na 60% od njegove termičke granice, a naponi u TS Botinec, Jarun i Sopot bi pali za 0,7 kV.

4.2. Zaključno o mreži 2005. godine

Uvođenjem u pogon 110 kV naponske razine u TS Žerjavinec i izgradnjom vodova Žerjavinec-Resnik i Žerjavinec-Dubec znatno se povećava sigurnost napajanja zagrebačkog područja. Značaj 110 kV veze od Žerjavinca prema Zagrebu nije samo u rasterećenju TS Tumbri i njenih vodova prema TS Rakitje i Botinec, već i u tome što je preko Žerjavinca moguće preuzeti napajanje zagrebačkog konzuma u slučaju neraspoloživosti TS Tumbri bez ikakvog ograničavanja potrošnje.

Od velikog značaja je i uvođenje četvrtog voda od TS Rakitje u TS Tumbri čime se otklanja opasnost od preopterećenja paralelnih vodova u normalnom pogonu, ili prilikom neraspoloživosti važnih vodova kojima se napaja 110 kV mreža grada Zagreba.

Na osnovi ovih razmatranja, i uz pretpostavku predviđenog razvoja mreže, možemo zaključiti da bi se 2005. godine u potpunosti mogla ostvariti željena sigurnost napajanja zagrebačkog konzuma, a detaljnijom analizom prijenosne mreže sjeverozapadnog dijela elektroenergetskog sustava valjalo bi preispitati ulogu i važnost, te potrebu ili barem predviđeni redoslijed izgradnje nekih vodova na ovom području.

Energija, god. 46 (1997) 6, 355-365

5. RAZVOJ 110 kV MREŽE SJEVEROZAPADNOG DIJELA EES RADI UKLAPANJA NOVOG BLOKA SNAGE 180 MW U PTE JERTOVEC

Moguća izgradnja novog kombi bloka snage 180 MW u PTE Jertovec koji bi radio u temeljnom dijelu dijagrama opterećenja (preko 6000 h/god.), dodatno povećava sigurnost napajanja konzuma grada Zagreba koji će biti najveći potrošač proizvedene električne energije.

PTE Jertovec je danas povezana na elektroenergetski sustav preko tri 110 kV voda prema Nedeljanecu, Zaboku i Resniku, prijenosne moći 115 MVA svaki, odn. 345 MVA ukupno. Novi blok u Jertovcu trebao bi imati snagu oko 180 MW odn. približno 210 MVA (uz pretpostavku faktora snage 0,85) što zajedno sa starim blokovima 2x16 MVA + 2x41.8 MVA daje ukupnu instaliranu snagu na lokaciji postojeće elektrane u iznosu od 326 MVA. Očito je da su mogućnosti plasmana snage preko postojeće mreže bitno smanjene budući da će postojeći vodovi pri maksimalnoj proizvodnji generatora u Jertovcu biti visoko opterećeni, a u slučaju ispada jednog od njih ukupnu snagu elektrane (stare+IPP) neće biti moguće plasirati preko preostalih vodova pa će dio postrojenja (stari) morati izaći iz pogona. Jasno je da takvo stanje ne zadovoljava i potrebno ga je riješiti izgradnjom barem još jednog 110 kV voda (jednostrukog ili dvostrukog na istim stupovima). Najbolje čvorište za preuzimanje energije i usmjeravanje prema pojedinim dijelovima ees-a (prvenstveno u Zagreb) je TS 400/200/110 kV Žerjavinec koja bi trebala preuzeti zadatak pojne točke sjeverozapadnog dijela ees-a i time rastereti TS 400/110 kV Tumbri čime bi se osigurala sigurnija opskrba potrošača najvećeg konzuma u Hrvatskoj.

Osnovni problem u plasmanu snage elektrane po ulasku u pogon novog bloka je dinamika gradnje TS Žerjavinec koja bi se, prema trenutnim saznanjima, u prvoj fazi (do 2000.) gradila za transformaciju 400/220 kV dok bi se zbog pomanjkanja financijskih sredstava 110 kV razina i transformacija 400/110 kV ostavile za kasnije. Ovo rješenje je upitno prije svega radi osiguravanja sigurnog napajanja zagrebačkog područja koje će se teže izvesti bez 110 kV razine u Žerjavincu, ali se direktno odražava i na problematiku uvođenja i pogon novog bloka budući da bez 110 kV razine u Žerjavincu problem sigurnog plasmana snage iz elektrane postaje puno složeniji.

Budući da je PTE Jertovec okružena s dvije prostorno zaokružene konzumne cjeline s različitim karakteristikama potrošnje i proizvodnje na svome području (zagrebačko područje s oko 1/4 ukupne potrošnje u Hrvatskoj i varaždinsko-međimursko područje s tri protočne hidroelektrane HE Varaždin, HE Čakovec i HE Dubrava čija proizvodnja značajno varira tijekom godine) proračuni su rađeni za dvije osnovne varijante potrošnje u sustavu (vršno zimsko, ljetno smanjeno opterećenje) i proizvodnje dravskih hidroelektrana (angažman maksimalnom snagom ljeti, angažman polovicom instalirane snage zimi).

Procijenjeno je da mogućnost priključka na 220 kV mrežu, koji bi se izveo uvodom sadašnjeg voda Cirkovce-Žerjavinec-Mraclin), nije prihvatljiva iz više razloga od kojih su najznačajniji:

- u slučaju neraspoloživosti dionice sadašnjeg voda Cirkovce-Mraclin od Jertovca do Mraclina (Žerjavinca) proizvedena energija bi se trebala prenositi preko slovenske mreže
- ELES ograničava tranzit energije preko vlastite mreže za potrebe Hrvatske (do oko 300 MW)
- najava o napuštanju 220 kV naponskog nivoa u Sloveniji (prema ELES-u i Elektroinštitutu M. Vidmar) koja bi trebala početi na potezu Cirkovce-Podlog, tijekom kojega će Slovenci zamijeniti postojeće 220 kV vodove 400 kV-im, a TS 220/110 Cirkovce transformirati u RP 220 kV u prvoj fazi, te RP 400 kV u drugoj fazi zamjene
- zbog očekivanog visokog porasta potrošnje u istočnom dijelu Zagreba što uvjetuje gradnju 110 kV (i 20 kV) naponske razine u Žerjavincu, preko koje bi se proizvedena energija u Jertovcu direktno (bez dodatnih transformacija) prenosila prema područjima velike potrošnje.

Zbog nepoznate dinamike izgradnje TS Žerjavinec analizirane su četiri moguće konfiguracije mreže u godini ulaska novog bloka u pogon:

1. Postojeća mreža
2. Mreža pojačana jednostrukim ili dvostrukim vodom Jertovec-Dubec
3. Mreža pojačana dvostrukim vodom Jertovec-RP 110 kV Žerjavinec, s TS 400/220 kV u Žerjavincu bez transformacije 400/110 kV, sa odgovarajućim raspletom vodova oko Žerjavinca
4. Mreža pojačana dvostrukim vodom Jertovec-Žerjavinec, s TS 400/110 kV u Žerjavincu uključujući transformaciju 400/110 kV, sa odgovarajućim raspletom vodova oko Žerjavinca

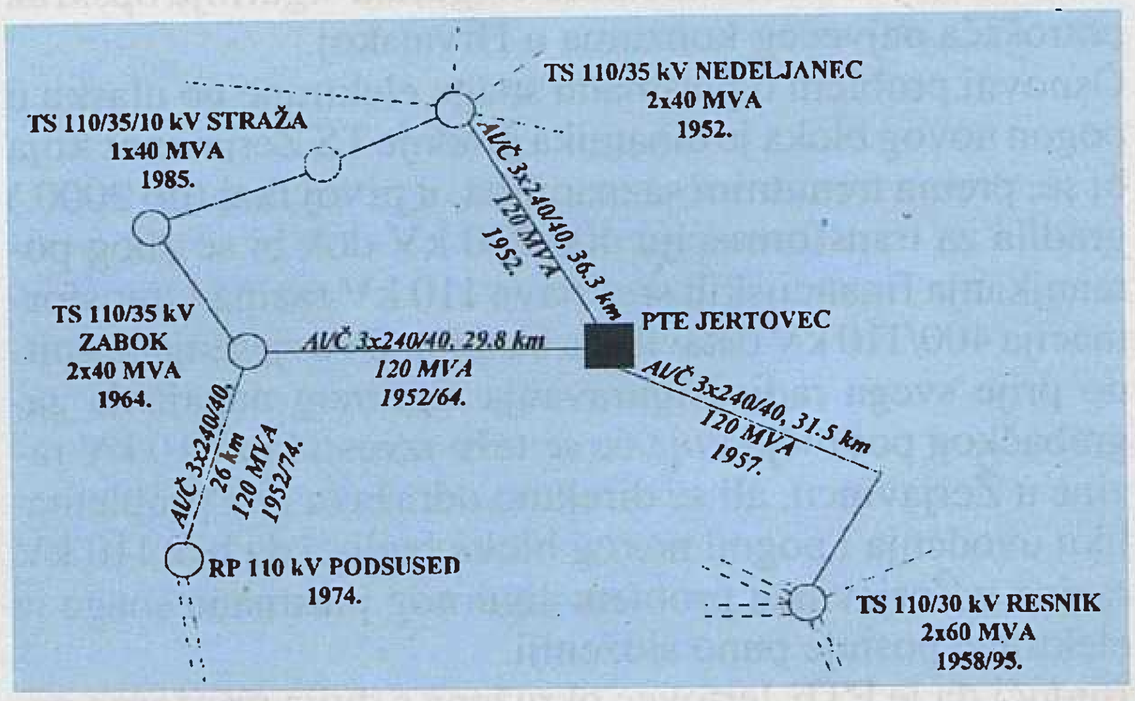
Za pojedine elemente prijenosne mreže koji utječu (zatvaranje petlje Nedeljanec-Ivanec-Straža pod 110 kV, izgradnja voda Virje-Virovitica, te Žerjavinec-Dubrava), ali ne rješavaju problem plasmana snage PTE Jertovec, a čija je izgradnja predviđena (ili se razmatra) do godine ulaska novog bloka u pogon, ali danas još nije ostvarena (prva polovica 1997.), pretpostavljeno je da nisu izgrađeni, što daje nepovoljne rezultate, ali ih čini sigurnijima. Dosadašnja iskustva u ostvarivanju planova, te moguća izvanredna ulaganja (obnova dijelova mreže uništene ratom prije svega u istočnoj slavoniji poput TS Ernestinovo) opravdavaju takav pristup. Utjecaj tih elemenata mreže na plasman snage Jertovca zasebno je razmatran.

Sljedeća važna pretpostavka koja značajnije utječe na izvršene analize je potpuna obnova prijenosne mreže na području Slavonije i Baranje uključujući najvažniju pojnu točku TS 400/110 kV Ernestinovo, te prijeratne vodove 400 kV i 110 kV. U provedenim analizama ova pretpostavka implicira rasterećenje TS Mraclin i TS Tumbri u napajanju konzuma grada Zagreba, pa time i promjenu tokova snaga na širem zagrebačkom području (u koje uključujemo i PTE Jertovec) kao i opterećenja pojedinih vodiča. U varijanti s izgrađenom TS 400/220/110 kV Žerjavinec direktna posljedica napajanja područja Slavonije preko 400 kV voda Tumbri-Žerjavinec-Ernestinovo (zbog manjka proizvodnih kapaciteta na tom području) su tokovi snaga iz 220 kV i 110 kV u 400 kV mrežu što rezultira smanjenim opterećenjem vodova između Žerjavinca i zagrebačkih čvorišta (Dubec, Resnik). Usprkos potpunoj obnovi prijenosne mreže pretpostavljeno je da veze sa susjednim ees-a Bosne i Hercegovine i Srbije nisu uspostavljene.

Izvršene analize ukazuju na slijedeće:

- na plasman snage iz PTE Jertovec osim planirane proizvodnje starih i novog bloka velik utjecaj ima i anga-

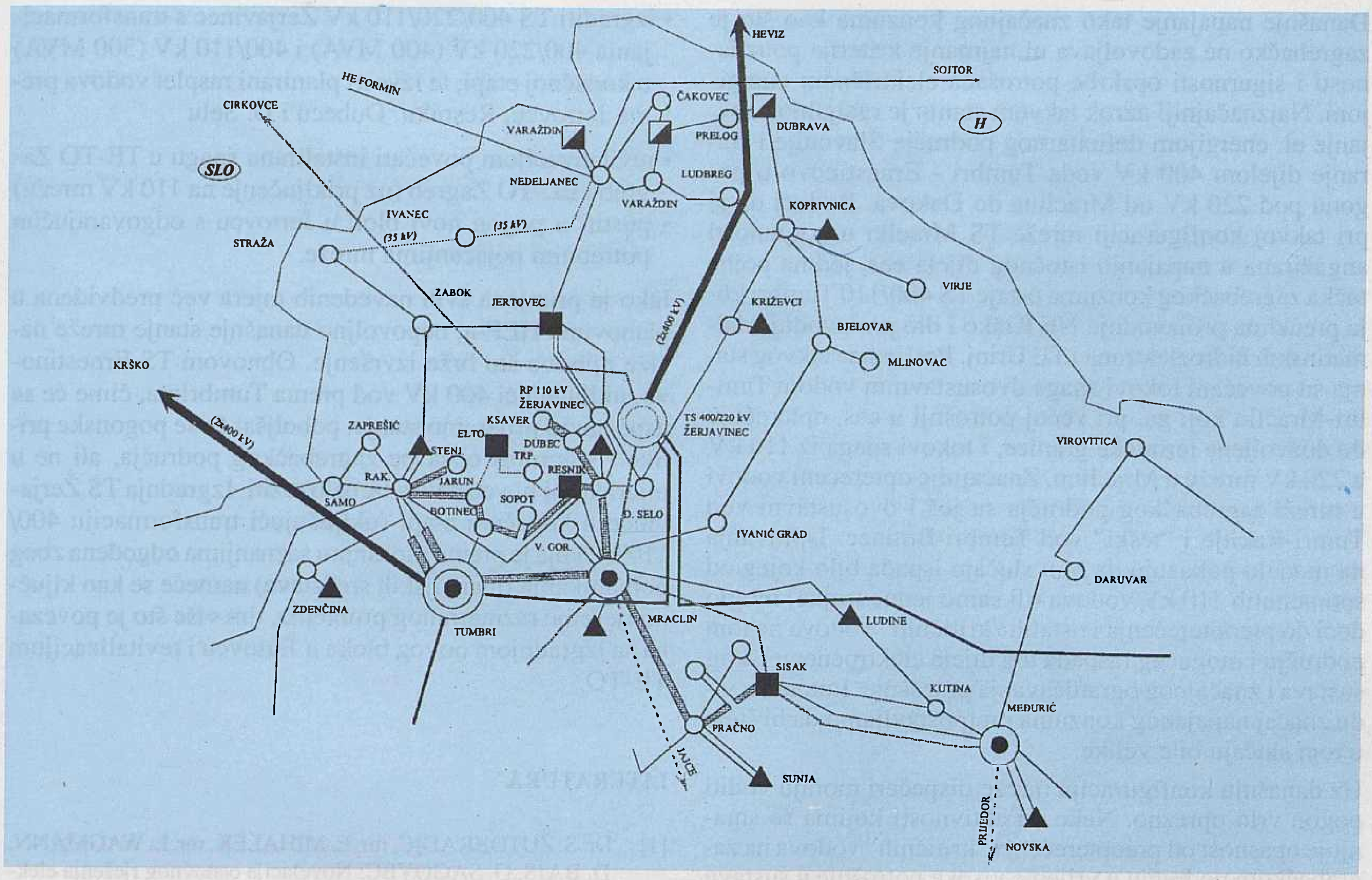
žman dravskih elektrana čija se visoka proizvodnja za vrijeme ljetnih mjeseci prenosi na jug preko TS Jertovec i time dodatno opterećuje vodove kojima se prenosi snaga stare i nove elektrane
- zatvaranjem petlje od Straže preko Ivaneca do Nedeljaneca pod 110 kV (sada pod 35 kV), izgradnjom 110 kV voda Žerjavinec-Dubrava (ili Žerjavinec-Ludbreg), te dvostrukog (ili jednostrukog) voda Virje-Virovitica smanjuje se tranzitna uloga TS Jertovec čime se povećavaju sposobnosti mreže za prihvat proizvodnje starih i novog agregata u PTE Jertovec
- postojeća mreža ne zadovoljava uvjete sigurnog plasmana snage iz PTE Jertovec, i prijenosa električne energije prema pojedinim potrošačkim područjima, nakon dogradnje novog bloka 180 MW budući da kriterij neraspoloživosti jedne grane (spojnog voda) nije ispunjen za maksimalan angažman agregata u Jertovcu
- postojeća mreža može preuzeti proizvodnju novog bloka u Jertovcu samo u slučaju isključenja starih agregata sa mreže i smanjene proizvodnje dravskih hidroelektrana tako da ne dolazi do prijenosa od Nedeljaneca na jug preko TS Jertovec
- pri maksimalnoj proizvodnji dravskih hidroelektrana ljeti plasman maksimalne snage novog bloka IPP 180 MW nije sigurna zbog visokog opterećenja (i mogućeg preopterećenja) voda prema Resniku
- da bi se omogućio plasman snage novog bloka u PTE Jertovec (uz isključene stare) pri visokoj proizvodnji dravskih HE potrebno je isključiti vod Jertovec-Nedeljanec i time spriječiti prijenos snage na jug preko TS Jertovec
- u slučaju pojačanja mreže izgradnjom jednostrukog voda prema Dubecu mreža je sposobna preuzeti svu proizvodnju PTE Jertovec i pri neraspoloživosti jednog od spojnih vodova, ukoliko dravske HE nisu maksimalno angažirane
- u slučaju maksimalnog angažmana dravskih HE i značajnog prijenosa snage na jug preko TS Jertovec mreža pojačana vodom prema Dubecu ne zadovoljava kriterij n-1. Maksimalna snaga samo novog agregata mogla bi se u tom slučaju plasirati i pri neraspoloživosti jednog od vodova, ali bi preostali (posebno vodovi Jertovec-Dubec i Jertovec-Resnik) bili visoko opterećeni i blizu dozvoljene termičke granice
- ukoliko bi se vod Jertovec-Dubec izgradio kao dvostruki, maksimalna snaga starih i novog agregata u Jertovcu ne bi se mogla sigurno plasirati pri maksimalnom agnažmanu HE na Dravi zbog preopterećenja voda Dubec-Resnik u slučaju ispada vodova Jertovec-Resnik ili Jertovec-Zabok
- da bi spriječili preopterećenje voda Dubec-Resnik na mreži pojačanoj dvostrukim vodom Jertovec-Dubec prilikom ispada vodova Jertovec-Resnik ili Jertovec-Zabok uz maksimalan angažman Jertovca i HE na Dravi potrebno je uvesti i drugu trojku voda Resnik-Ksaver u Dubec
- siguran plasman snage iz PTE Jertovec omogućen je u slučaju izgradnje dvostrukog voda prema RP 110 kV Žerjavinec bez transformacije 400/110 kV i pri visokoj proizvodnji dravskih HE, ukoliko bi se vod Žerjavinec-Dubec izveo kao dvostruki budući da gubitak te veze preopterećuje vod Žerjavinec-Resnik, a druga trojka voda Resnik-Ksaver uvela u Dubec jer ispad voda Žerjavinec-Resnik preoptereuje vod Dubec-Resnik ukoliko je vod od Žerjavineca do Dubeca izveden kao dvostruki ili ga visoko opterećuje (blizu termičke granice) ukoliko je vod Žerjavinec-Dubec izveden kao jednostruki
- dovršenje transformacije 400/110 kV u Žerjavincu dodatno osigurava siguran plasman snage iz Jertovca
- **minimalna konfiguracija mreže uz koju je omogućen siguran plasman snage novog bloka PTE Jertovec u samostalnom radu (uz isključene stare agregate) postiže se izgradnjom dvostrukog voda Jertovec - RP 110 kV Žerjavinec-Dubec**
- **minimalna konfiguracija mreže uz koju je omogućen siguran plasman snage iz PTE Jertovec nakon izgradnje novog bloka (novi + stari agregati) postiže se izgradnjom dvostrukog voda Jertovec - RP 110 kV Žerjavinec - Dubec i uvodom druge trojke voda Resnik-Ksaver u TS Dubec.**
- uz minimalnu konfiguraciju mreža je sposobna preuzeti dodatnu snagu injektiranu u TS Nedeljanec vodovima iz Formina i Sojtora
- usporedno s pojačanjima 110 kV mreže nužno je provesti aktivnosti (snimanje stanja, procjena pouzdanosti i dr.) na rekonstrukciji (slika 7) važnijih objekata prijenosne mreže (vodovi Jertovec-Zabok, Jertovec-Resnik, TS Resnik, Zabok, Nedeljanec) radi podizanja pouzdanosti tog dijela elektroenergetskog sustava i izbjegavanja eventualnih ugovornih obveza snošenja troškova nerada novog bloka IPP u PTE Jertovec
- zbog povećanja uloge TS Resnik koja se očekuje u napajanju zagrebačkog područja nužno je izvršiti rekonstrukciju sabirničkog sustava 110 kV.



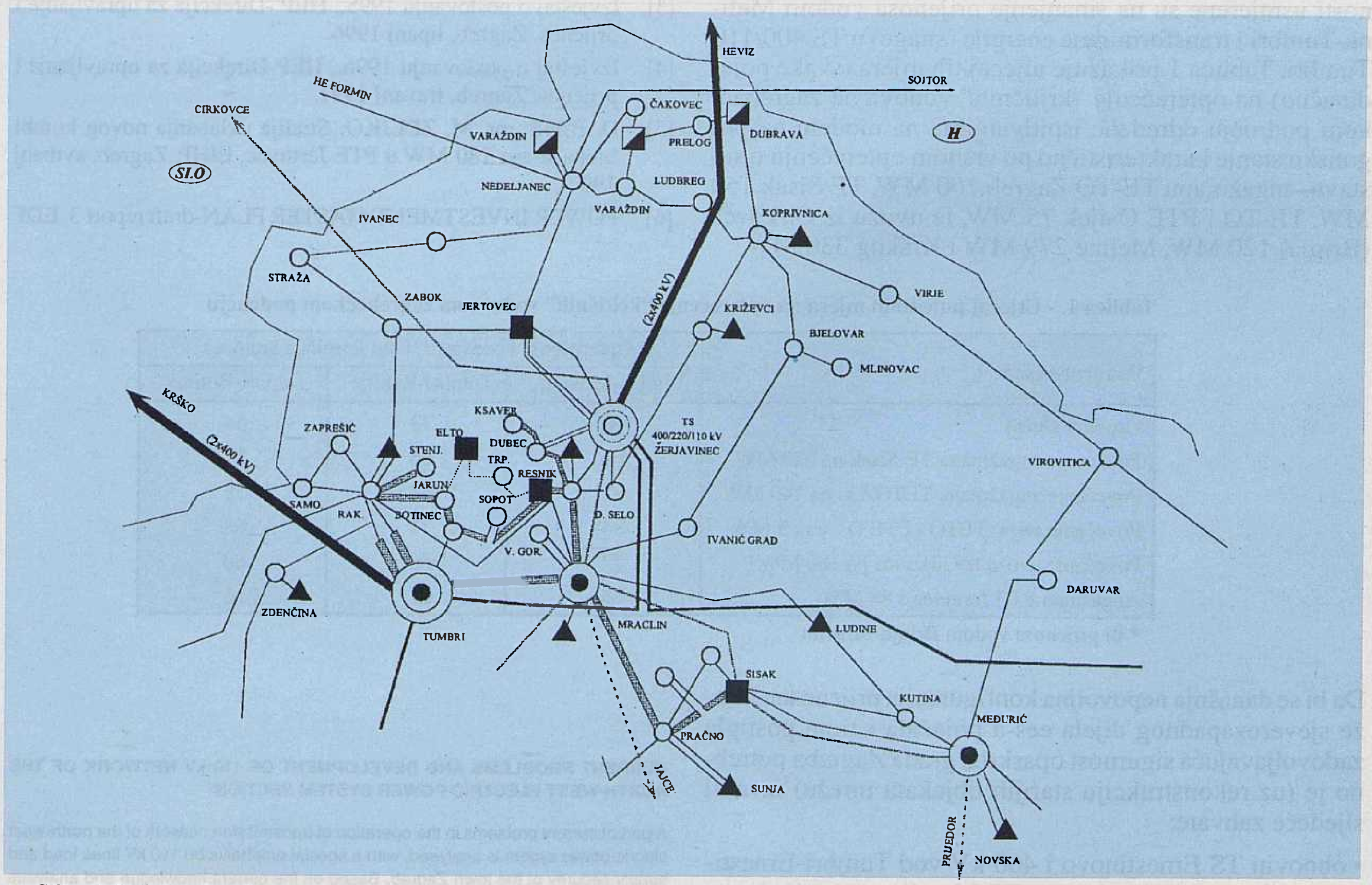
Slika 7. Osnovni podaci objekata prijenosne mreže u okolini PTE Jertovec
(Prema "Izvještaju o poslovanju 1995." Direkcija za upravljanje i prijenos)

6. ZAKLJUČAK

Analize provedene u studijama Novelacija osnovnog rješenja elektrodistributivne mreže 110 kV i 30 kV grada Zagreba i Studija uklapanja novog kombi bloka snage 180 MW u PTE Jertovec su ukazale na neke probleme u radu prijenosne mreže sjeverozapadnog dijela elektroenergetskog sustava, i poželjne zahvate u cilju njenog saniranja i razvoja, posebno s obzirom na veliku potrošnju zagrebačkog područja koje čini približno jednu četvrtinu ukupnog opterećenja na nivou ees-a, s tendencijom još bržeg rasta (razvoj industrije, priljev stanovništva i dr.).



Slika 8. Minimalna konfiguracija prijenosne mreže sjeverozapadnog dijela ees za osiguravanje sigurnog plasmana snage PTE Jertovec nakon izgradnje novog kombi bloka 180 MW



Slika 9. Poželjna konfiguracija prijenosne mreže sjeverozapadnog dijela ees za osiguravanje sigurnog plasmana snage PTE Jertovec nakon izgradnje novog kombi bloka 180 MW

Današnje napajanje tako značajnog konzuma kao što je zagrebačko ne zadovoljava ni najmanje kriterije pouzdanosti i sigurnosti opskrbe potrošača električnom energijom. Najznačajniji uzrok takvom stanju je radijalno napajanje el. energijom deficitarnog područja Slavonije i Baranje dijelom 400 kV voda Tumbri - Ernestinovo u pogonu pod 220 kV od Mraclina do Đakova. Budući da je pri takvoj konfiguraciji mreže TS Mraclin u potpunosti angažirana u napajanju istočnog dijela ees, jedina pojna točka zagrebačkog konzuma ostaje TS 400/110 Tumbri koja preuzima proizvodnju NE Krško i dio proizvodnje dalmatinskih hidroelektrana i TE Urinj. Posljedice takvog stanja su povećani tokovi snaga dvosustavnim vodom Tumbri-Mraclin koji ga, pri većoj potrošnji u ees, opterećuju do dozvoljene termičke granice, i tokovi snaga iz 110 kV u 220 kV mrežu u Mraclinu. Značajnije opterećeni vodovi u mreži zagrebačkog područja su još i dvosustavni vod Tumri-Rakitje i "teški" vod Tumbri-Botinec. Ispitivanja na modelu pokazuju da bi u slučaju ispada bilo kojeg od spomenutih 110 kV vodova (ili samo jedne trojke) moglo doći do preopterećenja i ostalih "kritičnih" vodova na tom području i mogućeg raspada tog dijela elektroenergetskog sustava i značajnog ograničavanja potrošnje. Imajući u vidu značaj napajanog konzuma pretpostavljamo da bi štete u tom slučaju bile velike.

Uz današnju konfiguraciju mreže dispečeri moraju voditi pogon vrlo oprezno. Neke od aktivnosti kojima se smanjuje opasnost od preopterećenja "kritičnih" vodova na zagrebačkom području u vrijeme visoke potrošnje u sustavu su: povećanje proizvodnje TE-TO Zagreb, TE Sisak, TE-TO i PTE Osijek, povećan uvoz vodom od Cirkovca (ili iz Brinja), te angažman PTE Jertovec. Sve spomenute aktivnosti usmjerene su na smanjenje prijenosa vodom Meline-Tumbri i transformirane energije (snage) u TS 400/110 Tumbri. Tablica 1 prikazuje utjecaj tih mjera (svake pojedinačno) na opterećenje "kritičnih" vodova na zagrebačkom području određene ispitivanjima na modelu uz pogonsko stanje karakteristično po vršnom opterećenju u sustavu, angažmanu TE-TO Zagreb 100 MW, TE Sisak 150 MW, TE-TO i PTE Osijek 75 MW, te uvozu iz Cirkovca (Brinja) 120 MW, Meline 279 MW i Krškog 330 MW.

Da bi se današnja nepovoljna konfiguracija prijenosne mreže sjeverozapadnog dijela ees-a pojačala i time postigla zadovoljavajuća sigurnost opaskrbe grada Zagreba potrebno je (uz rekonstrukciju starijih objekata mreže) izvršiti sljedeće zahvate:

- obnoviti TS Ernestinovo i 400 kV vod Tumbri-Ernestinovo, i time povećati ulogu TS Mraclin u napajanju zagrebačkog konzuma
- izgraditi TS 400/220/110 kV Žerjavinec s transformacijama 400/220 kV (400 MVA) i 400/110 kV (300 MVA) u konačnoj etapi, te izvesti planirani rasplet vodova prema Jertovcu, Resniku, Dubecu i D. Selu
- revitalizacijom povećati instaliranu snagu u TE-TO Zagreb i EL-TO Zagreb (uz priključenje na 110 kV mrežu)
- pustiti u pogon novi blok u Jertovcu s odgovarajućim potrebnim pojačanjima mreže.

Iako je primjena svih navedenih mjera već predviđena u planovima HEP-a, nepovoljno današnje stanje mreže nalaže njihovo što brže izvršenje. Obnovom TS Ernestinovo, uključujući 400 kV vod prema Tumbrima, čime će se uspostaviti prijeratno stanje, poboljšat će se pogonske prilike i sigurnost opskrbe zagrebačkog područja, ali ne u mjeri kojoj bi već danas trebalo težiti. Izgradnja TS Žerjavinec u konačnoj etapi (uključujući transformaciju 400/110 kV koja je prema sadašnjim saznanjima odgođena zbog pomanjkanja financijskih sredstava) nameće se kao ključno rješenje razmatranog problema, tim više što je povezana sa izgradnjom novog bloka u Jertovcu i revitalizacijom TE-TO.

LITERATURA

[1] Dr. S. ŽUTOBRADIĆ, mr. E. MIHALEK, mr. L. WAGMANN, D. BAJS, G. ŠAGOVEC: Novelacija osnovnog rješenja elektrodistributivne mreže 110 kV i 30 kV grada zagreba, EIHP, listopad 1996.

[2] Mjesečni izvještaj tehničkog ureda PrP Zagreb, 1994-1997

[3] Izvještaj o poslovanju 1995., HEP -Direkcija za upravljanje i prijenos, Zagreb, lipanj 1996.

[4] Izvještaj o poslovanju 1996., HEP-Direkcija za upravljanje i prijenos, Zagreb, travanj 1997.

[5] D. BAJS, mr. M. ZELJKO: Studija uklapanja novog kombi bloka snage 180 MW u PTE Jertovec, EIHP, Zagreb, svibanj 1997.

[6] POWER INVESTMENT MASTER PLAN-draft report 3, EDF

Tablica 1. - Utjecaj pojedinih mjera na opterećenje "kritičnih" vodova na zagrebačkom području

Primjena mjera	Opterećenje vodova (u % od termičke granice)		
	Tumbri-Mraclin	Tumbri-Rakitje	Tumbri-Botinec
Osnovni slučaj	90	72	64
Povećanje angažmana TE Sisak na 250 MW	62	66	57
Povećanje angažmana TETOZ g. na 140 MW	83	68	59
Povećanje anga. TETO i PTE Os. na 89 MW	84	71	63
Povećanje uvoza iz Cirkovca na 180 MW*	72	68	60
Angažman PTE Jertovec s 88 MW	76	61	56

* ili prijenosa vodom Brinje-Mraclin

CURRENT PROBLEMS AND DEVELOPMENT OF 110 kV NETWORK OF THE NORTH-WEST ELECTRIC POWER SYSTEM SECTION

A part of current problems in the operation of transmission network of the north-west elecric power sysem is analysed, with a special emphasis on 110 kV lines load and supply security of the town Zagreb. Based on the current knowledge and analyses possible scenarios of the high-voltage network development for the wider Zagreb region are given.

Energija, god. 46 (1997) 6, 355-365

GEGENWÄRTIGE BETRIEBSPROBLEME UND DIE ENTWICKLUNG DES 110 kV-NETZES IM NORDÖSTLICHEN TEIL DES VERBUNDSYSTEMS

Erörtert wird ein Teil der gegenwärtigen Betriebsprobleme im nordöstlichen teil des Verbundsystems mit besonderem Rückblick auf die Belastung von 110 kV-Leitungen und auf die Versorgungssicherheit der Stadt Zagreb. Auf Grund gegenwärtiger Erkenntnisse und Erörterungen sind mögliche Richtungen der Entwicklung des Hochspannungsnetzes im zagreber Großraum vorgeschlagen.

Naslov pisca:

Davor Bajs, dipl. ing.
Energetski institut "Hrvoje Požar"
Ulica grada Vukovara 37,
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1997-06-18.

HRVATSKA ELEKTROPRIVREDA d.d.

HRVATSKA ELEKTROPRIVREDA DONOSI SVJETLO

U TAMU GDJE TMUŠU NEČOVJEK STVORI

Tijekom ljeta Gospodnjeg 1997, Hrvatska elektroprivreda prispoji u svoj, nikad otuđeni elektroenergetski sustav, njegov dio iz hrvatskog Podunavlja.

DE Dalj (9 agregata; 8 MW)

U trenu reintegracije okupiranog hrvatskog prostora i prijeke potrebe za nezavisnom opskrbom električnom energijom, umom i rukama svojih djelatnika i brojnih drugih tvrtki obnovi se i izgradi u 3 mjeseca:

60 km dalekovoda	110 kV,
75 km dalekovoda	35 kV,
45 km dalekovoda	10(20) kV.

Instalira se na 5 lokacija interventne elektrane s ukupno:

64 diesel agregata i ukupnom instaliranom snagom od 44 MW.

I bi svjetla!

PODLOGE ZA IZGRADNJU TARIFNOG SUSTAVA ZA ELEKTRIČNU ENERGIJU

Dr. sc. Mićo Klepo, Zagreb

UDK 338.52:621.3
PRETHODNO PRIOPĆENJE

U radu se izlažu podloge za definiranje i izgradnju sustava za formiranje cijena i tarifnog sustava na principu alokacije troškova onako kako i nastaju. Ostvarenje toga principa za elektroenergetski sustav bi značilo pretpostavke za pokriće ukupnih troškova koji nastaju proizvodnjom, prijenosom i distribucijom električne energije, osiguranje financijske neovisnosti, te osiguranje sredstava za stabilan razvoj. Istodobno za potrošače bi to trebalo značiti pravedniju raspodjelu troškova, sigurnu i stabilnu opskrbu uz realne troškove, te poticaje za razionalno korištenje energije.

Ključne riječi: alokacija troškova, cijena električne energije, tarifni sustav, troškovna karakteristika elektrane, troškovna karakteristika potrošača, troškovni princip raspodjele.

1. UVOD

Opterećenje elektroenergetskog sustava mijenja se iz sata u sat. Ipak, uz sve te promjene tijekom godine, mjeseca, tjedna i dana mogu se prepoznati i utvrditi određene zakonitosti u promjenama opterećenja. Za predmetnu analizu važno je da se za svako od navedenih razdoblja, koja predstavljaju elementarne vremenske intervale, iz satnih opterećenja poredanih u slijedu, tj. dijagrama opterećenja, mogu utvrditi odjelita razdoblja niskog i visokog opterećenja sustava. Ona uz minimalna i maksimalna opterećenja sustava određuju oblik dijagrama opterećenja sustava.
Dijagramu opterećenja i njegovom obliku doprinosi svaki potrošač. Kod potrošača se mogu identificirati određene zakonitosti ponašanja u potrošnji električne energije u ovisnosti o njegovoj pripadnosti grupama i sektorima djelatnosti, odnosno potrošnje.
Dijagram opterećenja elektrana elektroenergetskog sustava treba biti takav da ga elektrane mogu pokriti u svakom trenutku tijekom dana, tjedna, mjeseca i godine, uvažavajući nesigurnosti pojava opterećenja sustava, nesigurnosti pojava pogonskih stanja i opterećenja proizvodnih, prijenosnih i distributivnih kapaciteta, a sve uz što niže troškove u elektroenergetskom sustavu, tj. za potrošača. Prema tome, opravdano je djelovati na poboljšanje dijagrama opterećenja sustava sve dok se time čini pomak prema osiguranju uvjeta za njegovo optimalno pokrivanje raspoloživim proizvodnim, prijenosnim i distributivnim kapacitetima, dakako uz smanjenje ukupnih troškova u sustavu i kod potrošača.
Na oblik dijagrama opterećenja najjednostavnije se djeluje promjenama ponašanja grupa i sektora potrošnje i potrošača. Od svih mjera koje djeluju na promjene ponašanja potrošača najefikasnije je djelovanje sustavom cijena i tarifnim sustavom.
Proizvodnju električne energije karakterizira nemogućnost da se taj energetski oblik najviše kvalitativne razine obrade i najšire primjene na ekonomičan način akumulira u velikim količinama. Dakle, mora se proizvesti upravo u vrijeme kada se i traži. Posljedica toga je da se najveće investicije moraju usmjeriti na izgradnju proizvodnih i prijenosnih kapaciteta, koji moraju biti najmanje toliki koliko treba da bi se pokrila vršna opterećenja sustava. Međutim, nasuprot tome, postoji mogućnost da se ista količina finalnog proizvoda - električne energije, prozvede na različite načine.To prvenstveno znači uz različita opterećenja sustava, različite načine angažiranja elektrana i korištenje različitih primarnih energenata za pogon elektrana.

2. O SUSTAVU CIJENA I TARIFNOM SUSTAVU HRVATSKE

Sustav cijena važan je dio energetske politike, i to bez obzira kakav je institucionalni okvir za njihovu uspostavu. Institucionalni okvir može biti, bilo oblika "javnog servisa", bilo oblika "tržišno uređenog servisa". U Hrvatskoj je ovaj prvi još uvijek na snazi. Njegovo osnovno određenje je da država i njena upravna tijela igraju najvažniju ulogu u organiziranju i radu energetskog sektora, pogotovo kada su u pitanju cijene energije i osnovni odnosi i odrednice iz tarifne strukture i sustava. Interes države i njenih upravnih organa i tijela je da i dalje kontroliraju što veći i značajniji dio javnog sektora, pri čemu je energetski jedan od najvećih, da štite određene proizvođače i kategorije potrošača čuvajući time socijalni mir. Interes potrošača je da se održe uvjeti u kojima će biti zaštićeni od previsokih cijena i njihovih naglih promjena, bilo da su ih sam izazvali, bilo da su one posljedica npr. naglih i visokih promjena cijena nekih energenata na međunarodnom tržištu.
Potrošači u svim državama, pa tako i u Hrvatskoj, imaju dovoljnu političku moć zbog koje državni upravni organi i tijela, odnosno dijelovi javnog sektora pod njihovom kontrolom i nadležnošću izbjegavaju uvođenje efikasnijih prin-

cipa raspodjele troškova. Međutim, to u pravilu znači put u veću ili manju troškovnu i energetsku neefikasnost i neracionalnost. Kada su u pitanju socijalni kriteriji i njihovo uvođenje u sustav cijena i tarifni sustav, dugoročno gledano ne radi se o dobroj i efikasnoj mjeri za unapređenje troškovne i energetske efikasnosti i racionalnosti. Pri tom se ne odriče pravo i potreba da država štiti određene, socijalno ugrožene kategorije i grupe potrošača, ali to treba provoditi ciljanim mjerama, popustima i olakšicama za potrošače poznatog imena i prezimena, i u skladu s jasnim socijalnim kriterijima. Kada su socijalni kriteriji primijenjeni na sve potrošače, razumljiva su nastojanja potrošača da koriste sve pogodnosti koje im se time pružaju, pogotovo otpori ponovnoj uspostavi načela plaćanja stvarnih troškova koji su izazvani ili bilo kakvom povećanju cijena, čak i kada se radi o troškovima izazvanim povećanjem opterećenja i potrošnje, tj. potrebnom novom izgradnjom.

Povijest razvoja sustava cijena i tarifnih sustava za prodaju električne energije u Hrvatskoj, povijest je pokušaja oslobađanja od znatnog upletanja državnih upravnih organa i tijela, oslobađanja od socijalnih kriterija, te oslobađanja od neproduktivne zaštite nekih grupa i kategorija potrošača (kućanstva i specijalnih potrošača) i prevelikog troškovnog opterećivanja nekih drugih grupa i kategorija potrošača (industrijske grane, uslužni sektor i sl.). Osnovno obilježje dosadašnjih sustava cijena i tarifnih sustava bio je princip tarifiranja prema namjeni, kojim se, neovisno o troškovima koje pojedini potrošači izazovu u sustavu, istim grupama i kategorijama potrošača osiguravaju isti dobivani uvjeti, iste cijene snage i energije, te isti načini plaćanja. Svaki pokušaj formiranja cijena i tarifa prema troškovnim principima vodio je potrebi znatnog povećanja cijena, od čega se ili odustajalo, ili se povećanje usmjeravalo samo nekim grupama ili kategorijama potrošača.

Stalno se postavljalo pitanje trebaju li cijene električne energije biti takve da bi se njima uz troškove jednostavne reprodukcije osiguravala i sredstva za razvoj i izgradnju elektroenergetskog sustava. Naravno, do danas je bilo različitih načina rješavanja, ali niti jedan nije bio efikasan niti ekonomski opravdan. Država je sredstava za razvoj osiguravala ili prikupljala na druge načine.

Tijekom nekoliko posljednjih godina u hrvatskom gospodarstvu desile su se velike promjene. Pored političkih desile su se i značajne ekonomske i vlasničke promjene. Sustav socijalističke, državom kontrolirane ekonomije i upravljanja društvenom imovinom, transformiran je u sustav poznatog vlasništva, tržišne ekonomije, konkurencije i slobodnog poduzetništva. U energetskom sektoru, odnosno u elektroprivrednoj djelatnosti u prvom koraku, sredinom 1990. godine, provrdena je transformacija vlasništva iz društvenog u javni. U drugom koraku, krajem 1994. godine provedena je njezina transformacija u dioničko društvo u vlasništvu države.

U pogledu izgradnje sustava cijena i tarifne politike, kada su u pitanju restrukturiranje hrvatskog gospodarstva i promjene u energetskom sektoru, najznačajnije promjene desile su se upravo u svezi sa sustavom električne energije, i to kao najsloženijim podsektorom energetskog sektora. Nesumnjivo najveći pomak tijekom proteklih godina restrukturiranja političkog, socijalnog i gospodarskog sustava ostvaren je uvođenjem politike realnih cijena energenata. Za gospodarski sustav to je značilo značajan napredak prema uspostavljanju tržišnih odnosa, osiguralo nužne pretpostavke za početak izgradnje svijesti o potrebi optimiranog, racionalnog gospodarenja energijom po svim energetskim oblicima ili grupama energije. Upravo zahvaljujući uvođenju principa realnih cijena energenata omogućen je početak izgradnja tržišnih zakonitosti, uspostave energetsko-ekonomske efikasnosti, osiguranja uvjeta za izravna ulaganja u energetske objekte, osiguranja djelotvornog financiranja i samofinanciranja, povećanja produktivnosti, uvođenja efikasne zakonske regulative, uvođenja efikasnih standarda kvalitete energetske usluge i zaštite okoline, te osiguranja stabilnih uvjeta plaćanja.

Međutim, unatoč svemu i danas je dominantna karakteristika i temeljno organizacijsko načelo funkcioniranja velikih podsustava energetskog sektora u gospodarskom sustavu Hrvatske, jednako kao i prije, da se oni odvijaju po shemi međusobno neovisnih zatvorenih energetskih podsustava vezanih za pojedine oblike ili grupe oblika energije. Oni još uvijek cijene utvrđuju u suglasnosti s državnim upravnim tijelima ili prema odlukama Vlade. U tom sustavu potrošači se pojavljuju samo kao kupci energije koji odlučuju hoće li energiju koristiti ili ne, ali ne mogu bitnije utjecati na uvjete isporuka ili cijene.

Važeći Tarifni sustav za prodaju električne energije donijela je Vlada Republike Hrvatske u veljači 1991. godine, a s njegovom primjenom započelo se u travnju 1991. godine. Od kolovoza 1992. Vlada Republike Hrvatske je u više navrata, da bi zaštitila ratom i visokom inflacijom ugroženi standard pučanstva, odstupila od tarifnih postulata donoseći odluke o diferentnim promjenama cijena štiteći kategoriju kućanstva, a na štetu po ostale kategorije potrošnje, pogotovo gospodarstva. To je dovelo do odnosa cijena koji su danas neprimjereni važećim troškovnim postavkama Tarifnog sustava, tako da kućanstva u prosjeku plaćaju nižu cijenu kWh od gospodarstva. Od srpnja 1993. godine, kada je uvedena devizna klauzula na cijenu kWh kao zaštitna mjera od interne inflacije, Vlada Republike Hrvatske je uvela i popust na prvopotrošenih mjesečnih 150 kWh za potrošače kategorije kućanstva. Otada je i pitanje utvrđivanja cijene električne energije prenijeta u odgovonost Upravnog odbora Hrvatske elektroprivrede, koji je potom u dva navrata utvrdio popust na važeće tarifne stavove (studeni 1993. i kolovoz 1994.), za kućanstva

Tablica 1. Prosječne prodajne cijene električne energije po važećem Tarifnom sustavu

Naponska razina	Udio u potrošnji %	Udio u troškovima %	Prosječna cijena bez poreza kn/kWh
Ukupno na mreži prijenosa	7.94	4.55	0.251
110 kV	1.62	0.95	0.258
35 kV	6.11	4.83	0.346
10 kV	18.32	20.30	0.486
0.4 kV - Kućanstvo	45.64	39.33	0.378
0.4 kV - Ostali - I tarifna grupa	8.55	13.66	0.700
0.4 - Ostali - II tarifna grupa	9.74	13.97	0.629
0.4 KV - Javna rasvjeta	2.07	2.41	0.512
Ukupno na mreži distribucije	92.06	95.45	0.455
Sveukupno - sustav	100	100	0.438

Tablica 2. Usporedba troškova za električnu energiju poslovnih potrošača

Potrošač	Snaga	Trajanje Korišt.	Energija	Napon. razina	Troškovi snage		Troškovi energije			Ukupno kn	Ukupno kn	kn/kWh	kn/kWh
					viša tarifa	niža tarifa	viša tarifa	sred. tarifa	niža tarifa	bez popusta	s popustom	bez popusta	s popustom
	kW	sati	kWh	kV	kn	kn	kn	kn	kn	i bez poreza	i s porezom	i bez poreza	i s porezom
Mali	30	1000	30000	0.4	39628.8	0	2439	5606	0	47674	50439	1.59	1.68
Mali	30	2500	75000	0.4	39628.8	0	6098	14015	0	59743	63208	0.8	0.84
Mali	30	5000	150000	0.4	39628.8	0	12197	28031	0	79857	84488	0.53	0.56
Srednji	500	2000	1000000	10	267460	356600	80343	96809	63440	864652	914802	0.86	0.91
Srednji	500	4000	2000000	10	267460	356600	160687	193618	126879	1105244	1169348	0.55	0.58
Srednji	500	6000	3000000	10	267460	356600	241030	2900426	190319	1345835	1423894	0.45	0.47
Veliki	10000	7000	70000000	35	3860800	5148000	473862	5749818	3668544	23165025	24508596	0.33	0.35
	10000	7000	70000000	110	3256000	4341600	4090186	5031091	3089224	19808101	20956971	0.28	0.3
			70000000	Prosjek	3558400	4744800	4414024	5390455	3378884	21486563	22732784	0.31	0.32

ukupno 7%, a za gospodarstvo 8%. U kolovozu 1994. godine dosegnuta je prosječna cijena električne energije bez uključenog poreza za kućanstva 0.39 kn/kWh, za gospodarstvo 0.49 kn/kWh, ili prosječno 0.44 kn/kWh.

Razina cijena, iako relativno visoka, nije dosegla tržišnu razinu cijena u zapadnoeuropskim zemljama. Isto vrijedi i za odnose cijena. Naime, osnovni problem i poteškoću predstavlja to što je u Hrvatskoj, za razliku od zapadnoeuropskih zemalja, cijena električne energije za industriju veća od cijene za kućanstvo. Današnja razina cijena vidljiva je iz tablica 1. i 2.

Postignutom razinom cijena električne energije i njihovom stabilnošću omogućeno je pozitivno poslovanje i stvorene su početne pretpostavke za efikasnije organiziranje elektroprivrednih djelatnosti. Međutim, i dalje ostaje problem, dakle i potreba za uspostavom efikasnog sustava za osiguranjem sredstava za održavanje, a pogotovo razvoj i izgradnju sustava.

U posljednje vrijeme čine se napori i akcije za oslobađanje Tarifnog sustava od neproduktivnih socijalnih kriterija u njegovoj primjeni, što također predstavlja vrlo važan korak k uspostavi ekonomskih kriterija u raspodjeli troškova.

Vrijeme je da se započne izgradnja tarifnog sustava primjerenog i zasnovanog na tržišnim principima organiziranja i rada gospodarstva, i na načelima raspodjele troškova onako kako su ti troškovi i izazvani. Ovaj rad pokušaj je da se pridonese razradi podloga za izgradnju novog i kvalitetnijeg tarifnog sustava.

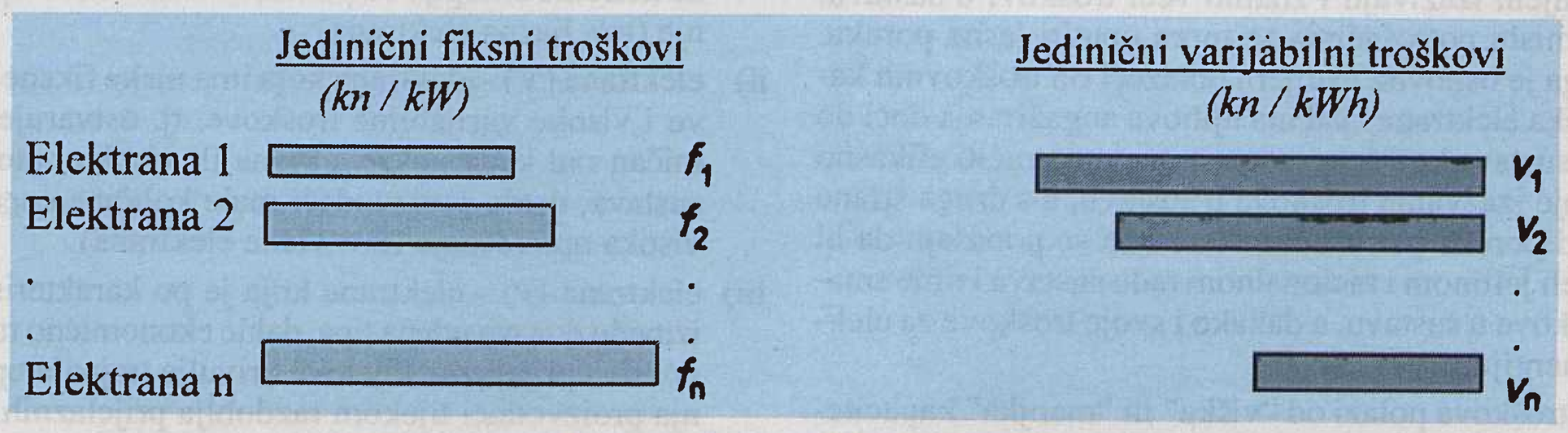
3. TROŠKOVNE KARAKTERISTIKE ELEKTRANA

Troškove rada svake elektrane čini suma odgovarajućih fiksnih i varijabilnih troškova tijekom odabranog razdoblja. Fiksni troškovi su troškovi kapaciteta, tj. troškovi neovisni o količini proizvedene električne energije, dok su varijabilni troškovi proporcionalni količini proizvedene električne energije. I jedni i drugi određuju se iz troškovnih karakteristika elektrana, odnosno prema odgovarajućim jediničnim fiksnim i varijabilnim troškovima. Općenito vrijedi da su viši fiksni troškovi, što su niži varijabilni, i obrnuto (sl. 1.).

Osnovni problem je odrediti ukupni potrebni proizvodni, prijenosni i distributivni kapacitet u sustavu da bi se pokrile potrebe potrošača za snagom i energijom, odnosno optimalne konfiguracije tih kapaciteta da bi se te potrebe pokrile uz minimalne troškove. Kao podloga za analizu uzima se godišnji dijagram opterećenja, odnosno njemu odgovarajuća krivulja trajanja opterećenja (sl. 2.).

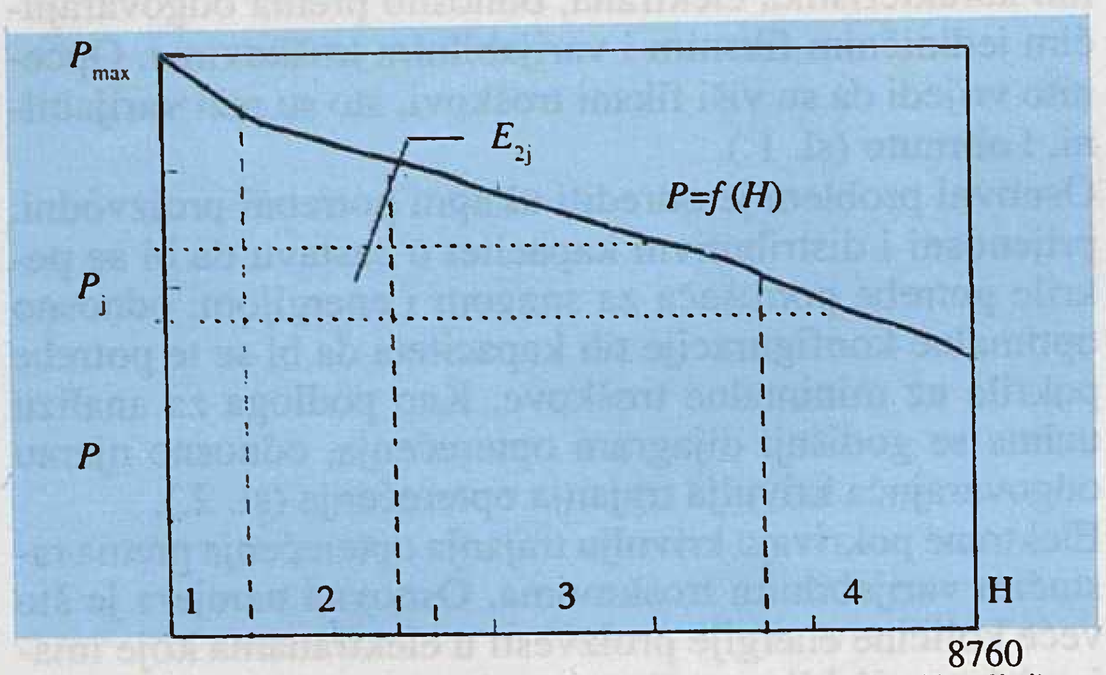
Elektrane pokrivaju krivulju trajanja opterećenja prema rastućim varijabilnim troškovima. Osnovna namjera je što veće količine energije proizvesti u elektranama koje imaju niske varijabilne troškove proizvodnje. To znači da bazne dijelove krivulje trajanja opterećenja pokrivaju elektrane s najnižim varijabilnim troškovima, koje su u pogonu najveći broj sati i proizvode velike količine energije. Fiksni su troškovi takvih elektrana u pravilu vrlo visoki. Isto tako, u razdobljima visokih, odnosno vršnih opterećenja sustava angažiraju se elektrane koje imaju najviše varijabilne troškove. One proizvode relativno male količine energije. Fiksni su troškovi takvih elektrana u pravilu niski.

Naravno, u realnim sustavima odnosi nisu uvijek tako jednostavni, čak kada se radi samo o tzv. "čistim termo-sustavima". Analize odnosa za sustave koje pored termoelektrana čine i hidroelektrane znatno su složenije. Naime, uz troškovne karakteristike hidroelektrana u analize se tada moraju uključiti i hidrološki uvjeti. Potreba za maksimalnim iskorištenjem vodnih potencijala može izmijeniti



Slika 1. Odnos jediničnih troškova elektrana

način rada termoelektrana, bilo da one pokrivaju bazne, prijelazne ili vršne dijelove krivulje trajanja opterećenja. Uzme li se u obzir izuzetno veliki broj mogućnosti i načina ostvarenja dotoka i stanja akumulacijskih bazena, očito je da se analiza mora pojednostavniti. A to pojednostavljenje je u sljedećem. Analiza se provedi za prosječno stanje, dakle prosječnu vjerojatnost ostvarenja hidroloških prilika. Naravno, to je opravdano budući da bi bilo nemoguće provoditi prilagodbe tarifnog sustava u kratkim vremenskim intervalima kako se mijenjaju hidrološki uvjeti. Česte promjene tarifnog sustava značile bi i njegovu potpunu netransparentnost. Konačno, za prosječne hidrološke uvjete hidroelektrane po snazi i mogućoj proizvodnji imaju mjesta i uloge u pokrivanju dijelova krivulje trajanja opterećenja koja su, slično kao i kod termoelektrana, određena troškovnim karakteristikama. U krajnjem slučaju, za prosječne hidrološke uvjete moguće je provesti iterativni postupak podešavanja troškovnih karakteristka elektrana da bi se ostvarilo optimalno pokrivanje svih troškova u sustavu.



Oznake:
1 - razdoblje vršnih opterećenja sustava
2 - razdoblje visokih opterećenja sustava
3 - razdoblje srednjih opterećenja sustava
4 - razdoblje niskih opterećenja sustava
P_j - snaga elektrane s indeksom j
E^j_{2j} - proizvodnja elektrane s indeksom j u razdoblju visokih opterećenja sustava

Slika 2. Krivulja trajanja opterećenja

Na sl. 2. vertikalne linije odjeljuju nizove sati u kojima su opterećenja i troškovi sustava slični. To dalje znači da se u odabranim područjima na jednostavan način može provesti alokacija proizvodnih troškova električne energije.

Snaga i energija koji se angažiraju tijekom razdoblja visokih i vršnih opterećenja sustava moraju biti znatno skuplji od snage i energije koji se angažiraju tijekom razdoblja srednjih i niskih opterećenja sustava, budući da se takvim angažiranjem izazivaju i znatno veći troškovi u sustavu. U tom smislu potrošačima se mora uputiti jasna poruka. Zbog toga je osnovna namjera polazeći od troškovnih karakteristika elektrana i načina njihova angažiranja doći do tarifnog sustava koji će, s jedne strane omogućiti efikasno pokrivanje izazvanih troškova u sustavu, a s druge strane upućivati poruke potrošačima kako da se ponašaju da bi doprinijeli jeftinom i racionalnom radu sustava i time smanjili troškove u sustavu, a dakako i svoje troškove za električnu energiju.

Analiza troškova polazi od "viška" ili "manjka" kapaciteta (snage) ili energije, te pretpostavke da višak ili manjak kapaciteta ili energije u jednom, npr. vršnom razdoblju ima utjecaja na višak kapaciteta ili energije, odnosno troškove u drugom, prijelaznom, odnosno baznom razdoblju opterećenja sustava. Za predmetnu analizu najvažnija je pretpostavka da način ponašanja potrošača direktno utječe na rad proizvodnih postrojenja i troškove u sustavu. Njome se osigurava poštivanje ekonomskog načela da se snose troškovi koji su i izazvani.

Općenito, izraz za ukupni trošak proizvodnog postrojenja glasi:

$$\vartheta = \Psi + \varepsilon^* E \qquad (1)$$

gdje je Ψ - fiksni trošak ili trošak kapaciteta određen na sljedeći način:

$$\Psi = \varphi^* P \qquad (2)$$

φ - jedinični trošak kapaciteta po godini
P - maksimalna snaga ili opterećenje elektrane u razdoblju
ε - varijabilni trošak, tj. jedinični trošak energije
E - proizvedena količina električne enegije.

Kako se rad proizvodnog postrojenja najčešće veže uz krivulju trajanja opterećenja i ulogu koju ono ima u pokrivanju dijelova krivulje trajanja opterećenja, korisno je ukupni trošak iskazati i u funkcijskoj vezi s vremenom korištenja vršnog opterećenja. Sati korištenja vršne snage određuju se kao omjer ukupne proizvedene energije i vršnog opterećenja elektrane u jednom te istom razdoblju. Dakle,

$$H = E/P_{max} \qquad (3)$$

gdje je P_{max} - maksimalno moguće opterećenje elektrane u sustavu.

Maksimalno moguće opterećenje elektrane u sustavu u nekom razdoblju može se uzeti konstantnim. U tom slučaju iz prethodnog izraza proizlazi da su sati korištenja opterećenja elektrane u direktnoj funkcijskoj ovisnosti o ukupno proizvedenoj količini električne energije u razdoblju koje se promatra. Naravno, radi se o pojednostavljenju budući da elektrane u sustav imaju različite tehničke i troškovne karakteristike. Navedena funkcijska ovisnost za svaku elektranu određena je i tim utjecajima, koji onda utječu i na uloge elektrane u sustavu. Međutim, zbog jednostavnije analize, pretpostavit će se da je uloga elektrane u sustavu u najvećoj mjeri unaprijed poznata i da se u kratkom vremenskom razdoblju vrlo malo mijenja, tj. može se uzeti zadanom. Radi ilustracije, za primjer se uzimaju tri najčešće korištena karakteristična tipa elektrana:

i) elektrana (B) - elektrana koja ima visoke fiksne i niske varijabilne troškove, tj. pokriva bazne dijelove krivulje trajanja opterećenja proizvodeći relativno velike količine energije uz približno konstantno opterećenje (tzv. bazna elektrana)
ii) elektrana (V) - elektrana koja ima niske fiksne troškove i visoke varijabilne troškove, tj. ostvaruje ekonimičan rad kada pokriva vršna ili visoka opterećenja sustava, dakle proizvodeći male količine energije uz visoka opterećenja (tzv. vršna elektrana)
iii) elektrana (P) - elektrana koja je po karakteristikama između dva navedena tipa, dakle ekonomično radi kada pokriva prijelazne dijelove krivulje trajanja opterećenja proizvodeći tijekom razdoblja prijelaznih opterećenja sustava (tzv. prijelazna elektrana).

U tablici 3. prikazani su ekonomski parametri, tj. jedinični varijabilni i jedinični fiksni troškovi ili troškovi kapaciteta i njihovi odnosi za tri navedene elektrane, koje imaju različite uloge u pokrivanju krivulje trajanja opterećenja sustava.

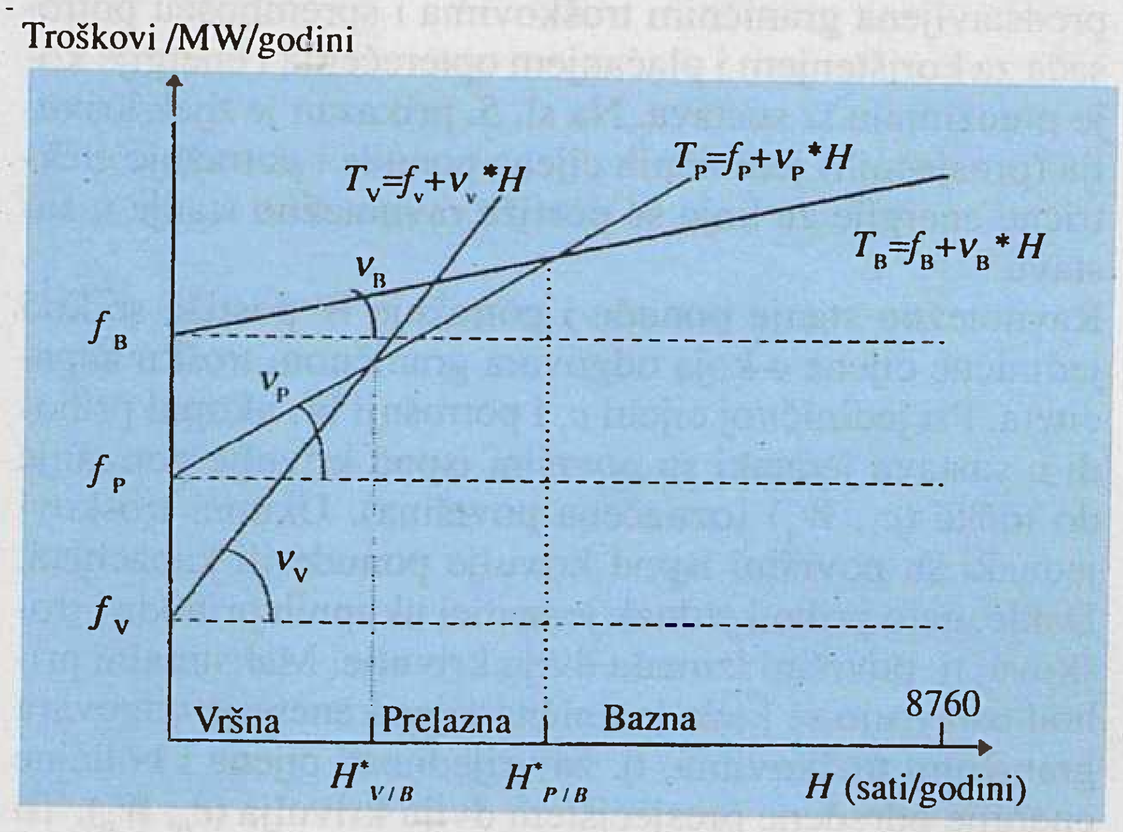
Tablica 3. Odnos jediničnih varijabilnih i fiksnih troškova elektrana B, P i V

	Elektrana B		Elektrana P		Elektrana V
Jedinični varijabilni trošak (kn/MWh)	v_B	<	v_P	<	v_V
Jedinični trošak kapaciteta (kn/MW/godini)	f_B	>	f_P	>	f_V

Osnovni problem je za svaku elektranu naći tijek funkcije ili funkcijsku vezu oblika $E = f(P_{max}, H)$, koja se zbog relacije (3) može napisati i u obliku $E = f(H)$. Funkcija $f(H)$ određuje se za svaku elektranu iz statističkih podataka o njezinom radu tijekom dužeg razdoblja. Osnovni je cilj utvrditi troškovne karakteristike elektrana u ovisnosti o njihovom tipu, tj. ulozi u pokrivanju krivulje trajanja opterećenja sustava i u ovisnosti o broju sati iskorištenja maksimalnog ili zadanog opterećenja. Dakle, traži se funkcija troškova oblika $T = g(H)$. Općenito ona glasi:

$$T = f + vH \tag{4}$$

gdje je f - jedinični trošak kapaciteta po godini



Slika 3. Opći oblik troškovnih karakteristika elektrana

v - varijabilni trošak ili jedinični trošak energije.
Do troškovnih karakteristika elektrana dolazi se odgovarajućom analizom energetsko-ekonomskih podataka. Na sl. 3. prikazani su primjeri troškovnih karakteristika elektrana iz prethodnog primjera. Apscisa predstavlja sate godišnjeg iskorištenja vršne snage elektrane, a ordinata ukupne godišnje troškove po MW kapaciteta. Troškovne karakteristike predstavljene su pravcima čiji fiksni članovi odgovaraju fiksnim troškovima, a koeficijenti smjera varijabilnim troškovima. Granična vremena korištenja određena su točkama u kojima se sijeku troškovni pravci (točke $H^*_{V/P}$ i $H^*_{P/B}$) i predstavljaju granične iznose sati iskorištenja vršnog opterećenja ili snage po godini za optimalno angažiranje elektrana.

Presječna mjesta troškovnih pravaca T_V, T_P i T_B jesu:

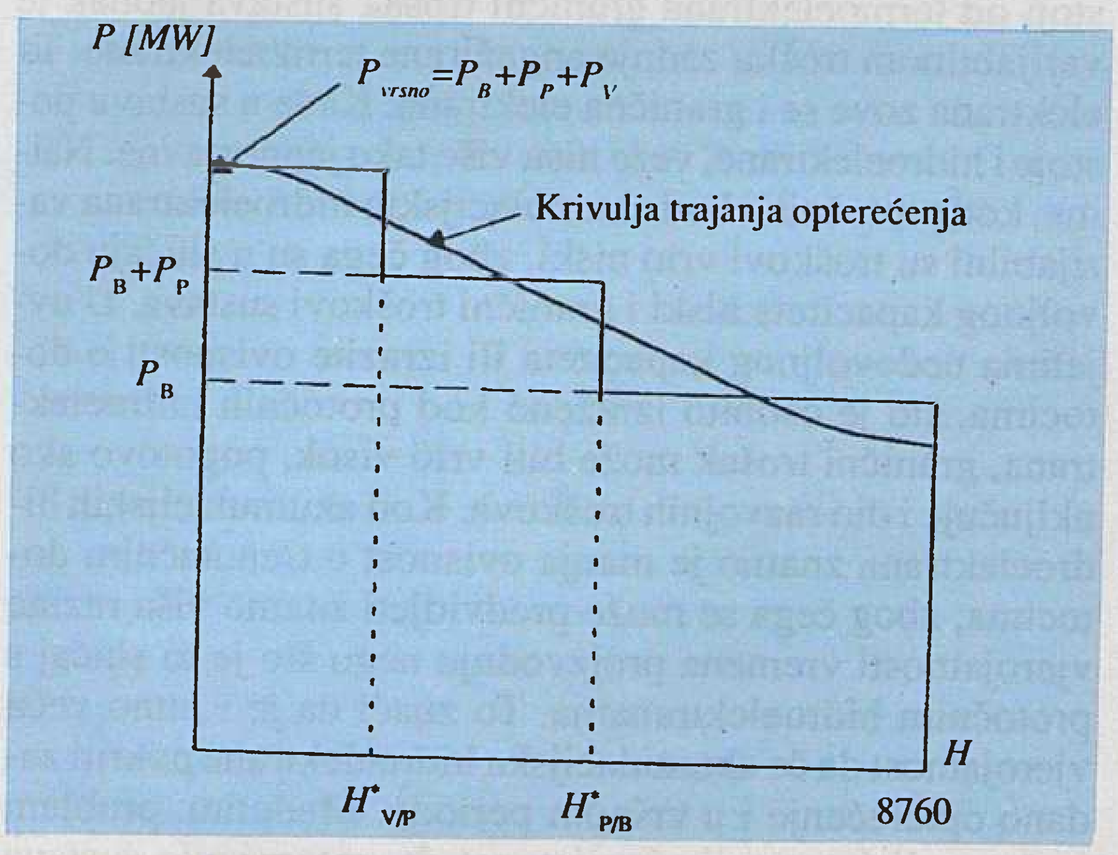
$$H^*_{V/P};\ T_V = T_P \Rightarrow f_v + v_V H^*_{V/P} = f_P + v_P H^*_{V/P} \Rightarrow$$
$$H^*_{V/P} = (f_P - f_V)/(v_V - v_P) \tag{5}$$

$$H^*_{B/P};\ T_P = T_B \Rightarrow f_P + v_P H^*_{P/B} = f_B + v_B H^*_{P/B} \Rightarrow$$
$$H^*_{P/B} = (f_B - f_P)/(v_P - v_B) \tag{6}$$

Općenito, za sustav koji čini više elektrana od koji svaka ima svoju troškovnu karakteristiku (pravac) presječna mjesta pravaca bit će određena izrazom

$$H^*_{n/n+1};\ T_n = T_{n+1} \Rightarrow f_n + v_n H^*_{n/n+1} = f_{n+1} + v_n H^*_{n/n+1} \Rightarrow$$
$$H^*_{n/n+1} = (f_{n+1} - f_n)/(v_n - v_{n+1}) \tag{7}$$

Pri tome se pretpostavlja da su uvijek ispunjeni uvjeti $f_{n+1} > f_n$, odnosno $v_n > v_{n+1}$. Matematički je jednostavno dokazati da se granična vremena korištenja mogu izračunati i kao omjer pozitivnih vrijednosti prirasta (padova) odgovarajućih jediničnih troškova kapaciteta i energije.
Neka su npr. za pokriće dijela opterećenja sustava na raspolaganju dva postrojenja istog instaliranog kapaciteta, s tim da je postrojenje n=V namijenjeno za vršni, a postrojenje $n+1$=B za bazni pogon. Ako je broj sati iskorištenja ili trajanja dijela opterećenja sustava kojeg treba pokriti manji od graničnog broja sati iskorištenja $H^*_{n=V/n+1=B}$, tada se u sustavu izazivaju manji troškovi ako se angažira postrojenje za vršni pogon. Međutim, ako je broj sati iskorištenja toga dijela opterećenja veći od graničnog broja sati iskorištenja $H^*_{n=V/n+1=B}$, tada se u sustavu izazivaju manji troškovi ako se angažira postrojenje za bazni pogon.
Pri pokrivanju potreba za električnom energijom po dijagramu opterećenja nastoji se ostvariti što veća porizvodnja u postrojenjima koja jedinicu energije proizvode uz najniže varijabilne troškove, što predstavlja osnovni preduvjet optimalnog vođenja sustava ili tipični kratkoročni problem. Kada bi se radilo o potrebi da se odredi cijena za krajnjeg potrošača, tako postavljen problem ne bi bio dovoljan. Naime, uz njega bi se morao rješavati i tipičan dugoročni problem, tj. problem doprinosa ukupnim troškovima sustava troškova izgradnje novih postrojenja ili objekata i njihova raspodjela potrošačima. A to se može uz određena pojednostavljenja relativno lako učiniti preko odgovarajućih troškovnih karakteristika potrošača, odnosno grupa i kategorija potrošača.



Slika 4. Optimalno pokrivanje krivulje trajanja opterećenja

Iz ranijih razmatranja slijedi da su trajanja razdoblja opterećenja određena samo odnosom odgovarajućih ekonomskih ili troškovnih parametara postrojenja. Ako se zbog

jednostavnosti zanemare problemi nesigurnosti planiranja i gubitaka opterećenja u sustavu, te ako se dijagram opterećenja predstavi odgovarajućom krivuljom trajanja opterećenja, tada se način rada triju elektrana (B, V i P) iz ranijeg primjera, čija su opterećenja P_B, P_P i P_V, može prikazati kao na sl. 4.

Za to određeno stanje sustava ukupni troškovi jednaki su sumi fiksnih i varijabilnih troškova koje su izazvale elektrane u sustavu pokrivajući zadanu krivulju trajanja opterećenja, tj. prema angažiranom opterećenju i trajanju tog opterećenja. Ukupni troškovi sustava iznose:

$$\Gamma = f_B * P_B + v_B * 8760 * P_B + f_P * P_P + v_P * H^*_{p/B} * P_P + f_V * P_V + v_V * H^*_{V/P} * P_V \qquad (8)$$

U predmetnim analizama pretpostavlja se da se fiksni troškovi elektrana ne mijenjaju s proizvodnjom, što je, gledano kratkoročno, najčešće i ispunjeno u sustavu u kojem postoji dovoljan kapacitet za određenu razinu potražnje. Granični trošak u tom slučaju odgovara varijabilnom trošku, što se može vidjeti ako se prirast troškova podijeli s porastom sati korištenja

$$\frac{\Delta T}{\Delta H} = \frac{f + v(H+\Delta H) - (f+vH)}{\Delta H} = \frac{\Delta H}{\Delta H}\, v = v \qquad (9)$$

Naravno, isto vrijedi ako se prirast troškova prema izrazu (1) podijeli s porastom proizvodnje. Međutim, gledano dugoročno, kada se mijenja kapacitet proizvodnih postrojenja sustava u odnosu na proizvodnju, te mjesto i uloga elektrana u pokrivanju opterećenja sustava, ili općenito kada se pretpostavi ovisnost fiksnih troškova o opsegu proizvodnje, dakle funkcionalna ovisnost oblika $f = \xi(H)$, granični trošak dobiva novi oblik

$$\frac{dT}{dH} = \frac{df}{dH} + v\frac{dH}{dH} = \frac{df}{dH} + v \qquad (10)$$

Tako određen granični trošak predstavlja dugoročni granični trošak. Član df / dH u izrazu (10) predstavlja dodatne troškove kapaciteta, ili gledano dugoročno troškove razvoja.

Budući da se elektrane u sustavu u pravilu angažiraju prema rastućim varijabilnim troškovima, u sustavu koji se sastoji od termoelektrana granični trošak sustava jednak je varijabilnom trošku zadnje angažirane termoelektrane. Ta elektrana zove se i granična elektrana. Kada u sustavu postoje i hidroelektrane, veze nisu više tako jednostavne. Naime, kod protočnih i kod akumulacijskih hidroelektrana varijabilni su troškovi vrlo niski, zbog čega su u slučaju dovoljnog kapaciteta niski i granični troškovi sustava. U uvjetima nedovoljnog kapaciteta ili izrazite ovisnosti o dotocima, što je osobito izraženo kod protočnih hidroelektrana, granični trošak može biti vrlo visok, pogotovo ako uključuje i dio razvojnih troškova. Kod akumulacijskih hidroelektrana znatno je manja ovisnost o trenutačnim dotocima, zbog čega se može predvidjeti znatno viša razina vjerojatnosti vremena proizvodnje nego što je to slučaj s protočnim hidroelektranama. To znači da je i puno veća vjerojatnost da će akumulacijska hidroelektrana pokriti zadano opterećenje i u vršnom periodu. Međutim, problem je što uvijek postoji vjerojatnost da opterećenje sustava prijeđe određenu razinu kapaciteta izvora, zbog čega u pogon mora ući i termoelektrana s vrlo visokim varijabilnim troškovima proizvodnje. Na kraju može se reći da postoji vrlo visoka vjerojatnost i da je opravdano graničnim troškom u sustavu uzeti troškove termoelektrane koja je zadnja ušla u pogon ili koja je raspoloživa na listi za start i preuzimanje opterećenja. To vrijedi i za dodatno opterećenje i proizvodnju izazvanu potrebom osiguranja dodatnog regulacionog kapaciteta ili kapaciteta u pripravnosti za pogon da bi se postigla tražena razina pouzdanosti i raspoloživosti sustava.

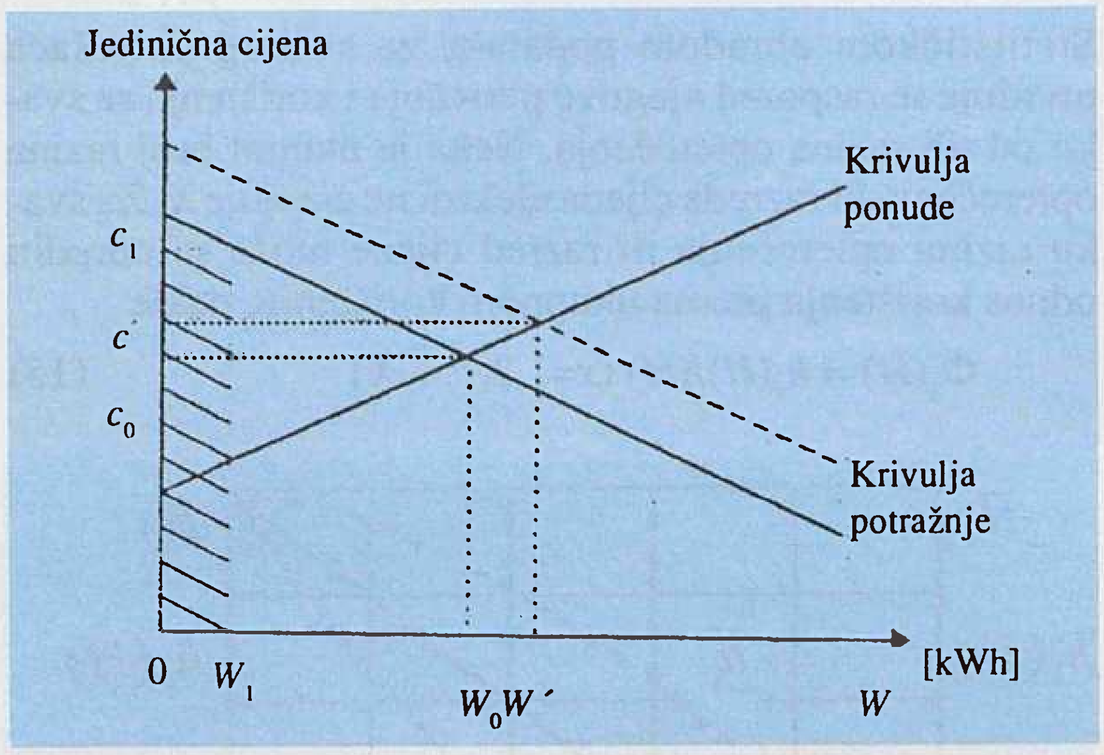
Da bi se došlo do troškova ili raspodjele troškova u točkama napajanja, tj. za potrošače, potrebno je troškovima proizvodnih postrojenja pribrojiti i odgovarajuće pogonske troškove prijenosne i distributivne mreže i troškove gubitaka snage i energije u njima. Međutim, kako se radi o znatno nižim troškovima koji su dominantno troškovi kapaciteta, dakle fiksni, moguće je znatno pojednostavljenje. U prvom redu nema potrebe da ih se raspoređuje na način kako je to učinjeno kod elektrana, dakle pristupom preko graničnih troškova. Osim toga, kada se utvrđuju troškovi i cijene manjka snage i energije u točkama napajanja i kod potrošača, moguće je u tim troškovima i cijenama utvrditi i doprinos od prijenosne i distributivne mreže, i to za slučajeve i uvjete kada su one izazvale navedene manjkove.

4. TROŠKOVI U TOČKAMA NAPAJANJA I KOD POTROŠAČA

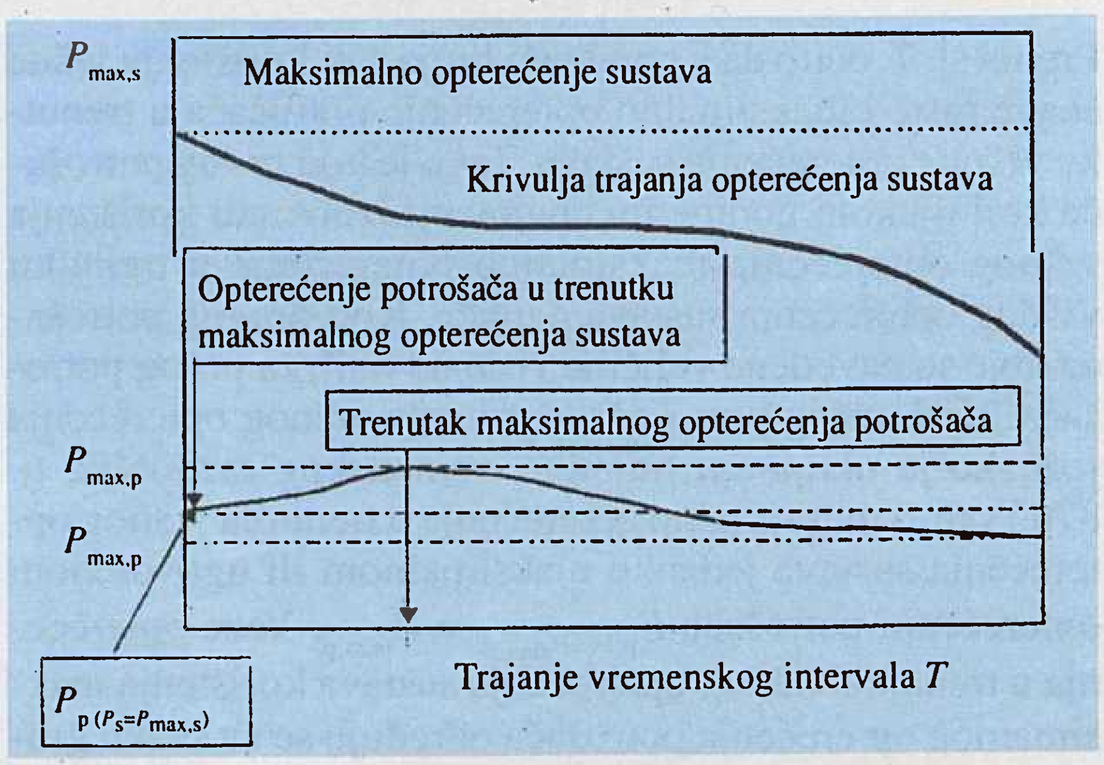
Troškovne odnose u točkama napajanja i kod potrošača određuju odnosi ponude i potražnje električne energije, odnosno troškovi i cijene za ravnotežna stanja kapaciteta predstavljena graničnim troškovima i spremnošću potrošača za korištenjem i plaćanjem opterećenja i energije koje preuzimaju iz sustava. Na sl. 5. prikazan je tijek krivulja (prosječnih) jediničnih cijena ponude i potražnje električne energije za koje se postiže ravnotežno stanje u sustavu.

Ravnotežno stanje ponude i potražnje W postiže se kod jedinične cijene c koja odgovara graničnom trošku kapaciteta. Pri jediničnoj cijeni c_1 i potrošnji W_1 ukupni prihodi u sustavu jednaki su površini ispod krivulje potražnje do točke (c_1, W_1) (označena površina). Ukupni troškovi jednaki su površini ispod krivulje ponude ili kapaciteta. Dakle, neto prihod jednak je razlici ukupnih prihoda i troškova, tj. površini između dviju krivulje. Maksimalni prihod ostavruje se kada jedinična cijena energije odgovara graničnim troškovima, tj. za vrijednosti cijene i količine energije određene presjecištem dviju krivulja (c_0, W_0). To je ujedno i optimalno stanje odnosa ponude i potražnje. Za neku povećanu količinu energije W' ravnotežno stanje kapaciteta postiže se za povećanu jediničnu cijenu c'. U kratkoročnom smislu to je cijena povećane potražnje energije i dodatne proizvodnje, a u dugoročnom izgradnje dodatnih kapaciteta. Navedeni pristup daje dobru sliku odnosa u sustavu za prosječne jedinične cijene i granične troškove, ali kada se radi o raspodjeli troškova potrošačima, potrebno je u analize uključiti i karakteristike potrošača koje dominantno određuju mjesto i ulogu svakog potrošača u sustavu i njihov udio u troškovima sustava.

Osnovni pristup troškovima vezanim za dodatnu snagu i energiju iz proizvodnih postrojenja sustava uvjetuje i pristup određivanju troškova u točkama napajanja, odnosno kod potrošača koji se u tim točkama napajaju. Pritom će se uzeti da je sustav troškova i nadoknade troškova u slu-



Slika 5. Krivulje jediničnih troškova za ravnotežu ponude i potražnje električne energije



Slika 6. Opterećenje potrošača u krivulji trajanja opterećenja sustava

čajevima manjkova snage i energije poznat, tj. da se nedostajuća jedinica snage i energije valorizira i plaća u fiksnim iznosima. Time za razradu ostaje utvrđivanje troškova i njihova raspodjela potrošačima, poštujući načela da ti troškovi trebaju odražavati prilike u proizvodnom dijelu sustava koje su izazvane načinom preuzimanja opterećenja i energije. To znači da se i u ovom slučaju polazi od troškovnih karakteristika i graničnih troškova, samo sada gledano sa strane potrošnje.

Svaki potrošač sudjeluje u nastanku troškova u dva elementa: fiksnim troškovima kapaciteta i varijabilnim troškovima potrošene enegije. I kod potrošača se poštuje troškovna struktura kojoj je svojstveno da s porastom jediničnog troškovnog opterećenja kapaciteta jedinično troškovno opterećenje energije pada, i obrnuto. Usporede li se vremena korištenja opterećenja u točkama napajanja ili kod potrošača i proizvodnih postrojenja, u krajnjem slučaju i vrlo općenito može se reći da tzv. bazna postrojenja rade za potrošače koji imaju visoka korištenja vršnog opterećenja, a tzv. vršna postrojenja za potrošače s niskim korištenjem vršnog opterećenja.

U krivulji trajanja opterećenja sustava za neko razdoblje doprinos svakog potrošača utvrđuje se po tri osnovna elementa: ostvarenom maksimalnom opterećenju, ostvarenom opterećenju tijekom perioda maksimalnog opterećenja sustava i ukupnoj potrošnji električne energije (sl. 6.).

Udio opterećenja potrošača u vršnom ili maksimalnom opterećenju sustava, a time i stalnim troškovima sustava, određuje snaga ili opterećenje angažirano u trenutku maksimalnog opterećenja sustava. Na prikazanoj krivulji trajanja opterećenja maksimalno opterećenje sustava označeno je sa $P_{max,s}$, a maksimalno opterećenje potrošača u trenutku maksimalnog opterećenja sustava sa $P_{p(Ps=Pmax,s)}$. Ako su ukupni fiksni troškovi sustava FT_S, tada jedinični troškovi MW opterećenja u trenutku vršnog opterećenja sustava iznose:

$$\Psi = \frac{FT_S}{P_{max,S}} \qquad (11)$$

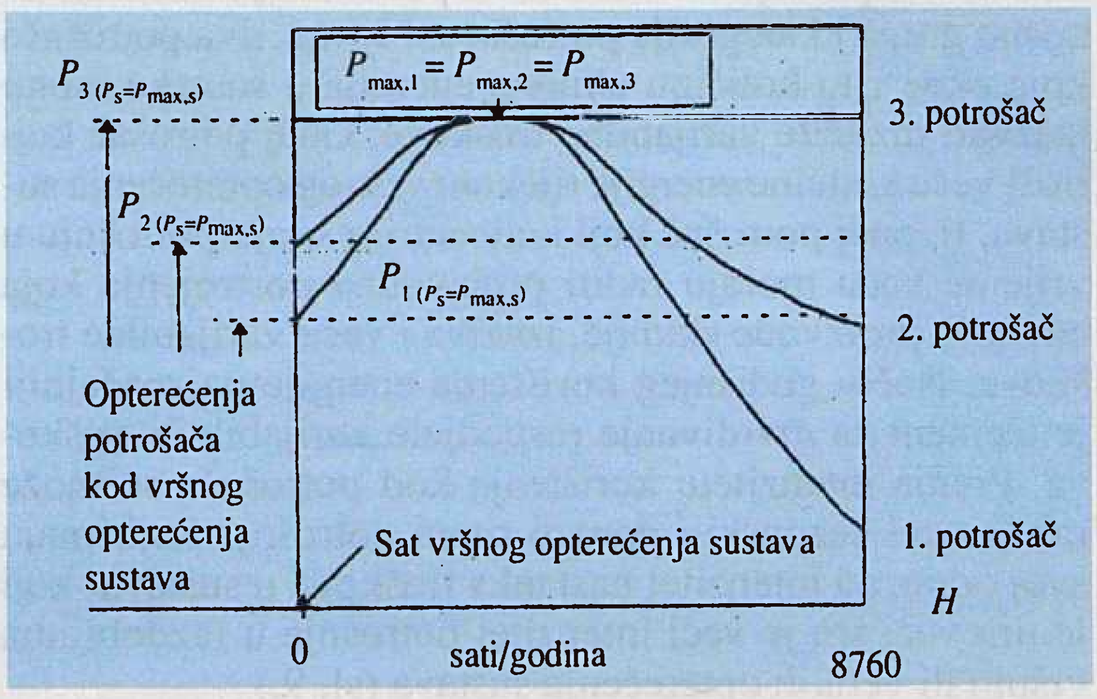
Nakon toga izračuna se iznos fiksnih troškova koji pripadaju potrošaču. Dakle,

$$FT_p = \Psi * P_{p(P_S=P_{max,s})} \qquad (12)$$

Osnovni je problem upravo u tome što u slučajevima kada nema odgovarajućih mjernih i registracijskih instrumenata nije tako lako utvrditi maksimalno opterećenje potrošača u trenutku maksimalnog opterećenja sustava. Rješavanje toga problema olakšava se uvođenjem parametra korelacije između načina korištenja i opterećenja potrošača u trenutku vršnog opterećenja sustava. Kao i kod proizvodnih postrojenja način korištenja iskazuje se brojem sati korištenja maksimalnog opterećenja, dakle odnosom ukupne enegije koju je potrošač preuzeo iz mreže i njegovog maksimalno ostvarenog ili ugovorenog opterećenja u određenom razdoblju koje se promatra. Dakle,

$$H_p = \frac{W_p}{P_{max,p}} \qquad (13)$$

Korelacijska veza načina korištenja i opterećenja u trenutku vršnog opterećenja sustava utvrđuje se iz statističkih podataka za grupe ili kategorije potrošača sličnih karakteristika opterećenja i potrošnji električne energije. Na sl. 7. prikazane su korelacije između korištenja i opterećenja potrošača u trenutku vršnog opterećenja sustava za tri potrošača jednakih maksimalnih (ugovorenih) opterećenja, a različitih potrošnji energije.

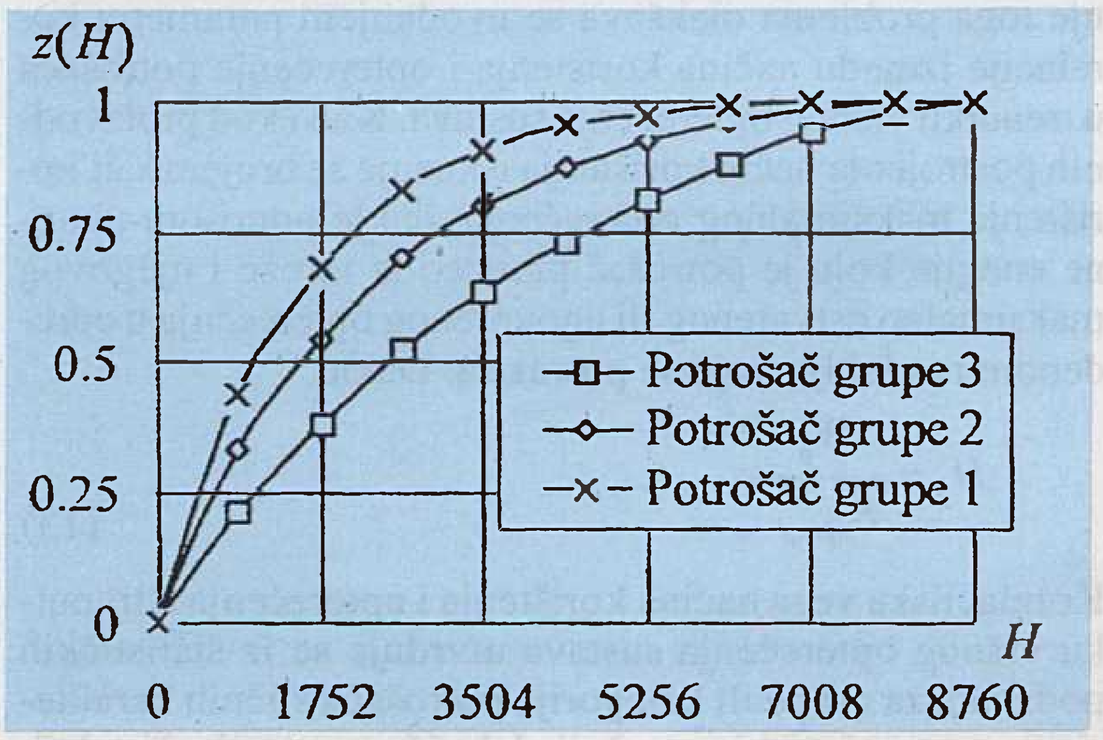


Slika 7. Korelacija sati korištenja i opterećenja potrošača u trenutku vršnog opterećenja sustava

U osnovi potrebno je utvrditi funkcijsku vezu oblika $P_{p(Ps=Pmax,s)} = f(P_{max,p}, H)$. Budući da je odnos $P_{max,p}$ i H određen izrazom (13), navedena funkcijska veza može se napisati i u obliku

$$P_{p(P_S=P_{max,s})} * z(H) \qquad (14)$$

Prema sl. 7. očito da s porastom broja sati korištenja vršne snage raste i maksimalno opterećenje potrošača u trenutku vršnog opterećenja sustava. Tako je kod prvog potrošača koji tijekom godine ima najmanji iznos sati korištenja vršnog opterećenja maksimalno opterećenje u trenutku vršnog opterećenja sustava najniže. Kod drugog potrošača obje su navedene veličine veće od onih za prvog potrošača. Kod trećeg potrošača korištenje vršnog opterećenja jednako je ukupnom trajanju vremenskog razdoblja, tj. 8760 sati, a maksimalno opterećenje u trenutku vršnog opterećenja sustava jedanko maksimalnom ili ugovorenom opterećenju potrošača $P_{p(P_S=P_{max,S})} = P_{max,p}$. Veze opterećenja u trenutku vršnog opterećenja sustava korištenja maksimalnog opterećenja potrošača određuju se za svaku grupu i kategoriju potrošača. Na sl. 8. prikazani su primjeri funkcijskih zavisnosti $z(H)$ i H, tj. tijeka funkcije ovisnosti korištenja 1 MW maksimalnog opterećenja o korištenju vršnog opterećenja za različite grupe potrošača. Vrijednosti funkcije $z(H)$ kreću se u intervalu 0 do 1.

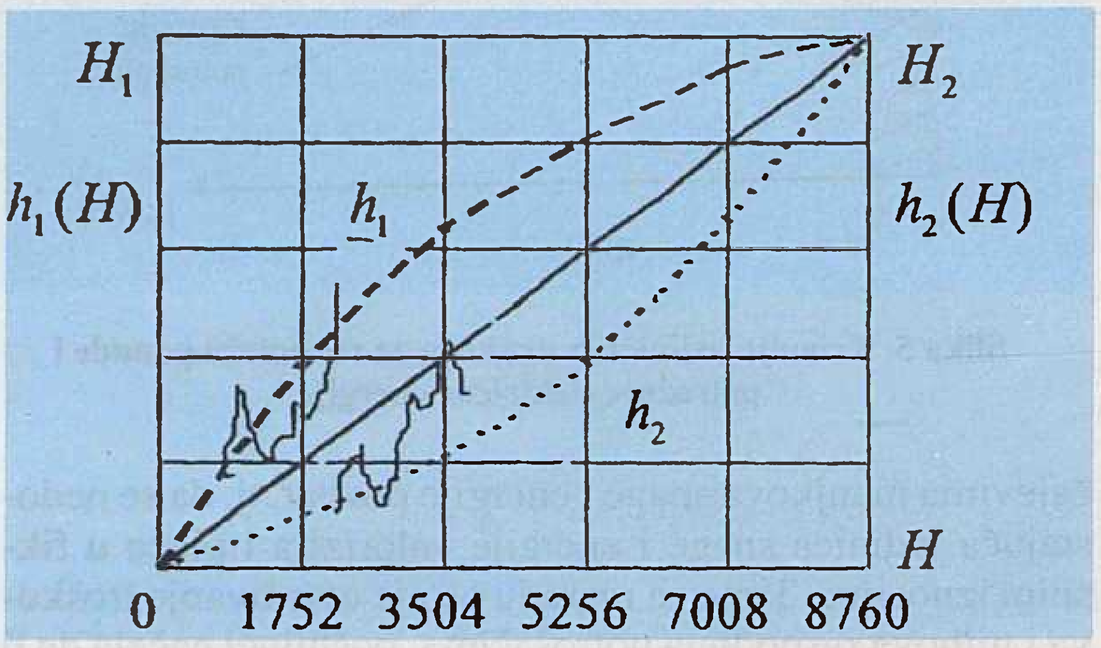


Slika 8. Tijek funkcije z(H) u ovisnosti o godišnjem broju sati iskorištenja maksimalnog opterećenja

Na sličan način i analiza osnova za raspodjelu varijabilnih troškova započinje od statističkih podataka potrošača, odnosno grupa i kategorija potrošača. Naime, dva potrošača koja troše istu količinu ukupne energije u sustavu mogu izazvati različite varijabilne troškove. Onaj potrošač koji troši veće količine energije tijekom vršnog opterećenja sustava, tj. onaj potrošač koji koncentrira svoju potrošnju u vrijeme kada moraju raditi proizvodna postrojenja koja energiju proizvode skuplje, izaziva i veće varijabilne troškove. Način godišnjeg korištenja energije najznačajniji je element za utvrđivanje raspodjele varijabilnih troškova. Prema intenzitetu korištenja kod potrošača se može razlikovati sezonski i dnevni ritam potrošnje koji imaju svoj odraz na intenzitet nastanka troškova u sustavu, koji je tim veći što je veći intenzitet potrošnje u razdobljima vršnih ili velikih opterećenja sustava (sl. 9.)
Krivulje na sl. 9. samo su aproksimacija skokovitih krivulja koje se dobiju za svakog potrošača, odnosno grupu ili kategoriju potrošnje iz njihovih statističkih podataka. Vrijednosti H_1 i H_2 predstavljaju ukupna vremena trajanja razdoblja visokih i niskih opterećenja sustava. Važno je uočiti i razliku u zakrivljenosti krivulja u odnosu na dijagonalu dijagrama, tj. pravac koji prolazi točkama (H=0;0) i (H=8760;$H1$), odnosno (H=8760;H_2). Slična analiza može se provesti za više različitih razina opterećenja sustava.

Statitstičkom obradom podataka za svakog potrošača utvrđuje se raspored njegove potrošnje i korištenja za svaku od tih razina opterećenja. Neka je ukupni broj razina opterećenja ili razreda cijena električne energije X. Za svaku razinu opterećenja ili razred cijene može se odrediti odnos korištenja prema ukupnom korištenju, dakle

$$\Phi_x(H) = h_x(H)/(H) \ (x=1,2,\ldots,X) \qquad (15)$$



Slika 9. Opći oblik aproksimiranih krivulja korištenja u periodu visokih (h_1) i niskih opterećenja (h_2) sustava

Ti odnosi predstavljaju postotak ili udio od ukupne potrošnje koji pripada razredu x. Ako prosječni troškovi energije, tj. cijena energije razreda x iznose c_x, tada prosječni troškovi energije koje izaziva potrošač u sustavu iznose

$$\Theta(H) = \sum_{x=1}^{x} c_x \Phi_x(H) \qquad (16)$$

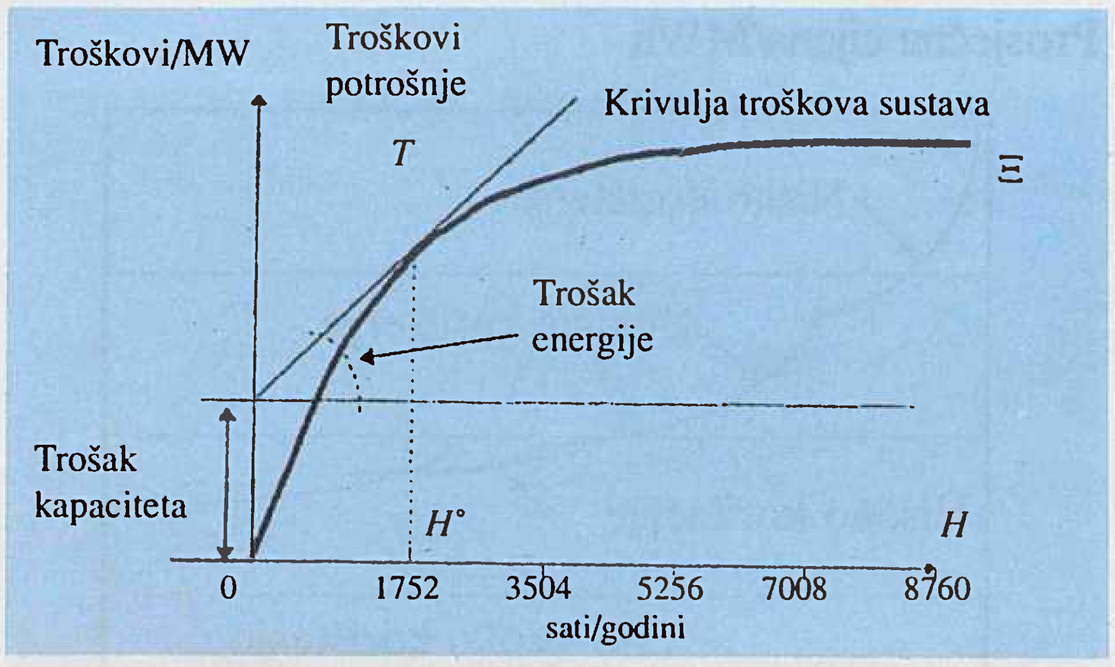
Drugim riječima, troškovi energije potrošača koji ima korištenje H dobiju se sumiranjem težinskih vrijednosti cijena energije po razredima, tj. c_x, pri čemu su težinski faktori odnosi korištenja u razredu cijene prema ukupnom korištenju, tj. $\Phi_x(H)$.
Nakon što su određeni fiksni i varijabilni troškovi potrošača, potrebno je odrediti i njegove ukupne troškove. Ukupni troškovi potrošača dobiju se sumiranjem ranije izračunatih odgovarajužih troškova kapaciteta ili fiksnih troškova i troškova energije ili varijabilnih troškova. Dakle,

$$\Xi(H)=\omega\, z(H)+\Theta(H)H \qquad (17)$$

Ukupni troškovi potrošača, odnosno grupe ili kategorije potrošnje tek su osnova za utvrđivanje strukture odnosa cijena koje plaćaju potrošači ovisno o karakteristikama i načinu ponašanja u trošenju električne energije. Ako se troškovi koji su izračunati na način kako je to ranije opisano promatraju u funkciji vremena iskorištenja vršnog opterećenja, tada se oni mogu prikazati krivuljom oblika kao na sl. 10.
Općeniti oblik strukture troškova dade se predstaviti sljedećim izrazom:

$$T(H) = Q + eH \qquad (18)$$

gdje je Q - doprinos ili udio troškova kapaciteta
eH - doprinos ili udio troškova energije
e - jedinični trošak ili cijena energije ovisno o vremenu iskorištenja vršnog opterećenja
H - vrijeme korištenja vršnog opterećenja.



Slika 10. Krivulja troškova u ovisnosti o vremenu korištenja

Navedeni izraz predstavlja pravac koji ordinatu siječe na visini troškova kapaciteta. Nagib ili koeficijent smjera toga pravca koji je ujedno i tangenta krivulje troškova određen je jediničnim troškom ili cijenom energije e, a sam pravac raste linearno s porastom vremena korištenja vršnog opterećenja H. Parametri pravca ujedno su i osnovni parametri strukture troškova koja se zapravo na taj način i postavlja. Naime, za odabranu vrijednost vremena korištenja $H°$ traži se pravac koji krivulju troškova dodiruje upravo u toj točki i ujedno je tangenta te krivulje. Pri određivanju parametara pravca polazi se od dva osnovna uvjeta, koja su oba vezana za vrijeme korištenja kapaciteta. Prvi je uvjet da za odabrano korištenje ukupni izazvani troškovi moraju odgovarati ostvarenim prihodima, tj.

$$T(H°) = \Xi\,(H°) \tag{19}$$

Drugi uvjet određen je zahtjevom da razlika izazvanih troškova i cijene koja se plaća u okolici navedenog odabranog vremena korištenja $H°$ mora biti što je moguće manja, odnosno minimalna. U matematičkom smislu taj je zahtjev jednostavno ispuniti time što se za odabranu vrijednost korištenja derivacija cijene, tj. koeficijent smjera odgovarajućeg pravca izjednači s derivacijom troškovne funkcije. Dakle,

$$T'\,(H°) = \Xi\,(H°) \tag{20}$$

gdje je $T'\,(H°) = e$

$$\Xi'\,(H°) = \omega z'(H°) + \Theta'(H°)\,H° + \Theta(H°) \tag{21}$$

Konačno se dobije skup jednadžbi sljedećeg oblika:

$$T(H°) = \Xi(H°) \Rightarrow Q + eH° = \omega z(H°) + \Theta(H°)H° \tag{22}$$

$$T'(H°) = \Xi'(H°) \Rightarrow e = \omega z'(H°) + \Theta'(H°)H° + \Theta(H°) \tag{23}$$

Druga jednadžba očito predstavlja jedinični trošak ili troškovno opterećenje jedinice energije, a kao derivacija troškova za odabrano vrijeme korištenja, tj. po definiciji i marginalne troškove. Može se reći da marginalni troškovi predstavljaju koeficijent smjera tangente na funkciju troškova koja je jednaka derivaciji te iste funkcije u odabranoj točki. Prema sl. 10. očito je da je vrijednost derivacije, a time i troškovno opterećenje jedinice energije ovisno o korištenju vršnog kapaciteta. To znači da je za svaku vrijednost vremena korištenja ili za pojedine intervale vremena korištenja nužno odrediti jedinična troškovna opterećenja energije.

Jedinični troškovi energije po definiciji pokrivaju troškove energije, ali kao marginalni troškovi i dio troškova kapaciteta, i to onaj njihov dio koji kao maginalni doprinos sudjeluje u vršnom opterećenju sustava. S porastom korištenja smanjuje se doprinos marginalnih troškova budući da i porast godišnjih troškova potrošača s porastom korištenja postaje sve manji.

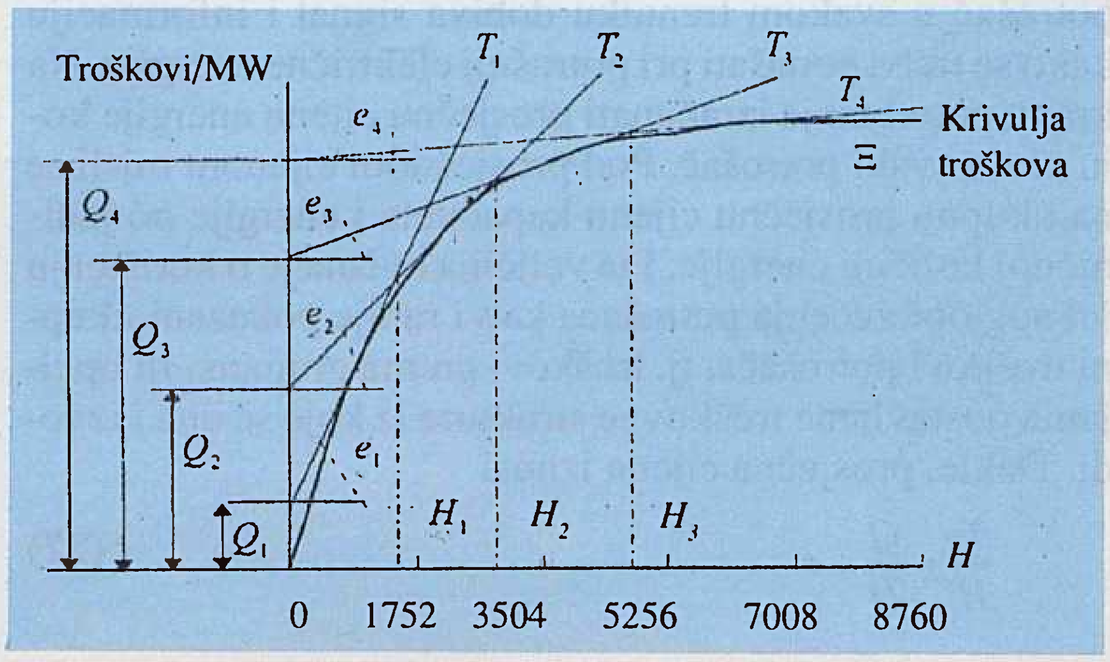
Iz prve jednadžbe sustava potrebno je odrediti troškovni doprinos jediničnog kapaciteta i njegovo tarifno opterećenje u strukturi cijene da bi se kasnije prema toj vrijednosti utvrdila i raspodjela troškovnih opterećenja među potrošačima. Da bio se to učinilo, iz druge jednadžbe u prvu se uvrštava dobiveno rješenje varijable e:

$$Q + [\omega z'(H°) + \Theta'(H°)H° + \Theta(H°)]H = \omega z(H°) + \Theta(H°)H° \tag{24}$$

Rješenje se dobije tako da se jednadžba sredi po varijabli Q.

$$Q = \omega[z(H°) - z'(H°)H°] - \Theta'(H°)H°^2 \tag{25}$$

Geometrijska interpretacija troškovnog opterećenja kapaciteta jest da je ono jednako visini odsječka ordinatne osi između nul-točke (H=0) i sjecišta troškovnog pravca potrošača s ordinatnom osi ($T(H$=0). Taj trošak neovisan je o potrošnji potrošača i može utjecati samo na odluku potrošača da uđe u pogon ili iziđe iz pogona, te ga se na određeni način može zvati pristupnim troškom. U svezi s tim interesantni su potrošači čija su korištenja vrlo niska. Kod njih se može detaljnije analizirati problem uvjeta davanja napajanja. Međutim, taj trošak ima i jednu dodatnu ulogu. Naime, tim troškom ispravlja se "nedostatak" jediničnog troška energije ili čistog marginalnog troška po kojem potrošači ravnajući se isključivo po marginalnim načelima nastoje smanjiti troškove promjenom svojih karakteristika. Time ne samo da troškovno opterećenje sličnih potrošača postaje vrlo različito, nego se izaziva i neravnoteža na prihodovnoj strani. Ta neravnoteža prihoda posljedica je principa da čisti marginalni trošak ima za posljedicu prosječne troškove koji su padajuća funkcija količine. Kako je već pokazano, funkciju prosječnih godišnjih troškova potrošača karakterizira sve sporiji prirast, pa bi i prosječni trošak potrošača imao obilježja padajuće funkcije. To kod potrošača izaziva potrebu da što većom potrošnjom i iskorištenjem smanje troškove bez obzira na mogućnosti sustava koji ima interesa smanjivati proizvodnju. Upravo troškovima kapaciteta Q uravnotežuje se strana prihoda jer potrošači tim novim elementom gube razlog da mijenjaju karakteristike prema promjenama marginalnih troškova.



Slika 11. Izbor troškovnih grupa ili opcija

Prethodno je rješavan slučaj strukture troškova za jednu odabranu vrijednost korištenja vršnog opterećenja. Praktički bi bilo neizvedivo da se slična procedura ponavlja za svakog potrošača i sve moguće načine njegova rada. Zbog toga se dalje traži postupak koji još uvijek osigurava da troškovi snage i energije odgovaraju troškovima koji su izazvani, ali koji je uz to jednostavan za primjenu i efikasan. Osnovu mu čini odabir nekoliko pogodnih troškovnih grupa ili razreda različitih načina korištenja snage i energije. Oni se nude potrošačima da ih kao moguće opcije biraju prema svojim karakteristikama, upućujući ih kako da raspoređujući korištenje snage i energije smanjuju troškove napajanja (sl. 11.). Koristi za sustav proizlaze iz povoljnijeg rasporeda kapaciteta i proizvodnje sustava uz niže ukupne troškove, a potrošač dobiva jeftiniju i sigurniju opskrbu električnom energijom.

Granična vremena korištenja između troškovnih grupa ili opcija $H_1, H_2, \ldots, H_n$ određuju se kao presječna mjesta pravaca $T_1, T_2, \ldots, T_n$. Sustav ima sljedeći oblik:

$$\begin{aligned}
&\text{1. granica - } H_1{:}\,T_1=T_2 \Rightarrow Q_1+e_1H_1=Q_2+e_2H_1 \Rightarrow \\
&\qquad H_1=(Q_2-Q_1)/(e_1-e_2) \\
&\text{2. granica - } H_2{:}\,T_2=T_3 \Rightarrow Q_2+e_2H_2=Q_3+e_3H_2 \Rightarrow \\
&\qquad H_2=(Q_3-Q_2)/(e_2-e_3) \\
&\text{3. granica - } H_3{:}\,T_3=T_4 \Rightarrow Q_3+e_3H_3=Q_4+e_4H_3 \Rightarrow \\
&\qquad H_3=-(Q_4-Q_3)/(e_3-e_4) \qquad (26) \\
&\ldots\ldots \\
&\text{n. granica - } H_n{:}\,T_n=T_{n+1} \Rightarrow Q_n+e_nH_n=Q_{n+1}+e_{n+1}H_n \Rightarrow \\
&\qquad H_n=(Q_{n+1}-Q_n)/(e_n-e_{n+1})
\end{aligned}$$

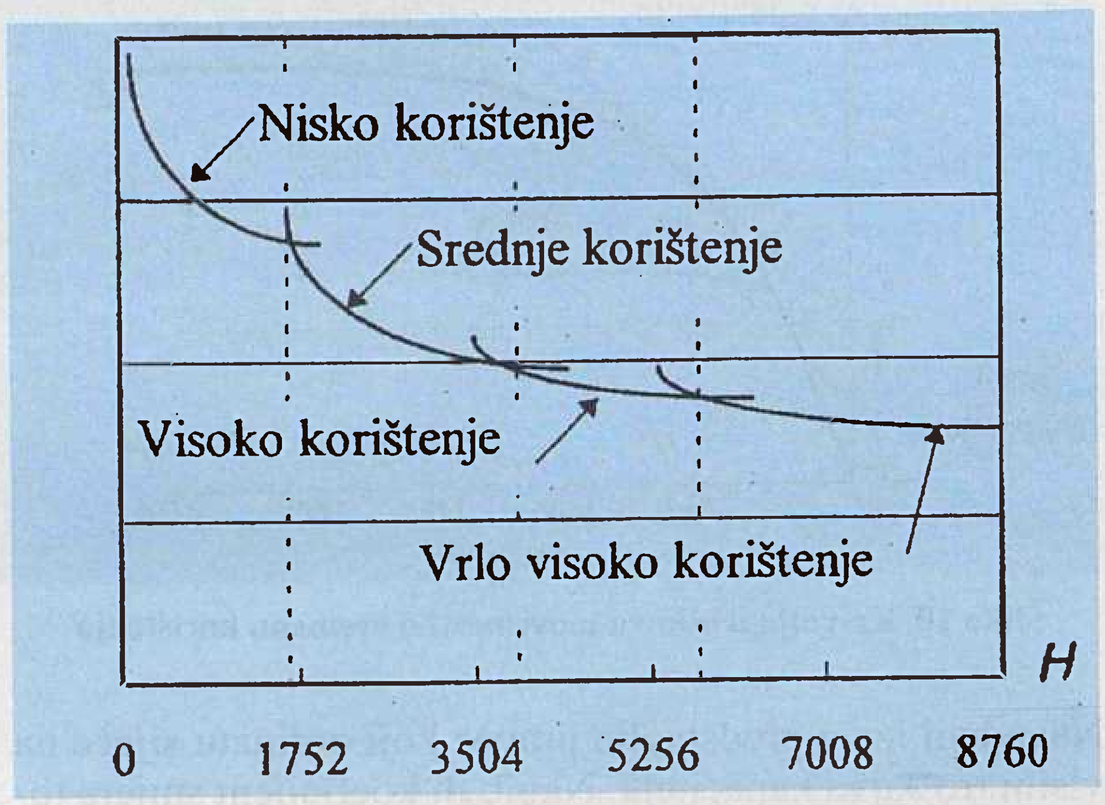
Naravno, posljednja granica u nizu odgovara maksimalnom mogućem vremenu korištenja vršnog opterećenja. Prema sl. 10. očito je da s porastom vremena korištenja vršnog opterećenja jedinično troškovno opterećenje kapaciteta raste, a jedinično troškovno opterećenje energije pada. To znači da je uvijek $Q_{n+1}>Q_n$, odnosno $e_{n+1}<_{c_n}$, zbog čega su granice uvijek pozitivne.

Troškovna struktura kojoj je svojstveno da s porastom jediničnog troškovnog opterećenja kapaciteta jedinično troškovno opterećenje energije pada, i obrnuto, odgovara odnosu fiksnih i varijabilnih troškova proizvodnih postrojenja. Time je ostvaren osnovni cilj da troškovi kod potrošača odgovaraju troškovima koji su karakteristikama i načinom potrošnje električne enegije izazvani na strani proizvodnje, prijenosa i disribucije. Kroz postavljeni sustav troškova i cijena direktno se utvrđuju i raspoređuju troškovi sustava prema principu kako su i izazvani, tako da potrošač u svakom trenutku dobiva signal i informaciju kako se treba ponašati pri potrošnji električne energije. Na kraju, potrebno je izračunati prosječnu cijenu energije koju plaća svaki potrošač. Pod prosječnom cijenom misli se na ukupnu prosječnu cijenu kapaciteta i energije po jediničnoj količini energije. I ta veličina ovisna je o korištenju vršnog opterećenja potrošača kao i ranije pokazani ukupni troškovi potrošača, tj. troškovi prema grupama ili opcijama postavljene troškovne strukture iz koje se ona i izvodi. Dakle, prosječna cijena iznosi

$$\frac{T}{H}=\frac{Q}{H}+e \qquad (27)$$

Radi ilustracije na sl. 12. prikazane su krivulje prosječnih cijena u donosu na korištenje vršnog opterećenja.

Padajući trend prosječnih cijena potječe od boljeg pokrića



Slika 12. Ovisnost prosječnih cijena u korištenju vršnog opterećenja

troškovnog opterećenja kapaciteta (član Q/H u izrazu za prosječnu cijenu) kod viših i visokih iskorištenja vršnog opterećenja. U tom se slučaju fiksno troškovno opterećenje dijeli s većim ili vrlo velikim iznosima energije.

5. ZAKLJUČAK

Prethodno je izložen postupak koji može biti temelj za izgradnju sustava za formiranje cijena električne energije odnosno tarifnog sustava za prodaju i plaćanje električne energije po principu pokrivanja troškova kako su oni i nastali. Međutim, da bi se izloženi postupak primijenio u praksi nužne su njegove prilagodbe, provjere, dogradnja i pojednostavljenje, i na strani proizvodnje i na strani potrošnje. Jedno takvo, koje se odnosi na hidroelektrane, izlaže se u samom radu. Međutim, to ne znači da je ono i dovoljno. Naime, prilike u elektroenergetskom sastavu Republike Hrvatske izrazito ovise o hidrološkim uvjetima. Tako je, npr., 1996. godina bila izrazito hidrološki povoljna, a već se 1997. godina može ocijeniti kao hidrološki nepovoljna. Kada bi se podešavanje tarifne strukture provelo bilo po prvoj, bilo po drugoj navedenoj godini, teško da bi se na kraju dobio primjeren, pravedan i efikasan tarifni sustav. Očito je da se mora izabrati jedan od dva moguća pristupa: a) prvog, da se izgradi tarifni sustav kojim bi se izbjegli kratkoročni utjecaji i nagle promjene, pri čemu bi se ostvarenje njegove efikanosti postiglo tijekom dužeg perioda (npr. kroz nekoliko godina), i b) drugog, da se izgradi takav tarifni sustav kojim bi se efikasno odgovaralo na nagle i bitne promjene u strukturi prilika i troškova u sustavu proizvodnje, prijenosa, distribucije i potrošnje električne energije.

Od dvaju pristupa autor se opredjeljuje za prvi pristup, kojeg i potkrepljuje u radu izloženim postupkom. Eventualno potrebne korekcije, dorade i pojednostavljenja u funkciji su pokrivanja postupkom. Eventualno potrebne korekcije, dorade i pojednostavljenja u funkciji su pokrivanja realnih odnosa u sustavu. Neka od postavljenih načela autor je provjerio i primijenio rješavajući problem tarifnog sustava u toplinarstvu. Uz sve različitosti, temeljna načela funkcioniranja toplinskog sustava slična su elektroenergetskom sustavu.

Na kraju, bitno je istaći da se radu na tarifnom sustavu i njegovom osuvremenjavanju u Republici Hrvatskoj ne pridaje dovoljna pažnja. Uz sve promjene koje se dešavaju u njezinom gospodarstvu, ni elektroprivredna djelatnost neće moći biti efikasna i racionalna bez prilagodbe uvjeta rada, poslovanja i odnosa prema potrošačima na principima tržišno upravljanih, ekonomski i energetski racionalnih i transparentnih odnosa.

LITERATURA

[1 G. SOLDATOS: "The Long-Run Marginal Cost of Electricity in Rural Regions-A Methodology for Caculating the Real Cost of Electricity", Energy Economics, July 1991

[2] P. UBALDO: "Electricity Tariffs Definition - Marginal Cost Pricing and the Break-Even Point", ENEL, 1992

[3] G. GRANIĆ, L. STANIČIĆ, D. KUČIĆ, M. KLEPO, N. JANDRILOVIĆ, S. ŽUTOBRADIĆ, D. PEŠUT, B. JELAVIĆ: "Cijena električne energije u 1995. i u budućnosti", E.i. "Hrvoje Požar", Zagreb, 1994./1995.

[4] J. TOPIĆ, M. MAGDIĆ: "Granični troškovi i cijena električne energije", Energija br. 4, Zagreb, 1995.

ELECTRIC ENERGY TARIFF SYSTEM BASES

In the paper, bases for system definition and construction in order to price and tariff system creation are given using the principle of cost allocation, the way they are created. This principle, considering electric power system, could be realised if total production, transmission and distribution costs are met, as well as financial independence and means for a stable development. At the same time this means a justly cost schedule for the consumers, as well as secure and stable supply with real costs and a stimulus for rational energy use.

UNTERLAGEN FÜR DEN ENTWUTF EINES STROMTARIFSYSTEMS

Unter Anwendung des Ortsbestimmungsgrundsatzes der Kostenentstehung - so wie sie jeweils stattfinden - werden Unterlagen für die Begriffsbestimmungen und für das Errichten eines Preisgestaltung- und Tarifsystems dargestellt. Wo immer auch solche Kosten durch Strom -Erzeugung, -Übertragung und - Verteilung, durch finanzielle Unabhängigkeit und durch Sicherung der Mittel für eine dauerhafte Entwicklung entstehen, würde die Anwendung dieses Grundsatzes die Voraussetzung der Gesammtdeckung von Kosten bedeuten. Für die Verbraucher sollte daß gleichzeiting eine gerechtigere Kostenverteilung, eine sichere und stetige Versorgung bei reelen Kosten und eine haushalterische Nutzungsanregung bedeuten.

Naslov pisca:

dr. sc. Mićo Klepo, dipl. ing.
Energetski institut "Hrvoje Požar"
Ulica grada Vukovara 37,
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1997-10-09.

DALEKOVOD d.d.

DALEKOVOD DANAS

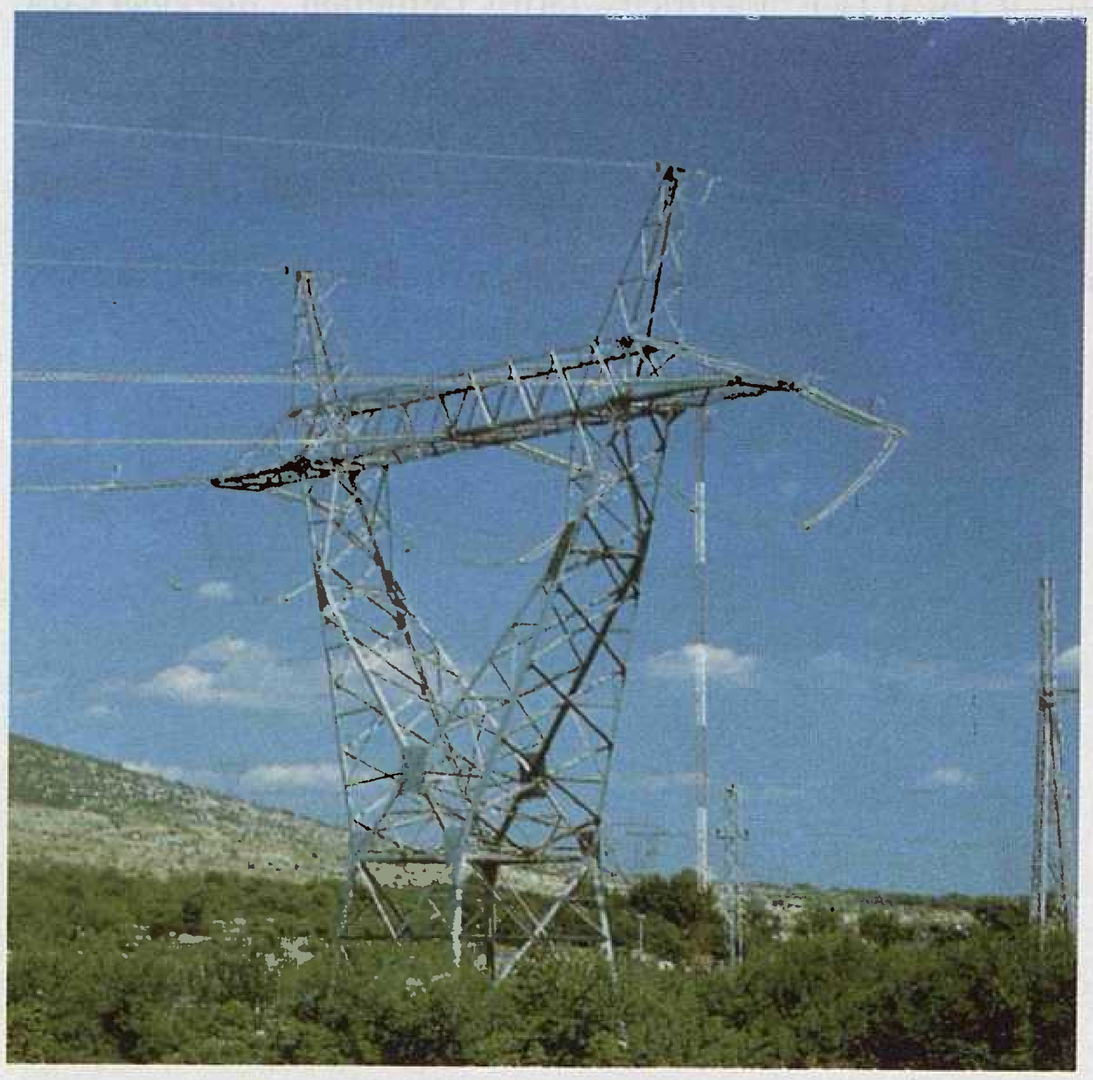
DALEKOVOD je dioničko društvo za inženjering, proizvodnju i gradnju. Za potrebe svog poslovanja utemeljio je:
— Tvrtku DALCOM sa sjedištem u FREILASSINGU — Njemačka
— Tvrtku DALEN sa sjedištem u LJUBLJANI — Slovenija
DALCOM i DALEN rade samostalno, ali s ograničenom odgovornošću.

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 ta the company maintaining its system to the required standards, which will be monitored by LRQA.

Deutscher AkkreditierungsRat
DAR
TGA-ZQ-002/91

FORM L019H (1/94)

Ulica grada Vukovara 37
10000 ZAGREB — HRVATSKA
Tel.: ++385-1-6125-111, 511-325
Fax: ++385-1-530-606, 511-754

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 L019I (1/94)

METODA PROCJENE VIŠIH HARMONIKA U NN MREŽI ZBOG UPORABE ELEKTRIČNIH NELINEARNIH TROŠILA U KUĆANSTVIMA

Mr. sc. Lahorko Wagmann — mr. sc. Ernest Mihalek, Zagreb

UDK 621.316:621.3. 017
IZVORNI ZNANSTVENI ČLANAK

U članku je prikazana metoda određivanja strujnih harmonika uzimajući u obzir istodobnost na nivou NN mreže. Za prikaz metode određeni su normativi višeg i nižeg standarda potrošnje s pripadajućim harmonicima. Nakon verifikacije mjerenjima, ova metoda može poslužiti za procjenu struja viših harmonika u NN mreži.

Ključne riječi: niskonaponska mreža, viši harmonici.

1. UVOD

U dostupnoj tehničkoj literaturi većina pristupa proračunima viših harmonika je deterministička. Takav pristup podrazumijeva točno poznavanje karakteristika izvora viših harmonika i njihov točan broj, što kod analize niskonaponskih (NN) i srednjenaponskih (SN) mreža redovito nije moguće.
U primjeni u kućanstvima pojavljuje se sve veći broj uređaja koji, koristeći energetsku elektroniku, u mrežu injektiraju harmoničke struje. Spomenute struje mogu uzrokovati na impedancijama mreže visoke vrijednosti harmoničkih napona koji mogu biti opasni za osjetljivu opremu.
Opća značajka uređaja je da su malih snaga (do nekoliko stotina W) te da u mrežu injektiraju jednak spektar viših harmonika, što proizlazi iz rezultata mjerenja oblika struje na takvim trošilima. Treba spomenuti neke od najčešćih takvih uređaja, npr. kompaktne flurescentne svjetiljke, televizore i osobna računala. S obzirom na njihove vrlo slične karakteristike kao izvora viših harmonika, postavlja se pitanje kolike su stvarne opasnosti izobličenja napona ili drugih pojava u mreži. Zbog toga je najprimjerenije, da bi se u obzir uzele neizbježne netočnosti, ulazne podatke uzeti kao stohastičke veličine i primijeniti stohastički pristup proračunu viših harmonika. Ocjenom istodobnosti rada ovih uređaja i zatim proračunom razine viših harmonika na niskonaponskim sabirnicima 0.4 kV u TS 10(20)/0.4 kV moguće je naći približno stvarni utjecaj ovih uređaja u NN mreži.

2. OPĆENITO

Sve veći porast broja ispravljača povećava harmoničke napone u elektroenergetskom sustavu. Taj porast nije uzrokovan samo velikim ispravljačima, već i onim manjim korištenim za napajanje električne opreme (televizori, PC, itd.). Široko područje uporabe elektroničke opreme i očekivani porast u budućnosti može uzrokovati značajne probleme, posebno pojavu neparnih harmonika nižeg reda u NN i SN mrežama. Zbog toga je potrebno razmotriti moguće načine suzbijanja harmonika, uključujući i opciju centralne kompenzacije harmonika u SN mreži.
Problematika viših harmonika do sada je vrlo dobro obrađena sa stanovišta pojedinačnih industrijskih potrošača, gdje su poznati podaci o karakteristikama nelinearnog trošila i strujnim harmonicima koje takav potrošač injektira u mrežu. Budući da injektirana struja i impedancija tereta variraju, najgori slučaj se smatra kao previše ekstreman da bi služio kao pokazatelj. Ukoliko apstrahiramo industrijsku potrošnju i koncentriramo se na NN mrežu, analiza viših harmonika prelazi u domenu stohastičkih proračuna. Kao što je poznato iz prijašnjih analiza NN mreža, točan broj potrošača i opterećenje mreže varira tijekom dana. Potrebno je stoga odrediti istodobnu snagu složenog sustava potrošača na svim izvodima 0.4 kV na TS 10(20)/0.4 kV. U svrhu takvog pristupa određivanja injektiranih struja viših harmonika, potrebno je, po uzoru na sličan proračun NN mreža odrediti tzv. normative nelinearnih potrošača. Svakim tako određenim normativom prikazano je jedno karakteristično kućanstvo u čijem se sklopu nalaze nelinearna trošila.

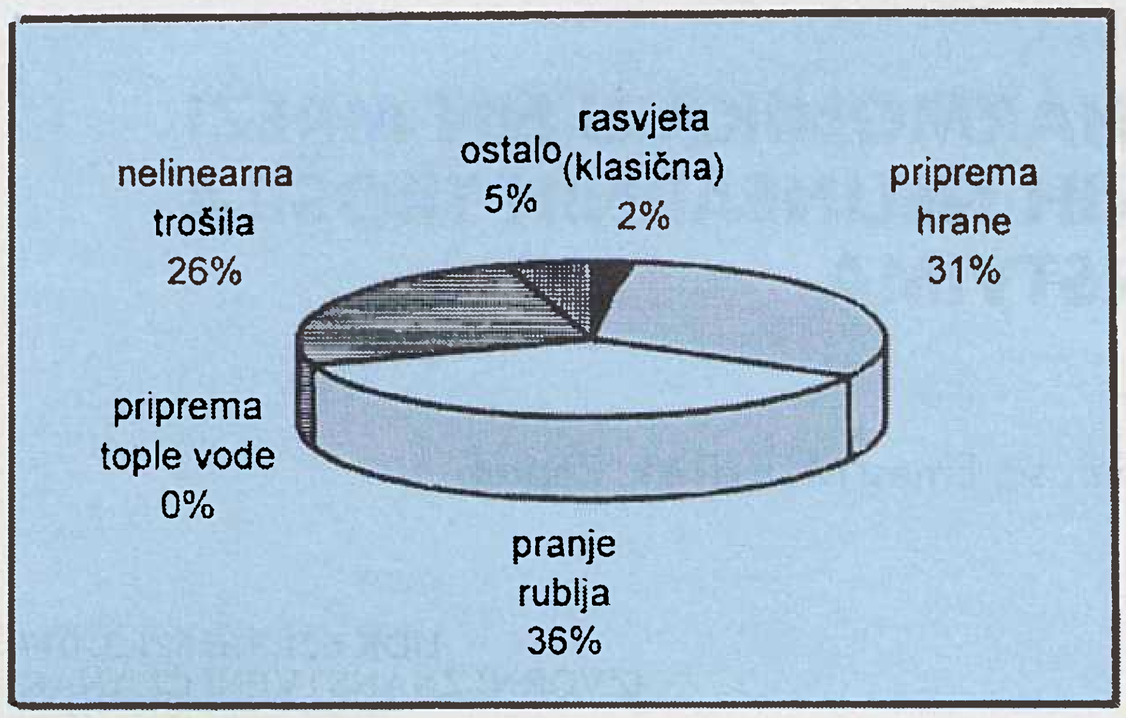
3. ODREĐIVANJE NORMATIVA NELINEARNIH POTROŠAČA

Kao primjer primijenjene metode odredit ćemo dva normativa nelinearne potrošnje: viši i niži. Normativi potrošnje s navedenim udjelima pojedinih tipova potrošnje (bez električnog grijanja prostorija) prikazani u tablici 1.

Tablica 1. Normativi potrošnje za niži i viši standard

Tip trošila	Niži standard	Viši standard
rasvjeta (klasična)	150	300
priprema hrane	2000	2000
pranje rublja	2400	2400
priprema tople vode	0	2200
nelinearna trošila	1680	1820
ostali kućanski aparati bez nelinearnih trošila	300	500
Ukupno	6530	9220

Postotni udjeli pojedinih tipova potrošnje u normativima višeg i nižeg standarda prikazani su na slikama 1 i 2.



Slika 1. Udio pojedinih tipova trošila u normativu nižeg standarda

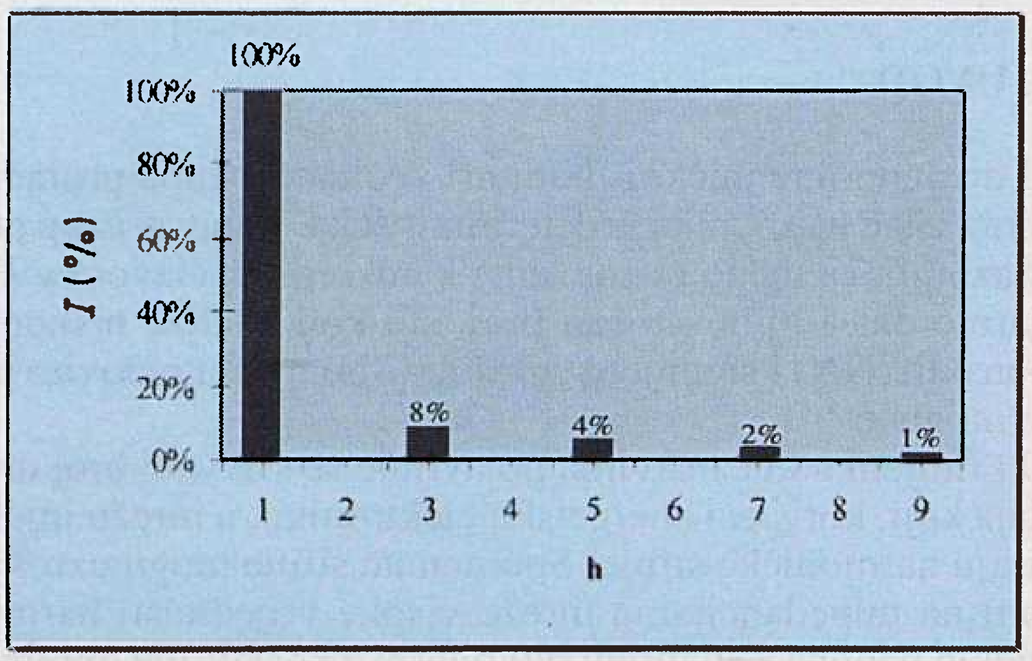
Vidimo da je relativni udio nelinearnih trošila veći kod normativa nižeg standarda, gdje iznosi 26% od ukupnog opterećenja. Kod normativa višeg standarda relativni udio nelinearnih trošila je 20%. Za procjenu nivoa viših harmonika u NN mreži potrebne su nam struje pojedinih harmonika za svaki normativ, tj. njihovi iznosi izraženi u postocima struje osnovnog vala.

Da bi se odredile struje pojedinih harmonika za ukupni normativ, potrebno je identificirati nelinearna trošila i njihov harmonički spektar struja. Radi jednostavnosti, zanemarit ćemo fazne pomake struja i uzet ćemo kao da su sve struje istofazne što u stvarnosti nije točno. Takva netočnost, međutim, kod ovakvih problema, neće uzrokovati veću pogrešku.

Udio pojedinih harmonika kod prosječnog potrošača slijedi iz provedenih mjerenja i za izabrane standarde uzimamo:

Slika 2. Udio pojedinih tipova trošila u normativu višeg standarda

Na slikama 3. i 4. prikazan je harmonički spektar struja normativa višeg i nižeg standarda potrošnje. Vidi se da je relativni udio struja viših harmonika nešto veći od normativa nižeg standarda. Najizraženiji je harmonik trećeg re-



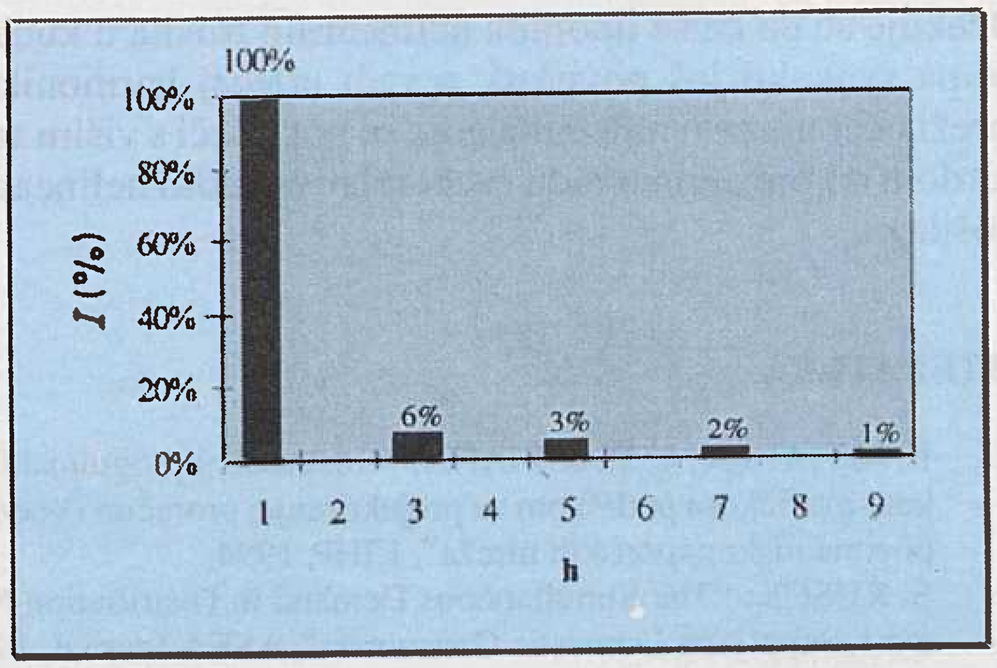
Slika 3. Strujni harmonici nižeg normativa u postocima osnovnog vala

Tablica 2. Instalirani nelinearni uređaji u kućanstvu nižeg standarda

Uređaj	P_n (W)	I_1 (A)	I_3 (%)	I_3 (A)	I_5 (%)	I_5 (A)	I_7 (%)	I_7 (A)	I_9 (%)	I_9 (A)
Rasvjeta	40	0.18	5%	0.01	3%	0.01	1%	0.00	0%	0.00
Regulator rasvjete	60	0.27	52%	0.14	17%	0.05	17%	0.05	10%	0.03
Televizor	100	0.45	82%	0.37	58%	0.26	33%	0.15	13%	0.06
HI-FI	50	0.23	37%	0.08	18%	0.04	3Č%	0.01	6%	0.01
Osob. računalo	180	0.82	64%	0.52	49%	0.40	315	0.26	16%	0.13
Hladnjak i zamrzivač	250	4.55	27%	1.24	7%	0.31	3%	0.16	2%	0.09
Ukupno za nelinearna trošila	1680	7.64	32%	2.43	14%	1.10	8%	0.63	4%	0.33
Ukupno za normativ	6530	29.68	8%	2.43	4%	1.10	2%	0.63	1%	0.33

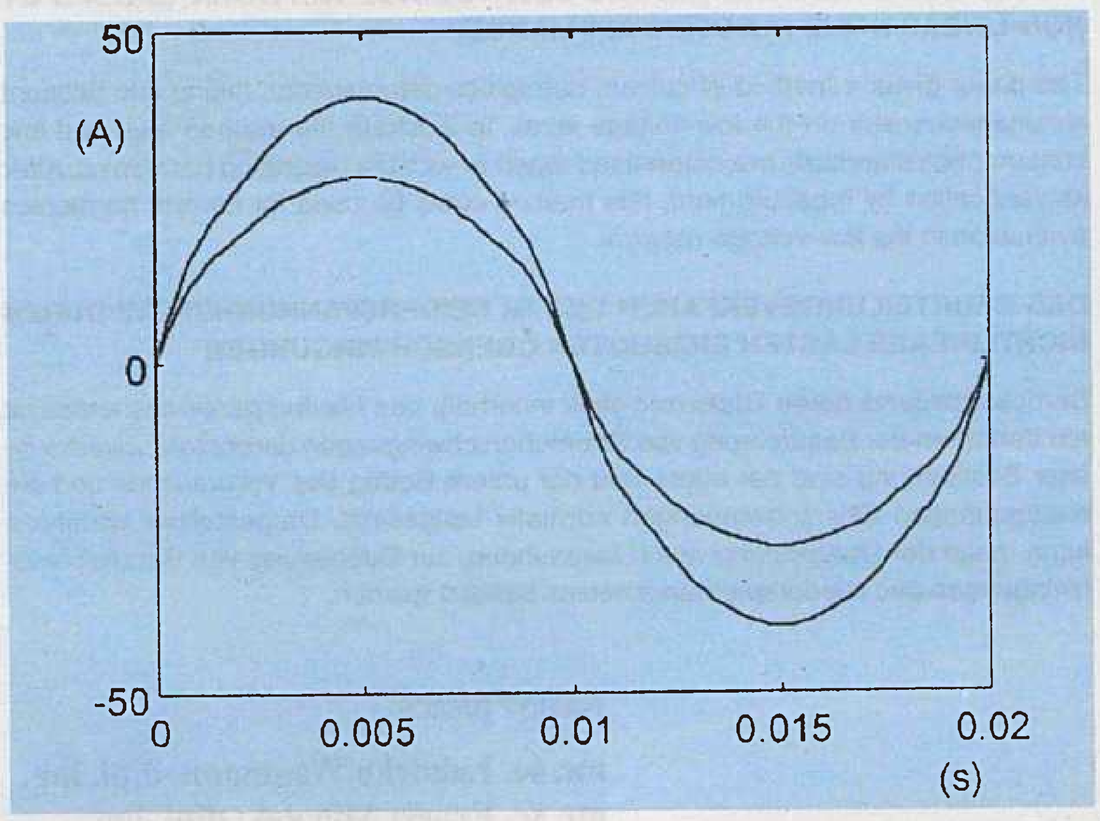
Tablica 3. Instalirani nelinearni uređaji u kućanstvu višeg standarda

Uređaj	P_n (W)	I_1 (A)	I_3 (%)	I_3 (A)	I_5 (%)	I_5 (A)	I_7 (%)	I_7 (A)	I_9 (%)	I_9 (A)
Rasvjeta	80	0.36	5%	0.02	3%	0.01	1%	0.00	0%	0.00
Regulator rasvjete	60	0.27	52%	0.14	17%	0.05	17%	0.05	10%	0.03
Televizor	200	0.91	82%	0.74	58%	0.52	33%	0.30	13%	0.11
HI-FI	50	0.23	37%	0.08	18%	0.04	3%	0.01	6%	0.01
Osob. računalo	180	0.82	64%	0.52	49%	0.40	31%	0.26	16%	0.13
Mikrov. pećnica	1000	4.55	27%	1.24	7%	0.31	3%	0.16	2%	0.09
Hladnjak i zamrzivač	250	1.14	6%	0.06	4%	0.04	1%	0.01	1%	0.01
Ukupno za nelinearna trošila	1820	8.27	34%	2.81	17%	1.37	9%	0.78	5%	0.39
Ukupno za normativ	9220	41.91	7%	2.81	3%	1.37	2%	0.78	1%	0.39



Slika 4. Strujni harmonici višeg normativa u postocima osnovnog vala

da koji iznosi 8% kod normativa nižeg standarda potrošnje 6%.
Na slici 5. prikazani su valni oblici rezultantnih struja normativa višeg i nižeg standarda potrošnje. Treba primijetiti da je u valnom obliku struje prisutno izobličenje, tj. nacrtani valni oblici struje nisu sinusoide.



Slika 5. Valni oblici rezultantne struje višeg i nižeg normativa

4. ODREĐIVANJE ISTODOBNE SNAGE SLOŽENOG SUSTAVA POTROŠAČA

Da bismo odredili nivo viših harmonika na sabirnicama 0.4 kV u TS 10(20)/0.4 kV potrebno je odrediti tzv. istodobnu struju grupe trošila za svaki pojedinačni harmonik. To je moguće odrediti na temelju izraza za proračun opterećenja kućanstava (Rusck), koji će biti prilagođen za proračun harmoničkih struja više uključenih raznih grupa trošila.
Izraz za proračun vršne struje grupe priključenih potrošača za h-ti harmonik ima općenito oblik [2]:

$$I_{vkh} = A_h \cdot n + B_h \cdot \sqrt{n} \quad [kA] \tag{1}$$

gdje su konstante A i B određene iz karakteristika trošila i njihovih najvjerojatnijih godišnjih uporabnih vremena. Broj potrošača dan je vrijednošću n.

Navedeni izraz razvijen je na temelju pretpostavke o normalnoj raspodjeli vjerojatnosti i u sličnom obliku koristi se u mnogim proračunima istodobnosti u javnim elektroenergetskim distribucijskim mrežama. Međutim, ako se u istoj mreži nalaze potrošači raznih karakteristika, što se očituje u broju i snazi pojedinih trošila koje oni sadrže, onda se vršna struja h-tog harmonika ovako složenog sastava potrošača računa pomoću izraza:

$$I_{vkh} = \sum_{i=1}^{k} A_{ih} n_i + \sqrt{\sum_{i=1}^{k} B_{ih}^2 n_i} \quad [kA] \tag{2}$$

gdje su sve vrijednosti kao u prethodnom izrazu, a indeks i označuje pripadnost određenoj grupi koja sadrži n_i istovrsnih potrošača.

5. PRIMJER PRORAČUNA STRUJA VIŠIH HARMONIKA

Za primjer proračuna možemo uzeti jednu gradsku TS 10/0.4 kV koja je opterećena s 250 kućanstava normativa nižeg standarda i 100 kućanstava normativa višeg standarda.
Konstante A_h i B_h određene su za svaki normativ i svaki harmonik koji će biti promatran.
Iz proračuna tokova snaga u NN mrežama, konstante A i B iznose za normativ nižeg standarda

A=0.45, B=2.29

dok su za normativ višeg standarda:

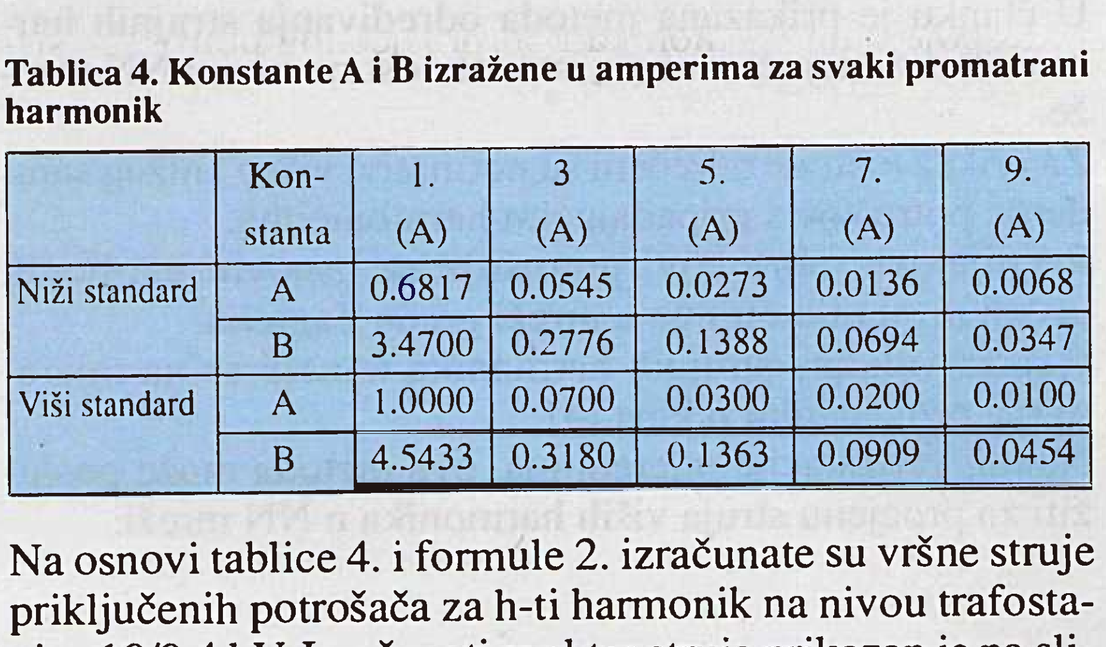
A=0.66, B=3.00

Budući da konstante A i B imaju dimenziju kW, da bi se dobile struje, potrebno je spomenute konstante izraziti u amperima.
Iznosi A_{ih} i B_{ih} za svaki pojedini harmonik dobiju se tako da konstante A i B, izražene u amperima, pomnožimo s postotnim iznosom struje korespondirajućeg harmonika promatranog normativa.

Tablica 4. Konstante A i B izražene u amperima za svaki promatrani harmonik

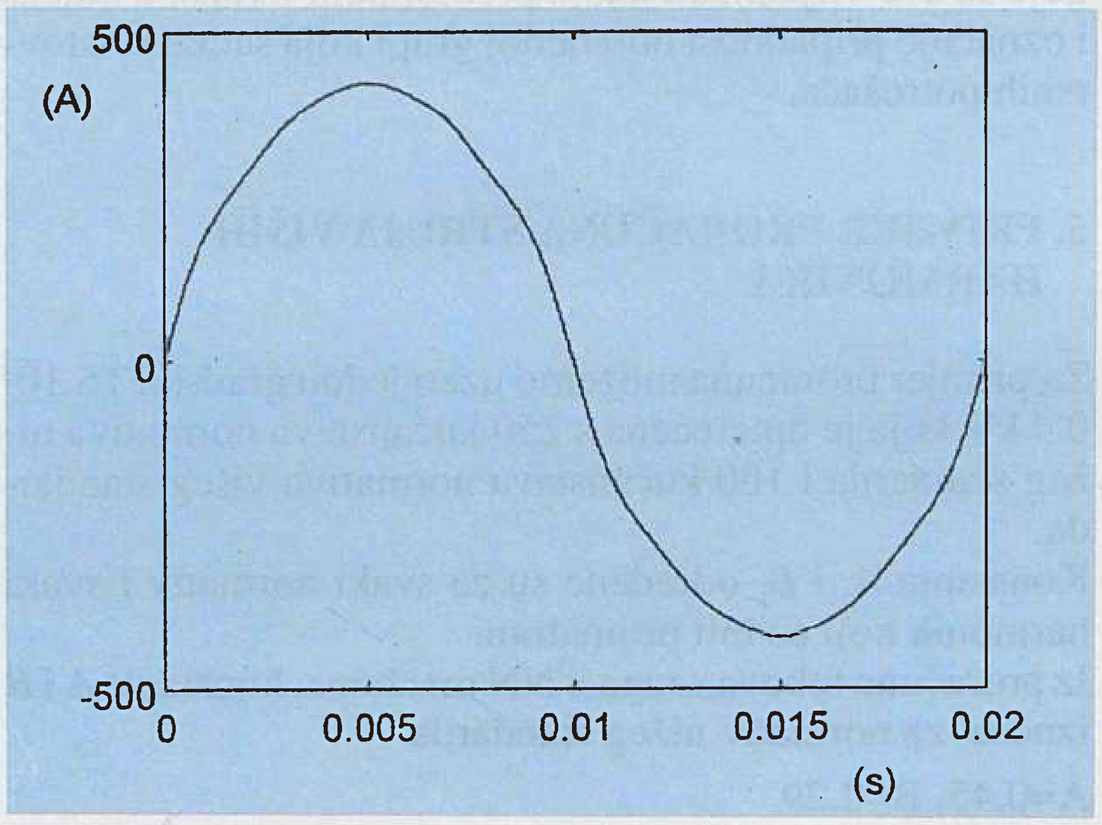
	Konstanta	1. (A)	3 (A)	5. (A)	7. (A)	9. (A)
Niži standard	A	0.6817	0.0545	0.0273	0.0136	0.0068
	B	3.4700	0.2776	0.1388	0.0694	0.0347
Viši standard	A	1.0000	0.0700	0.0300	0.0200	0.0100
	B	4.5433	0.3180	0.1363	0.0909	0.0454

Na osnovi tablice 4. i formule 2. izračunate su vršne struje priključenih potrošača za h-ti harmonik na nivou trafostanice 10/0.4 kV. Izračunati spektar struja prikazan je na slici 6.



Slika 6. Harmonički spektar struja na nivou TS 10(20)/0.4 kV

Sa slike 6. vidljivo je da vršna struja osnovnog vala iznosi 443 A, dok je najizraženija struja trećeg harmonika koja iznosi 34 A što je 7.7% iznosa osnovnog vala.
Na slici 7. prikazan je valni oblik rezultantne struje normativa višeg i nižeg standarda potrošnje. Treba primijetiti da je u valnom obliku struje prisutno izobličenje, tj. nacrtani valni oblik struje nije sinusoidalan.



Slika 7. Valni oblici rezultantne struje na nivou TS 10(20)/0.4 kV

Navedeni harmonički spektar struja i nacrtani valni oblik struje vrijedi za sabirnice 0.4 kV dok se na nivou 10 kV gube tzv. nulti (3, 9. itd.) strujni harmonici, zbog spoja transformatora Dy.

6. ZAKLJUČAK

U članku je prikazana metoda određivanja strujnih harmonika uzimajući u obzir istodobnost na nivou NN mreže.
Za prikaz metode određeni su normativi višeg i nižeg standarda potrošnje s pripadajućim harmonicima.
Primijenjeni normativi potrošnje za osnovni harmonik utvrđeni su mjerenjima u mreži grada Zagreba.
Ocjena veličine strujnih harmonika temelji se na mjerenjima provedenim prema [4].
Nakon verifikacije mjerenjima, ova metoda može poslužiti za procjenu struja viših harmonika u NN mreži.
Očekuje se da će se uporaba nelinearnih trošila u kućanstvima svakako još povećati, a veći utjecaj harmonika u mreži očekuje se u mrežama gdje su potrošači s višim standardom od opisanih u radu (veći relativni udio nelinearnih trošila):

LITERATURA

[1] E. MIHALEK, L. WAGMANN: "Unapređeni programski paket s grafičkom podrškom za projektiranje, proračun i vođenje pogona niskonaponskih mreža", EIHP, 1994.
[2] S. RUSCK: "The Simultaneous Demand in Distribution Network Supplying Domestic Consumers", ASEA Journal, 1956, str. 59-61.
[3] E. MIHALEK: "Doprinos proračunu opterećenja u niskonaponskoj mreži", Energija 1, 1990. Zagreb.
[4] K. HEIDENREICH, J. BERDING, G. HARMS: "Abschätzung künftiger Oberschwingungspegel im Niederspannungsnetz", Elektrizitätswirtschaft, 4, 1996. str. 196-200.
[5] Novelacija osnovnog rješenja elektrodistributivne mreže 110 kV i 30 kV grada Zareba, Žutobradić, Mihalek, EIHP, Zagreb, 1996.

HARMONICS EVALUATION IN THE LOW-VOLTAGE NETWORK CAUSED BY NON-LINEAR HOME ELECTRIC APPLIANCES

The paper gives a method of current harmonics determination taking into account simultaneousness on the low-voltage level. To illustrate the method high and low consumption standards are determined together with the belonging harmonics. After its verification by measurement, this method could be used for current harmonics evaluation in the low-voltage network.

DAS BEURTEILUNGSVERFAHEN DER IM NEIDERSPANNUNHSNETZ DURZH NICHTLINEARE LASTEN ERZEUGTEN OBERSCHWINGUNGEN

Berücksichtigend deren Gleichzeitigkeit innerhalb des Niederspannungsnetzes ist ein Verfahren der Bestimmung von Stromoberschwingungen dargestellt. Zwecks dieser Bestimmung sind der obere und der untere Betrag des Verbrauches und die dazugehörigen Oberschwingungen normativ festgesetzt. Dargestelltes Verfahren kann, nach der Überprüfung durch Messungen, zur Beurteilung von Stromoberschwingungen des Niederspannungsnetzes benutzt werden.

Naslov pisaca:

mr. sc. Lahorko Wagmann, dipl. ing.
mr. sc. Ernest Mihalek, dipl. ing.
Energetski institut "Hrvoje Požar"
Ulica grada Vukovara 37
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1997-10-24.

PROIZVODNJA ENERGIJE IZ SLAME I KUKURUZOVINE U ISTOČNOJ HRVATSKOJ

Julije Domac - mr. sc. Željko Tomšić, Zagreb

UDK 662.9:621.31
PRETHODNO PRIOPĆENJE

U članku je prikazan energetski potencijal slame i kukuruzovine u Istočnoj Hrvatskoj. Analizirane su karakteristike sličnih objekata na slamu i kukuruzovinu, ugljen te prirodni plin te uspoređeni investicijski troškovi, cijena proizvedene električne energije i utjecaji na okoliš.

Ključne riječi: biomasa, CO_2, energetski potencijal, slama, kukuruzovina, troškovi, okoliš.

1. UVOD

Čovjek se oduvijek služio biološkim energetskim izvorima, koristeći proizvode fotosinteze u biljkama ne samo kao hranu nego i kao gorivo. Do početka intenzivne upotrebe fosilnih goriva drvo je bilo primaran i gotovo jedini izvor energije. Korišteni su i drugi oblici biomase; tako je poznato da su naseljenici na američkom zapadu u područjima gdje nije bilo drveta za grijanje koristili životinjske otpatke (suhi bizonski i goveđi izmet), klipove kukuruza ili sijeno.
Istraživanja provedena za Hrvatsku pokazuju da će potrebe za energijom u budućnosti biti sve veće, pogotovo uzme li se u obzir očekivani brzi gospodarski razvitak i obnova zemlje. Potrebnu energiju moguće je osigurati na više načina, no pritom svakako treba voditi računa o utjecaju na okoliš. Emisija CO_2 te efekt staklenika mogli bi uskoro biti vrlo ograničavajući čimbenici u razvoju energetskog sektora. Budući da je Hrvatska zemlja sa značajnim poljoprivrednim potencijalom, korištenje slame i kukuruzovine moglo bi igrati značajnu ulogu u sklopu obnovljivih izvora. Slični projekti nisu rijetkost u razvijenim zemljama. Danas se 6% energetskih potreba Danske zadovoljava iskorištavanjem slame [1]. Energetsko iskorištavanje biomase provodi se i u Austriji, Velikoj Britaniji i Sjedinjenim Državama.

2. SVOJSTVA SLAME I KUKURUZOVINE KAO GORIVA

Svake godine, nakon žetve na poljima Hrvatske ostaje gotovo 2 milijuna tona slame pšenice i isto toliko tona kukuruzovine. Računa se da bi se za energetsko iskorištavanje moglo upotrijebiti barem 30% te količine. Kad bi se ta količina slame i kukuruzovine (30% od ukupne količine) upotrijebila za energetsko iskorištavanje moglo bi se teoretski dobiti oko 18 PJ (5 TWh) energije što iznosi oko 6% ukupne potrošnje energije u Hrvatskoj u 1993. godini. To bi nadomjestilo gotovo 500,000 tona mazuta smanjujući emisiju CO_2 u atmosferu za oko 1.5 milijuna tona.

Iako se žitarice uzgajaju gotovo u cijeloj zemlji, intenzivnije iskorištavanje slame i kukuruzovine za proizvodnju energije može se provesti samo u županijama s većim površinama zasijanim žitaricama. Zbog toga je ovdje razmatran energetski potencijal slame i kukuruzovine samo u Osječko-Baranjskoj i Vukovarsko-Srijemskoj županiji.
Korištenje slame i kukuruzovine može uzrokovati i određene poteškoće. Rukovanje i transport su otežani jer je riječ o nehomogenom gorivu s relativno velikim udjelom vlage i niskom energetskom vrijednošću. Oko 70% spaljivog dijela žitarica se prevodi u hlapive spojeve. To stavlja posebne zahtjeve na izvedbu kotla i dovod zraka tijekom spaljivanja. Udio klora i njegovih spojeva je prilično visok što može uzrokovati probleme s korozijom, posebno pri višim temperaturama. Pepeo žitarica omekšava pri relativno niskim temperaturama zbog sadržaja alkalnih metala što također može uzrokovati probleme. Visoka vlažnost i mala nasipna masa znatno otežava trajnije skladištenje i transport.
S obzirom na karakter i porijeklo žitarica koje se upotrebljavaju kao gorivo, podaci o udjelu vlage, gorivoj vrijednosti te kemijskom sastavu mogu se dati kao prosječne vrijednosti te uzimati samo približno. U stvarnosti se vrijednosti razlikuju prema sorti biljke koja se uzgaja, dijelu biljke, mjestu na kojem se uzgaja te brojnim drugim čimbenicima.
Biomasa predviđena za energetsko korištenje se nalazi na poljoprivrednim površinama, pa je potrebno obaviti čitav niz aktivnosti kojima se biomasu dovodi na mjesto njenog korištenja u obliku, koji će biti optimalan s gledišta cijene i mogućnosti njenog skladištenja radi korištenja u dužem vremenskom razdoblju.
Obavljanje ovih aktivnosti može se smatrati kao proces proizvodnje energije iz biomase za tržište. Zbog toga proizvođač treba kroz prodajnu cijenu pokriti troškove manipulacije biomasom te ostvariti zaradu. Samo tako će biomasa kao sporedan proizvod u poljoprivrednoj proizvodnji imati budućnost kao izvor energije, a mjesno će stanovništvo biti zainteresirano za njeno sakupljanje i energetsko iskorištenje.
Do sada su provedene brojne analize moguće cijene sla-

Energija, god. 46 (1997) 6, 383-388

me za energetsko korištenje. Dobiveni rezultati znatno se razlikuju za svaku pojedinu državu i bitno ovise o stanju njezinog gospodarstva i ekonomskim odnosima u društvu. U ovom članku navest će se rezultati nekoliko proračuna cijene slame i kukuruzovine koji su provedeni kako u Hrvatskoj, tako i u svijetu.

Proračun cijene slame proveden u Austriji [2] pokazuje da je nabavna cijena slame bez ljudskog rada i troškova skladištenja 39.6 USD po toni. Potreban ljudski rad za proizvodnju biomase procijenjen je na 2,9 sata/ha i obračunat sa cijenom od 6.2 USD po satu. Pribrajanjem troškova (transport, čišćenje i održavanje peći te skladištenje) dobiva se konačna cijena slame kao goriva od 1.85 USc/kWh.

Sličan proračun izveden je i u Velikoj Britaniji u sklopu projekata NFFO-a (Renewables Order of the Non-Fossil Fuel Obligation). Dobiveni rezultati pokazuju da je moguće isporučivati slamu do postrojenja (dakle, bez skladištenja) po cijeni od 37.4 USD po toni, odnosno da je cijena energije akumulirane u slami 0.83 USc/kWh [3].

U Danskoj cijena slame koja se plaća za isporučenu baliranu slamu do postrojenja kreće se od 1.6 USc/kWh do 2.2 USc/kWh. U Češkoj Republici procijenjeno je da bi se cijena slame za energetsko iskorištenje mogla kretati od 0.2 USc/kWh do 0.25 USc/kWh [4].

Proračun cijene biomase kao goriva proveden je i Hrvatskoj za Tvornicu energetskih postrojenja "Đuro Đaković" (tablica 1) [5].

Tablica 1. Procjena troškova za manipulaciju biomasom od prikupljanja do isporuke korisniku u USD po toni

aktivnosti	slama	kukuruzovina
sjeckanje stabljike	–	1,2
sakupljanje s baliranjem	10,2	10,0
utovar i transport 10 km	8,5	8,5
istovar u skladište	3,7	3,7
naknada za biomasu	33,6	28,6
(zarada proizvođača)		
ukupno	56,0	52,0

Za omogućavanje korištenja u energetske svrhe potrebno je dodatno usitniti i briketirati baliranu slamu i kukuruzovinu što je procijenjeno kao dodatni trošak za korisnika od oko 4 USD po toni. Konačno slijedi cijena od 60 USD po toni.

Iz usporedbe cijena i potrebnih količina za dobivanje jednakih količina energije (tablica 2) vidljivo je da su cijene biomase kao goriva usporedive s cijenama konvencionalnih goriva te da predstavljaju poticaj za gradnju energetskih objekata na biomasu.

Tablica 2. Uporedba cijena biomase i konvencionalnih energenata

	USc/kWh
Austrija [2]	1.85
Češka Republika [4]	0.2 - 0.25
Danska [4]	1.6 - 2.2
HRVATSKA [5]	1.41
Velika Britanija [3]	0.83
mazut [6]	1.22
kameni ugljen [6]	0.86
prirodni plin [6]	1.40

Cijene u tablici 2 su dane kao cijene goriva za termoelektrane. Cijene tih energenata inače se znatno razlikuju prema namjeni (kućanstva, industrije, promet, termoelektrane) zbog različitih troškova i poreza.

3. PRORAČUN ENERGETSKOG POTENCIJALA

Na osnovi pretpostavki: iskorištavanje 30% slame i 30% kukuruzovine, skupljanje u krugu od 50 m, maseni odnos zrna i slame 1:1,05 te maseni odnos zrna i biomase kukuruza 1:0,80 moguće je izračunati energetski potencijal. Ovdje je proveden proračun za Osječko-Baranjski i Vukovarsko-Srijemsku županiju, budući da je u tim županijama zbog velikih količina slame i biomase kukuruz na relativno malom prostoru energetsko iskorištavanje najisplativije. Podaci su preuzeti iz Statističkog ljetopisa za 1991. godinu [7].

Energetski potencijal slame u promatranim županijama iznosi 3.1052 PJ, energetski potencijal kukuruzovine 3.0196 PJ, odnosno ukupni energetski potencijal ostataka žitarica u dvije najistočnije hrvatske županije iznosi 6.1248 PJ (tablice 3 i 4).

Dobiveni rezultati pokazuju da se radi o znatnom energetskom potencijalu, koji je svakako vrijedan da bude dalje razmatran.

4. MODELIRANJE POSTROJENJA

Za potrebe ovog razmatranja provedena je usporedna analiza objekata jednake snage (50 MW) na slamu i kukuruzovinu, ugljen i prirodni plin. Analiza je provedena programskim paketom Environmental Manual for Power Development.

Environmental Manual je programski paket koji pomaže pri planiranju razvitka elektroenergetskog sustava, uključujući u razmatranje utjecaj ekoloških zahtjeva na ukupne troškove nekog projekta. Program je namijenjen zemljama u razvitku i zemljama bivše planske privrede, a služi za odabir prihvatljivih pravaca razvoja, tako da se potražnja za energijom podmiri uz zadovoljenje najnužnijih ekoloških standarda, te uz minimum ukupnih troškova. Projekt EM je koordinirala Svjetska banka za obnovu i razvitak, a zajednički su ga sponzorirale vlade Njemačke, Švicarske, Nizozemske te Velike Britanije. Program je razvijen u Institutu za primijenjenu ekologiju ÖKO u Darmstadtu u Njemačkoj.

U programu je moguće promatrati i kogeneracijska postrojenja, ali samo vrlo male snage. Zbog toga, ali i zbog poteškoća u određivanju potreba a toplinskom energijom proračun je ograničen samo na postrojenja s klasičnim parnim agregatom. Nesumnjivo je, međutim, da bi primjena kogeneracijskih postrojenja povećala stupanj iskorištenja goriva te iskorištavanje slame i kukuruzovine učinila još isplativijim. Postojeća postrojenja u Danskoj su u pravilu kogeneracijska.

Osim procesa za pretvorbu energije baza podataka u EM-u sadrži i tehnologije za ograničavanje ispuštanja štetnih tvari te je moguće promatrati utjecaj primijenjene tehnologije na emisije štetnih tvari i troškove proizvodnje ener-

Tablica 3. Teoretski energetski potencijal slame i kukuruzovine u Osječko-Baranjskoj županiji

	površina u ha	prinos zrna u t	prinos biomase	upotrebljivost biomase (t)	gorivost vrijednost biomase MJ/kg	energetski potencijal PJ
pšenica	62601	395280	415044.00	124513.20	14.50	1.8054 (1)
ječam	8530	47991	50390.55	15117.17	14.5	0.2192 (2)
kukuruz	72572	461628	410848.92	123254.68	14.01	1.7256 (3)
Suma (1) + (2)						2.0246 (4)
Suma (1) + (2) + (3)						3.7502 (5)

Tablica 4. Teoretski energetski potencijal slame i kukuruzovine u Vukovarsko-Srijemskoj županiji

	površina u ha	prinos zrna u t	prinos biomase	upotrebljivost biomase (t)	gorivost vrijednost biomase MJ/kg	energetski potencijal PJ
pšenica	38375	223128	234284.40	70285.32	14.5	1.0191 (6)
ječam	2413	13460	14133.00	4239.90	14.5	0.0615 (7)
kukuruz	64081	346186	308105.54	92431.66	14.0	1.2940 (8)
Suma (6) + (7)						1.0806 (10)
Suma (6) + (7) + (8)						2.3746 (11)

gije. Iz sastava goriva EM neposredno izračunava emisije štetnih tvari od procesa izgaranja kao i gornju gorivu vrijednost.

Tablica 5. Osobitosti slame, kukuruzovine kao goriva u promatranim postrojenjima

svojstva goriva	slama	kukuruzovina
C u % mase	33.759	32.516
H u % mase	5.260	5.600
S u % mase	0.084	0.084
O u % mase	36.533	37.300
N u % mase	0.280	0.300
Cl u % mase	0.084	0.084
H_2O u % mase	20.000	20.000
cijena u USD/MWh	6.700	6.800
goriva vrijednost u MJ/kg	14.365	13.855

Tablica 6. Osobitosti ugljena i plina kao koriva u promatranim postrojenjima

svojstva ugljena		svojstva prirodnog plina	
C u % mase	66.99	CH_4 u % mase	92.07
H u % mase	3.00	C_2H_6 u % mase	0.50
S u % mase	1.00	C_2H_4 u % mase	0.50
O u % mase	8.00	C_3H_8 u % mase	0.04
N u % mase	1.00	CO_2 u % mase	0.02
Cl u % mase	0.10	N_2 u % mase	6.10
H_2O u % mase	7.90	H_2S u % mase	0.005
cijena u USD/MWh	10.000	H_2 u % mase	0.75
goriva vrijednost u MJ/kg	26.00	cijena u USD/MWH	15.00
		goriva vrijednost u MJ/kg	37.49

Nakon odabira i definiranja proizvoda, procesa te scenarija aktivira se modul za analizu koji daje tražene rezultate. Kao izlazne veličine se pojavljuju troškovi (interni, eksterni i ukupni) te utjecaji na okoliš. Dobivene rezultate moguće je usporediti s postojećim standardima i razinama dozvoljenih emisija.

Nakon provedenog proračuna dobiveni su rezultati prikazani u tabl. 7.

Od uređaja za smanjivanje i kontrolu emisija zagađivača upotrijebljen je elektrostatski sakupljač čestica koji smanjuje količinu čestica prašine i pepela u izlaznom plinu za 99%. Dobivene emisije zadovoljavaju sve europske kriterije o dozvoljenim emisijama iz elektroenergetskih objekata.

Tablica 7. Osnovni podaci za objekt EM-slama/kukuruzovina

snaga postrojenja	50 MW
godišnje opterećenje	5000 sati
stupanj iskorištenja	35 %
godišnje potrebno goriva	177340 tona
životni vijek objekta	30 godina
potrebno zemljišta	13750 m^2
upotrijebljeno čelika	7500 tona
upotrijebljeno betona	22500 tona

Troškovi i investicije za objekt EM-slama/kukuruzovina računati su za dvije razine cijene goriva. U prvoj, nižoj razini, za cijenu slame i kukuruzovine korišten je podatak iz baze EM-a (6.7 USD/MWh), dok je u drugoj višoj razini, korišten podatak dobiven analizom provedenom za Hrvatsku (14.1 USD/MWh) [5].

Dobiveni rezultati uspoređeni su s rezultatima dobivenim za objekte jednakih karakteristika (snaga i godišnje opterećenje) koji su također bili modelirani u programskom paketu EM (tablica 8). Promatrani su objekti na ugljen i prirodni plin, jer se smatra da se objekti na loživo ulje u budućnosti više neće graditi zbog ograničenosti zaliha nafte. Za iskorištavanje ugljena ovdje je bilo predviđeno postrojenje s agregatom s izgaranjem ugljena u fluidiziranom sloju pri atmosferskom tlaku (Fluidized-Bed-Combustion). Ta je, iako nova tehnologija, već dokazana u razvijenim zemljama. Električni stupanj djelovanja takvog postrojenja iznosi 35.5%, a emisija SO_2 i NOx je bitno smanjene u odnosu na konvencionalna postrojenja.

Za iskorištavanje prirodnog plina upotrebljava se postrojenje s kombiniranim pogonom plinskog i parog agregata čiji stupanj djelovanja iznosi 44%.

Modelirani objekti zadovoljavaju sve propise Europske unije o dozvoljenim emisijama štetnih tvari.

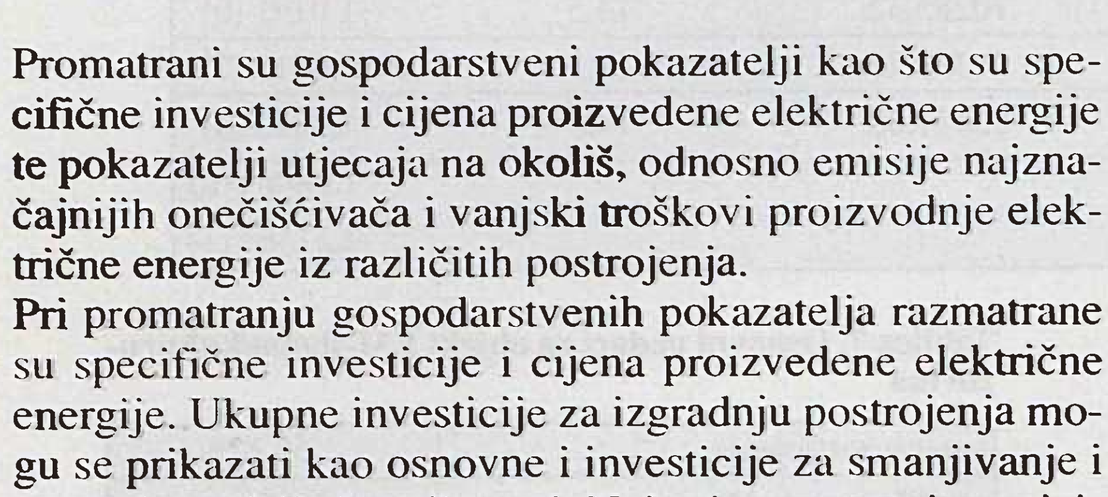
Tablica 8. Osnovni podaci za postrojenje EM-ugljen i EM-prirodni plin s kojima je provedena usporedba

gorivo	ugljen	prirodni plin
snaga postrojenja	50 MW	50 MW
godišnje opterećenje	5000 sati	5000 sati
stupanj iskorištenja	35.5 %	44.0 %
životni vijek objekta	30 godina	20 godina
potrebno zemljište	13750 m^2	5200 m^2
specifične investicije u USD/MW	2.121,000	915,900
cijena proizvodnje električne energije u USc/kWh	7.51	5.12

5. ANALIZA REZULTATA

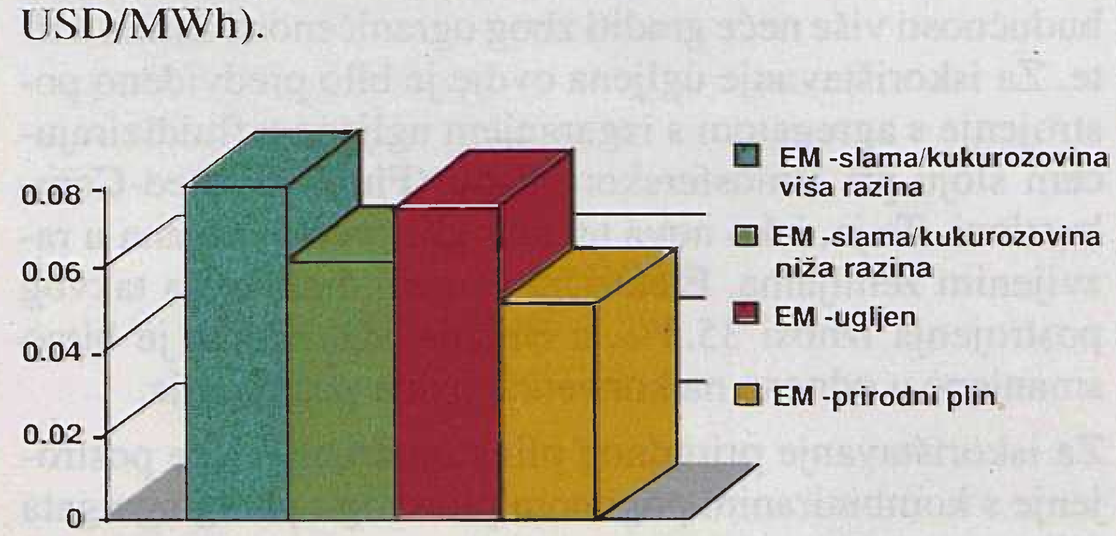
Promatrani su gospodarstveni pokazatelji kao što su specifične investicije i cijena proizvedene električne energije te pokazatelji utjecaja na okoliš, odnosno emisije najznačajnijih onečišćivača i vanjski troškovi proizvodnje električne energije iz različitih postrojenja.

Pri promatranju gospodarstvenih pokazatelja razmatrane su specifične investicije i cijena proizvedene električne energije. Ukupne investicije za izgradnju postrojenja mogu se prikazati kao osnovne i investicije za smanjivanje i kontrolu emisije štetnih tvari. Najveće osnovne investicije su za objekt EM-slama/kukuruzovina, no zbog potrebnih uređaja za smanjivanje emisije štetnih tvari ukupne investicije su najveće za objekt EM-ugljen (slika 1).



Slika 1. Specifične investicije u USD/kW instalirane snage

Cijena proizvedene energije značajno ovisi o cijeni goriva. Ovdje je cijena proizvedene energije za objekt EM-slama/kukuruzovina dana za dvije moguće cijene goriva (slika 2). U prvoj, višoj razini, za cijenu slame i kukuruzovine korišten je podatak dobiven analizom provedenom za Hrvatsku (14.1 USD/MWh gorive vrijednosti) dok je u drugoj, nižoj razini, korišten podatak iz baze EM-a (6.7 USD/MWh).

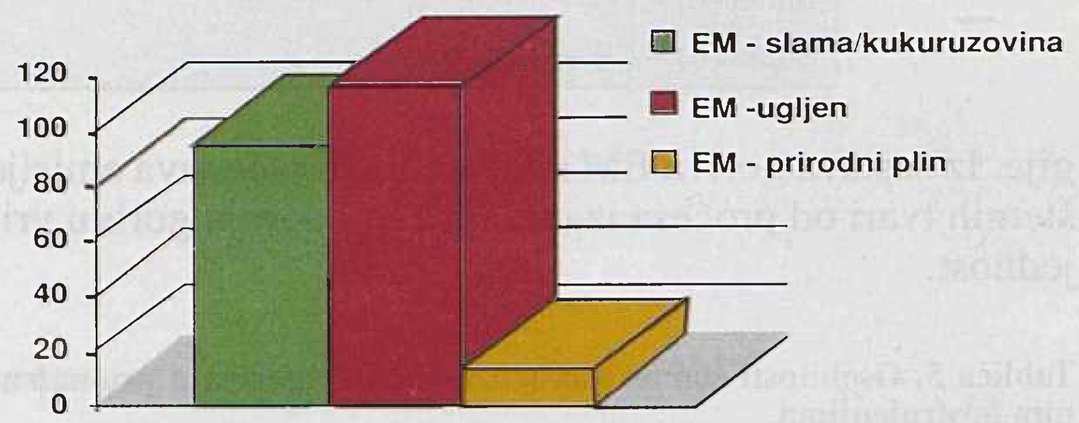


Slika 2. Cijena proizvodnje električne energije u USD/kWh

Očekuje se, međutim, da će cijena plina nešto rasti, dok se cijena ugljena neće znatnije mijenjati. Uvođenje tzv. ekoloških poreza ove bi odnose bitno promijenilo, a iskorištavanje slame i kukuruzovine učinilo potpuno isplativima [8].

Najznačajniji neočišćivači koji se emitiraju iz energetskih objekata su sumporni dioksid (SO_2) i dušični oksid (NOx). Utjecaji na okoliš su brojni, a jedan od njih je i kisela kiša koja uzrokuje zakiseljavanje tla. Hrvatska je u sklopu konvencije LRTAP[1] potpisala Drugi protokol o smanjenju emisije SO_2 prema kojem je obvezna do 2000. godine smanjiti emisiju SO_2 za 26% u odnosu na 1990., odnosno do 2010. za 35% u odnosu na 1990. godinu. U 1990. godini emisija SO_2 iz energetskog sektora u Hrvatskoj bila 177,115 tona [9].

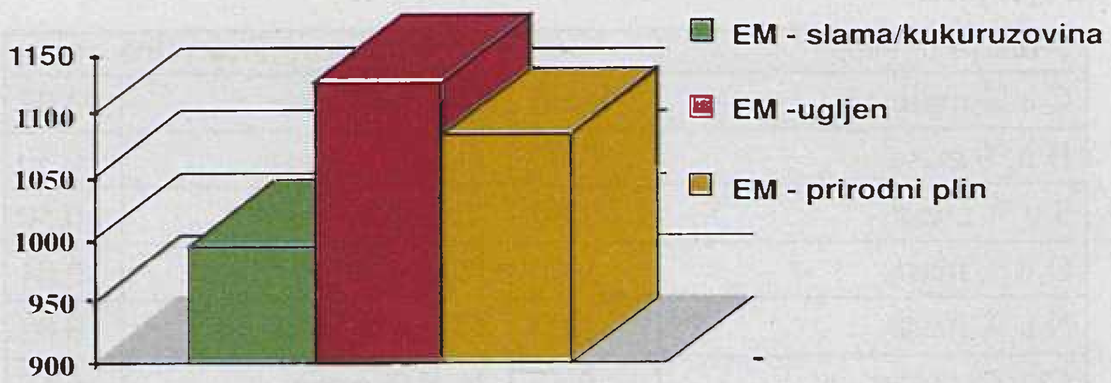
Objekt EM-slama/kukuruz emitirao bi manje SO_2 od objekta na ugljen u kojem su provedene mjere za smanjivanje emi-



Slika 3. Emisije SO_2 u g/MWh

sije, ali znatno više od objekta na prirodni plin (slika 3).

Najveći utjecaj na emisiju dušičnih oksida (NO_x) u Hrvatskoj ima promet. Ipak, i za termoenergetske objekte se propisuju mjere u cilju redukcije NO_x kao što su modifikacija izgaranja i posebna konstrukcija ložišta. U pripremi je i Protokol o emisiji NO_x koji će zahtijevati odušičivanje ispušnih plinova za sve veće energetske objekte. U 1990. godini emisija NO_x iz energetskog sektora u Hrvatskoj bila 81,642 tona [9].



Slika 4. Emisija NO_x u g/MWh

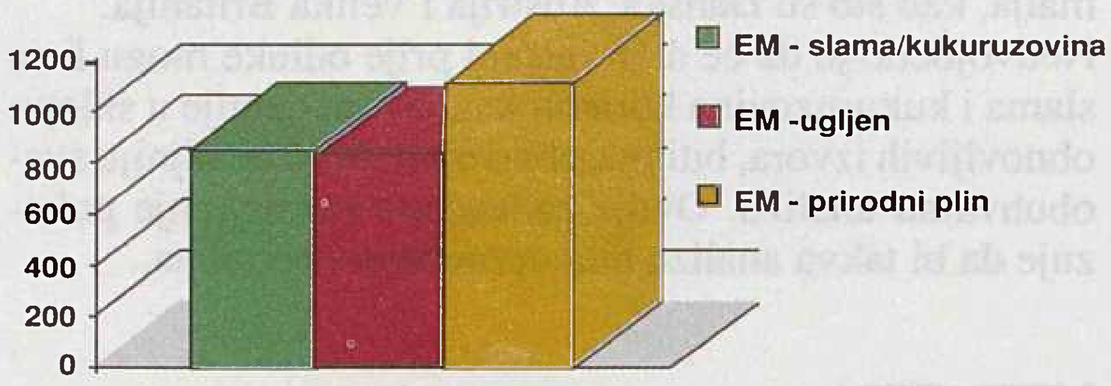
Od promatranih objekata emisija NO_x bila bi najniža i objekta EM-slama/kukuruz (slika 4).

Energetski sektor ima najveći utjecaj na emisiju ugljičnog monoksida (CO), koji između ostalog kao otrovan plin utječe izravno na zdravlje stanovništva. U 1990. godini emisija CO iz energetskog sektora u Hrvatskoj bila je 629,881 tona [9].

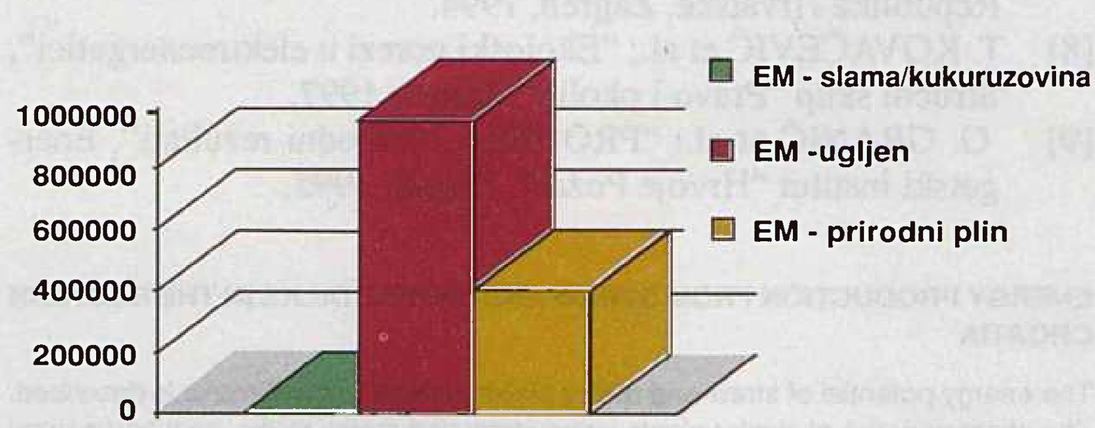
Emisija CO iz objekta EM-slama/kukuruz zanemarivo je veća od emisije iz objekta na ugljen i dosta manja nego iz objekta na plin (slika 5).

[1] Konvencija o prekograničnom prijenosu onečišćenja na velike udaljenosti

Efektu staklenika i globalnom zagrijavanju najviše pridonosi CO_2, a njegova emisija potječe gotovo isključivo od termoenergetskih objekata. Emisija CO_2 može se ograničiti jedino upotrebom obnovljivih izvora, nuklearnih postrojenja te racionalnijim gospodarenjem energijom. U okviru Konvencije o zaštiti klime postavljen je cilj stabiliziranja emisija CO_2 na razini 1990. godine. Energetsko iskorištavanje slame i kukuruzovine upravo ovdje pokazuje svoje najveće prednosti (slika 6). Količina CO_2 koja se energetskim iskorištavanjem emitira jednaka je količini CO_2 koju biljka apsorbira tijekom rasta. Zbog toga se slama i kukuruzovina smatraju "CO_2-neutralnim" gorivom. Do sada se znatan dio slame i kukuruzovine spaljivao na poljima nakon žetve, a energetskim iskorištavanjem ostataka žitarica nadomjestila bi se određena količina fosilnih goriva. Korištenjem raspoložive slame i kukuruzovine u Istočnoj Hrvatskoj mogla bi se emisija CO_2 smanjiti za nešto više od 460,000 tona. U 1990. godini emisija SO_2 iz energetskog sektora u Hrvatskoj bila 20.740,725 tona [9].



Slika 5. Emisija CO u g/MWh

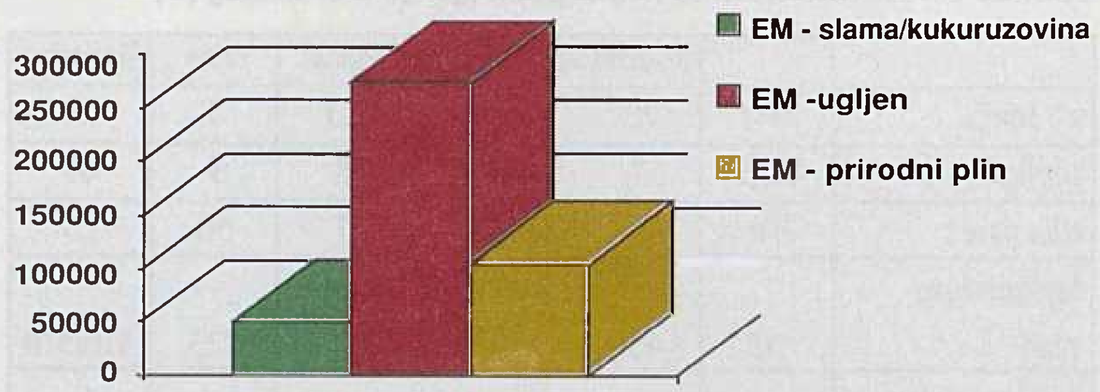


Slika 6. Emisija CO_2 u g/MWh

S obzirom da se sjetva, žetva te spaljivanje slame i kukuruzovine obavljaju tijekom jedne godine računa se da se atmosfera ne opterećuje stakleničkim plinovima.
Kao zbirni pokazatelj utjecaja na okoliš i zdravlje stanovništva mogu poslužiti vanjski troškovi pri proizvodnji energije. U programu EM su pretpostavljeni pokazatelji utjecaja na okoliš koji služe za proračun vanjskih troškova (tablica 9).

Tablica 9. Pretpostavljeni pokazatelji utjecaja na okoliš

zagađivač	USD/toni
SO_2	3000
NO_x	2400
čestice	600
CO_2	30
CH_4	330
N_2O	7500

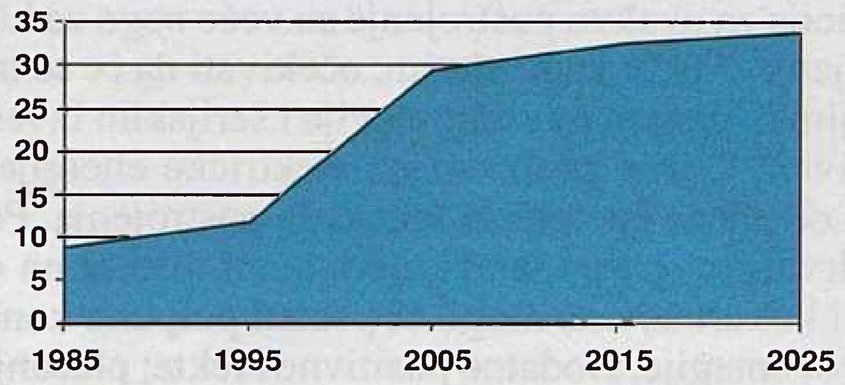


Slika 7. Vanjski troškovi u USD/MWh godišnje

Počne li se utjecati na okoliš gospodarski vrednovati i uključe li se u Hrvatskoj vanjski troškovi u cijenu električne energije, kao što se to u nekim europskim zemljama već radi proizvodnja električne energije iz slame i kukuruzovine mogla bi postati potpuno konkurentna (slika 7).

6. ENERGETSKO ISKORIŠTAVANJE SLAME U DANSKOJ

Godine 1986. vlada Danske započela je energetski program koji je trebao osigurati 450 MW električne snage do 1996. godine. Taj je program predviđao uz izgradnju vjetroelektrana izgradnju kogeneracijskih postrojenja na slamu, drvo, otpad, bioplin te prirodni plin. U 1990. započet je novi program koji je imao za cilj povećanje udjela prirodnog plina i biomase u proizvodnji energije. To se trebalo ostvariti rekonstrukcijom postojećih toplana na ugljen i mazut u kogeneracijska postrojenja na prirodni plin i biomasu.
Slijedom tih odluka do početka 1993. godine pušteno je u pogon 70 postrojenja koja daju ukupno 425 MW električne snage. Uvođenjem kogeneracijskih postrojenja stupanj iskorištenja energije iz goriva znatno je povećan. Budući da su većina od izgrađenih postrojenja bila građena kao prva te vrste u svijetu, njihove su karakteristike različite (tablica 10).



Slika 8. Očekivana proizvodnja energije iz slame u PJ/godišnje u Danskoj [1]

Trenutačno se u Danjskoj razvija dosad najveće postrojenje na slamu u svijetu snage 50 MW. Ovo se postrojenje razvija na osnovi dosad prikupljenih iskustava svih postojećih sličnih postrojenja na slamu te su riješeni dosad uočeni problemi. Projekt vodi tvrtka Burmeister & Wain Energi A/S, dio međunarodnog koncerna BABCOCK. Karakteristike postrojenja će biti bolje od svih dosad izvedenih postrojenja na slamu, pa je tako planirana toplinska efikasnost 92.5%, tlak pare u kotlu 93 bara i temperatura pare 522°C. Procijenjeno je da će proizvodnja energije iz slame u Danskoj rasti i u bližoj budućosti.

Tablica 10. Karakteristike nekih postrojenja u Danskoj [1]

		Rudkøbing	Haslev	Slagelse	Vejen	Holstebro
el. snaga	MW	2.3	5	11.7	3	28
toplina	MJ/s	7	13	28	9	67
tlak pare	bar	61	67	67	50	65
temperatura pare	°C	450	450	450	425	410/510
maksimalni protok pare	tona/h	12.8	26	40.3	15.7	125
toplinski spremnik	m^3	2500	3500	3700	1500	5000
maksimalno izlaznih plinova	kg/s	5.6	9.9	13.4	17.3	63
temp. izlaznih plinova	°C	120	120	120	140	110
spremnik za slamu	tona	350	350	600	450	432
potrebe za slamom	tona	3	5.3	7.2	15-45%	25%
rad na druga goriva:						
ugljen					DA	
plin						DA
drvo					DA	DA
ukupne	mil.					
investicije	DKK	64	100	140	100	515

6. ZAKLJUČAK

Na poljima Hrvatske ostaje nakon žetve vrlo velika količina slame i kukuruzovine. Jedan je dio moguće koristiti za dobivanje energije.
Na području Osječko-Baranjske i Vukovarsko-Srijemske županije moguće je uz sva predvidiva ograničenja i gubitka godišnje proizvesti oko 450,000 MWh električne energije, što odgovara godišnjoj proizvodnji dva promatrana objekta snage 50 MW. Proizvedena toplinska energija koja se može iskoristiti još je veća.
Investicije za ovakvo postrojenje su veće nego za klasična postrojenja. Može se, međutim, očekivati da će se ta razlika daljim razvojem ove tehnologije i serijskim izvedbama smanjivati. Cijena proizvedene električne energije nešto je viša od cijene energije iz klasičnih postrojenja. Počne li se u Hrvatskoj gospodarski vrednovati utjecaj na okoliš, slama i kukuruzovina mogli bi postati potpuno konkurentan izvor energije. Dodatne pozitivne efekte; plaćanje mjesnim poljoprivrednicima za isporučenu slamu i kukuruzovinu, smanjivanje uvoza i osiguranje novih radnih mjesta također bi trebalo uzeti u razmatranje.
S gledišta utjecaja na okoliš, a pogotovo opterećenja atmosfere tzv. stakleničkim plinovima, slama i kukuruzovina su vjerojatno najprihvatljivije gorivo. S obzirom da se sjetva, žetva te spaljivanje obavljaju tijekom jedne godine računa se da se atmosfera ne opterećuje stakleničkim plinovima. Energetskim iskorištavanjem slame i kukuruzovine u Istočnoj Hrvatskoj emisija CO_2 smanjila bi se za više od 460,000 tona, što izosi gotovo 3% od ukupne emisije CO_2 u 1994. godini u Hrvatskoj. Emisije ostalih onečišćivača manje su ili usporedive s emisijama pri korištenju klasičnih goriva.

U svijetu su postupci i tehnologije za energetsko iskorištavanje slame i kukuruzovine već poznati i razrađeni, pa bi pri eventualnom budućem korištenju ovog potencijalnog izvora energije trebalo koristiti iskustva razvijenih zemalja, kao što su Danska, Austrija i Velika Britanija.
Nedvojbeno je da će u Hrvatskoj prije odluke mogu li se slama i kukuruzovina koristiti kao izvor energije u sklopu obnovljivih izvora, biti potrebno obaviti još detaljniju sveobuhvatnu analizu. Ovdje provedeno razmatranje pokazuje da bi takva analiza bila opravdana i potrebna.

LITERATURA

[1] L. NIKOLAISEN: "Straw for Energy Production. Technology Environment-Economy", The Centre of Biomass Technology, Aarhus, Danmark 1992.
[2] M. WORGETTER, L. LASSELSBERGER: "Stroh als Brennstoff für Anlagen des Hausbrandes", Der Ferderungsdienst 12, 1991: 358-361.
[3] TEHNOLOGY STATUS REPORT 011, ETSU for the dti. 8, 1996.
[4] G. OLSEN, et al.: "Guideline for Estimation of Renewable Energy Potentials, Barries and Effects", The Danish Organization for Renewable Energy, 1996.
[5] M. BERONJA: "Eneragetsko korištenje biomase iz poljoprivrede", Zbornik radova X. Međunarodno savjetovanje tehnologa sušenja i skladištenja, "Zrnko '94", Stubičke toplice 1994: 145-155.
[6] A. JELČIĆ: "Temeljne odrednice razvoja hrvatskog elektroenergetskog sustava do 2010. godine," Energija 5/6, 1995: 225-231.
[7] STATISTIČKI LJETOPIS 1993., Državni zavod za statistiku Republike Hrvatske. Zagreb, 1994.
[8] T. KOVAČEVIĆ et al.: "Ekološki porezi u elektroenergetici", Stručni skup "Pravo i okoliš". Zagreb 1997.
[9] G. GRANIĆ et al.: "PROHES – Prethodni rezultati", Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb 1995.

ENERGY PRODUCTION FROM STRAW AND MAIZE STALKS IN THE EASTERN CROATIA

The energy potential of straw and maize stalks in the Eastern Croatia is described. The characteristics of similar plants using straw and maize stalks, coal and natural gas are analysed whereby the investment and produced electric energy costs together with their influence on the environment are compared.

DIE ENERGIEERZEUGUNG AUS GETREIDE- UND MAIS-STROH IN ÖSTLICHEN GEBIETEN CROATIENS

Dargestellt ist das Energievorkommen in Getreide - und Mais-Stroh in Östlichen gebieten Kroatiens. Erörtert sind Kenndaten ähnlicher, Getreide und Mais -Stroh bzw. Kohle und Erdgas, als Brennstoff nutzender Objeke, sowie die Kapitalanlage, Energieerzeugungspreis und Umweltbelastung dieser Objekte verglichen.

Naslov pisaca:

Julije Domac, dipl. ing.
Energetski institut "Hrvoje Požar"
Ulica grada Vukovara 37,
10000 Zagreb, Hrvatska

mr. sc. Željko Tomšić
Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1997-05-29

OSNOVE OPTIČKIH KOMUNIKACIJA - II. DIO: GENERIRANJE, DETEKCIJA I POJAČANJE SVJETLOSNIH IMPULSA U DIGITALNIM PRIJENOSNIM SUSTAVIMA

Mr. sc. Dubravko Sabolić, Zagreb

UDK 681.4:621.375.826
PREGLEDNI ČLANAK

Rad prikazuje fizikalne osnove i tehničko-tehnološke aspekte laserskih izvora svjetlosti i kvantnih pojačala s laserskim staklom dopiranim erbijem (EDFA), kao i osnove detekcije optičkih signala. Dan je i vrlo kratak pregled metoda kojima se nastoje dostići brzine prijenosa svjetlovodnim medijem u području oko 1 Tb/s.

Ključne riječi: laserska dioda, pin dioda, erbijem dopirano svjetlovodno pojačalo (EDFA), ultrabrza modulacija.

Uvod

U prvom dijelu serije Osnove optičkih komunikacija [1] vidjeli smo na kojim se principima osniva efikasan prijenos informacija svjetlovodnim medijem i koja su tehničko-tehnološka ograničenja pri tome važna. Impulsni svjetlosni signal na svome putu kroz optičko vlakno nužno trpi disperziju i gušenje, a oba ta faktora ograničavaju produkt moguće digitalne brzine prijenosa i dosega veze u geografskom smislu. Kod multimodnih vlakana disperzija je uzrokovana različitošću prijenosnih svojstava optičkog valovoda za mnogo prisutnih propagacijskih modova. Radi toga ova vrsta svjetlovoda nema značajnije prijenosne kapacitete. Disperzija u jednomodnim vlaknima potječe od nekoherentnosti svjetlosnog izvora, a sadrži materijalni i valovodni član. Materijalna disperzija nastaje radi varijacije indeksa loma stakla s valnom duljinom, zbog čega pojedini dijelovi ukupne svjetlosne energije emitirani u "razmazanoj" spektralnoj liniji izvora putuju različitim brzinama. Valovodna disperzija uzrokovana je različitošću prijenosnih svojstava optičkog valovoda za mnogo prisutnih propagacijskih modova. Radi toga ova vrsta svjetlovoda nema značajnije prijenosne kapacitete. Disperzija u jednomodnim vlaknima potječe od nekoherentnosti svjetlosnog izvora, a sadrži materijalni i valovodni član. Materijalna disperzija nastaje radi varijacije indeksa loma stakla s valnom duljinom, zbog čega pojedini dijelovi ukupne svjetlosne energije emitirani u "razmazanoj" spektralnoj liniji izvora putuju različitim brzinama. Valovodna disperzija uzrokovana je različitošću prijenosnih svojstava za prisutne valne duljine zbog različitosti omjera a/λ (odnos polumjera jezgre vlakna i valne duljine), pa bi ona bila prisutna i u idealnom vlaknu, s indeksom loma neovisnim o valnoj duljini. Materijalna i valovodna disperzija zajedno čine kromatsku disperziju jednomodnog vlakna, i ona je pored inherentnog gušenja stakla (oko 0.2 dB/km pri λ = cca. 1.5 μm kod čistog silica stakla, odnosno blizu λ = 1.55 μm kod silica stakla dopiranog radi pomaka disperzije, ona je bitno reducirana zbog poništavanja suprotnih djelovanja valovodne i materijalne komponente. Potpuno poništenje disperzije ostvarivo je primjenom snažnih solitonskih impulsa, pri čemu efekt fazne samomodulacije u nelinearnom mediju potire učinke kromatske disperzije. Radi gušenja u staklu, međutim, potrebna je periodička regeneracija ili pojačanje signala u svrhu očuvanja amplitude solitona i zadržavanja u nelinearnom režimu rada (Kerrov efekt). Uz regeneraciju impulsa s ekvilizacijom demonstriran je solitonski prijenos na planetarnim udaljenostima bez mjerljive disperzije.

Danas je tehnološki izazov u optičkom prijenosu digitalnih informacija postizanje digitalne brzine reda 1 Tb/s (10^{12} b/s ili 1000 Gb/s). Da bi se to ostvarilo potrebno je razriješiti probleme vezane uglavnom za izvore i detektore svjetlosti, o čijoj kvaliteti i brzini rada ovise performancije sustava. Područje valnih duljina oko 1.55 μm s prihvatljivo malim gušenjem (oko 0.2 dB/km) naziva se prozorom transmisije, a široko je, izraženo frekvencijom svjetlosti, oko 25 THz, što ostavlja prostora za slanje nekih 40-ak Tb/s po svakoj optičkoj niti, uz binarno signaliziranje tipa NRZ (Non Return to Zero). Prag od 1 Tb/s svojevrsna je "pšihološka barijera" koja se nastoji dostići. Tehnike rasprezanja po valnoj duljini (WDM; Wavelength Division Multiplexing) i solitonskog prijenosa omogućuju razvoj u tom smjeru korištenjem već danas komercijalno dostupnih optičkih vlakana. Koja od njih će u prvom trenutku prevagnuti, ovisi o tome koja će biti jednostavnija za realizaciju u danim tehničkim okvirima. Zasad se čini da WDM ima u tom pogledu prednost. Međutim, WDM sama po sebi ne rješava pitanje maksimiziranja postizivog prostornog dosega prijenosa, tako da će vjerojatno već u malo daljoj budućnosti doći do kombiniranog korištenja WDM-a i solitonskog prijenosa. Ako je istinita tvrdnja da komercijalna uporaba nekog novog tehničkog rješenja u telekomunikacijama kasni za laboratorijskim ostvarenjima nekih 5 godina, već za to kratko vrijeme bit će moguće interkontinentalno povezivanje velikim (golemim) brzi-

nama prijenosa, oko 400 Gb/s po vlaknu, što znači da će optički transmisijski sustavi tada konačno postati kičmena svjetska infrastruktura u području komunikacija. Postizanje brzina većih od par Tb/s načelno je moguće korištenjem naprednijih tehnika signaliziranja, npr. višerazinskom modulacijom amplitude ili argumenta svjetlosnog nosioca, odnosno kombinacijom tih postupaka, poput QAM modulacije. Međutim, jedno od glavnih ograničenja pritom leži u elektronici, koja mora pobuditi modulatorske sklopove, odnosno prihvatiti i obraditi signale demodulatora. Danas se zapravo još ne nazire elektronika koja bi bila sposobna raditi na nekoliko tisuća GHz. Razvoj optičkih ultrabrzih komutacija bit će veliki tehnološki iskorak naprijed prema transmisiji iznad milijun milijuna bita u sekundi po jednome vlaknu. Treba, naravno, još spomenuti i da modulacija argumeta laserskog izvora neće biti baš lagan izazov. Bilo kako bilo, mi smo danas svjedoci "bitke" za dosizanje granice od 1 TB/s, a sve govori da će ona u skoroj budućnosti biti prekoračena i u komercijalnom smislu. Jedan od ključnih tehnoloških napredaka koji će to omogućiti ostvaren je nedavno. Radi se o izumu erbijem dopiranog svjetlovodnog pojačala (EDFA, Erbium Dopped Fibre Amplifier) [2], koje vrši pojačanje signala na optičkom nivou, bez potrebe demodulacije u električki oblik i ponovne optičke modulacije, kao kod klasičnih regeneratora. Optički prijenosni medij, koji je karakteriziran niskim udjelom pogrešno detektiranih bitova (BER, Bit Error Rate) pogodan je za uporabu ove tehnike, za razliku od npr. radijskog, kod kojega je BER obično bitno veći, pa je u svakoj regeneratorskoj točki potrebno korigirati binarni sadržaj radi sprečavanja gomilanja greške na dionici, što se može učiniti jedino na električkoj razini signala.

Ovaj nastavak serije Osnove optičkih komunikacija posvećen je izvorima i detektorima optičkih signala, te optičkim pojačalima EDFA. Ukratko je prodiskutirana suvremena težnja u uvjetima u kojima je svjetlovodna nit postala zreo industrijski proizvod koji će ubuduće teško doživljavati važne i uzbudljive promjene, pa je teret napretka pao na istraživanja laserskih izvora i pojačala, odnosno detektora fotonskog zračenja. Teško je reći gdje je stvarna granica prijenosnog kapaciteta optičke niti. Možda je nešto lakše analizirati fundamentalne limite. Svejedno, danas izgleda da se tehnologija polaganim koracima približava platou od nekoliko Tb/s, nakon čega napredak uz danas poznata rješenja (svjetlovodi, izvori, detektori, optička pojačala) nije lako zamisliv. Ako je čitatelj pomalo razočaran zadnjom "pesimističnom" rečenicom, neka se prisjeti samo činjenice da skorašnja stvarnost od 1 TB/s na distancama globalnih razmjera predstavlja toliko velikih transportni kapacitet, da se on, u odnosu na sve druge postojeće sustave prijenosa informacija, može smatrati gotovo beskonačnim.

1. PRINCIPI RADA LASERA I MASERA

Mogućnost stimulirane emisije kvanata pri prijelazu iz višeg u niže energetsko stanje atoma teorijski je predskazao Einstein 1916. godine. Zamislimo atom u nekoj tvari i bilo koje dvije od mnogih njegovih energetskih razina. Nižu razinu označimo sa n, a višu sa m. Atom može apsorbirati fotone odgovarajuće energije hf, ako ona odgovara razlici energetskih nivoa m-tog i n-tog stanja. Vjerojatnost da će se takav događaj dogoditi R puta u sekundi ovisi, naravno, o razinama n i m, te proporcionalno o intenzitetu upadne svjetlosti I (zapravo o broju upadnih fotona po sekundi). Isto tako, broj prelazaka iz stanja n u m razmjeran je broju atoma u stanju n: N_n. Neka konstanta B_{nm} bude faktor proporcionalnosti koji opisuje ovaj proces. U pobuđenom materijalu, pored apsorpcije, mogu se dogoditi još dvije vrste procesa. Neki od pobuđenih atoma vratit će se u n-tu razinu emitirajući pritom foton energije hf. To se naziva spontanom emisijom. Ona ne ovisi o intenzitetu svjetla, već samo o stanjima n i m. Naravno, broj spontanih emisija u sekundi razmjeran je broju pobuđenih atoma dovedenih u stanje m: N_m. Između broja atoma N_n i N_m vlada u normalnom stanju termička ravnoteža ovisna o razlici energija tih stanja:

$$\frac{N_m}{N_n} = \exp\left[-\left(E_m - E_n\right)/kT\right] \qquad (1)$$

Nadalje, Einstein je po analogiji s klasičnom teorijom zamislio i proces stimulirane emisije, pri kojemu ona ovisi i o upadnom svjetlu na taj način da je njena vjerojatnost razmjerna upadnom intenzitetu, i to s konstantom B_{mn}. Postoje tri procesa: apsorpcija, spontana emisija i stimulirana emisija.

Broj prelazaka is stanja n u stanje m u sekundi jednak je dakle:

$$R_{n\to m} = N_n B_{nm} \cdot I(f) \qquad (2)$$

$I(f)$ je intenzitet upadne svjetlosti kao funkcija frekvencije vala. On govori koliki udio ukupne energije stiže na frekvenciji f sadržanoj u polikromatskoj svjetlosti. Broj prelazaka iz stanja m u stanje n u sekundi pri spontanoj emisiji je:

$$R_{m\to n}^{spontano} = N_m A_{mn} \cdot \qquad (3)$$

Broj prelazaka iz stanja m u stanje n u sekundi pri stimuliranoj emisiji jednak je:

$$R_{m\to n}^{spontano} = N_m B_{mn} \cdot I(f) \qquad (4)$$

tako da je ukupno:

$$R_{m\to n} = N_m\left[A_m + B_{mn} I(f)\right] \qquad (5)$$

Svjetlost koja uzrokuje pobuđivanje atoma iz stanja n u stanje m ima frekvenciju koja odgovara razlici energija tih stanja, tj. E_m-E_n =hf. Uvršteno u (1) to daje:

$$N_m = N_n \exp(-hf / kT) \qquad (6)$$

k je Boltzmanova konstanta, a T je apsolutna temperatura. U stanju ravnoteže broj atoma koji se uzdižu s niže na višu energetsku razinu jednak je broju onih koji se vraćaju. Iskoristivši uvjet termičke ravnoteže (6), lako dobijamo:

$$B_{nm} I(f)\exp(hf / kT) = A_{mn} + B_{mn} I(f) \qquad (7)$$

Izlučivši $I(f)$ imamo:

$$I(f) = \frac{8\pi^2 hf^3}{c^2} \cdot \frac{1}{\exp(hf/kT) - 1}\ , \qquad (8)$$

Naravno, Einstein je znao za ranije izveden i eksperimentalno dobro provjeren Planckov zakon zračenja:

$$I(f) = \frac{8\pi^2 hf^3}{c^2} \cdot \frac{1}{\exp(hf/kT) - 1} \quad , \qquad (9)$$

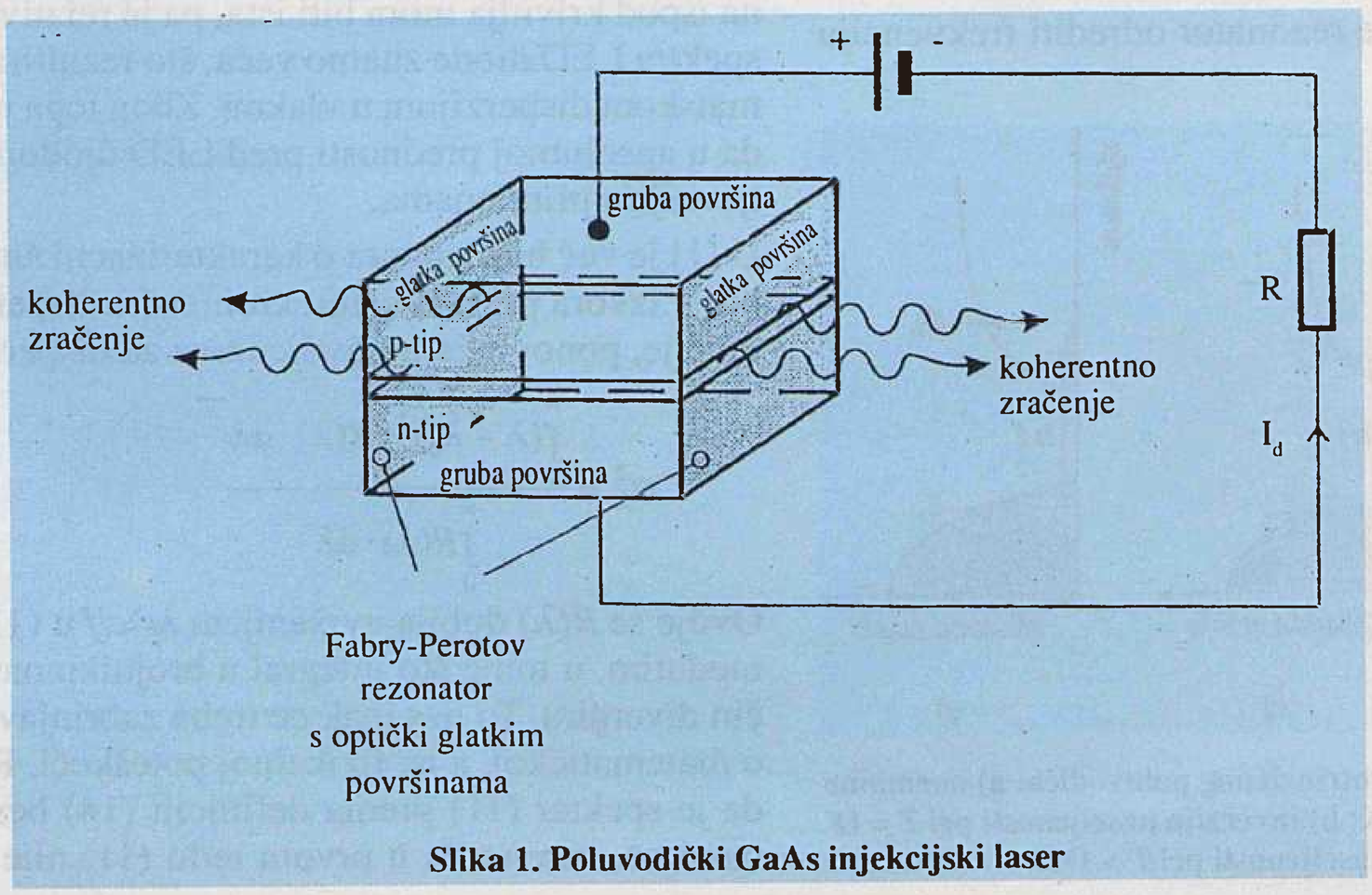
pa je usporedbom (8) i (9) zaključio da mora biti $B_{nm}=B_{mn}$, te isto tako da je $A_{mn}/B_{mn}=8\pi^2 hf^3/c^2$. Činjenica da je modelom koji uključuje pojavu stimulirane emisije dobiven Planckov zakon na drugačiji način od originalnog Planckovog izvoda, i bez njegove jake pretpostavke o postojanju mnogih, ali ekvidistantnih stanja energije atoma, dobro se uklopila u tada dostupne spoznaje, i osim toga, pokazala je da je stimulirana emisija *fizikalna realnost*. U to doba, međutim, nije se moglo procijeniti konkretne vjerojatnosti prijalaza između pojedinih stanja radi nepoznavanja mehanike atoma.

Primjena pojave inducirane emisije došla je uobliku *lasera i masera*. Laser je kratica složenog pojma na engleskom jeziku: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (pojačanje svjetla stimuliranom emisijom zračenja); a maser je kratica od Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation (pojačanje mikrovalova...). Riječ je o dvjema suštinski istim stvarima, samo se kod masera radi o dubokom infracrvenom području frekvencija, pri gornjoj granici mikrovalnog pojasa. U optičkim komunikacijama koriste se laseri valnih duljina 1.3 μm i 1.55 μm, koji upadaju u prozore najbolje transparencije optičkih niti od silica stakla [1]. Radi ilustracije, u tablici 1 dana je tradicionalna podjela donjeg dijela spektra frekvencija ionizirajućih zračenja. Vidi se da laseri za optičke komunikacije rade u infracrvenom, dakle *nevidljivom* području valnih duljina. Stoga je pri radu s opremom optičkih telekomunikacija potreban poseban oprez radi zaštite očiju od štetnog djelovanja laserske svjetlosti, jer se laserska zraka ne vidi. Sama korisna primjena prirodne pojave stimulirane emisije može se ostvariti ako se nekim *netermičkim* procesom naruši stanje toplinske ravnoteže i izazove pojava znatno veće naseljenosti viših energetskih stanja od nižih. Ta se pojava naziva *inverzijom naseljenosti* ili *inverzijom koncentracije*. Proces koji uspostavlja i podržava takvo stanje naziva se *pumpom*. Jedna od klasičnih metoda pumpanja sastoji se u tzv. trorazinskom radu, a moguća je u materijalima koji imaju *metastabilna kvantna stanja*, koja nisu stanja minimalne energije, ali svejedno imaju kvazistabilne osobine, što znači

Tablica 1. Podjela spektra od infracrveog do ultraljubičastog zračenja

Zračenje	Frekvencija [THz]	Valna duljina [μm]
infracrveno	3-429	100-0.7
crveno	429-492	0.7-0.61
narančasto	492-508	0.61-0.59
žuto	508-526	0.59-0.57
zeleno	526-600	0.57-0.50
plavo	600-667	0.50-0.45
ljubičasto	667-698	0.45-0.43
ultraljubičasto	698-100000	0.43-0.003

da atom pobuđen u to stanje neće prijeći na niži energetski nivo bez vanjske pobude. Preciznije rečeno, vjerojatnost takvog prijelaza je mala. Materijali koji imaju metastabilna stanja potencijano su pogodni za laserski rad. Jedni od njih su npr. elementi u periodnom sustavu poznati kao "rijetke zemlje", od kojih je najvažniji *erbij* (Er, lat. Erbium), koji ima jedan metastabilni prijelaz na valnoj duljini blizu 1.55 μm, pa je pogodan za primjenu u svjetlovodnim sustavima. Silica staklo onečišćeno npr. erbijem, ima svojstva stimulirane emisije, i pripada skupini laserskih stakala. Drugi poznati stakleni laser je rubinski, koji radi u crvenom području. Suština rada staklenih lasera je u tome da pumpna svjetlost visoke energije kvanata (npr. plava) pobudi atome u visoko energetsko stanje *t*. Oni spontanom emisijom padaju na metastabilnu razinu *m*. Ako se pojavi recimo "crveni" kvant zračenja odgovarajuće frekvencije $f=(E_m-E_n)/h$, mnogo će atoma iz metastabilnog stanja *m* istodobno skočiti u niže stanje *n*, emitirajući mnoštvo fotona frekvencije *f*, crvene boje. S obzirom da je stimulirana emisija razmjerna broju ulaznih fotona, radi se evidentno o pojačanju upadnog crvenog zračenja na račun energije plave pumpe. No, laserski efekt nastaje tek kada se lasersko staklo stavi u zrcalni rezonator, koji većinu emitiranih fotona vraća natrag u staklo, pa nastaje neka vrsta lančane reakcije, jer svaki vraćeni foton izaziva stimuliranu emisiju proizvodeći roj novih fotona. Primijetimo da za stacionarno održavanje ovoga lavinskog procesa snaga pumpe mora biti dostatna, ako se želi da laser radi kontinuirano, a ne u impulsima. S druge strane, povoljno je imati



Slika 1. Poluvodički GaAs injekcijski laser

i mogućnost proizvodnje iznimno kratkotrajnih svjetlosnih impulsa. Konačno, s obzirom na polupropusni karakter zrcalnog rezonara, sva energija koju pumpa konverzijom preda pojačanom stimuliranom zračenju, napušta laser u obliku fazno i prostorno iznimno koherentne zrake svjetlosti. Svojstvo lasera koje je do danas gotovo jedino korišteno nije njegova fazna, već prostorna koherencija. Laserski snop može se lećama fokusirati do neusporedivo većih gustoća energije po jedinici površine od bilo kojeg drugog konvencionalnog izvora. Za spregu svjetlosti u monomodnu optičku nit prostorna lokalizacija snopa je vrlo važna, radi nemogućnosti pobude više modova i radi veće efikasnosti sprege. Detaljne informacije o fizičkim temeljima lasera čitatelj može pronaći u [2, 3, 4, 5].

1.1. Poluvodička laserska dioda

Proces dovođena energije pumpanja u poluvodičkim se laserima ne odvija kao u trorazinskim laserima već injektiranjem nosioca u p-n spoj između *jako dopiranih p* i n slojeva izvedenih u planarnoj tehnici. Najčešće korišten materijal od kojega se rade *injekcijski laseri* je galijev arsenid (GaAs). Slika 1 prikazuje tipičnu strukturu poluvodičke laserske diode. Optički rezonator Fabry - Perotovog tipa izvodi se poliranjem dviju strana strukture i oslojavanjem tankim metalnim filmom aluminija ili srebra. Rezonatorske plohe nisu savršeno reflektivne, već su djelomice transparentne za svjetlosno zračenje koje nastaje unutar rezonatora. Ostale plohe strukture obrađene su tako da prigušuju, odnosno apsorbiraju zračenje. Rezonancije u rezonatoru nastaju na svim onim frekvencijama svjetlosti na kojima je razmak ploha jednak višekratniku plovine valne duljine. Rezonator je od najveće važnosti za rad laserske diode radi već spomenutog postizanja pozitivne reakcije kod procesa stimulirane emisije.

Slika 2 prikazuje energetske dijagrame intrinzičnog poluvodiča. Ilustracije a) i b) odnose se redom na normalno stanje naseljenosti i stanje inverzne naseljenosti kod temperature apsolutne nule, 0 K. Valentni pojas ispražnjen je do Fermijeve razine E_{Fv}, a vodljivi pojas popunjen je od Fermijevog nivoa E_{Fk}. Poremećaj koncentracije pri nekoj realnoj temperaturi izgleda kao na slici c). Spontana emisija može dominirati nad apsorpcijom ako je:

$$hf < F_{Fk} - E_{Fv} \qquad (10)$$

Iz toga zaključujemo da će rezonator odrediti frekvenciju rada lasera između onih koje zadovoljavaju (10). Međutim, rezonator propušta dio svjetlosti van iz strukture, što znači da on nije čisto reaktivnog tipa, već ima i disipativni karakter, jer gubi dio energije. Radi toga je stimulirana emisija moguća u jednom pojasu frekvencija, pa izlaz nije strogo monokromatski. Temeljem opažanja, spektralni sastav laserske svjetlosti injekcijskih poluvodičkih uređaja dobro se modelira Lorenzovim spektrom oblika:

$$R(f) = \frac{R_\varphi A^2/2}{(\pi R_\varphi)^2 + (f - f_o)^2}. \qquad (11)$$

To znači da je svjetlost poluvodičkog lasera kvazimonokromatska. Matematički model laserske emisije, koji na kraju rezultira izrazom (11), pretpostavlja da se fizikalni procesi u p-n spoju, gledano izvana, mogu obuhvatiti modelom faznog šuma:

$$B(t) = A\exp\left[j(2\pi f_o t + \theta(t) + \psi\right]. \qquad (12)$$

B je trenutna vrijednost optičkog polja, A je njegova amplituda, a f_0 je centralna frekvencija, koja dominira u spektralnoj liniji. Početni fazni kut ψ jednoliko je distribuirana stohastička varijabla u intervalu između 0 i 2π. Sa $\theta(t)$ opisana je fazna funkcija:

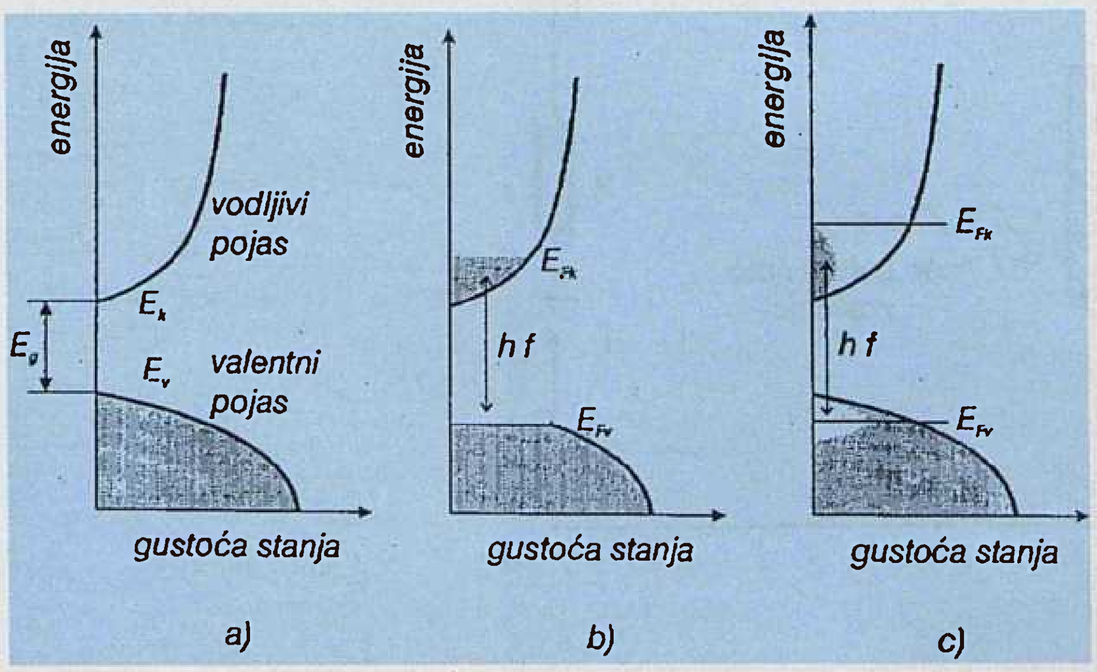
$$\theta(t) = 2\pi \int_0^t \varphi(g)\cdot \mathrm{d}g\ , \qquad (13)$$

gdje je φ frekventni šum. Opća definicija odnosa trenutne faze i trenutne frekvencije je: $2\pi\varphi(t) = \mathrm{d}\theta(t)/\mathrm{d}t$. Teorijske analize injekcijskih laserskih struktura, kao i mjerenja laserskog izlaza, pokazala su da varijabla φ [Hz] kao frekventni šum može biti modelirana bijelim Gaussovim stohastičkim procesom gustoće razdiobe $R_\varphi(f)$. To znači da je vjerojatnost da je frekventno odstupanje u danom trenutku poprimilo iznos između f-f_0 i f-f_0+df jednaka $R_\varphi(f\text{-}f_0)$ df, pri čemu je $R_\varphi(f)$ zvonolikog oblika poznate Gaussove krivulje gustoće vjerojatnosti. Veličina R_φ u (12) predstavlja maksimalnu vrijednost te razdiobe. S obzirom da razdioba $R_\varphi(f)$ određuje vjerojatnosti frekventnih odstupanja, ona ujedno određuje i "brzinu" faznih promjena, tj. širinu spektralne linije izvora. Normalizirani oblik krivulje (11) dan je na slici 3a). Radi ilustracije, uz krivulju spektralnog sastava linije laserske diode (LD) kvalitativno je skicirana i krivulja obične LED diode kao nekoherentnog izvora. Uz jednaku optičku snagu emitiranu iz ta dva uređaja, površina ispod krivulja mora biti ista, pa je relativna zagađenost spektra LED diode znatno veća, što rezultira velikom kromatskom disperzijom u vlaknu. Zbog toga je laserska dioda u apsolutnoj prednosti pred LED diodom u imalo zahtjevnijim primjenama.

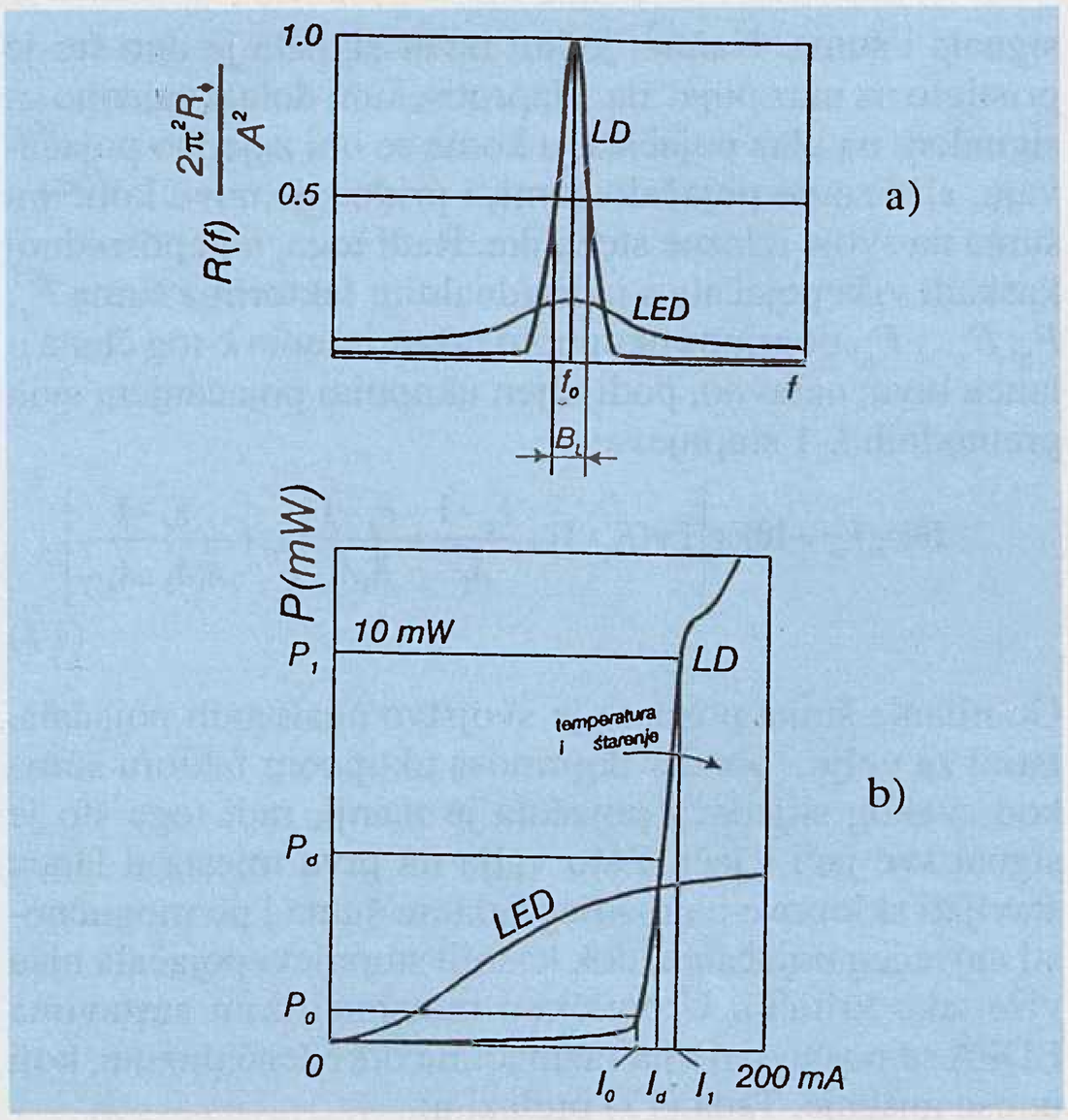
U [1] je već bilo govora o karakterizaciji širine spektralne linije izvora pri računanju kromatske disperzije. Radi komocije, ponovit ćemo ovdje izraz za disperziju izvora:

$$\sigma_\lambda^2 = \frac{\int_0^\infty (\lambda - \lambda_0)^2 \cdot R(\lambda)\cdot \mathrm{d}\lambda}{\int_0^\infty R(\lambda)\cdot \mathrm{d}\lambda} \qquad (14)$$

Ovdje se $R(\lambda)$ dobija uvrštenjem $\lambda = c/f$ u (11). Nevolja je, međutim, u tome što integral u brojniku nastao na taj način divergira. To nas ipak ne treba zabrinjavati, jer je riječ o matematičkoj, a ne fizikalnoj poteškoći. Radi se o tome da je spektar (11) prema definiciji (14) beskonačan. Mi, naravno, znamo da u prvom redu (11) nije sasvim točan



Slika 2. Energetski dijagrami intrinzičnog poluvodiča: a) normalno stanje naseljenosti pri T = O K; b) inverzija naseljenosti pri T = O K; c) inverzija naseljenosti pri T > OK



Slika 3. a) spektar snage LED i laserske diode; b) ovisnost optičke snage o diodnoj struji za LED i lasersku diodu

model, jer se u najmanju ruku kosi sa (10). Da bismo ipak mogli specificirati neku veličinu koja karakterizira čistoću linije, definirat ćemo njenu širinu pojasa B_L kao razmak onih dviju frekvencija lijevo i desno od centralne, na kojima razdioba snage pada na polovicu vršne vrijednosti, dakle one na centralnoj frekvenciji. To se vidi na slici 3. Iz (11) lako slijedi da je:

$$B_L = 2\pi R\psi \qquad (15)$$

Kada bi broj svih mogućih prijelaza prema (10) bio jednak 1, tj. kada bi u valentnom i vodljivom pojasu postojao samo po jedan odgovarajući energetski nivo, laser bi zračio monokromatsku svjetlost. U poluvodiču to nije moguće. Da bi p-n spoj djelovao kao laserski izvor, mora zadovoljiti ove osnovne uvjete: poluvodič mora biti GaAs, ili koji drugi pogodan za tu svrhu; p i n slojevi trebaju biti jako dopirani, kako bi se mogla postići inverzija naseljenosti pumpanjem pomoću injektiranja elektrona i šupljina u p-n spoj; mora se primijeniti jaka struja, koja dovodi do injekcije, a istodobno je opasna radi mogućeg termičkog oštećenja diode; te mora imati rezonator. Detalji se mogu vidjeti u [4]. Vanjska karakteristika laserske diode, koja prikazuje ovisnost izlazne optičke snage o istosmjernoj struji diode, dana je na slici 3b), na kojoj se vidi prag laserskog efekta, pri kojemu počinje pumpanje. Digitalna modulacija ovakvoga lasera može se vršiti vrlo lako, direktno mijenjajući struju diode ispod i iznad praga laserskog djelovanja, ovisno o binarnoj vrijednosti znaka koji je trenutno na ulazu modulatora. Kod kvalitetnih komponenti to se preklapanje može izvršiti i do nekoliko milijardi puta u seknudi, a uz tehničke trikove brzina rada koju omogućavaju današnji najbolji injekcijski laseri je u redu veličine 100 Gb/s. Za vrijeme kada mu je struja iznad praga, poluvodički laser emitira kontinuirani val. Rubinski laser bez Q preklapanja radi u režimu emisije vrlo kratkih i vrlo snažnih impulsa [4].

Bitan parametar izvora svjetlosti za prijenos optičkim nitima je efikasnost sprege. Ona govori koliki dio zračne optičke snage prodire doista u sam svjetlovod. Što je snop kojega dioda zrači prostorno uži, to je postiziva efikasnost sprege veća. Tablica 2 daje usporedni pregled osnovnih karakteristika neodimijevog (Nd) staklenog lasera, LED diode od galij-indij-arsenid-fosfida (GaInAsP), te LD diode od GaInAsP, sve pri λ = 1.0 do 1.7 μm. Preciznije podatke važne za projektiranje čitatelj može naći u [6]. Usporedimo neke podatke iz tabele. Stakleni laser ima trorazinsko optičko pumpanje i fiksnu valnu duljinu. Poluvodičkim izvorima λ se može mijenjati izborom dopiranosti p i n slojeva, kao i geometrijom rezonatora. Širina spektra staklenog lasera izražena u l je čak 30 puta manja od one kod LD-a, ali je ipak konačna, tj. stakleni laser nije monokromatski, unatoč tome što se kod njega stimulira emisija ne odvija između razmazanih energetskih pojasa, već između diskretnih razina. Te se razine, međutim, cijepaju uslijed Starkovog efekta međudjelovanja atoma u strukturi, koja je u slučaju stakla lokalno dosta pravilna, ali istodobno i prilično amorfna na makroskopskom nivou sitnih staklenih zrnaca, pa Starkov učinak varira s položajem u staklu, radi čega broj laserskih prijelaza može biti prilično velik. Širina linije LED-a je toliko velika, da se ne može govoriti o monokromatskoj svjetlosti. Efikasnost sprege je potpuna kod staklenih lasera, polovična kod poluvodičkih, a vrlo niska kod LED izvora. To je zato jer je emitirajuća površina lasera mala, a prostorna koherencija vrlo velika. Kod GaAs lasera postoji problem prostornog cijepanja zrake na više odvojenih divergentnih zraka, što se klasično rješava fokusirajućom lećom. No, u najnovije doba je taj problem tehnološki prevladan, tako da GaAs laserska dioda može emitirati jednu jedinu zraku intenziteta dovoljnog čak i za kirurške primjene [7]. Modulacija poluvodičkih izvora može se vršiti jednostavno upravljanjem strujom diode, dok je kod staklenog lasera to neizvedivo, pa se mora rabiti upravljivi filtar, koji modulira već proizvedenu zraku svjetlosti. Unatoč tome što stakleni laseri imaju superiorne karakteristike, do njihove šire primjene nije došlo radi nezgrapne konstrukcije i skupoće. LED dioda pak ima suviše loše karakteristike. Laserska dioda se je zato nametnula kao opcija definitivnog izbora. Njezina sjajna osobina je u tome da se kontinuirani svjetlosni tok kojega ona proizvodi može lako i brzo digitalno modulirati preklapanjem struje iznad i ispod praga laserskog efekta.

Tablica 2. Osnovne karakteristike izvora svjetlosti u području od 1000 do 1700 nm

Izvor	Stakleni Nd^{3+} laser	LED GaInAsP	LD GaInAsP
Pumpanje	optička pumpa	istomjerna struja	istosmjerna struja
Valna duljina [μm]	1.06	0.9-1.7	0.9-1.7
Širina spektra [nm]	<0.1	120	3
Izlazna snaga [mW]	5	1	5
Efikasnost snage	<1%	nekoliko %	nekoliko %
Efikasnost sprege	100%	nekoliko %	50%
Modulacija	vanjski modulator	direktna	direktna
Moguća širina pojasa	nekoliko Gb/s	100 Mb/s	par stotina Mb/s

2. ERBIJEM DOPIRANO SVJETLOVODNO POJAČALO (EDFA)

Osnovne principe kvantnog pojačanja u erbijem dopira-

nim svjetlovodnim pojačalima (EDFA, Erbium Dopped Fibre Amplifer) već smo imali prilike sagledati u dosadašnjem izlaganju. Suštinska razlika EDFA i staklenog lasera je u tome da lasersko staklo aktivirano atomima rijetke zemlje erbija (Er) nije montirano u rezonatorsku strukturu, pa ne služi kao laserski izvor, već kao lasersko pojačalo ulaznog svjetlosnog signala. Naravno, korištenjem erbijem dopiranog svjetlovoda može se u načelu konstruirati i laserski izvor. Pumpanje je izvedeno kontinuiranim optičkim signalom više frekvencije od svjetlosnog nosioca informacije. Radi kratkoće prostora, ovdje ćemo se posvetiti samo osnovnim temama iz područja svjetlovodnih pojačala. Koristan i detaljan pregled problematike s opisanim primjenama čitatelj može naći u [2].

Modulirani optički signal trpi na svojem putu kroz vlakno slabljenje. Radi toga ga je potrebno povremeno pojačati, kako bi se produžio doseg veze. Klasično regeneratorsko rješenje sastoji se u tome da se oslabljeni optički signal (nakon nekih stotinjak km puta) demodulira u slabi i izobličeni električni digitalni signal, koji se pojača, ekvilizira i regenerira po obliku, te se ponovno modulira na svjetlosni nosioc i odašilje kroz novu dionicu svjetlovoda. Ovo rješenje ima dvije mane. Manja od njih je ta da su optoelektronički regeneratori skupi i nezgrapni. Veća mana im je u tome da ograničuju fleksibilnost prijenosnog sustava jer svaki regenerator može raditi samo s jednom brzinom bitova i formatom digitalnih poruka. Tako svaka promjena multipleksne opreme zahtijeva ujedno i zamjenu svih regeneratorskih stanica, što može biti vrlo skupo u cijeni koštanja i količini rada, primjerice kod veza ostvarenih podmorskim kabelima. Problem je očito posebno izražen kod vrlo dugačkih sustava.

Optičko pojačalo dopirano erbijem omogućuje pojačanje na fotonskoj razini, gdje uopće nije važna digitalna brzina, radni format, ili bilo što drugo vezano za informacijski sadržaj moduliran na svjetlosni nosioc. Jedini limitirajući faktor je širina pojasa pojačala, koja iznosi do oko 3 THz, omogućujući prijenos NRZ birarnim signaliziranjem do nekih 5 Tb/s. Budući da međunarodna telekomunikacijska unija ITU (International Telecommunications Union) planira predložiti standard sa frekventnim rasprezanjem optičkih kanala u rasteru od po 100 GHz između svakog nosioca, i to u području oko središnje frekvencije od 193.1 THz (1552.5 nm), jedan EDFA uređaj moći će simultano pojačati barem 30 takvih kanala. Izvjestan nedostatak EDFA je u njihovu inherentno *analognom* načinu rada, pri kojemu se optički signal pojačava onakvim kakvim je pristigao na ulaz pojačala, izobličenim utjecajima šuma i disperzije. Za razliku od regeneratora, EDFA ne eliminira te utjecaje. Problem šuma nije toliko kritičan, ali je upravljanje disperzijom od najveće važnosti kod ultrabrznih transmisijskih sustava. Inače je faktor šuma dostupnih EDFA između 4 i 5 dB, samo malo iznad kvantnog limita od 3 dB. Faktor šuma definiran je na temperaturi od 290 K kao:

$$10\log F = 10\log\frac{P_N^{izlaz}}{P_N^{ulaz}}\cdot\frac{1}{A_p} = 10\left[\log P_N^{izlaz} - \log P_N^{ulaz} - \log A_p\right]. \quad (16)$$

Simboli P_N označuju snage šuma na izlazu i ulazu, a A_p je pojačanje snage. Kada bi snaga šuma na izlazu pojačala bila A_p puta veća od one na izlazu, F bi iznosio 0 dB, što bi značilo da pojačalo ne unosi vlastiti šum, već samo proporcionalno pojačava sve što mu je stiglo na ulaz. Ako je F>0 dB, pojačalo unosi vlastiti šum i kvari ukupni odnos signala i šuma. Naime, jedini izvor signala je ono što je pristiglo na ulaz pojačala. Naprotiv, šum dolazi zajedno sa signalom na ulaz pojačala, u kome se oni zajedno pojačavaju, ali i samo pojačalo šumi, i pridodaje novu količinu šuma na svoje izlazne stezaljke. Radi toga, u neposrednoj kaskadi više pojačala s individualnim faktorima šuma F_1, $F_2, F_3 \ldots F_n$, doprinos ukupnom faktoru šuma k-tog člana u lancu biva, naravno, podijeljen ukupnim pojačanjem svih prethodnih k-1 stupnjeva:

$$10\log F_{uk} = 10\log\left[1 + (F_1 - 1) + \frac{F_2 - 1}{A_1} + \frac{F_3 - 1}{A_1 A_2} + \ldots + \frac{F_n - 1}{A_1 A_2 \ldots A_{n-1}}\right]. \quad (17)$$

Gomilanje šuma poznato je svojstvo analognih pojačala. Istini za volju, ponder doprinosa ukupnom faktoru šuma kod svakog slijedećg pojačala je manji, radi toga što je signal sve jači i jači. Zato valja na prva mjesta u lancu stavljati sklopove najmanjeg faktora šuma i po mogućnosti najvećeg pojačanja, dok kasniji stupnjevi pojačala nisu više tako kritični. U optičkim transmisijskim sustavima EDFA se postavljaju na razmacima određene dužine, koji unose gušenje. Tada (17) prelazi u:

$$10\log F_{uk} = 10\log\left[1 + (F_1 - 1) + \frac{(F_2 - 1)\Gamma_1}{A_1} + \frac{(F_3 - 1)\Gamma_1\Gamma_2}{A_1 A_2} + \ldots \frac{(F_n - 1)\Gamma_1\Gamma_2 \ldots \Gamma_{n-1}}{A_1 A_2 \ldots A_{n-1}}\right]. \quad (18)$$

Ako su sve dionice vlakna između EDFA toliko duge da EDFA taman kompenziraju njihovo gušenje, a svi EDFA sklopovi su istih karakteristika, (18) prelazi u ne baš veselu formu:

$$10\log F_{uk} = 10\log\left[1 + (F_1 - 1) + (F_2 - 1) + \ldots + (F_n - 1)\right] = 10\log\left[1 + n(F_{EDFA} - 1)\right]. \quad (19)$$

To je blisko mogućoj nepovoljnoj realnoj situaciji. Svaki EDFA sklop nepovratno kvari odnos signal/šum otprilike za svoj faktor šuma. Šum EDFA pojačala potječe od pojačane spontane emisije. Srećom, optički sustavi nisu zapravo izloženi nikakvim drugim izvorima šuma, osim onih u laserskim izvorima, pojačalima i detektorskim elementima, pa ih karakterizira mali BER (Bit Error Rate, udio pogrešnih bitova). EDFA danas raspolažu s pojačanjem od nekih 40 dB u laboratorijskim varijantama, odnosno 30 dB u komercijalnim, uz već rečeni F_{EDFA} od 4 do 5 dB. Tako uz pretpostavke pod kojima je izvedeno (19) nema baš puno mjesta za veliki broj točaka pojačanja. Očito pri projektiranju treba usvojiti princip gušćeg pakiranja EDFA stanica od onoga minimalno potrebnoga za pokrivanje gubitaka trase. Kada je A>Γ, općeniti izraz (18) počinje više sličiti na (17), nego li na (19), pa se situacija može bitno popraviti bez nekog prevelikog dodatnog troška. Kaskadiranjem više pojačala u bilo kojoj varijanti opada njihov ukupni propusni pojas, no o tome će se morati voditi računa tek kada transmisijski sustavi u stvarnom životu budu radili na brzinama iznad nekih 2 do 3 Tb/s. Nažalost, za raspravu o optimiranju parametara sustava i problemima koji uz to idu u ovom kratkom članku nema mjesta.

Sretna okolnost kod EDFA je njihova mehanička kompaktnost. Pojačalo se sastoji od nekoliko metara namotanog svjetlovoda i još ponešto elektronike, tako da se može tvornički ugraditi u npr. podmorski svjetlovodni kabel, unutar njegovih zaštitnih i armaturnih slojeva, a da se to raspo-

znaje samo kao malo zadebljanje kabela. Pitanje napajanja pojačala, odnosno pumpanja udaljenih EDFA, nije tako trivijalno kako na prvi pogled može izgledati, ali je riješeno na više načina. Tehnologija EDFA jedan je od najvažnijih napredaka u području svjetlovodnih komunikacija. U kombinaciji sa solitonskim prijenosom ili periodičkom kompenzacijom disperzije on će omogućiti do sada neslućeno informacijsko povezivanje svijeta.

2.1. Principi djelovanja EDFA

Način rada erbijevog laserskog pojačala može se dobro protumačiti i obraditi trorazinskim modelom, koji uključuje pumpanje pomoću optičkog izvora svjetlosti. Laserska stakla dobivena dopiranjem trovalentnim lantanoidima imaju mnoge energetske razine i mnoge laserske prijelaze. Trovalentni lantanoidi su slijedeći kemijski elementi: praseodimij (Pr), neodimij (Nd), prometij (Pm), samarij (Sm), terbij (Tb), holmij (Ho), erbij (Er), tulij (Tm) i iterbij (Yb). Međutim, svi oni nisu pogodni za uporabu u optičkim komunikacijama. Postoje četiri važna uvjeta koje svaki materijal upotrijebljen za optička pojačala mora zadovoljiti:

- valna duljina laserskog prijelaza treba biti u području oko 1.55 μm (eventualno 1.3 μm)
- laserski prijelaz treba imati dugačko vrijeme fluorescencije
- valna duljina svjetlosti pumpe mora biti u pojasu između 0.8 i 1.5 μm radi kompatibilnosti s postojećim poluvodičkim laserima
- frekvencije svjetlosti signala i pumpe moraju biti izvan područja apsorpcije pobuđenog stanja.

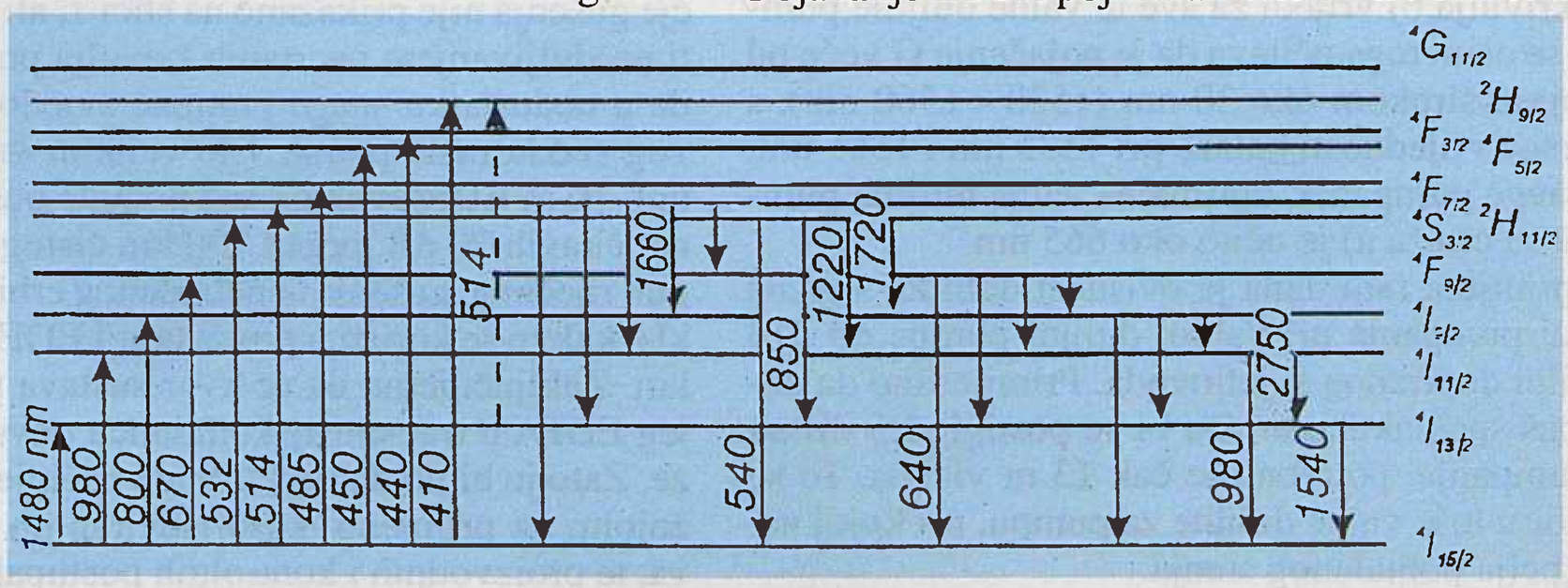
Ovim uvjetima udovoljavaju praseodimij, neodimij i erbij. Prikaz energetskih razina erbija dan je na slici 4. Iz njega se vidi da erbijevo staklo snažno apsorbira valne duljine bizu 1.5 μm, ako nije aktivirano pumpanjem. Međutim, na desnoj strani slike, među emisijskim prijelazima, razabiremo liniju valne duljine 1.540 μm, koja se nalazi u području interesantnom za optičke komunikacije. Praseodimijevo i neodimijevo staklo upotrebljivo je za optičko pojačanje u prozoru propusnosti svjetlovoda kod 1.3 μm.

Postoji fundamentalni prirodni proces koji ne dozvoljava da slika prijelaza bude ovako jednostavna i čista. Naime, kvantna stanja u erbijevom staklu se cijepaju zbog međudjelovanja električnih polja atoma u kristalima stakla. Ovaj se fenomen naziva Starkovim efektom. Staklo je amorfno na makroskopskoj razini, ali mu je kristalna struktura lokalno dosta dobro definirana. Ako se osnovna energetska linija rascijepi na r podlinija, a metastabilno stanje na q podlinija, ukupan mogući broj laserskih prijelaza bit će rq, i oni će se svi odigravati. To de facto znači da erbijev laser nije strogo monokromatski, odnosno da erbijevo pojačalo proširuje spektralnu liniju ulaznog signala. S obzirom na makroskopsku amorfnost stakla, Starkovo cijepanje razina varira od mjesta do mjesta kroz dopirano vlakno, što doprinosi daljnjem razvijanju spektra. U čvrstim materijalima postoje još dva uzroka širenja laserske linije: dipolno i fononsko proširenje. Dipolno širenje nastaje međudjelovanjem dipolnih molekula u staklu. Fononsko, koje pri sobnim temperaturama mnogostruko nadmašuje dipolno priširenje, događa se radi visokofrekvencijskih termičkih vibracija kristalnih rešetki. Priroda se i ovdje pobrinula da ne bude sve idealno: u principijelnoj raspravi laserskog načela izgledalo je da je laser inherentno monokromatski uređaj. No, u prirodi je teško pronaći nešto što se može savršeno odrediti u bilo kojem pogledu. Starkovo cijepanje uzrokuje relativno malo, ali ipak prisutno, proširenje emisijske linije lasera.

Apsorpcija pobuđenog stanja je štetna pojava koja može iskrsnuti u materijalima s mnogo apsorpcijskih prijelaza, uz pogrešno odabranu valnu duljini pumpe. Kod erbijevog stakla ona se može dogoditi u nekoliko pojasa između 450 i 1050 nm. Kako bismo objasnili ovaj fenomen, vratit ćemo se na trenutak slici 4. Recimo da je za pumpanje odabrana svjetlost valne duljine 514 nm. Primijetimo jednu takvu liniju među apsorpcijskim linijama osnovnoga stanja. Međutim, igrom slučaja postoji i apsorpcijski prijelaz identične energije i valne duljine, koji kreće od metastabilnog stanja, a označen je crtkanom linijom. Foton pumpe može zato biti apsorbiran od atoma smještenog na metastabilnoj razini, koji upravo "čeka" na stimuliranu emisiju, zbog čega dotični atom, umjesto da izruči foton od 1540 nm, bježi u više energetsko stanje, pa potom gubi energiju po drugim mogućim emisijskim prijelazima, a ne po onomu korisnom, od 1540 nm. Ovim jednostavnim mehanizmom troše se po jedan foton pumpe i jedan koristan foton signala u svakom takvom događaju, pa pojačanje pojačala opada. Osim 514 nm, postoji još nekoliko problematičnih valnih duljina pumpe, ali je upravo kod nje problem najizraženiji. Radi Starkovog efekta, i za apsorpciju pobuđenog stanja vrijedi konstatacija da se ona javlja u jednom konačno uskom pojasu oko danih valnih duljina, a ne samo na njima.

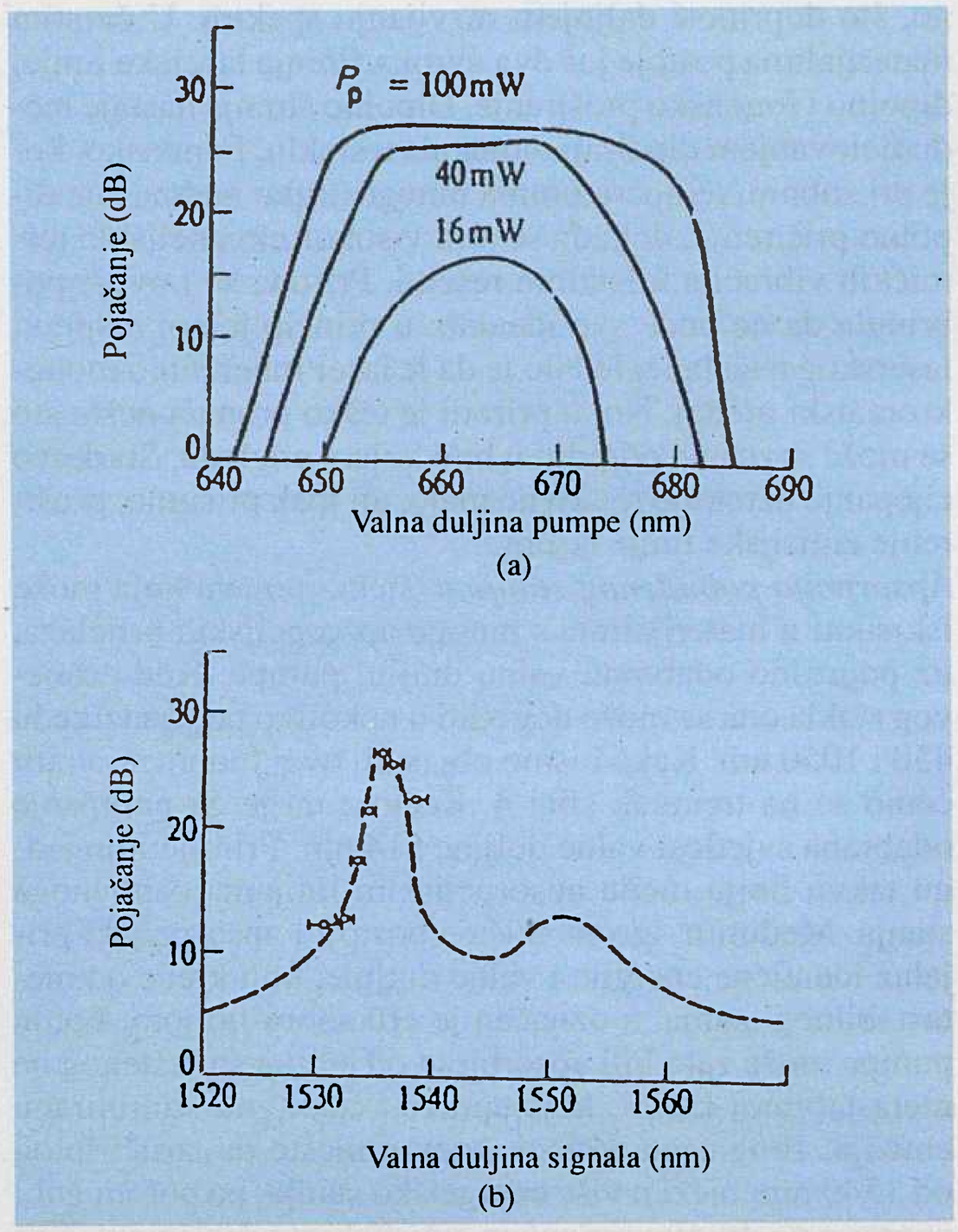
2.2. Pojačanje EDFA

Pojačanje EDFA pojačala ovisi o više faktora: valnoj du-



Slika 4. Energetske razine u silica staklu dopiranom erbijem. Važnije valne duljine prijelaza apsorpcije i emisije označene su u nanometrima.

ljini i ulaznoj snazi pumpe, valnoj duljini ulaznog signala, snazi ulaznog signala ako je ona velika (nelinearni režim rada), smjeru pumpanja i duljini dopirane svjetlovodne niti. Također i faktor šuma ovisi o ovim veličinama. Sada ćemo najkraće obraditi pojačanje EDFA temeljem izvedenih teorijskih i mahom eksperimentalnih istraživanja.

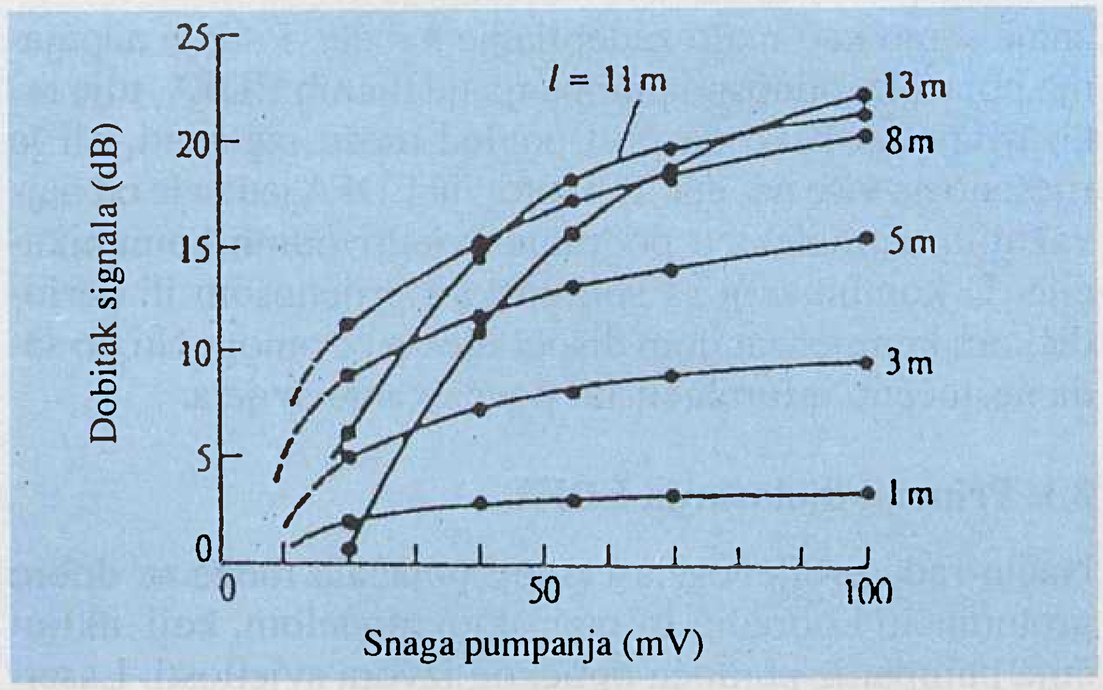


Slika 5. a) ovisnost pojačanja EDFA o valnoj duljini i snazi pumpe uz L = 3 m i λ = 1535 nm [2]; b) ovisnost pojačanja EDFA o valnoj duljini signala za snagu pumpanja od 100 mW [2]

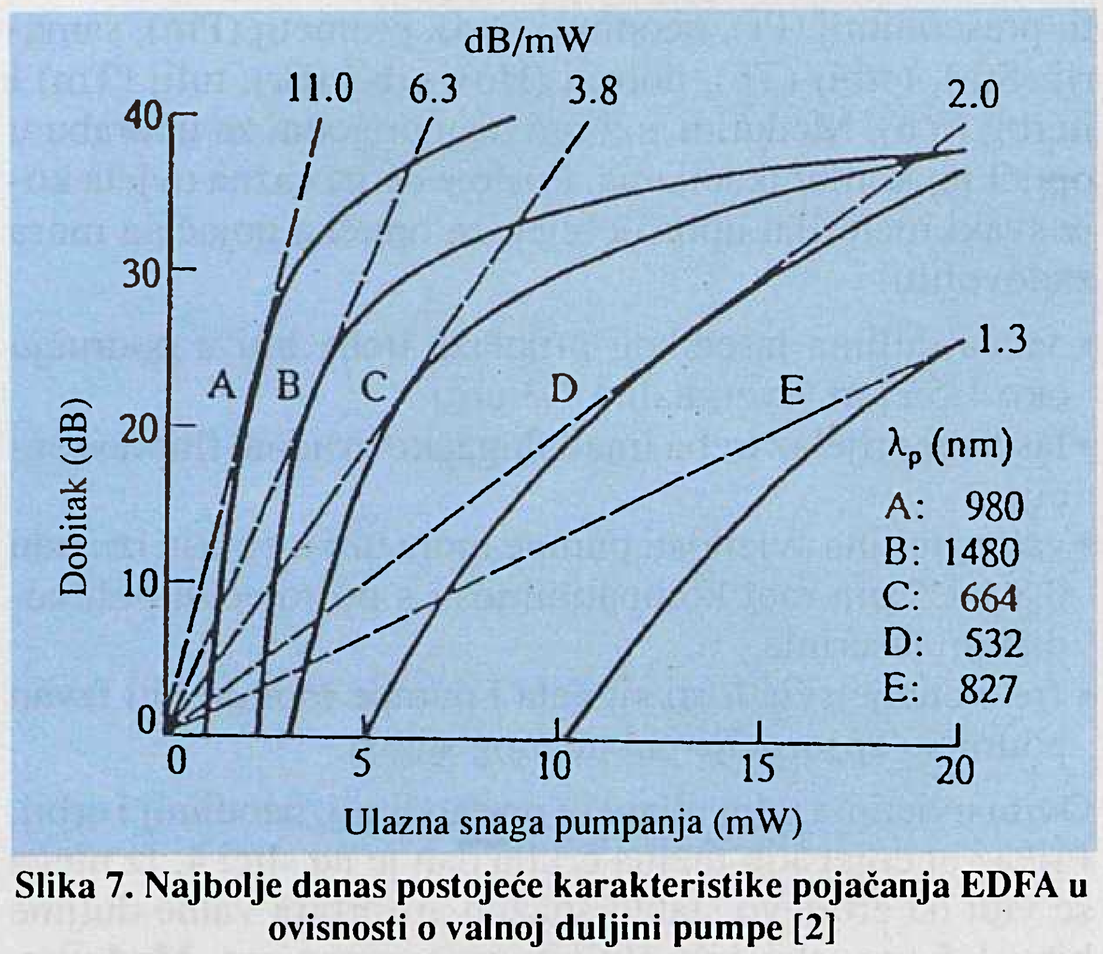
Slika 5 daje mjerene funkcionalne ovisnosti pojačanja EDFA u režimu malog signala. Na slici a) vidi se ovisnost pojačanja o valnoj duljini pumpe i ulaznoj snazi pimpanja, dok se na slici b) razaznaje tijek pojačanja s promjenom valne duljine signala. Sve je snimljeno pri duljini dopiranog vlakna od $L = 3$ m. Krivulja sa slike b) odnosi se na ulaznu snagu pumpanja od 100 mW, pa se na slici a) može vidjeti da pojačanje pri toj snazi pumpe praktički ne ovisi o njenoj valnoj duljini u pojasu od nekih 650 do 680 nm. Stoga krivulja b) vrijedi za sve te valne duljine pumpe. Na njoj se osim toga očitava da je pojačanje G veće od 10 dB u pojasu širokom oko 30 nm (1530 - 1560 nm), s tim da se vršne vrijednosti nalaze pri 1535 nm i 1555 nm. Za manje snage pumpanja, optimalna valna duljina pumpe u opsegu sa crteža a) je očito oko 665 nm.

Na slici 6 primjera radi dana je ovisnost dobitka signala [dB] o snazi pumpanja pri valnoj duljini pumpe od 514 nm, i o duljini dopiranog svjetlovoda. Primijetimo da dobitak nije baš spektakularan. Da bi se postiglo 25 dB uz 100 mW pumpanja, potrebno je čak 13 m vlakna. To se duguje odabiru loše valne duljine za pumpu, pri kojoj nastupa apsorpcija pobuđenog stanja.

Slika 7 sadrži krivulje slične oblika kao i prethodna slika. Na njoj su prikazani do sada najbolji postignuti rezultati



Slika 6. Pojačanje signala valne duljine 1531 nm u funkciji snage pumpanja valnom duljinom 514 nm, pri različitim duljinama erbijem dopirane niti [2]



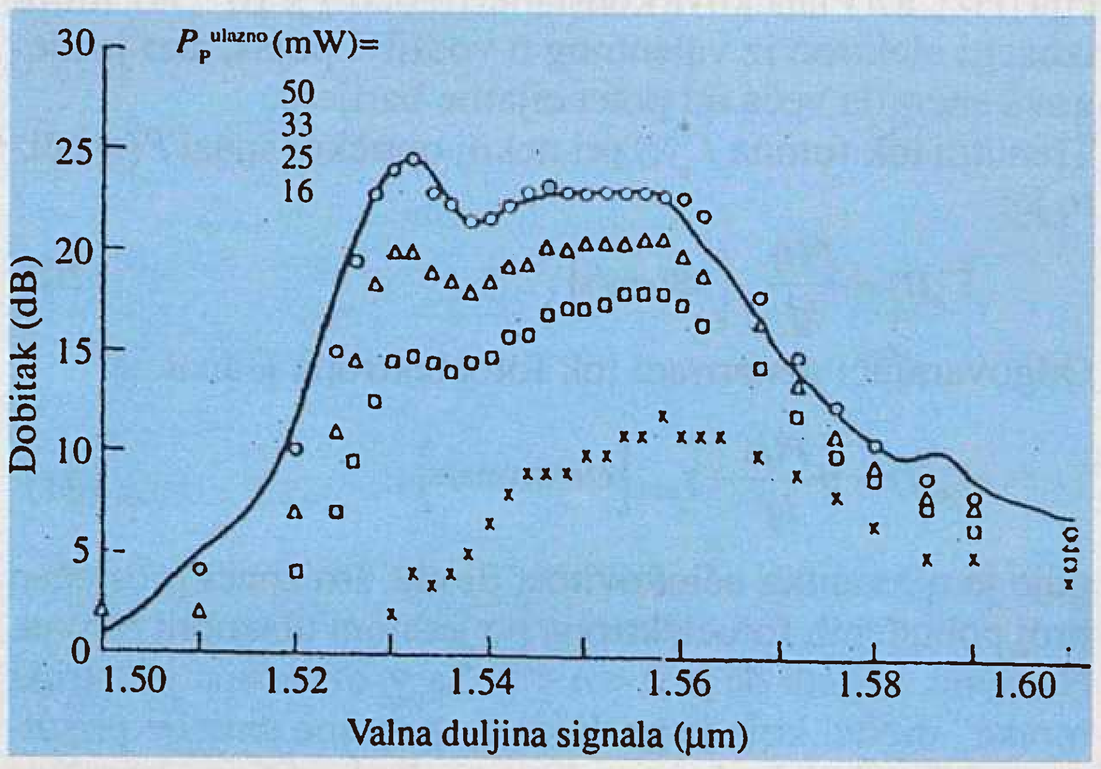
Slika 7. Najbolje danas postojeće karakteristike pojačanja EDFA u ovisnosti o valnoj duljini pumpe [2]

sa EDFA pojačalima, uz duljinu niti od $L = 8$ m. Parametar kojim se obično vrednuje EDFA je tzv. *koeficijent pojačanja* [dB/mW]. On je jednak nagibu tangente povučene iz ishodišta koordinatnog sustava na krivulju koja karakterizira pojedino pojačalo. Glede snage pumpanja, rad EDFA pojačala odvija se u tri glavna područja. Kada je snaga pumpe ispod neke minimalne, svjetlovod radi u režimu *nedovoljnog pumpanja*. Decibelski iznos dobitka je negativne vrijednosti, što znači da erbijevo staklo nije dovoljno pobuđno, pa EDFA guši signal. Primjerice, na slici 7 vidimo da je minimalna snaga pumpanja u danoj strukturi za valnu duljinu pumpe od 532 nm jednaka 5 mW. Područje gušenja nije prikazano na slici 7, ali ga je lako zamisliti produljivanjem nacrtanih krivulja prema dolje. Vidimo da u nedostatku snage pumpne svjetlosti gušenje erbijevog stakla raste prema vrlo velikim vrijednostima. Tako npr. 10 m EDFA vlakna bez pobude pumpanjem guši signal čitavih 20 dB, poput 100 km čistog silica stakla. Drugim riječima, gušenje nepobuđenog erbijem dopiranog stakla, kakvo se koristi u proizvodnji EDFA, iznosi 2000 dB/km. Zaključujemo da će kvar sustava pumpanja bilo kojeg EDFA u transmisijskom lancu dovesti do prekida veze. Zato je bitno da EDFA bude načinjena vrhunskom pažnjom, uz primjenu najsofisticiranijih materijala, dijelova, te proizvodnih i kontrolnih postupaka. Također je vrlo poželjno imati mogućost daljinske detekcije kvara modula, pogotovu kada je riječ o lancu od mnogo pojačala (npr.

kod međukontinentalnih veza). Na pojavu ekstremnog gušenja u neaktiviranom laserskom staklu već smo ukazali na početku odjeljka 2.1.

Drugo područje rada EDFA pojačala je područje *nepotpune inverzije*, karakteristično za srednje iznose snage pumpanja. Za njega je značajan strmi porast pojačanja sa snagom pumpanja, a mjera te strmine upravo je spomenuti koeficijent pojačanja. Što je on veći, to je pojačalo bolje. Ovo područje dobro se vidi na slici 7. Pet krivulja odnosi se na pet različitih valnih duljina pumpanja. Optimum se postiže pumpanjem na 980 nm, pri čemu je koeficijent pojačanja g = 11 dB/mW. Dobitak od 30 dB postiže se pri samo 2.5 mW snage pumpanja. Kod 10 mW krivulja već pokazuje zasićenje dobitka na nešto više od 40 dB. Uz pumpanje na 1480 nm snaga pumpe mora se udvostručiti, da bi se dobile slične dobre osobine. No, to je još uvijek samo 5 mW potrebne snage. Radi li pumpa na 827 nm, da bi se dobilo pojačanje od 30-ak dB, potrebita je snaga od čak 25 mW, tj. 10 puta više nego li uz pumpanje na 980 nm. Najefikasniji rad pumpe moguć je, dakle, u područjima valnih duljina pumpe u kojima se ne javlja apsorpcija pobuđenoga stanja, a to su 532 nm, 980 i 1480 nm.

Treće područje rada EDFA je područje potpune inverzije, gdje je snaga pumpanja toliko velika, da je izvršen skoro potpuni obrat koncentracije naseljenosti stanja. Na krivuljama se ovo područje raspoznaje po zasićenju pojačanja.



Slika 8. Ovisnost pojačanja EDFA o valnoj duljini signala uz pumpanje fotonima valne duljine λ = 1490 nm [2]

Spektralni odziv pojačanja EDFA može se također znatno optimizirati. Na slici 8 prikazana je ovisnost dobitka erbijem dopiranog silica svjetlovoda pumpanog na 1490 nm o valnoj duljini signala, uz različite ulazne snage pumpe. Vidimo da je karakteristika skoro savršeno ravna između 1540 nm i 1560 nm; da je zadovoljavajuće ravna u pojasu od 1525 nm do 1565 nm, pri čemu je dobitak veći od 20 dB; te da je dobitak veći od 10 dB u području od 1520 nm do 1590 nm. Prevedeno na jezik širine frekventnog pojasa, područje savršene ravnine karakteristike i pojačanja od cca. 24 dB široko je 2.5 THz. Područje pojačanja većeg od 20 dB zauzima 5 THz, a opseg pojačanja većega od 10 dB zauzima oko 8.6 THz. Naravno, kod drugih konkretnih realizacija pojačala ovi decibelski iznosi su drugačiji, ali su njihovi relativni odnosi i širine pojasa sasvim slični. Područje transparencije silica stakla široko je oko 25 THz, u blizini valne duljine od 1550 nm. To znači da će za eventualno iskorištenje preostalih 20-ak THz raspoloživog spektra trebati razviti optička pojačala nekih drugih vrsta, umjesto erbijevih, čije je područje rada fiksirano u rečenim opsezima kvantnim osobitostima Er atoma. Na slici 8 mogu se još očitati karakteristike pojačanja uz nekoliko manjih snaga pumpanja pri 1490 nm.

Radi ilustracije, cijela širina pojasa koja se danas uopće koristi u radijskim sustavima svih vrsta zaposjeda nekih 20-ak GHz spektra, ipak se stalnom tendencijom proširenja tog pojasa. Transmisijski pojas jednog EDFA pojačala je 250 puta veći od toga. Iskoristiva širina pojasa današnjih optičkih vlakana veća je 1250 puta. Radi jasnoće valja reći da postojanje EDFA nije ultimativni zahtjev bez kojega optičke komunikacije ne bi egzistirale. Naime, osim što je iskoristivo cijelo područje oko 1550 nm, ostaje još i čitav opseg oko 1300 nm. Na duljinama do stotinjak km, ili na većim duljinama uz uporabu regeneratora, čitavo to golemo frekventno područje je upotrebljivo i bez EDFA. Optička pojačala važna su "samo" za premoštenje velikih udaljenosti ultravisokim brzinama prijenosa, te za pojačanje signala WDM sustava, što ih čini esencijalnom komponentom najrecentnijih i budućih velikih transportnih sustava.

Imajući na umu goleme razlike u propusnosti EDFA pojačala u prisutnosti i odsutnosti zračenja pumpe (nekih 50 dB), čovjek se neizbježno zapita je li signal pumpe moguće koristiti kao upravljački signal za optičku sklopku. Odgovor je jednostavan: da dokle god vrijeme preklapanja nije bitno. Međutim, trajanje prijelaznih pojava kod uključenja i isključenja pumpe, koje u razmjeri s prosječnim trajanjem života metastabilnog stanja, tipično je reda milisekunde, što isključuje uporedbu laserskih preklopki u brzim primjenama, npr. komutacijama. (S druge strane, riječ je o povoljnoj fizikalnoj osobini, koja značajno prigušuje preslušavanje između WDM kanala puštenih po istoj niti.)

Ovime bi se zaključio nužan dio pregleda principa rada EDFA pojačala. Radi nedostatka prostora nemoguće je upuštati se u detalje. Da bi zainteresirani čitatelj mogao fiksirati teme vezane za problematiku kvantnih pojačala koje su ovdje silom prilika preskočene, one će biti samo ukratko nabrojene.

Vezano za snagu korisnog signala, javljaju se problemi oko *zasićenja pojačanja pri* izlaznim snagama većim od nekin 5 dBm. Tu karakteristika pojačanja više nije linearna, pa se javlja standardan fenomen kompresije pojačanja.

EDFA pojačala koja rade u režimu zasićenja, a s ciljem postizanja velikih izlaznih snaga, nazivaju se *pojačalima snage*.

Parametar pojačala koji je od univerzalne važnosti kroz čitavu njihovu povijest, o bilo kojoj vrsti da je riječ, je šum, odnosno faktor šuma. Šum EDFA primarno je posljedica *pojačane spontane emisije*. U uskoj vezi s tom vrstom emisije je i *samozasićenje pojačala*.

Konačno, *optimizacija* parametara pojačanja glede svih do sada obrađenih ili nabrojenih svojstava i pojava jedan je od temeljnih zadataka struke, koja fizikalne principe i laboratorijske sklopove treba dovesti u redovnu uporabu po tržišno prihvatljivim cijenama. O svim tim temama, kao i o mnogim primjenama, čitatelj može naći osnovna načela potkrijepljena mnoštvom podataka i popisom referencija u [2].

2.3. Još neke važne primjene EDFA u komunikacijama

Distribuirana pojačala su u stvari kompletne prijenosne linije realizirane erbijem dopiranim nitima, s relativno malom koncentracijom erbija (0.005-0.01 ppm). Svrha toga je da se ostvari pojačanje koje će taman kompenzirati gušenje vlakna. Pumpno svjetlo, dakako, mora propagirati duž cijele niti zajedno sa signalom. Kako je i ono podložno gušenju u staklu, nužno je na dugim relacijama koristiti pumpni pojas najbliži prozoru na 1550 nm, a to je 1480 nm. Disprezija pumpe kao signala konstantne razine nije važna. Jednolika distribucija inverzije naseljenosti po vlaknu teško je postiziva, osim ako je ono dovoljno kratko (do 10-ak km). Snaga signala kroz vlakno varira, a da bi se postiglo točno poništenje gušenja, koeficijent pojačanja duž niti mora mijenjati svoj iznos i smjer [2].

*Daljinsko pumpanj*e EDFA ostvaruje se puštanjem svjetlosti valne duljine 1480 nm s odašiljačkog, prijemnog, ili oba kraja, kroz lanac mjestimično raspoređenih EDFA pojačala, s običnim vlaknima između njih. Na taj način jedna pumpa biva podijeljena nekolicini pojačala, što je povoljno s konstruktivne i ekonomske strane. Nedostatak ovoga principa je nemogućnost očuvanja razine signala pumpe duž svjetlovodne trase zbog njezina gušenja. Ova metoda koristi se najviše za produljenje dosega veze, često puta samo s jednim EDFA odsječkom [2].

Dvosmjerno pojačanje vrši se zajedno ili odvojeno za oba smjera, a omogućuje dupleksnu transmisiju po jednoj niti i jednostavnu izvedbu nadgledanja prijenosnog puta. U svakoj varijanti potrebno je pumpanje u oba smjera radi osiguranja jednakosti transmisijskih osobina. Najjednostavnija metoda sastoji se u direktnom propuštanju oba signala kroz isti obostrano pumpani EDFA sklop. Kod nje dolazi do pojačanja efekta zasićenja radi dvostruko veće snage signala prisutnih u vlaknu. Taj se problem načelno rješava uporabom sprežnika za odvajanje smjerova i odvojenim pojačanjem u dva EDFA pojačala, te potom kombiniranjem putem sprežnika natrag u valovod. Eksperimenti su pokazali da je najveće pojačanje u svim ovim slučajevima ostvarivo kada je uređaj izveden u sredini veze, a ne na jednom njenom kraju [2].

3. PRINCIPI OPTIČKE DETEKCIJE

Pod detekcijom svjetlosnog signala razumije se konverzija optičke energije u električki signal na ulazu u prijemnik, te regeneriranje primljenog digitalnog niza u standardan naponski pojas, nakon čega slijedi demodulacija informacije ili kakva druga obrada. Svjetlosnom snopu koji pristiže iz optičke niti izložen je fotoosjetljivi element, koji apsorbira energiju fotona i generira električni signal pogodan za rad elektroničkih sklopova. Kod optičkih detektora javlja se skupina problema koji ograničavaju performancije sustava izražene najvećim ostvarivim umnoškom brzine bita i dosega veze [Gb km/s], ili umnoškom ostvarive širine pojasa i dosega [GHz km], ili pak umnoškom ostvarivog broja kanala i dosega veze [N_{kanala} km]. Ponovimo da optički izvor kvari performancije svojom spektralnom nečistoćom, kojoj se duguje kromatska disprezija, i nemogućnošću ultrabrzoga rada, te da monomodno optičko vlakno ograničava performacije gušenjem signala, tipično 0.2 dB/km. Optički detektori ograničeni su svojom osjetljivošću, šumom i brzinom rada. Prva dva faktora smanjuju doseg veze a treći limitira maksimalnu moguću brzinu signaliziranja u sustavima, što međutim predstavlja problem tek kod ultrabrzih aplikacija, kakve danas još ne susrećemo u uporabi, ali ćemo ih za nekoliko godina početi susretati.

Princip optoelektroničke konverzije vrlo je direktan i jasan. Postoje dvije glavne vrste dioda koje vrše ovu transformaciju: pin diode (p-intrinsic-n, dioda s intrinzičnim međuslojem), kod kojih jedan upalni foton producira jedan slobodni elektron, tzv. *fotoelektron;* te *lavinske* (avalanche) pin diode, kod kojih jedan upadni foton također producira jedan fotoelektron ali on, izložen vrlo jakom električnom polju reverzno polariziranog p-n spoja, mehanizmom lavinskog proboja generira veći broj novih slobodnih elektrona. Fotodiode su montirane u kućišta s lećom koja usmjerava dolazne zrake svjetlosti na aktivnu površinu. U osnovne teorije poluvodičkih dioda čitatelj se može izvrsno uputiti pomoću knjige [8]. Pored toga, ponešto o mikrovalnim svojstvima lavinskih dioda može se pronaći u [4].

3.1. Teoretski model fotodetektora

Ključni fizikalni proces koji se odigrava u fotodiodama je fotoelektrični efekt, objašnjen od strane A. Einsteina 1905. godine. Kvant svjetlosti energije $E = hf$, gdje je f frekvencija [Hz], a h Planckova konstanta (6,626.1 x 10^{-34} Js), može izbaciti elektron iz valentnog u vodljivi pojas, ako je njegova energija veća od potencijalne barijere.

Trenutni tok fotona $\Gamma_p(t)$ pri nekoj optičkoj snazi $P(t)$ očito je:

$$\Gamma_p(t) = \frac{P(t)}{hf} \quad \left[\text{fotona/s}\right]. \tag{20}$$

Odgovarajući generirani tok fotoelektrona jednak je:

$$\Gamma_e(t) = \eta \frac{P(t)}{hf} + \gamma_d \quad \left[\text{elektrona/s}\right], \tag{21}$$

gdje je η kvantna učinkovitost diode, što znači prosječan broj pobuđenih fotoelektrona po jednom ulaznom fotonu. Naravno, vrijedi da je $0 < n < 1$. Sa γ_d označena je "struja mraka" diode, koja je posljedica spontane emisije prisutne u njoj samoj, kada je prolaz svjetla do aktivne površine sasvim zatvoren. U osnovi možemo zapaziti da fizikalni proces optoelektroničke konverzije fotoelektričnim efektom nameće da se detektor ponaša kao strujni, a ne naponski izvor.

Pristizanje fotona u *vremenu*, čak i pri konstantnom intenzitetu svjetla, stohastički je proces Poissonovog tipa. To znači da u jednakim odsječcima vremena broj pristiglih fotona fluktuira oko nekakve prosječne vrijednosti, što generira šum. Prikladan opis ove pojave pronađen je u Poissonovom slučajnom procesu. Promotrimo niz sukcesivnih pobuđenih fotoelektrona na nekom mjestu. Vrijeme njihove pojave u odnosu na referentni trenutak vremena predstavlja realizaciju procesa. Intenzitet $T(t)$ mjera je koliko često se događaji javljaju, a prosječan broj događaja u intervalu vremena dugom T, počevši od nekog trenutka t_0, je:

$$E\left\{N(t)\right\} = \int_{t_0}^{t_0+T} \Gamma(t) \cdot \mathrm{d}t = m \tag{22}$$

$N(t)$ je, kao broj događaja u intervalu T, slučajna varijabla s Poissonovom distribucijom:

$$D_P\left\{N(t)=n\right\}=\frac{m^n e^{-m}}{n!} \qquad (23)$$

Prosječni broj fotoelektrona m u intervalu T ovdje je parametar razdiobe. Medijalna vrijedost distribucije je $n = m$.

Električna struja $I(t)$ posljedica je pojave svih fotoelektrona prije i poslije referentne točke vremena. Svaki pobuđeni elektron stvara kratki strujni impuls, čiji ćemo oblik u vremenu opisati funkcijom $g(t)$, za koju, naravno, vrijedi:

$$\int_{-\infty}^{\infty} g(t)\cdot \mathrm{d}t = e\,, \qquad (24)$$

gdje je e naboj elektrona (e = -1.6 x 10^{-19} As). Ovi strujni impulsi pojavljuju se, dakle, slučajno (ne samo da je pojava fotona slučajna u vremenu, već je i konverzija energije tih fotona u energiju fotoelektrona proces čije trajanje je slučajna varijabla), pa ukupna struja $I(t)$ sadrži *šum sačme* (shot noise). Ona iznosi:

$$I(t)=\sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k\, g(t-t_k)\,. \qquad (25)$$

Sa a_k označena je slučajna varijabla koja opisuje multiplikaciju kod lavinske diode. U slučaju detektora s običnom pin-diodom ovaj faktor je uvijek jednak 1. Ako je tok fotoelektrona u vremenu konstantan ($\Gamma_e(t) = \Gamma_e$), može se dokazati da je srednja električna struja jednaka:

$$I = E\left\{I(t)\right\} = E\left\{a_k\right\} e\Gamma_e\,, \qquad (26)$$

što znači da je ona razmjerna srednjoj vrijednosti multiplikativnog faktora. Oznaka E ... tradicionalno označuje srednje vrijednosti stohastičkih varijabli. Gustoća snage spektra ove struje dana je izrazom:

$$R(f)=E\left\{a_k^2\right\}\Gamma_e\left|G(f)\right|^2 + I^2\delta(f)\,, \qquad (27)$$

gdje je $\delta(f)$ Diracova funkcija (ovdje ona označuje postojanje istosmjerne komponente struje, tj. njene vremenske srednje vrijednosti), a $G(f)$ je Fourierov transformat pulsa $g(t)$:

$$G(f)=\int_{-\infty}^{\infty} g(t)\cdot\exp(-j2\pi ft)\cdot \mathrm{d}t\,. \qquad (28)$$

Trajanje impulsa $g(t)$ u vezi je s vremenom proleta elektrona kroz aktivni pojas detektorske diode. Ako je to vrijeme dostatno kratko, $g(t)$ se zamjenjuje sa:

$$g(t)\approx e\cdot\delta(t)\,, \qquad (29)$$

što se prema (28) transformira u $G(f) = e$, pa (27) poprima konstantnu vrijednost:

$$R(f)=E\left\{a_k^2\right\}\Gamma_e e^2 + I^2\delta(f)\,. \qquad (30)$$

Konstantna spektralna karakteristika znači da je riječ o *bijelom šumu*. Ako se bijeli šum filtrira i time ograniči na frekventni pojas širine B, varijanca (kvadrat standardne devijacije spektra koloriranog šuma) bit će:

$$\sigma_B^2 = 2E\left\{a_k^2\right\}\Gamma_e e^2 B = 2E\left\{a_k^2\right\} IeB \qquad (31)$$

Ona je proporcionalna signalu, tj. veliki ulazni intenzitet svjetlosti ne samo da proizvodi veliku struju signala I, već i veliku snagu šuma.

3.2. Kvantni limiti

Jedan broj autora posegnuo je za određivanjem fundamentalnih ograničenja u detakciji optičkih signala, odnosno u osjetljivosti optičkih prijemnika. Ova se ograničenja procjenjuju na krajnje idealiziranim modelima, kao što je tzv. "idealni prijemnik" – idealan u smislu da može detektirati svaki pristigli foton. Radi toga, detektorski element bi trebao imati kvantnu učinkovitost jednaku $\eta = 1$, a struju mraka $\gamma_d = 0$. Promotrimo pojednostavnjeni slučaj transmisije binarnih znakova na taj način da se u intervalu binarnog znaka "O" ne emitira ništa, a u intervalu "l" emitira se neka svjetlost, koja putem u vlaknu biva jako prigušena. Ako optički impuls na ulazu u prijemnik ima valni oblik $\gamma(t)$, medijan Poissonove distribucije ima vrijednost:

$$m_1 = \int_0^T \gamma(t)\cdot \mathrm{d}t \qquad (32)$$

za vrijeme trajanja signala "l". Jedina moguća pogreška u opisanoj situaciji je izostanak fotona za vrijeme trajanja signala "l". Ako je vjerojatnost pojave "0" i "l" jednaka i iznosi 1/2, vjerojatnost pogreške, tj. BER, može se dobiti iz (23) kao:

$$BER = \frac{1}{2} D_P\left\{N(t)=\mathbf{0}\right\} = \frac{1}{2}\exp(-m_1)\,. \qquad (33)$$

Sada moramo usvojiti maksimalan prihvatljivi *BER*. Definirajmo npr. da on ne smije biti veći od 10^{-9}. Iz (33) lako slijedi da je $m_1 = 20$ fotona. Primijetimo, pošto se u intervalima "O" ne odašilje ništa, srednji broj fotona po binarnom znaku mora biti najmanje 10. Oprezan čitatelj će se zapitati je li jedan interval signaliziranja T dovoljan da bi se izbrojalo 10 fotona pri λ = 1550 nm, u svjetlu ograničenja neodređenosti opažanja $\Delta E\,\Delta t > H$. Jednostavna računina veli da je potrebno vrijeme detekcije barem $\Delta t > h/\Delta E = h/(10\,hf) = 1/(10c/\lambda) = 5.17$ x 10^{-16} s. Želimo li raditi brzinom od 1 Tb/s, interval signaliziranja bit će 10^{-12} s. Prema tome, imamo na raspolaganju oko 50000 puta više vremena od minimalno potrebnog. Dakle, kvantni limiti, od kojih je ovaj spomenuti izveden pod potpuno idealnim uvjetima, pa time zahtijeva i najviše vremena za detekciju signala, nema nikakav utjecaj na realno ostvarive sustave, čak niti na one buduće. Naime, širina prozora optičke transmisije u okolini 1550 nm je približno 25 THz, što u najoptimističnijoj varijanti ne dopušta prolaz niti 50 Tb/s uz binarno signaliziranje, što je još uvijek 1000 puta ispod vrijednosti ograničene kvantnim limitom, a kojoj se nikada nećemo moći približiti.

Postoje, naravno, i drugi kvantni limiti optičke detekcije, izvedeni pomoću manje idealnih pretpostavki. Svima im je zajedničko da daju vrlo niska ograničenja na minimalnu prijemnu snagu (reda do 1 μW kod brzine od 1 Tb/s, odnosno 1 nW kod Gb/s), što su, naravno, preoptimistične procjene.

Čitatelj koji je zainteresiran za rigorozan, ali ipak razumljiv uvod u teoriju optičke detekcije, može ga pronaći u [9]. Onaj pak čitatelj koji traži osnovne tehnološke podatke o lanvinskim i pin diodama koje se koriste u realnim sustavima današnjice, može se poslužiti knjigom [6].

4. ULTRABRZI PRIJENOS

Danas uobičajene brzine prijenosa podataka optičkim medijem sežu do 10 Gb/s. One se koriste primarno u vrlo

velikim sustavima, npr. u sustavima prekomorskih interkontinentalnih veza, koji su karakterizirani velikim prometom informacija. Kod nas je u funkciji već sustav brzine 2.5 Gb/s u nekim dijelovima javne mreže HPT-a. Velike mreže danas su organizirane u sinkronoj digitalnoj hijerarhiji (SDH, Synchronous Digital Hierarchy), pri čemu brzina od 2.5 Gb/s odgovara razini sinkronog prijenosnog modula STM-16. Konceptualno vrlo sličan sustav rabljen u Americi naziva se SONET (Synchronous Optical Network). Temeljima SDH, odnosno SONET sustava, kao i pregledu realiziranih ili planiranih prekooceanskih sinkronih mreža, bit će posvećen cijeli slijedeći nastavak serije Osnove optičkih komunikacija. U ovome poglavlju iskoristit ćemo znanje o tehničko-tehnološkim osnovama optičkog prijenosnog medija ukratko izloženo u prošlom i ovom nastavku serije, da bismo prokomentirali suvremena eksperimentalna nastojanja za dosizanjem "čarobne granice" od 1 Tb/s, što je danas potpuno nezamislivo u bilo kojem drugom prijenosnom mediju. U laboratorijima je ona već probijena, a dosadašnja iskustva govore da je od eksperimentalne razrade nekog postupka u području telekomunikacija, do pojave prvih komercijalno dostupnih sustava, prolazilo prosječno oko 5 godina. Prema tome, početkom idućeg tisušljeća možemo očekivati pojavu prve modemske i linijske opreme sposobne za obavljanje tog teškog zadatka. Naravno, do spuštanja njihove cijene u šire prihvatljive okvire trebat će pričekati još daljnjih nekoliko godina. Ovo poglavlje pozabavit će se ključnim tehnološkim rješenjima koja omogućuju prijenosne brzine u redu veličine 1 Tb/s po jednoj optičkoj niti.

4.1. Multipleksiranje podjelom valnih duljina - WDM

Ideja multipleksiranja valnih duljina optičkih nosioca (WDM, Wavelength Division Multiplexing) sasvim je jednostavna. U radijskim komunikacijama identičan postupak naziva se rasprezanjem kanala po frekvencijama (FDM, Frequency Division Multiplexing), a koristi se od samih početaka radijske tehnike. Naziv WDM dolazi samo od toga što se je kroz povijesti fizike u optičkom području kao karakterističnu veličinu više udomaćilo koristiti valnu duljinu, a ne frekvenciju svjetlosti. Laseri različitih "boja" moduliraju se svaki svojim pripadajućim digitalnim nizom informacija, i puštaju se u istu optičku nit. Svojstvo elektromagnetskih valova različitih frekvencija je da oni međusobno ne interferiraju, odnosno fotoni različitih "boja" mogu koegzistirati u istom prostoru bez međuutjecaja. (Naravno, precizno govoreći, valovi *uvijek* interferiraju, samo što mi korištenjem pojasnih filtara eliminiramo te utjecaje, odnosno separiramo kanale, potpuno isto kao u radijskim sustavima. U linearnom mediju kanali se daju profiltrirati onoliko dobro koliko god nam dobri filtri stoje na raspolaganju. U nelinearnom pak mediju stvaraju se intermodulacijski produkti, koji se ponekad ne mogu filtrirati jer upadaju u pojase korištenih kanala, pa dovode do uzajamnih smetnji. To je klasičan problem o kojemu se čitatelj može informirati u bilo kojem dobrom udžbeniku radiokomunikacija, npr. u [10]. Kod višekanalnih WDM sustava ukupna optička snaga svih kanala može dovesti optičku nit u nelinearni režim rada, uzrokujući međusobno ometanje tih kanala).

Što je potrebno načiniti u tehnologiji, da bi se omogućilo rasprezanje kanala po valnoj duljini? U prvom redu, potrebno je realizirati višestruke laserske izvore koji mogu raditi na nekoliko valnih duljina simultano, na taj način da svaki od njih može biti posebno moduliran. Rješenje bi se moglo pronaći u poljima laserskih dioda na istom poluvodičkom supstratu. Nadalje, za separaciju WDM kanala i redukciju snage šuma EDFA pojačala potrebno je osigurati podesive optičke filtre dovoljno velike selektivnosti. Danas dostupni optički filtri, koji se servomehanizmom mogu mehanički podesiti u vremenu od nekoliko ms, bazirani su na principu Fabry-Peratovog etalona, gdje dva ogledala čine optički rezonator. Takvu vrstu rezonatora već smo opisali u 1. poglavlju ovoga članka.

Jedan od ultimativnih tehničkih zahtjeva jest mogućnost širokopojasnog pojačanja više WDM kanala na optičkoj razini signala. Naravno, to je moguće postići korištenjem EDFA pojačala, koja na sadašnjem, više-manje konačnom stupnju razvoja, potpuno odgovaraju potrebama, tako da se ovo pitanje može smatrati uvelike riješenim. Četvrta bitna komponenta u razvoju WDM sustava bit će pasivni integrirani ruteri, koji će raditi sa N valnih duljina, N ulaza i N izlaza na taj način da se sa svakog od ulaza signali sumjeruju na N izlaza, ovisno o valnoj duljini nosioca. Privede li se svakom ulazu N WDM kanala istodobno, svaki od njih bit će usmjeren na jedan izlaz. Ova vrsta sklopova omogućit će pasivno rutiranje i separaciju kompozitnih WDM signala [11].

Kao što ćemo vidjeti u idtućem broju "Energije", WDW sustavi već postoje u uporabi, ali doista u prvim varijantama. Oni kombiniraju po četiri STM-16 kanala radi ostvarivanja brzine rada od 10 Gb/s. Proces standardizacije je u tijeku. Međunarodna telekomunikacijska udruga ITU (International Telecommunications Union) predlaže da referentna valna duljina u WDM sustavima bude 1552.5 nm, što odgovara frekvenciji od 193.1 THz. Ova frekvencija odabrana je za referenciju jer je na njoj gušenje silica stakla najmanje. Lijevo i desno od te frekvencije na svakih 100 GHz nalazit će se po jedan nosioc WDM kanala. Sigurno je da će ovaj sustav funkcionirati unutar pojasa pojačanja EDFA, između nekih 1530 nm i 1560 nm. Razvojem eventualno novih kvantnih optičkih pojačala to će se područje možda i proširiti. Za sada nema takvih naznaka.

4.2. Kompenzacija disperzije

U prošlom broju "Energije" bilo je rečeno dosta o disperziji i problemima koje ona izaziva. Radi proširenja optičkih impulsa javlja se intersimbolna interferencija, čiji krajnji efekt, a to je *BER*, raste s duljinom veze. Prema tome, disperzija ograničuje maksimalan postizivni umnožak širine pojasa i dosega veze. U istom članku obrađena je i tehnika jedne specifične nelinearne pobude vlakna, koja rezultira u potpunoj eliminaciji disperzije. Pobudni impulsi s tim svojstvom nazivaju se solitonima. U nelinearnim uvjetima rada vlakna, gdje amplituda svjetlosnog signala varira u vremenu radi digitalne modulacije, promjene indeksa loma stakla, koje prate promjene amplitude optičkog polja, vrše faznu modulaciju toga polja, tzv. faznu samomodulaciju (self-phase modulation), pri čemu u propagirajućem impulsu nastaju frekvencije koje se šire različitim brzinama. Ovisno o predznaku disperzije [1] i snazi impulsa, ove frekventne komponente mogu proširiti, ili pak suziti impuls. Tako se može ostvariti vlakno koje će u nelinearnom režimu rada poništiti već nagomilanu disperziju. Periodičkim umetanjem kratkog odsječka kompen-

zacijskog fibera odgovarajuće duljina duž dionice realizirane nekim običnim niskodisperzijskim nitima, može se totalna disperzija gotovo potpuno poništiti. Uloga kompenzirajućeg vlakna u optičkom prijenosu analogna je ulozi ekvalizatora u žičanom ili koaksijalnom prijenosu [12]. Tipična disperzija akumulirana duž nekih 50-ak km monomodnog silica optičkog vlakna iznosi oko 100 ps/nm [1], što se može kompenzirati znatno kraćim odsječkom fibera izrazito negativne disperzijske karakteristike, tako da investicijski zahvati u postojeću kabelsku infrastrukturu ne moraju nužno biti veliki. Treba imati na umu da optički signal duž 50 km oslabi za oko 10 dB, pa je primjena poništavanja disperzije vitalno vezana s primjenom EDFA pojačala. Uostalom, čitatelj je do sada vjerojatno već stekao dojam da je sve u području brzih i ultrabrzih optičkih komunikacija ovisno o uporabi tih izuzetno korisnih uređaja.

Pitanje je da li će u budućnosti prevagnuti solitonski prijenos ili tehnika kompenzacije disperzije. Solitoni nude najveće produkte brzine i duljine transmisije, ali predstavljaju dosta velik tehnički problem, za razliku od jednostavnog postupka poništenja disperzije. Upravljanje disperzijom ključni je faktor dostizanja granice od 1 Tb/s. Danas su za uporabu dostupni solitonski sustavi prijenosa digitalnih signala brzinama od 20 Gb/s na distancama od 10000 km (dakle, 200000 Gb km/s). Za vjerovati je, međutim, da će solitonski prijenos kao kompliciranije rješenje pričekati još nek vrijeme, dok njegovi inherentni kapaciteti ne budu doista prijeko potrebni čovječanstvu.

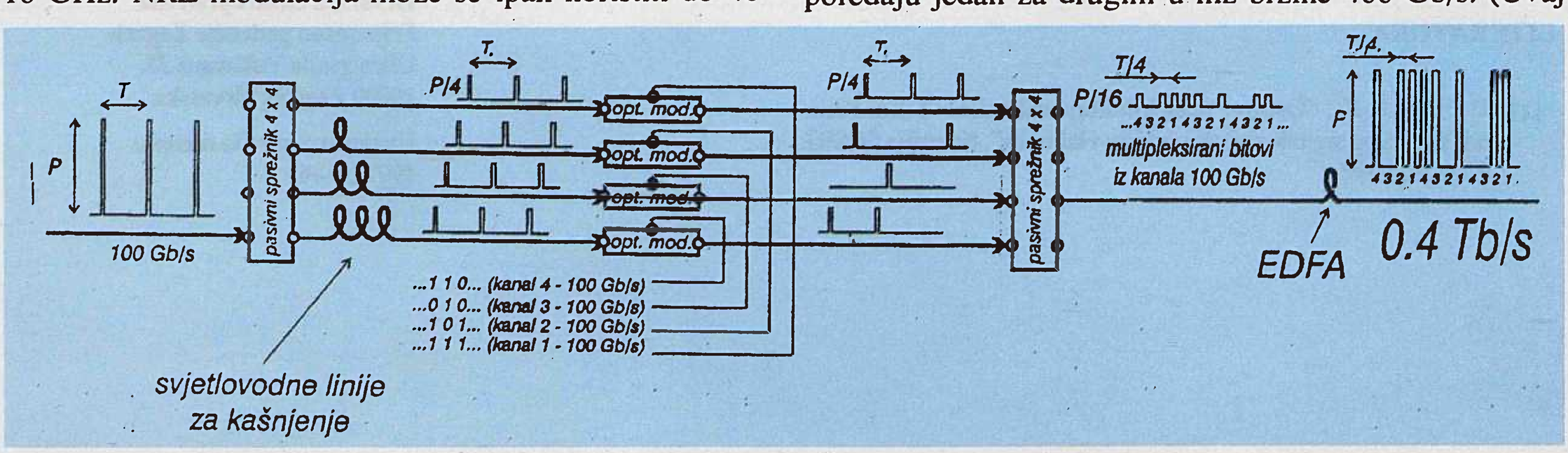
4.3. Posebne metode ultrabrze modulacije

Kod ultrabrze modulacije laserskih izvora javlja se problem njihove maksimalne moguće brzine rada. Do 1 Gb/s koristi se u pravilu direktna modulacija u nekom formatu vrste NRZ (Non Return to Zero, bez povratka na nulu) [13], jer je to najjednostavniji način. NRZ formati karakterizirani su time da je amplituda nosioca za čitavo vrijeme trajanja bita logičke vrijednosti "1", T, visoka. Druga alternativa je RZ format (Return to Zero, s povratkom na nulu), kod kojega je amplituda nosioca visoka u prvoj polovici (T/2) znaka "1", dok se početkom druge polovice ona vraća na nisku vrijednost, tj. laser se gasi. U oba ova formata za vrijeme logičke "0" laser je neaktivan, tj. radi ispod praga laserskog efekta. RZ format karakteriziran je manjom istosmjernom komponentom digitalnog signala, ali i dvostrukim proširenjem spektra, dakle dvostrukim smanjenjem njegove efikasnosti.

Brzina preklapanja kod laserskih dioda nije veća od nekih 10 GHz. NRZ modulacija može se ipak koristiti do 40 Gb/s, ali ne upravljanjem samim laserskim izvorom, već vanjskim optičkim modulatorom, kojega možemo shvatiti kao brzi elektronički upravljani "zastor", fizički montiran ispred laserske diode, koja radi u režimu konstantne izlazne snage, i prema tome se napaja istosmjernom strujom većom od praga laserskog efekta.

Zanimljivo svojstvo laserskih dioda je da one mogu proizvoditi vrlo kratke optičke impulse, trajanja nekoliko pikosekundi, ali ne u brzom vremenskom slijedu. Ta je osobina iskorištena u realizaciji optičkog multipleksera s linijama za kašnjenje, kojime se postiže brzina prijenosa od 400 Gb/s na jednoj valnoj duljini nosioca i po jednoj niti. Radi potrebe za pobudom lasera početkom svakog intervala signaliziranja, korišteni format mora biti RZ. Naime, u NRZ formatu n uzastopnih binarnih jedinica izgleda kao jedan jedini impuls visoke amplitude, trajanja nT, a laser pobuđen samo uzlaznim bokom tog signala emitirao bi samo prvu binarnu jedinicu u nizu. Princip optičkog multipleksera s linijama za kašnjenje ilustriran je na slici 9.

Laserska dioda može davati pikosekundne impulse u sukcesiji ne bržoj od nekih 100 Gb/s. Mi želimo realizirati sustav brzine 400 Gb/s. Metoda se sastoji u tome da najprije svjetlost iz diode pobuđene RZ nizom binarnog sadržaja... 1 1 1 1 1..., koji dakle ne sadrži nikakvu informaciju, pasivnim sprežnikom 4 x 4 podijelimo na 4 isto takva niza, od kojih svaki nosi, naravno, samo 1/4 ukupne snage. Dalje se prvi od tih nizova pušta bez kašnjenja, drugi se pomoću optičke linije za kašnjenje zakasni za $T/4$, treći za $2T/4$, a četvrti za $3T/4$. Ove linije za kašnjenje su ustvari obični odsječci svjetlovoda takvih duljina da propagacija u njima traje kao rečeni intervali, odnosno redom oko 2.5 ps, 5 ps i 7.5 ps. Uz refraktorni indeks silica stakla od nekih 1.4 [9], te duljine iznose otprilike 0.5 mm, 1 mm i 1.5 mm, pa se linije u stvari realiziraju kao valovodni odsječci na planarnom čipu. Eto primjera u kojemu se koristi planarni svjetlovod razmatran u [1], a ne uobičajeni cilindrični. Ovako međusobno zakašnjeli nizovi optičkih impulsa vode se, svaki svojim valovodom, do četiri optička modulatora, koji su upravljani svaki svojim kanalom brzine 100 Gb/s. Ako je modulatoru u trenutku nailaska optičkog impulsa priveden znak "1", on će taj impuls propustiti dalje, a ako mu je u tom trenutku priveden znak "0", on će zatvoriti put svjetlosti. Tako su dobivena 4 modulirana niza u RZ formatu. Preostaje još da 4 x 4 pasivni ruter sve 4 primljene modulirane svjetlosne zrake uputi na jedan od svojih izlaza. Pošto bitovi različitih kanala stižu na ulaze sprežnika s pomakom od $T/4$ između susjednih multipleksiranih kanala, oni na izlazu ne interferiraju, već se očito poredaju jedan za drugim u niz brzine 400 Gb/s. (Ovaj



Slika 9. Optičko multipleksiranje pomoću linija za kašnjenje

način multipleksiranja zove se "slaganje bit po bit" ili "bit by bit interleaving"). Gubitak snage u sprežniku je 4 puta, pa je snaga pulseva ukupno 16 puta manja od polazne. Radi toga se snaga regenerira pomoću jednoga EDFA pojačala. Rezime je ovakav: korištenjem čipa s linijama za kašnjenje realiziran je brzi optički izlaz sa 400 Gb/s, uz rad laserske diode i optičkim modulatora na nižoj brzini multipleksiranih kanala od 100 Gb/s. Ovo tehničko rješenje najjači je konkurent u borbi za komercijalno oživljavanje sustava brzine do 400 Gb/s.

Kako dostići 1 Tb/s? Jedan od načina je kombiniranje ovakvih ultrabrzih multipleksera i WDM postupka, s nekoliko nosioca. Kada, za neki broj godina, dođe do prvih stvarnih realizacija sustava brzine 400 Gb/s, neće biti teško zamisliti četverokanalni WDM sa 1.6 Tb/s. Naravno, problemi koji će se postaviti pred istraživače bit će vrlo veliki. Članak ovoga tipa, s pojednostavljenim principnim prikazima, ne omogućuje čitatelju da precipira kolika količina novaca i čovjek-sati treba još biti uložena, da bi se na tržištu pojavila prva generacija uređaja bržih od 1000 Gb/s.

5. ZAKLJUČAK

Izvori, detektori i pojačala svjetlosnog signala imaju ključni utjecaj na ukupnu kvalitetu sustava optičkih komunikacija. Laserska dioda u infracrvenom području (1550 nm) najvažniji je svjetlosni izvor. Kao detektori koriste se lavinske i pin diode. Staklena kvanta pojačala dopirana erbijem (EDFA) predstavljaju jedan od najvažnijih tehnoloških iskoraka prema postizavanju prijenosnih brzina reda veličine 1 Tb/s. Ona mogu u potpunosti podržati transmisiju čak i još nekoliko puta bržega signala. Danas su izvan laboratorija već dostupne aplikacije koje mogu pružiti 200000 Gb km/s, a u eksperimentalnim uvjetima prekoračena je granica brzine od 1000 Gb/s. Tehnike koje će u slijedećoj dekadi vjerojatno omogućiti prijenos na više od 1 Tb/s jesu WDM, ultrabrza modulacija i optičko multipleksiranje. Elektronička obrada signala morat će se, međutim, zamijeniti optičkom.

U slijedećem nastavku bit će riječi o sustavima prijenosa digitalnih informacija optičkim mrežama. Dominantno mjesto među njima danas zauzimaju sustavi sinkrone hijerarhije: SDH u Europi i SONET u Americi. Vidjet ćemo i kako su mreže bazirane na SDH upotrijebljene, ili će uskoro biti upotrijebljene, za informacijsko povezivanje čitavog svijeta.

LITERATURA

[1] D. SABOLIĆ: "Osnove optičkih komunikacija – I dio: Prijenos optičkog signala svjetlovodnim vlaknom", Energija 5/1997, Zagreb, 1997.

[2] E. ZENZEROVIĆ: "Erbijem dopirana svjetlovodna pojačala", magistarski rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, Zagreb, 1996.

[3] R. P. FEYNMAN et al: "Lectures on Physics", Vol. 1, 6th ed, Addison Wesley, Reading, 1977.

[4] Z. SMRKIĆ: "Mikrovalna elektronika", Školska knjiga, Zagreb, 1986.

[5] I. SUPEK: "Teorijska fizika i struktura materije", prvi dio, 6. izdanje, Školska knjiga, Zagreb, 1992.

[6] R. L. FREEMAN: "Reference Manual for Telecommunications Engineering", 2nd ed, John WIley & Sons Inc, New York, 1994.

[7] T. E. BELL: " GaAs Versus Gas Lasers For Surgery", IEEE Spectrum, February 1997.

[8] P. BILJANOVIĆ: "Poluvodički elektronički elementi", Školska knjiga, Zagreb, 1997.

[9] G. EINARSSON: "Principles of Lightwave Communications", John Wiley & Sons Inc, New York, 1996.

[10] E. ZENTNER: "Radiokomunikacije", Školska knjiga, Zagreb, 1989.

[11] A. E. WILLNER: "Mining the Optical Bandwidth For Terabit Per Second", IEEE Spectrum, April 1997.

[12] S. HAYKIN: "Communication Systems" 3rd. ed, John Wiley & Sons Inc, New York, 1994.

[13] B. MODLIC, I. MODLIC: "Modulacije i modulatori", Školska knjiga, Zagreb, 1995.

GROUNDS OF OPTICAL COMMUNICATIONS-PART II: GENERATION, DETECTION AND AMPLIFICATION OF LIGHT PULSES IN DIGITAL TRANSMISSION SYSTEMS

The paper gives physical bases as well as technical and technological aspects of laser light sources and quantum amplifiers with erbium doped laser glass (EDFA) as well as the bases of optical signal detection. A short review on methods applied to obtain transmission speed in a light conductor at about 1 Tb/s is also given.

DIE GRUNDLAGEN DER AUFDECKUNG UND VERSTÄRKUNG VON LICHTIMPULSEN IN DIGITALEN ÜBERTRAGUNGSSYSTEMEN

Dargestellet sind physikalische Grundlagen sowie technisch-technologische Merkmale der Laser-Lichtquellen, und der erbiumügererregten Laserglas-Quantenverstärker ("EDFA"), sammt Grundlagen der Aufdeckung optischer Signale. Gegeben ist auch ein kurzer Überblick von Methoden, mit denen versucht wird die Geschwindigkeiten der Übertragung mittels Lichtleitermedien im Bereich um 1 Tb/s zu erreichen.

1 Erbium dopped fibre Amplifier = Erbium übererregte Glasfaserverstärker

Naslov pisca:

mr. sc. Dubravko Sabolić, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda
Prijenosno područje Zagreb
Ulica grada Vukovara 37,
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1997-09-16.

PRIMJENA POLIMERNIH MATERIJALA U ELEKTROTEHNIČKIM PROIZVODIMA

Adela Jengić, Zagreb

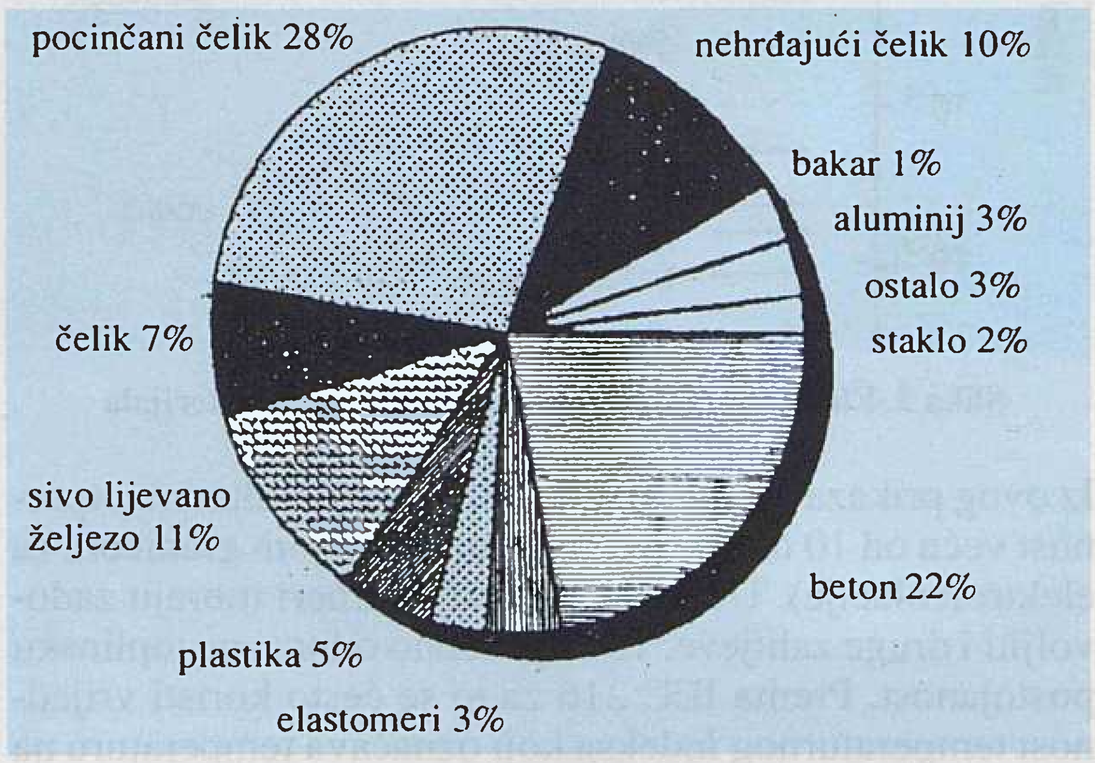
UDK 621.312:678.7
STRUČNI ČLANAK

Dan je pregled, vrste i uloge osnovnih karakteristika polimernih materijala, što se upotrebljavaju u izradi električnih uređaja. Podrobnije su obrađene impregnacijske smole i smjese za zalijevanje, koje imaju posebnu važnost u elektroindustriji.

Ključne riječi: elektroizolacijski materijal, polimerni materijali, ispitivanja, svojstva, impregnacijske smole, zaljevne smjese, primjena.

1. UVOD

Svaki elektrotehnički proizvod sastoji se od niza različitih materijala. Prema iskustvenim podacima u ukupnoj masi električnih uređaja 95%, (prosječno) čine metali, a samo 5% nemetala. Od tih 5% najveći udio čine polimerni materijali što može varirati ovisno o proizvodu na koj se podaci odnose. Za ilustraciju je na slici 1. prikazan udio pojedinih materijala u električnoj perilici rublja.
Na primjeru ovog tipičnog električnog uređaja vidi se da u konačnom proizvodu polimerni materijali čine samo 5% od ukupne mase, ali bez njih uređaj ne bi mogao funkcionirati. Slična je situacija i s drugim električnim proizvodima. Na drugi način u tablici 1. naveden je raspored potrošnje polimernih materijala po sektorima u odnosu na ukupnu potrošnju u Zapadnoj Europi u 1989. god.



Slika 1. Udjeli materijala ugrađenih u standardnu električnu perilicu rublja

Iz tablice 1. vidi se da od ukupne potrošnje polimera na elektroindustriju otpada 10%.
Razvoj elektroindustrije tekao je paralelno s razvojem industrije polimernih materijala, odnosno s otkrivanjem i razvojem novih materijala. Tako su se u raznim fazama razvoja primjenjivali različiti materijali. U početnoj fazi u elektrotehnici su se za elektroizolacije upotrebljavali materijali prirodnog porijekla. Neki od njih upotrebljavaju se i danas, ali je većina zamijenjena sintetskim materijalima.

Tablica 1. Potrošnja polimernih materijala po područjima (Zapadna Europa 1989.)

Područje	Maseni udjel %
Ambalaža	33
Građevinarstvo	20
Elekrotehnika/elektronika	10
Automobili/transport	7
Poljoprivreda	5
Ostalo, uredska oprema, igračke i drugo	25
	100

Najčešći ranije upotrebljavani elektroizolirajući materijali prirodnog porijekla bili su:

keramika	pamuk	prirodne smole (šelak i jantar)
tinjac	svila	prirodna ljepila
staklo	lan	prirodni kaučuk
papir	prirodni voskovi	drvo

katran, asfalt, bitumen.

Nagli razvoj kemije početkom stoljeća i sve veći zahtjevi na kakvoću elektroizolacijskih materijala doveli su do toga da se većina prirodnih materijala zamijeni sintetskima. Neki prirodni materijali ipak su i danas još nezamjenjivi. To se u prvom redu odnosi na tinjac i keramičke materijale u visokonaponskim strojevima i grijaćim elementima. S druge strane, keramički i stakleni izolatori sve više se zamijenjuju izolatorima lijevanim iz epoksidnih i (novije) iz poliuretanskih i silikonskih smola. Pamuk i svila najprije su bili zamijenjeni sintetskim vlaknima, da bi ih kasnije iz upotrebe potpuno istisnuli (u kabelskoj industriji) različiti termoplasti. Papir i drvo još uvijek se upotrebljavaju u izradi transformatora. Suprotno tome, drvena kućišta su postala prošlost. Iz upotrebe su ih potpuno izbacila

kućišta prešana od fenoplasta ili melaminskih smola, a danas je sve više kućišta od termoplasta (npr. iz ABS ili iz PVC-a).
Otopina prirodnih smola u alkoholu dugo se upotrebljavala kao izolacijski lak, a prirodne smole za lijepljenje u proizvodnji rotirajućih strojeva. Danas su ti materijali potpuno zamjenjeni najrazličitijim tipovima sintetskih smola, lakovima i ljepilima na bazi sintetskih smola (poliesterskih, epoksidnih, poliuretanskih, akrilatnih i dr.).
Prirodna guma najčešće je zamjenjena raznim tipovima sintetske gume. Zaljevne materijale s početka stoljeća (asfalt i sl.) danas su u potpunosti zamijenile zaljevne smjese na bazi epoksidnih, poliuretanskih, poliesterskih ili silikonskih smola. Izbor tipa smole ovisi o zahtjevima proizvoda u koje se ugrađuju.

2. ULOGA POLIMERNIH MATERIJALA U ELEKTROTEHNIČKIM PROIZVODIMA

Uloga polimernih materijala u elektrotehničkim proizvodima je višestruka. Upotrebljavaju se u obliku elektroizolacija, uvršćenja postojećih izolacija, različitih kućišta - općenito konstrukcijskih materijala, kao ljepila i u antikorozivnoj zaštiti. Prema namjeni polimeri se mogu podijeliti na slijedeće grupe materijala:

a) aktivne-elektroizolirajuće
b) neaktivne, ali nužne (obično konstrukcijske)
c) pomoćne.

Ad a) Aktivni materijali nosioci su elektroizolacije, a uz elektroizolirajuća svojstva moraju zadovoljiti (obično mehanička i toplinska) svojstva.
Ad b) U električki neaktivne materijale ubrajaju se razni konstrukcijski materijali, od kjih se izrađuju kućiša i dijelovi strojeva i uređaja, koji nemaju ulogu elektroizolacije. Za ove materijale postavljaju se obično posebni zahtjevi za mehanička i toplinska svojstva.
Ad c) Pomoćni materijali (kao ljepila i sl.) pomažu pri postupcima izrade, a tu se može ubrojiti i antikorozivna zaštita.

Da bi se dobio okvirni uvid u primjenu i ulogu polimera u tablizi 2. prikazana su mjesta potrošnje polimera u elektroindustriji. Bez pretenzija na potpunost podataka ova tablica samo treba dati uvid u široke mogućnosti primjene.

Već površan pogled na tablicu 2. ukazuje, ne samo na različitost materijala i široke mogućnosti primjene polimera, nego i na raznolikost zahtjeva u funkciji pojedinog proizvoda. Uočljivo je, da u elektroindustriji primjenu nalaze svi tipovi polimera. Neki od njih kupuju se kao gotovi proizvodi, drugi kao poluproizvodi, a neki se moraju prerađivati direktno pri izradi elektrouređaja. To se u prvom redu odnosi na duromere (epoksidne, poliesterske, poliuretanske i silikonske smole) koji se kupuju u tekućem obliku, a tek tijekom ugradnje i određene dorade (otvrdnjavanjem, umrežavanjem) poprimaju konačnu strukturu.

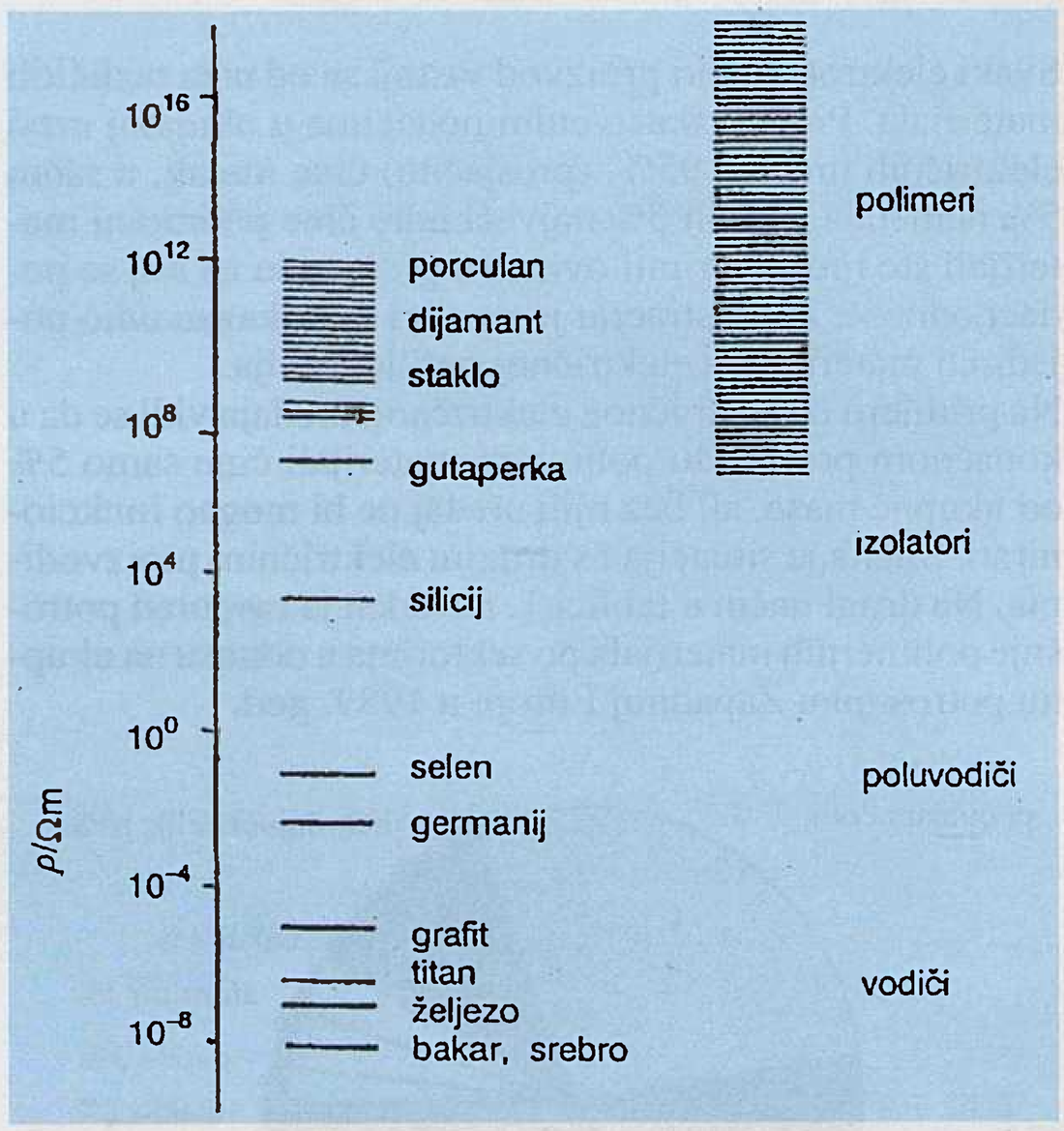
Sve stroži zahtjevi u pogledu trajnosti, posebnih svojstava, minijaturizaciji i dr. traže ne samo visokokvalitetne konstrukcijske polimere, nego i polimere za posebne namjene, a ti se dobivaju, bilo novim postupcima sinteze, bilo modifikacijom poznatih polimera. Na taj način i primjena polimera u elektrotehnici (pored ostalih područja) potiče ne samo razvoj novih polimera nego i njihovih postupaka prerade.

3. SVOJSTVA POLIMERNIH MATERIJALA, KOJI SE UPOTREBLJAVAJU U ELEKTROINDUSTRIJI

Da bi se prije primjene pojedinog polimernog (nekog drugog) materijala dobio uvid u njegovu primjenjivost za određenu namjenu potrebno je prema postojećim nacionalnim i internacionalnim normama odrediti njihova svojstva. Polimernim materijalima se određuju sljedeća svojstva:

a) u dostavnom stanju - fizikalno-kemijska
b) u preradbenom obliku - tehnološka
c) u uporabnom stanju - mehanička
- toplinska
- električka
- uporabna.

Za primjenu u elektrotehnici svakako su najvažnija elektroizolirajuća svojstva.
Na slici 2. prikazana je volumna otpornost različitih materijala.



Slika 2. Električka volumna otpornost raznih materijala

Iz ovog prikaza se vidi, da polimeri imaju volumnu otpornost veću od 10 ohmm (što se smatra donjom granicom za elektroizolacije). Uz ovo svojstvo polimeri moraju zadovoljiti i druge zahtjeve. To se posebno odnosi na toplinsku postojanost. Prema IEC 216 za to se često koristi vrijednost temperaturnog indeksa koji označava temperaturu na kojoj neki materijal nakon 20.000 sati ne izgubi više od 30% početnih svojstava (obično mehaničkih i električkih).

U tablici 3. su za primjer navedeni temperaturni indeksi nekih polimernih materijala, koji su u obliku folija upotrebljavaje u elektrotehničkim proizvodima.

Temperaturni indeks ne smije se zamijeniti pojmom toplinske klase, pojmom koji se često koristi u elektrotehnici.

Tablica 2. Uloga polimera u proizvodima elektroindustrije

Proizvod	Uloga - Oblik polimera		Vrsta polimera
Generator - stator i rotor	elektroizolacija	- trake, folije*	plastomeri
		- impregnanti	epoksidne smole
		- zaljevne smole	epoksidni poliuretani
		- lakovi	alkidi, epoksidi
	antikorozivna zaštita	- premazi	epoksidi, poliuretani
	lijepljenje	- ljepila	različita, ovisno o namjeni
Tipkala	izolacija, kontakti		plastomeri različiti
Transformatori	elektroizolacija	- lak za žicu	poli(amidimid), poli(esterimid), poliester, polimidi
		- impregnanti	poli(esterimidne), epoksidne i silikonske smole i lakovi
		- zaljevne smjese	epoksidi, poliuretani, silikoni
		- trake, folije*	plastomeri razni
		- prešani dijelovi	duromeri razni
	elektroizolacija	- zaljevne smjese	epoksidi, silikoni, poliuretani
Izolatori	elektroizolacija	- smjese za prešanje	duromeri razni
Sklopnici, utičnice			
Tipkala			različiti plastomeri
Električni rotacijski strojevi raznih namjena	elektroizolacija	- folije, trake*	razni plastomeri
		- lak za žicu	poli(amidimid), poli(esterimid), poliester, polimidi
		- laminati	EP+ staklo
		- kitovi zaljevne smjese	na bazi umjetnih smola različiti
		- impregnanti	najčešće epoksidi i poliesteri
		- gotovi prešani dijelovi	poli(esterimid), epoksidi, silikoni
			razni duromeri
	lijepljenje		
	antikorozivna zaštita	- premazi	najčešće na bazi EP i PUR-smola
Rasvjeta	električna izolacija	- kitovi	smjese na bazi umjtnih smola
		- zaljevne mase	
		- kabeli	razni plastomeri
		- prešani dijelovi	prešani duromeri
	kućišta rasvjetnih tijela		razni plastomeri
Elektronika - upravljačka	elektroizolacija	- laminati	EP-smole i stakla
- informatička		- zaljevne smjese	EP, PUR i sl.
- u muz. instrumentima		- razna crijeva	razni plastomeri
- u automobilima		- zaštitni premazi	alkidi, EP, PUR, akrilati
Kućanski aparati	elektroizolacija, kućišta		različite vrste plastomera i duromera, ovisno o proizvodu i mjestu gdje se upotrebljavaju.

* Vidjeti tablicu 3.

Tablica 3. Temperaturni indeks polimera-izolatora u obliku folija/ film

Polimer	Temperaturni indeks /°C	Područja primjene
Polietilen, PE	90	izolacija utora
Polipropilen, PP	105	izolacija vodiča
Polistiren, PS	90	izolacija faza
Poli(vinil-klorid), PVC	90	slojna izolacija
Poli(tetrafluoretilen), PTFE	200	žice, kabeli
Poliamidi, PA		električni rotacijski strojevi,
- alifatski	105	transformatori
- aromatski	175	prigušnice
Polimidi, PI	300	kondenzatori
Poli(etilen-tereftalat), PET	135	magnetne vrpce
Polikarbonati, PC	125	električni ugradbeni
Celulozni acetat, CA	120	elementi
Celulozni butirat, CB	125	
Poli(asterimidi)	160. . .190	
Poli(amidimidi)	190. . .220	
Polisulfoni, SU	180	

Prema IEC 85/84 toplinska klasa se odnosi na maksimalnu temperaturu, koju trajno izdrži neki **izolacijski sustav** i koja se označuje kako slijedi:

Klasa	Y	A	E	B	F	H	220	250
Temperatura (°C)	90	105	120	130	155	180	220	250

Prije ugradnje u proizvod potrebno je svaki materijal ispitati pojedinačno, a nakon toga u sustavu, odnosno prototipu. I materijali i sustavi moraju odgovarati zahtjevima propisanim normama, a isto tako i metode ispitivanja.

Termoplasti se relativno lako definiraju, jer svi veći proizvođači već imaju dostupne banke podataka, prema kojima se ispitivani materijal može usporediti. Mnogo teže je definirati svojstva duromera, koji zbog velike mogućnosti variranja sastava mogu imati i različita svojstva. Među duromerima najduže su poznate smjese na osnovi fenolnih (Bakelit) i melaminskih smola. Zbog toga o njima ima i najviše podataka i za njih su normirani sastavi smjesa, postupci ispitivanja i granične vrijednosti pojedinih svojstava.

Tablica 4. Svojstva tipičnih zaljevnih smjesa, koje se upotrebljavaju u elektroindustriji

	Svojstvo	Metoda ispitivanja	Mjerenje vrijednosti				
			Araidit B Anhidrid ftalne kiseline Kremeno brašno	Araidit F HY 956 (bez punila)	Durosehl EN 1296 Härter M K 340 (fleksibiliza-tor) DB (ubrzivač) Kremeno brašno	Dobeckan IF 1645 IF 200	PU 90 IK 20 (Bayer) Baylit L (zeolitna pasta) KV3-5006 Kremeno brašno
Smola dostavom stanju	Gustoća pri 23°C(g/cm^3)	ISO 1 675	1,15...1,25	1,16	1,23	1,34	
	Porast viskoznosti nakon 23 sata/120°C(mPas) (%)	Brookfield			3 000		
		Brokfield	< 10	< 10	100		
	Epoksidni broj	ISO	3 001	0,2...30,31	0,45...0,55	0,55...0,63	
	Udjel hidrozolirajućeg klora (%)	ISO 4 583	< 0,8	< 1	< 1,5		
	Gubitak mase otparivanjem (3 sata pri 140 °C)(%)	din 16 945	< 0,5	< 1	< 1		
Smjesa u neotvrdnutom stanju	Gustoća pri 23°C/(g/cm^3)	ISO 1 675	1,82	1,17		1,34	1,66
	Viskoznost(mPas/°C)	Brookfield	1 700/120	3 900/23	11 000/23	1 100/30	1 500/30
	Vrijeme želiranja(min/°C)	DIN, 16 945	160/120		11/120	90/25	30/30
Smjesa u otvrdnutom stanju	Linearno skupljanje(%)	interna metoda	0,75...		0,9	0	0,6
	Upijanje vode nakon 96 sati/sobna temperatura(%)	DIN 53 495	0,13		0,15	0,20	0,1
	Rastezna čvrstoća/(N/mm^2)	DIN 53	455	60...70	60...70	62	62...86
	Udarna žilavost (kJ/m^2)	ISO	179	7...920...25	8...10	20	14,5
	Temperatura postojanosti oblika po Martensu/°C	DIN 53 458	100/110	80/82	121/124	60/70	85/89
	Dielektrička čvrstoća (kV/mm)	IEC 243	30...40	20	35	33...45	29...38
	Faktor gubitaka, tgδ	IEC 250	2...4.122	1.10^{-2}	$2{,}7.10^{-2}$	$2\text{-}10^{-2}$	3.10^{-2}
	Relativna dielektrička konstanta, ε	IEC 250	4	4,6	5,1	4,5	4,5
	Površinska otpornost/Om cm	DIN 53 482					4.1016
	Specifična volumna otpornost/Om cm	DIN 53 482	20...30.1015	1-1016		10.16	5.1015
	Otpornost na električni luk(s)	ASTM D 495	180...190		192		187
	Otpornost na puzajuće struje	IEC 112	CTI 500	CTI 500	CTI 500	CTI 500	

Ostale smole (poliesterske, epoksidne, poliuretanske, silikonske i dr.) prodaju se u obliku smola, koje miješanjem s raznim otvrđivačima, punilima i drugim komponentama mogu dati proizvode najrazličitijih svojstava. Zbog velikog broja mogućih kombinacija vrlo teško se mogu normirati. Postoje u normama okvirne vrijednosti određenih svojstava, koje se također mogu mijenjati ovisno o upotrebljenim komponentama i načinu prerade, a i o namjeni.

Radi ilustracije u tablici 4. prikazane su karakteristike epoksidnih i poliuretanskih smola koje se upotrebljavaju kao zalijevne smjese visokonaponskih dijelova električkih uređaja (izolatori, transformatori). Navedene su karakteristike smola u dostavnom stanju, tekućih smjesa prije otvrdnjavanja i otvrdnutih (umreženih) smola.

Araldit B i Araldit F (proizvodi firme CIBA) epoksidne su smole na osnovi Bisfenola A različitih molekularnih masa.

Durossehl EN 1296 (firme POSSEHL) epoksidna je smola cikloalifatskog tipa namijenjena izradi dijelova postojanih na vanjske utjecaje. Navedene su također karakteristike dviju poliuretanskih smola na osnovi polieterpoliola i to Dobeckan IF 1645 (firme BASF/Beck) koja u dostavnom obliku već sadrži punilo te PU 90 IF 20 (firme BAYER), od koje se priprema navedena zaljevna smjesa. Moguće su i druge kombinacije.

U elektroindustriji su također veoma važne i impregnacijske smole i lakovi. Radi zaštite okoline i uštede energije sve manje se upotrebljavaju lakovi koji sadrže otapala (a koja pri otvrdnjavanju otparavaju u okolinu), a sve više impregnacijske smole koje ne sadrže otapala. Izbor vrste impregnanta ovisi o zahtjevima finalnog proizvoda i tehnologije nanošenja.

U tablici 5. prikazana su karakteristična svojstva nekih tipova impregnacijskih poliesterimidskih smola, koje su uspoređene s karakterističnim predstavnikom impregnacijskih lakova (na osnovi alkid-fenolne smole).

4. ZAKLJUČAK

Ovaj kratki prikaz mogućnosti primjene polimera u elektrotehničkim proizvodima sigurno nije potpun i iscrpan, to više što se sa zahtjevima za novim proizvodima razvijaju i materijali i postupci prerade. Cilj ovog članka bio je da se ukaže na ove materijale i tehnologije, koji su često nepravedno zapostavljeni. Naša se elektroindustrija natječe za poslove na svjetskom tržištu i mora se prilagoditi njegovim zahtjevima. To znači da se bez obzira na dotrajalost opreme i teškoće u privređivanju, mora slijediti svjetski razvoj i materijala i postupaka prerade.

Tablica 5. Svojstva impregnacijskih smola

Svojstvo		Zahtjev prema DIN 46 448	Impregnacijska smola					Referentni lak Voltatex E 1141
			Dobeckan FT 1060+K 2	Dobeckan FT 1052/30+P	Herberts H 8962+TB	Herberts E 8971+TB	VUKI-ČSSR NK-45 (A+B)	
Boja	smola umreživač		boje meda bezbojan	boje meda bezbojan	plava bezbojan	smeđa bezbojan	boje meda svijetlo žuti	svijetlo smeđa
Omjer miješanja (smola: umreživač)/maseni dijelovi			100:1	100:1	100:2	100:2	100:1	
Gustoća 24°C/(g/cm3)			1,054	1,050	1,00	1,047	1,063	0,98
Viskoznost 23°C	Brookfield(mPas) Vrijeme istjecanja ø4(s)		400...600 100...120	150 38	365 75	102	184 45	280...340 č 85
Udjel stirena (2 sata pri 110°C)(%)			25...35	55	43	40	47	č 50 (otapalo)
Vrijeme želiranja 100°C(min)			25...35	30	22	47	11	90/130°C
Uvjeti otvrdnjavanja(sati/°C)			1/140	2/140	1/140	1/140	1/130	14...16/140
Izgled u debelom sloju*	površina	ne lošije od 2, 1, 2	1, 1, 1	1, 1, 1	1, 1, 1	1, 1, 1	1.1, 1	1, 1, 1
	unutrašnjost	2, 1, 2	1, 1, 1	1, 1, 1	1, 1,2	1, 1, 1	1, 1, 1	1...2, 1, 1
Upojnost vode/%			0,38	0,44	0,28	0,33	0,43	1,58
Dielektrička čvrstoća	sobna temperatura/ (kV/mm) 155°C(kV/mm)	50 30	min 70 min 50	105 47	26	92 (70...106) 42 (30...46)	24	70...80 50...60/130°C
Otpornost na puzajuće struje			KA 3 c	KA 3 c	KA 3 c	KA 3 c	KA 3 c	
Upotrebljivost mješavina 23° C/mjeseci			6	6	4,8 20°C	4	3	neograničeno

* Ocjene prema DIN 46 448.

Napomena: Sve ispitane impregnacijske smole su na bazi poli(esterimida) uz peroksidni umreživač.

Referentni lak Voltatex E 1141 je na bazi alkid-fenolne smole.

U razvijenom svijetu stalno se nastoje smanjiti dimenzije električkih uređaja, što iziskuje primjenu sve kvalitetnijih polimernih materijala s posebnim naglaskom na većoj toplinskoj postojanosti. Bez obzira na to i dalje ostaju u primjeni brojni tzv. obični polimerni materijali, kojima se također trajno poboljšavaju svojstva.
Pored materijala osobito je važan i njihov način prerade, koji može znatno utjecati na kakvoću gotovog proizvoda.

LITERATURA

[1] OBURGER: "Die Isolierstoffe der Elektrotechnik", Springer Verlag 1957.

[2] P. RILLER: "25. Technisches Pressekolloqium der AEG", Okt. 11/18 1990.

[3] F. W. MADER: "Macromol", Symp. 57 (1992.) 20

[4] C. HALL. "Polymer Materials,", 2nd Ed. Macmillan Education, London 1989.

[5] E. SCHÜLEIN: "Grundsätzliche Überlegungen zum gleichzeitigen Einsatz von Tränk- und Giessmitteln sowie Flächenisolierstoffe" (Referat na BASF Farben + Fasen "Tränk- und Giessmittel- Tagung" u Hamburgu 1974.)

[6] A. JENGIĆ: "Analiza mogućnosti zamjene EP-zalijevne smjese poliuretanskima za zalijevanje mjernih transformatora" (interni rad za KONČAR - IET)

[7] A. JENGIĆ: "Istraživanje mogućnosti zamjene laka Voltatex E 1141 novim impregnantom topl. kl. F" (interni rad za KONČAR - IET)

[8] K. EHLERS: "Drehstrom-Normmotoren", Beck Isoliertechnik Nr 54/1979.

[9] Tehnički podaci firme "Hübers" iz Bocholta, Njemačka

APPLICATION OF POLYMERIC MATERIALS IN THE ELECTRIC INDUSTRY

A review on kinds, roles and basic characteristics of polymeric materials, that are used in electric appliances construction is given. Impregnation resin and filling-up mixtures, that have an important role in the electric industry, are given in more detail.

ANWENDUNG POLYMERER WERKSTOFFE IN DER ELEKTROINDUSTRIE

Gegeben sind Übersicht, Art, Rolle und Grundeigenschaften polymerer Herstellungswerkstoffe elektrotechnischer Erzeugnisse. Ausführlicher behandelt sind Impregnationsharze und Spritzgemenge von besonderen Bedeutung für die Elektroindustrie.

Naslov pisca:

Adela Jengić, dipl. ing.
Končar - Institut za elektrotehniku, d.d.,
Baštijanova bb, 10000 Zagreb,
Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
1997-05-03.

ELKA

UTEMELJENA 1927. god.

PROIZVODNI PROGRAM

- ENERGETSKI KABELI
- SAVITLJIVI I INSTALACIJSKI VODOVI I KABELI IZOLIRANI TERMOPLASTIMA
- SAVITLJIVI I INSTALACIJSKI VODOVI I KABELI IZOLIRANI ELASTOMERIMA
- BRODSKI KABELI
- KABELI I KONEKTORI ZA AERODROMSKE INSTALACIJE
- TELEKOMUNIKACIJSKI KABELI
- SIGNALNO-UPRAVLJAČKI, MJERNI I KABELI ZA INFORMATIČKE MREŽE
- RUDARSKI KABELI
- KABELI ZA ZAVARIVANJE
- SPECIJALNI VODOVI I KABELI
- KONFEKCIONIRANI KABELI I VODOVI
- LAKIRANA ŽICA
- ALUMINIJSKA, ALU-ČELIČNA I UŽAD OD ALUMINIJSKIH LEGURA
- ZAŠTITNA UŽAD SA SVJETLOVODNIM NITIMA (OPGW)
- ČELIČNA UŽAD I PRIVEZICE ZA DIZALICE, BRODOVE I DRUGE NAMJENE
- IZOLACIJSKI MATERIJALI

Planeta Zemlja...

Čovjek...

Kabeli...

ELKA d.d.
Tvornica električnih kabela
Žitnjak bb, 10 000 ZAGREB
TEL: 01/ 233 22 00
FAX: 01/22 38 98

ELKA
TVORNICA ELEKTRIČNIH KABELA

POGON I: ELKA-METALNA UŽARIJA, BIOGRADSKA BB, 23 000 ZADAR; TEL.: ++385 (023) 43 69 22; FAX: ++385 (023) 44 16 72
POGON II: ELKA-MIKROKABEL, TUGONICA BB, 49 247 ZLATAR BISTRICA; TEL.: ++385 (049) 48 14 22; FAX: ++385 (049) 46 11 39

NOVI NADZORNI ODBOR HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

Skupština Hrvatske elektroprivrede d.d. izabrala je novi nadzorni odbor na sjednici 14. listopada. Članovi novog nadzornog odora su:

Martina Dalić - pomoćnik ministra za makroekonomske analize u Ministarstvu financija
Dr. sc. Goran Granić - direktor Energetskog instituta "H. Požar"
Prof. dr. sc. Pero Jurković - glavni savjetnik za gospodarstvo Predsjednika RH
Mr. sc. Roman Nota - načelnik za energetiku u Ministarstvu gospodarstva
Marijan Prus - predstojnik Ureda za zaknodavstvo Vlade RH
Dunja Vidošević - predstojnik Ureda za ekonomiku i restrukturiranje javnih poduzeća
Ana Vincent-Šepić - pomoćnik ministra u Ministarstvu privatizacije i upravljanja imovinom
Prof. dr. sc. Jure Šimović - redoviti profesor na Pravnom fakultetu
Mr. sc. Stjepan Šterc - pomoćnik ministra - ravnatelj Uprave za znanstveno stručna istraživanja i programe u Ministarstvu razvitka i obnove

Isto tako je izabrala za novog predsjednika Skupštine dr. sc. Božu Prku.

SBK

PREGLED INTERNIH NORMI HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE

U donjoj tablici je dan pregled internih normi Hrvatske elektroprivrede koje se kao granske norme HEP-a primjenjuju u elektroprivrednoj djelatnosti. Njima se određuju pravila, odrednice ili karakteristike opreme, elemenata i usluga.
Namijenjene su postizanju optimalne razine uređenosti u predmetnom području na razini sustava.
Pregled se odnosi na stanje 1. 10. 1997. godine.

Red. broj	Naziv	Bilten HEP-a broj	Datum	Stranica
1.	Pravilnik o zaštiti na radu u javnom poduzeću HEP	4/91	119-08-01	6
2.	Pravilnik o sprječavanju noevlaštene potrošnje električne energije	4/91	1991-08-01	3
3.	Pravila i mjere sigurnosti pri radu na elektroenergetskim postrojenjima: Prilog 4. Pravilnika o zaštiti na radu HEP-a	12/92	1992-01-31	38
4.	Tehnički uvjeti za TS 10(20)/0,4 kV; 100(200) kVA - stupna izvedba	16/92	1992-11-13	32
5.	Upute za izradu granskih normi u Direkciji za distribuciju HEP-a	15/92	1992-11-13	7
6.	Tehnički uvjeti za TS 10(20)/0,4 kV, 1x630 kVA - kabelska izvedba	16/92	1"992-11-13	32
7.	Tipizacija betonskih stupova okrugle izvedbe za 20(10) kV vodove s preporukom za projektiranje i primjenu	16/92	1992-11-13	45
8.	Tipizacija čelično-rešetkastih stupova za 20(10) kV vodove	16/92	199-11-13	13
9.	Tehnički uvjeti za izvedbu priključaka u višekatnim stambenim objektima	18/92	1992-11-13	24
10.	Tipizacija čelično-rešetkastih stupova za 35 kV vodove	1/93	1993-03-15	30
11.	Tehnički uvjeti za izbor i polaganje elektroenergetskih kabela nazivnog napona od 1 do 35 kV	22/93	1993-0325	88
12.	Opće upute za izvođenje radova pod naponom	21/93	1993-04-20	29
13.	Pravilnik o zdravstvenim i psihičkim uvjetima djelatnika za rad pod naponom	21/93	1993-04-20	3
14.	Pravilnik o radnim odnosima, disciplinskoj i odgovornosti djelatnika Hrvatske elektroprivrede	28/93	1993-05-20	
15.	Tehnički uvjeti za mjernu opremu na obračunskom mjernom mjestu na niskom i srednjem naponu	30/93	1993-07-20	4
16.	Tehnički uvjeti za ograničavala strujnog opterećenja - limitatore	30/93	1993-07-20	2
17.	Tehnički uvjeti za mjernu opremu na obračunskom mjernom mjestu u prijenosnoj mreži	30/93	1993-07-20	3
18.	Tehnički uvjeti i upute za izgradnju niskonaponske mreže sa samonosivim kabelskim snopom	31/93	1993-08.10	80
19.	Tehnički uvjeti za izvođenje kućnih priključaka individualnih objekata	32/93	1993-08-10	42
20.	Upute za izbor i ugradnju ograničavala strujnog opterećenja (limitatora)	33/93	1993-08.10	12
21.	Prilog 5. Pravilnika o zaštiti na radu: Evidencije, isprave i nadzor iz zaštite na radu	35/93	1993-11-12	23
22.	Prilog 3. Pravilnika o zaštiti na radu: Nabava, održavanje i ispitivanje oruđa za rad i zaštitne opreme	37/93	1993-12-31	7
23.	Generalni plan razvoja mreže veza Hrvatske elektroprivrede	38/94	1994-06-27	140
24.	Pravila i mjere sigurnosti pri radu na elektroenergetskim postrojenjima distribucije električne energije - Prilog 4. Pravilnika o zaštiti na radu HEP-a	41/94	1994-10-20	3
25.	Pravilnik o zaštiti od požara u Hrvatskoj elektroprivredi	42/94	1994-10-22	2
26.	Pravilnik o izmjeni Pravilnika o radnim odnosima, disciplinskoj i odgovornosti djelatnika Hrvatske elektroprivrede	43/95	1995-01-25	
27.	Pravilnik o organizaciji Hrvatske elektroprivrede	45/95	1995-03-15	3
28.	Tipizacija betonskih stupova za NN mreže	46/95	1995-04-15	1
29.	Preporučena opterećenja drvenih stupova za vodove srednjeg napona - 20 kV	47/95	1995-04-16	
30.	Tehnički uvjeti za izradu i impregnaciju drvenih stupova za nadzemne elektroenergetske vodove	48/95	1995-04-18	1
31.	Tehnički uvjeti za mjernu opremu na obračunskom mjernom mjestu na niskom i srednjem naponu; izmjene i dopune	49/95	1995-07-14	8
32.	Tehnički uvjeti za mjernu opremu na obračunskom mjernom mjestu na niskom i srednjem naponu (brojila i tarifni uređaji - izmjene i dopune)	49/95	1995-07-14	8

Red. broj	Naziv	Bilten HEP-a broj	Datum	Stranica
33.	Statut hrvatske elektroprivrede	50/95	1995-08-18	12
34.	Pravilnik o izmjeni Pravilnika o organizaciji Hrvatske elektroprivrede	51/95	1995-11-06	3
35.	Pravilnik o izmjenama i dopunama Pravilnika o sistematizaciji radnih mjesta u Hrvatskoj elektroprivredi	51/95	1995-11-06	1
36.	Odluka o obliku, sadržaju i korištenju znaka, memoranduma i pečata i čuvanju pečata Hrvatske elektroprivrede - dioničkog društva	51/95	1995-11-06	3
37.	Odluka o iznosu naknada, nagrada, pomoći i otpremnine na teret troškova poslovanja Hrvatske elektroprivrede d.d.	51/95	1995-11-06	3
38.	Prilog 8. Pravilnika o zaštiti na radu HEP-a: Pružanje prve pomoći i medicinske pomoći radnicima na radu u distribuciji električne energije	51/95	1995-11-06	5
39.	Izmjene i dopune Pravilnika o zaštiti na radu u HEP-u	11/95	1995-11-06	2
40.	Pravilnik o zaštiti na radu u HEP-u (pročišćeni tekst)	11/95	1995-11-06	7
41.	Prilog 1. Pravilnika o zaštiti na radu: Osobna zaštita sredstava	11/95	1995-11-06	2
42.	Tehnički uvjeti za TS 10(20)/0,4 kV, 1x250 kVA i 1x600 kVA; kabelska izvedba - vanjsko posluživanje	57/97	1997-06-23	32
43.	Tipizacija čeličnih konzola na betonskim stupovima okrugle izvedbe za 20(10) kV vodove	58/97	1997-07-01	9
44.	Preporuke za gradnju SN vodova s izoliranim vodičima	59/97	1997-07-02	5
45.	Tehnički uvjeti za distribucijske uljne transformatore snage 50 kVA do 1000 kVA napona 10/0,42 kV; 20/0,42 kV i 20(10)/0,42 kV	60/97	1997-07-03	28
46.	Tehnički uvjeti za izradu i ispitivanje spojnog pribora vodiča	61/97	1997-07-04	32

SBK

TEHNIČKI UVJETI ZA TS 10(20)/0,4 kV, 1x250 kVA I 1x630 kVA KABELSKA IZVEDBA - VANJSKO POSLUŽIVANJE

Direkcija za distribuciju pripremila je ove godine nekoliko granskih normi Hrvatske elektroprivrede. Jedna od njih su Tehnički uvjeti za TS 10(20)/0,4 kV; 1x250 kVA i 1x630 kVA, kabelska izvedba za vanjsko posluživanje. Ova granska norma objavljena je u Biltenu HEP-a broj 57 od 28 lipnja ove godine. Normom su utvrđeni temeljni tehnički uvjeti transformatorskih stanica TS 10(20)/0,4 kV snage 1x250 kVA i stupne izvedbe. Ova granska norma je prilagodba postojećih granskih normi:

- Tehnički uvjeti za TS 10(20)/0,4 kV; 1x630 kVA, kabelske izvedbe (N.012.01), objavljeni u Biltenu-u HEP-a broj 16 od 20.07.1992. godine i
- Tehnički uvjeti za isvedbu priključaka u višekatnim stambenim objektima (N.70.02), objavljeni u Biltenu-u HEP-a broj 18 od 20. 07. 1992. godine.

U novoj granskoj normi dodaju se novi uvjeti ili mijenjaju neki od postojećih.
S obzirom da je posluživanje izvana dobivaju se smanjene veličine transformatorske stanice kod iste intalirane snage.
Predviđena su dva nova tipa transformatorskih stanica i to:

- za seoska područja kod kojih je otežan ili onemogućen pristup srednjenaponskim nadzemnim vodovima
- za gradska područja gdje je prostor za izgradnju mali ili se postavljaju posebni urbanistički uvjeti.

Normom se utvrđuje jednopolna shema, tehničke značajke električne opreme, maksimalne instalirane snage transformatora, mehaničke značajke stupa, stupne transformatorske stanice i dr.
Za seoska područja se predviđaju transformatori snage do 250 kVA, a za gradska područja do 630 kVA. Osim toga propisuje se električna zaštita transformatora od kratkog spoja, nadtemperaturne zaštite, do zaštite od unutarnjih kvarova transformatora. Mjerenje opterećenja transformatora je predviđeno na niskonaponskoj strani putem dvosustavnih ampermetara s trenutačnim i maksimalnim pokazivanjem struje u sve tri faze. Mjerenje napona na 0,4 kV strani je voltmetrom sa skalom 0-500 V priključenim preko grebenaste sklopke.
Normom se utvrđuju tehničke značajke opreme srednjenaponskog i niskonaponskog razvoda kao i spojevi s transformatorom. Utvrđuje se raspored slobodnostojeće transformatorske stanice prema kriterijima što veće iskoristivosti prostora, jednostavnog rukovanja opremom i brze zamjene elemenata postrojenja. Određuju se uvjeti lokacije transformatorske stanice te građevinski uvjeti. Određuje se jedan sustav uzemljenja, temelji za proračun uzemljenja i izvedba uzemljivača, zone opasnosti i mjesta za uzemeljenje i kratko spajanje. Također se određuju uvjeti za ograničenje utjecaja buke. Dozvoljena je maksimalna buka od 45 dB mjerena na udaljenosti 3,5 m od transformatorske stanice i visini 1,2 m iznad tla.

SBK

TIPIZACIJA ČELIČNIH KONZOLA BETONSKIH STUPOVA OKRUGLE IZVEDBE ZA 20/10 kV VODOVE S PREPORUKOM ZA PROJEKTIRANJE I PRIMJENU

Tehnički normativi za proizvodnju okruglih betonskih stupova, temeljni parametri i područje primjene sadržani su u granskoj normi Direkcije za distribuciju Tipizacija betonskih stupova okrugle izvedbe za 20(10) kV vodove s preporukom za projektiranje i primjenu koja je objavljena u Biltenu HEP-a broj 17 od 20.07.1992. godine.
Novom normom se utvrđuju karakteristike čelične konzole sa preporukom za projektiranje, proizvodnju, zaštitu i primjenu. To bi trebalo olakšati montažu konzola na stupove, te zamjenu dotrajalih.
Tehničkim normativima za proizvodnju čeličnih konzola utvrđuju se sadržaj dokumentacije, materijal, konstrukcija, izgled i veličina konzola, zaštita od hrđanja i primjena. Za ispitivanje i dokaz kvalitete primjenjuje se ispitivanje probnim opterećenjima te ispitivanje tijekom proizvodnje.
Tehnički normativi za preuzimanje i primjenu čeličnih konzola utvrđuju kako i gdje se obavlja preuzimanje, prijevoz i uskladištenje te način obavljanja montaže. Uz to sadrži i preporuke za projektiranje.
Ova granska norma je objavljena u Biltenu HEP-a broj 58 od 1. 07.1997. godine od kada se i primjenjuje.

SBK

PREPORUKE ZA GRADNJU NADZEMNIH SREDNJENAPONSKIH VODOVA S IZOLIRANIM VODIČIMA

Preporuke za gradnju nadzemnih srednjenaponskih vodova s izoliranim vodičima obuhvaćaju samo promjene i razlike u odnosu na Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova nazivnog napona od 1 kV do 400 kV. U svemu ostalom vrijedi navedeni Pravilnik. Preporuke utvrđuju tehničke karakteristike vodiča: izvedbu, nastavljanje te odvojke i druge spojeve vodiča. Rasporedom vodiča utvrđeni su sigurnosni razmaci i razmaci kod vodoravnog i okomitog rasporeda. Također se utvrđuje zaštita nadzemnih vodova srednjeg napona s

izoliranim vodičima za izoliranu neutralnu točku ili uzmeljenu preko maloomskog otpora s ograničenom strujom jednopolnog kvara do 300 A. Za zaštitu od atmosferskih prenapona utvrđuje se ugradnja zaštitnog iskrišta ili odvodnika prenapona.
Kod križanja vodova ili prijelaza preko raznih objekata utvđuju se razmaci posebno za svaki slučaj: prijelaz preko prometnica, šuma i drveća, sportskih igrališta i kampova, parkirališta i stajališta autobusa. Također je utvrđeno križanje srednjenaponskog izoliranog voda s drugim srednjenaponskim i visokonaponskim vodovima i njihov međusobni razmak. Osim toga utvrđeno je križanje srednjenaponskog izoliranog voda s telekomunikacijskim vodom i njihov međusobni razmak.
Ove Preporuke objavljene su u Biltenu HEP-a broj 59 od 2.07.1997. godine

SBK

TEHNIČKI UVJETI ZA DISTRIBUCIJSKE ULJNE TRANSFORMATORE SNAGE OD 50 kVA DO 1000 kVA, NAPONA 10/0,42 kV; 20/0,42 kV I 20(10)/0,42 kV

Granska norma Tehnički uvjeti za distribucijske uljne transformatore snage od 50 kVA do 1000 kVA napona 10/0,42 kV; 20/0,42 kV i 20(10)/0,42 kV se odnosi na zahtjeve za izradu i isporuku trofaznih, uljnih distribucijskih transformatora snage od 50 kVA do 1000 kVA, frekvencije 50 Hz, napona 10/0,42 kV; 20/0,42 kV i 20(10)/0,42 kV. Transformatori snage do 250 kVA predviđeni su za montažu na stup, a oni 400 kVA i veći za montažu na postolje. Ovim tehničkim uvjetima nisu obuhvaćeni jednofazni transformatori i transformatori manjih snaga od 50 kVA. Granskom normom se utvrđuje: nazivna snaga transformatora, nazivni napon, regulacija, oznaka spoja, uvjeti rada, tip hlađenja, namoti, jezgra, kotao, provodni izolatori, raspored i oznaka faza, transformatorsko ulje, veličina transformatora, buka transformatora, oprema te zaštita od hrđanja.
Osim toga norma određuje primjenu slijedećih normi IEC i DIN:

IEC 76(1-5)	Energetski transformatori
IEC 296	Značajke ulja za upotrebu u transformatorima i prekidačima
IEC 354	Smjernice za terećenje uljnih transformatora
IEC 551	Način mjerenja buke transformatora i prigušnica
IEC 606	Smjernice za primjenu energetskih transformatora
IEC 616	Oznake priključaka i odcjepa energetskih transformatora
IEC 722	Smjernice kod ispitivanja energetskih transformatora udarnim i odrezanim valom
DIN 42500	Trofazni uljni transformatori 50 Hz, 50 kVA do 2500 kVA
DIN 42530	Provodni izolatori za unutrašnju i vanjsku montažu, napona 1 kV i struja od 250 A do 3150 A
DIN 42531	Transformatorski provodni izolatori za unutrašnju i vanjsku montažu, napona 10 kV do 30 kV i struje 250 A
DIN 42551	Ventil za ispust ulja
DIN 42561	Kotači

Također tehnički uvjeti obuhvaćaju nadzor i vrste ispitivanja koja je potrebno provesti kod isporučitelja. Proizvođač izdaje "izjavu o sukladnosti" kojom potvrđuje da proizvod udovoljava zahtjevima određene norme i da je odgovarajuće zahtjevne kvalitete.
Tehnički uvjeti za distribucijske uljne transformatore su objavljeni u Biltenu HEP-a broj 60 od 3.07.1997. godine od kada se i primjenjuju.

SBK

TEHNIČKI UVJETI ZA IZRADU I ISPITIVANJE SPOJNOG PRIBORA VODIČA

Svrha ovih tehničkih uvjeta je osiguranje kvalitete svih spojnih mjesta - elemenata srednjenaponskih i niskonaponskih postrojenja koja su u vlasništvu Hrvatske elektroprivrede.
Tehnički uvjeti obuhvaćaju kabelske i nadzemne vodove nazivnih napona 1 kV, 10 kV, 20 kV i 35 kV kao i signalne i kontrolne kabele različitog presjeka i pet i više vodiča. Odnose se na signalne i kontrolne kabele koji prenose signal strujom, frekvencije od najviše 10^5 Hz. Ne odnose se na instalacijske izolirane vodove za električne instalacije nazivnog napona do 1 kV, telekomunikacijske vodove, energetske kabele za podmorsko polaganje, već izgrađene objekte i objekte za koje je izdano odobrenje za građenje ili se ishodi.
Tehničkim uvjetima je utvrđen način spajanja vodiča, spojni pribor za nadzemne mreže te uvjeti osiguranja kvalitete. Utvrđeni su uvjeti spajanja vodiča lemljenjem, zavarivanjem i mehaničkom izvedbom. Spojni pribor za spajanje vodiča u kabelskoj i nadzemnoj mreži čine čahure, razne stezaljke, stopice, spojnice, tuljci, zastavice itd. Sav pribor za spajanje vodiča mora sadržavati oznake proizvoda ili ime proizvođača, pripadajući presjek, oblik i vrstu vodiča i kvalitetu vijaka. Ako se odnosi na pribor koji se ugrađuje prešanjem potrebna je i oznaka broja alata za prešanje, oznaka mjesta prešanja i broj prešanja. Utvrđen je i materijal od kojeg mora biti izrađen. Svaki spojni pribor mora imati odgovarajući certifikat o izvršenom ispitivanju. Utvrđuju se ispitivanja spajanja vodiča: tipna, komadna i prema izboru. Mišljenje o podobnosti ugradnje spojnog pribora izdaje Direkcija za distribuciju.
Ovi tehnički uvjeti su objavljeni u Biltenu HEP-a broj 61 od 4.07.1997. godine i od tada se primjenjuju.

SBK

OBNOVA TS 35/10 kV POŽEGA

Požega dobiva struju 1912. godine što omogućuju mnoge male lokalne elektrane izgrađene na tom području. Opskrbljivala se električnom energijom iz HE Kuzminci na rijeci Orljavi. Izgradnjom transformatorske stanice 30/6 kV u Požegi 1956. godine i njenim priključkom dalekovodom 30 kV, dužine 38 km, na TS 110/30 kV Slavonski Brod veže se na elektroenergetski sustav Hrvatske. Kasnije je manjim rekonstrukcijama u TS Požega izvršen prijelaz na 35 kV. Tijekom ove godine TS Požega je rekonstruirana i obnovljena. Ugrađena je suvremena elektrooprema i elektronika za upravljanje koja omogućuje daljinsko upravljanje pa transformatorska stanica može raditi i bez posade. Transformatorska stanica Požega napaja se iz TS 110/35/10 kV Požega 2. Rezervno napajanje osigurano je iz TS 35/10 Brodsko Brdo.

SBK

REKONSTRUKCIJA TS 35/10(20) kV ĐURĐEVAC

Tijekom 1997. godine izvršena je rekonstrukcija transformatorske stanice TS 35/10(20) kV Đurđevac. Izgrađena je 1956. godine kao TS 30/10 kV Đurđevac, nazivne snage 2x1000 kVA. Izgradnjom dalekovoda 35 kV Koprivnica - Đurđevac - Virovitica mjesto Đurđevac je priključeno na elektroenergetski sustav Hrvatske. Do tada se mjesto opskrbljivalo električnom energijom iz lokalne elektrane koja sada prestaje s radom. 1969. godine izvršena je rekonstrukcija transformatorske stanice. Izvršen je prijelaz na 35 kV i povećanje nazivne snage na 2x2500 kVA.

Kako je oprema i građevinski objekt transformatirske stanice dotrajao, a kapacitet postao mali, započela je prošle godine rekonstrukcija. Pri tome je izgrađen novi 10(20) kV razvod sa 14 ćelija, dok je 35 kV dio od 6 ćelija rekonstruiran. Ugrađena je suvremena oprema koja omogućuje daljinsko vođenje. Također je ugrađena kompenzacija jalove energije od 1200 kVAr. Instalirana snaga rekonstruirane i proširene transformatorske stanice je 2x8 MVA. Napaja se iz TS 110/35 kV Virje dok je rezervno napajanje iz TS 110/35 kV Virovitica preko TS Pitomača. Projekt elek-

tromontažnog dijela kao i izvođenje tih radova obavio je Končar - Inženjering za energetiku i transport.

SBK

REKONSTRUKCIJA TS 35/10 kV VIS

Do 1964. godine otok Vis se napajao iz vlastite dizelske elektrane preko mreže 10 kV. Nakon izgradnje transformatorske stanice TS 30/10 kV iste godine bio je priključen na elektroenergetski sustav kabelom 30 kV Točilo - uvala Stenjalo. Do Točila je izgrađen dalekovod 30 kV iz Starog grada. Prošle i ove godine u okviru "Plana razvoja elelktroenergetske mreže podmorskih kabela jadanskih otoka za razdoblje 1995.-2000. (2050) godine", izgrađena je veza 35 kV između otoka Hvara i otoka Visa, koja se sastoji od:

- rekonstrukcije kopnene kabelske veze 35 kV Točila na otoku Hvaru
- podmorske kabelske veze uvala Točila (Hvar) - uvala Svitnja (otok Vis) duljine oko 21,5 km
- kopnene kabelske trase na otoku Visu od uvale Svitnja do TS 35/10(20) kV Vis duljine 2,4 km i
- TS 35/10(20) kV Vis.

Transformatorska stanica TS Vis ima instaliranu snagu 2x4 MVA, ali i mogućnost prijelaza na 2x8 MVA. Postrojenje 35 kV sastoji se od jednostrukih izoliranih sabirnica i energetskih polja. Postrojenje 10 (20) kV sastoji se od jednostrukih sekcioniranih izoliranih sabirnica i energetskih polja. Oba ova srednjenaponska postrojenja izvedena su sklopnim blokovima proizvodnje Končar u skladu s normama IEC 298 i 694. Također je ugrađena suvremena oprema za daljinsko upravljanje.

SBK

PRIKLJUČAK TERMOELEKTRANE LUKOVO ŠUGARJE NA ELEKTROENERGETSKU MREŽU

Tijekom ove godine izrađena je studija Analiza i rješenje optimalnog priključka termoelektrane na uvozni ugljen snage 1x350 MW (2x350 MW u definitivi) na lokaciji Lukovo Šugarje. Studiju je izradio Institut za elektroprivredu i energetiku d.d. Zagreb temeljem studijskog zadatka koji je pripremila Hrvatska elektroprivreda.

Studija se sastoji iz tri faze i sažetka:

1. Proračun stacionarnog stanja glede tokova snaga i naponskih prilika po priključku TE 1x350 MW odnosno 2x350 MW
2. Proračun kratkospojnih prilika u relevantnom dijelu Hrvatske po priključenju TE 1x350 MW odnosno 2x350 MW
3. Studija prijelazne stabilnosti s preliminarnom ocjenom dinamičke stabilnosti EES s novom termoelektranom 2x350 MW (2x350 MW) na lokaciji Lukovo Šugarje.

Za recenziju studije imenovana je Stručna radna grupa Stručnog savjeta za razvoj i planiranje prijenosne mreže. Studija je recenzirana polovicom godine i prihvaćena jer je u potpunosti odgovorila na postavljene zahtjeve u studijskom zadatku. U nastavku se prenose ostali zaključci sa recenzije:

- Priključak TE Lukovo Šugarje na prijenosnu mrežu, odnosno elektroenergetski sustav HEP-a potrebno je:
  a) izvesti s dva jednostavna 400 kV voda po zasebnim trasama na potezu TE Lukovo Šugarje - RP Lički Osik, svaki duljine oko 46 km
  b) izgraditi rasklopno postrojenje 400 kV na lokaciji Lički Osik (uz postojeću TS 110/35/10 kV Lički Osik), te
  c) uvesti postojeći DV 400 kV Melina - Obrovac u RP 400 kV Lički Osik
  d) izgraditi jednostavnije 400 kV rasklopno postrojenje u GIS izvedbi na lokaciji TE Lukovo Šugarje.
- S ciljem omogućavanja prijenosa snage i energije iz južnog u sjeverozapadni dio hrvatskog elektroenergetskog sustava, kao i obratno uz istodobno uklapanje TE Lukovo Šugarje u EES Hrvatske potrebna je dogradnja superponirane prijenosne mreže i to:
  e) izgradnja DV 400 kV Lički Osik - Tumbri i DV 400 kV Lički Osik - Konjsko uz priključak prvog bloka TE Lukovo Šugarje
  f) izgradnja i druge trojke DV 2x400 kV Lički Osik - Tumbri/ Prevlaka vezano uz priključak drugog bloka TE Lukovo Šugarje.
- Stručna radna grupa Stručnog savjeta za razvoj i planiranje prijenosne mreže smatra opravdanim da se i 400 kV vod Lički Osik - Konjsko izvede kao dvostruki sukladno ranije proklamiranom načelu da se zbog optimalne izgradnje mreže kao i racionalnog korištenja nacionalnog teritorija vodovi superponirane mreže grade kao dvostruki.
- Stručna radna grupa sugerira da se neovisno o dinamici razvoja projekta TE Lukovo Šugarje nastavi sa studijsko-istražnim radovima glede istraživanja dinamičke stabilnosti EES Hrvatske s ciljem iznalaženja rješenja za povećanje kapaciteta tranzita između južnog i sjeverozapadng dijela EES Hrvatske, problematiku naponskih prilika na južnom 400 kV potezu, istraživanje trasa za navedene nove 400 kV vodove i njihovo uvrštenje u prostorne planove te koncipiranje rasklopnog postrojenja 400 kV Lički Osik.
- S obzirom na prezentiranu procjenu aktivnosti i vremena potrebnog za izgradnju 400 kV vodova na potezu Lukovo Šugarje - Lički Osik (potrebno vrijeme za realizaciju navedenih radova procjenjuje se na 4,5-5 godina) treba o istom izvjestiti upravu Hrvatske elektroprivrede, kako bi se na vrijeme izvele potrebne aktivnosti te da ne bi došlo do kašnjenja u realizaciji TE Lukovo Šugarje zbog nepravodobnog osiguranja priključka TE Lukovo Šugarje na mrežu.

SBK

ODRŽAN OKRUGLI STOL O ENERGIJI

U okviru VI. salona inovacija - INOVA '97. održan je okrugli stol o energiji pod nazivom "Stanje i perspektiva energetike u Hrvatskoj - kako bolje koristiti domaće izvore i invencije". U raspravi su problemi neracionalnog korištenja, velikih gubitaka u procesu pretvorbe, sve veće ovisnosti o uvozu energije, nepovoljna struktura energetske potrošnje te da bi trebalo upotrijebiti vlastitu pamet u većoj mjeri nego dosada. Ali je također istaknuta činjenica da nije uspostavljen cjelokupni sustav hrvatske energetike.

SBK

KONVENCIJA O NUKLEARNOM OTPADU

U Beču je 29. rujna ove godine održana konferencija Međunarodne agencije za atomsku energiju. Tema je bila usvajanje konvencije o sigurnom postupanju s istrošenim nuklearnim gorivom i radioaktivnim otpadom. Naime, nakon izglasavanja Konvencije o nuklearnoj sigurnosti 1994. godine, osnovana je i stručna grupa 1995. godine čiji je zadatak bio pripremanje teksta međunarodne konvencije kojom bi se reguliralo sigurno postupanje s nuklearnim gorivom i radioaktivnim otpadom. Nakon usvajanja prijedloga konačnog teksta početkom ove godine upućen je prijedlog u redovitu proceduru dobivanja suglasnosti u 80 zemalja. Treba reći da je problem osjetljive prirode jer pitanje istrošenog nuklearnog goriva i radioaktivnog otpada zadire direktno u suverenitet svake države. Naime, istrošeno nuklearno gorivo se smatra resursom države koja ga posjeduje i njezino je pravo da raspolaže njime prema vlastitom nahođenju. Ovlašteni predstavnici zemalja su potpisali pristup konvenciji. Nakon toga njihove vlade moraju je usvojiti. Stupanje na snagu konvencije je onda kada pristup potpiše 25 država od kojih 15 moraju biti vlasnici nuklearnih elektrana.

SBK

DODATNI SPORAZUM O PRUŽANJU TEHNIČKE POMOĆI VLADI RH OD STRANE MEĐUNARODNE AGENCIJE ZA ATOMSKU ENERGIJU

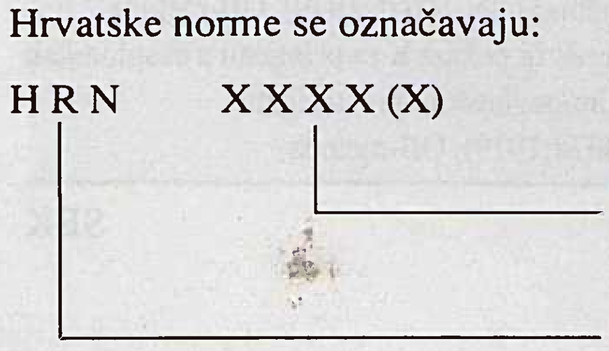
Revidirani dodatni Sporazum o pružanju tehničke pomoći Vladi RH od strane Međunarodne agencije za atomsku energiju objavljen je 11. lipnja ove godine u Narodnim novinama - Međunarodni ugovori broj 9. Ovim sporazumom Vlada se obvezuje da će tehničku pomoć koju primi koristiti samo za miroljubivu primjenu atomske energije, a ne za proizvodnju nuklearnog oružja ili za unapređenje bilo kakvog vojnog cilja.
Isto tako Vlada se obvezuje da će poduzeti u odgovarajućem opsegu sve mjere potrebne za fizičku zaštitu nuklearnih postrojenja, opreme i materijala koji se direktno odnosi na tehničku pomoć pružanu putem ili od Agencije za atomsku energiju. Pravo na opremu i materijale koje Vlada dobije putem ili od Agencije (u svezi s projektom na koji se primjenjuje ovaj Sporazum) pripast će Vladi po primitku notifikacije Agencije da je provedba tehničke pomoći koja se odnosi na projekt dovršena. Potom Vlada preuzima punu i isključivu odgovornost i sve obveze za rukovanje, korištenje, održavanje, uskladištenje i odlaganje takve opreme i materijala. Vlada se obvezuje:

- da će osigurati pravilno rukovanje i odgovarajuće održavanje opreme
- da će oprema biti dostupna za korištenje svakom stručnjaku angažiranom od ili putem Agencije ukoliko bi to bilo potrebno u izvršavanju njegovih profesionalnih dužnosti.
- da će na upotrebu opreme i materijala, u odgovarajućem opsegu, biti primijenjene odredbe obveze miroljubivog korištenja nuklearne energije.

SBK

PRAVILNIK O IZRADI, IZDAVANJU I OBJAVI HRVATSKIH NORMI

Ovim pravilnikom se propisuje postupak izrade, izdavanja i objave hrvatskih normi te utvrđuju pravila za označavanje hrvatskih normi. Hrvatske norme mogu nastati izradom normi ili prihvaćanjem međunarodne ili europske norme ili norme normizacijske ustanove druge države (strane norme).
Prijedlog za izradu i izdavanje norme mogu podnijeti zainteresirane pravne osobe iz gospodarstva, tijela državne uprave, gospodarske i obrtničke komore, zainteresirane ustanove i programski ili tehnički odbori (TO). Zahtjev se podnosi Državnom zavodu za normizaciju (DZNM). Ravnatelj donosi odluku te obavještava predlagača. Ta odluka kao i nacrti normi koje izrađuju TO objavljuju se u Glasilu DZNM. Nakon 30 dana od dana objavljivanja TO temeljem primjedbi iz rasprave priprema tekst norme koju ravnatelj proglašava hrvatskom normom.
Prema ovom pravilniku prihvaćanje strane norme može biti objavljivanjem obavijesti o prihvaćanju strane norme ili objavljivanjem strane norme s hrvatskim ovitkom. TO priprema prijedloge za prihvaćanje strane norme i dalje je ista procedura kao za naše norme.
Hrvatske norme se označavaju:



Dodatne brojčane oznake slijede jedna za drugom počevši od broja 1000 nadalje, ovisno o redoslijedu upisa u popis normi.
Za objavljivanje strane norme s hrvatskim ovitkom ova se pretiskuje te joj se dodaje naslovna stranica, predgovor i potrebni dodaci i objašnjenje za upotrebu na hrvatskom jeziku. Obavijest se također objavljuje u Glasilu DZNM.
Označavanje takve norme je na način da se oznaci za hrvatsku normu HRN dodaje oznaka strane norme. Napr. HRN ISO 6701-1, HRN EN 45001, HRN IEC 50, HRN ETS 300 365 itd.
DZNM izdaje jednom godišnje katalog izdanih i objavljenih normi koji sadrži oznaku i naziv hrvatske norme, mjerodavni TO, broj stranica, ICS oznaku, oznaku jezika, godinu i broj izdavanja itd.

SBK

OSNOVANA HRVATSKA UDRUGA PROIZVOĐAČA OPREME ZA KORIŠTENJE OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE

Početkom listopada u Splitu je osnovana Udruga proizvođača opreme za korištenje obnovljivih izvora energije i energetsku učinkovitost. Cilj osnivanja ove udruge je stvaranje zakonskih preduvjeta kvalitetnog uvoza opreme za punu zaštitu domaće industrije. Udruga namjerava okupiti proizvođače opreme, industrijske laboratorije, izvođače radova i pojedince. Sjedište udruge će biti u Splitu. Kako na području iskorištavanja obnovljivih izvora energije u posljednjih dvadesetak godina nije učinjeno ništa, skup je smatrao da je krajnje vrijeme da se stvori sustav za iskorištavanje sunca, vjetra i mora. Prilika za to su otoci.

SBK

IZMJENA OPĆIH UVJETA ISPORUKE ELEKTRIČNE ENERGIJE

U kolozovu ove godine donesena je i objavljena u Narodnim novinama broj 81/97 izmjena Općih uvjeta isporuke električne energije. Ova izmjena se odnosi na članak 14 Općih uvjeta za isporuku električne enegije objavljenih u Narodnim novinama broj 8 od 21. 2. 1991. godine. Slijedeći tekst:
"Članak 14.
Isporučitelj električne energije dužan je dati energetsku suglasnost ako postoje energetske i tehničke mogućnosti za priključenje novog potrošača ili za povećanje angažirane snage ili ako je predviđeno povećanje potrošnje električne energije, u skladu s planovima razvoja i izgradnje elektroenergetskih objekata.
Ako potrošač zahtijeva da mu se elektroenergetska suglasnost izda prije nego to omogućuju energetske i tehničke mogućnosti, isporučitelj može ugovorom urediti pitanje uvjeta pod kojima daje elektroenergetsku suglasnost, s tim da povećana sredstva potrošača dana radi financiranja izgradnje elektroenergetskih objekata isporučitelja, isporučitelj može uzeti samo u vidu zajma.
U slučaju iz stavka 2. ovog članka, ugovorom se uređuju i uvjeti davanja, odnosno primanja zajma."
Zamjenjuje se novim tekstom kako slijedi:
"Energetske objekte potrebne za priključenje novih potrošača (opremanje građevinskog zemljišta), ili za povećanje zakupljene snage već postojećih potrošača, izgradit će isporučitelj električne energije sredstvima osiguranim putem doprinosa.
Doprinos za opremanje građevinskog zemljišta priključkom na elektroenergetsku mrežu uplaćuje se na temelju ugovora s isporučiteljem električne energije, sukladno Pravilniku o izgradnji elektroenergetskih objekata, putem doprinosa za priključenje potrošača na elektroenergetsku mrežu Hrvatske elektroprivrede.
Pravilnik o izgradnji elektroenergetskih objekata putem doprinosa radi priključenja potrošača na elektroenergetsku mrežu Hrvatske elektroprivrede i Odluku o visini doprinosa donosi Vlada RH na prijedlog ministra gospodarstva."

SBK

NOVE HRVATSKE NORME IZ PODRUČJA PROTUEKSPLOZIJSKE ZAŠTITE

Državni zavod za normizaciju i mjeriteljstvo u broju 5-6/1997.

svog Glasila objavio je pregled prihvaćenih normi iz područja protueksplozijske zaštite - Protueksplozijski zaštićeni uređaji. Norme je pripremio tehnički odbor TO 31 - Protueksplozijski zaštićeni uređaji za potencijalno ugrožene atmosfere, koji je osnovan 1993. godine. Čini ga pedesetak stručnjaka s područja industrije i javnih institucija. Nastavno se daje pregled tih hrvatskih normi, koje su preuzete od IEC i EN:

Oznaka norme	Naziv norme	Napomena
HRN IEC 50 (426): 1997 hr	Međunarodni elektrotehnički rječnik, 426 poglavlje: Elektrotehnički uređaji za eksplozijske atmosfere IEC 50 (426): 1990	
HRN EN 60079-10: 1997 hr	Električni uređaji za eksplozijske atmosfere – 10 dio: Klasifikacija ugroženog prostora IEC 79 - 10: 1995; EN 60079 - 10: 1996	Norma zamjenjuje HRN N.S8. 007: 1991
HRN IEC 79-14:1997 hr	Električni uređaji za eksplozijske atmosfere – 14 dio: Električne instalacije u ugroženom prostoru (osim rudnika) IEC 79 - 14: 1996	Norma zamjenjuje HRN N. S8. 090: 1982
HRN IEC 79-17:1997 hr	Električni uređaji za ugrožene atmosfere - 17 dio: Pregledi i održavanje električnih instalacija u ugroženom prostoru (osim rudnika) IEC 79 - 17: 1976	Podloga za: Zakon o zapaljivim tekućinama i plinovima (NN 108/95)
HRN IEC 79-19:1997 hr	Električni uređaji za ugrožene atmosfere - 19 dio: Popravak i obnavljanje električnih uređaja rabljenih u eksplozivnim atmosferama (osim rudnika ili proizvodnje eksploziva) IEC 79 - 19; 1993	

SBK

NOVE HRVATSKE NORME IZ PODRUČJA STATISTIKE

U Glasilu DZNM broj 7-8/1997. objavljene su norme iz područja statistike - Primjena statističkih metoda tehničkog komiteta TO 69: To su norme kako slijedi:

Oznaka norme	Naziv norme
HRN ISO 3534-1: 1997	Statistika - Rječnik i znakovi - 1 dio: Vjerojatnost i opći statistički nazivi ISO 3534-1: 1993
HRN ISO 3534-2: 1997	Statistika - Rječnik i znakovi - 2 dio: Statističko upravljanje kakvoćom ISO 3534-2: 1993
HRN ISO 2859-1: 1996	Postupci uzorkovanja za pregled prema atributima - 1 dio: Planovi uzorkovanja indeksirani prema prihvatljivoj razini kakvoće (AQL - Acceptable quality level) za pregled partija po partija ISO 2859-1: 1989

SBK

NOVE HRVATSKE NORME IZ PODRUČJA ZAŠTITE OD POŽARA

Također u Glasilu DZNM broj 7-8/1997 su objavljene hrvatske norme iz područja zaštite od požara – Oprema za zaštitu od požara. Hrvatske norme mogu nastati izradom hrvatske norme i prihvaćanjem međunarodne, europske ili inozemne norme u izvornom obliku. Strane norme kao hrvatske norme mogu se prihvatiti objavljanjem obavijesti o prihvaćanju strane orme (OB - metoda) ili objavljivanjem strane norme s hrvatskim ovitkom (HO-metoda). U donjoj tablici je to naznačeno za svaku normu. Isto tako je naznačen i jezik (de -njemački, en - engleski ili hr - hrvatski) na kojem je izvornik napisan.

Oznaka norme	Naziv norme
HEN EN 54-1: 1997 de	Dijelovi sustava za automatsku dojavu požara: 1. dio: Uvod (EN 54-1:1996), OB-metoda
HRN EN 54-5: 1997 de	Dijelovi sustava za automatsku dojavu požara: 5. dio: Temperaturni detektori – točkasti detektori sa statičkim elementom (EN 54-5:1976 + EN 54-5:1976/A1:1988), OB-metoda
HRN EN 54-6:1977 de	Dijelovi sustava za automatsku dojavu požara: 6. dio: Temperaturni detektori – Temperaturni detektori – točkasti detektori bez statičkog elementa (EN 54-61982+EN 54-6/A1:1988), OB-metoda
HRN EN 54-7.1997 de	Dijelovi sustava za automatsku dojavu požara: 7. dio: Točkasti dimni detektori – koji upotrebljavaju rasap svjetlosti, prolaz svijetlosti ili ionizaciju (EN 54-7:1982+EN 54-7/A1:1988), OB-metoda
HRN EN 54-8:1997 de	Dijelovi sustava za automatsku dojavu požara 8. dio: Temperaturni detektori za visoke temperature (EN 54-8:1982+EN 54-8/A1:1988), OB-metoda
HRN EN 54-9:1997 de	Dijelovi sustava za automatsku dojavu požara: 9. dio: Ispitivanje osjetljivosti na vatru (EN 54-9:1982), OB-metoda
HRN DIN 14675:1997 de	Sustav za dojavu požara: Ugradba (DIN 14675:1984+DIN 14675/A2:1987), OB-metoda
HRN DIN 14650-1:1997 de	Ručni detektori požara A i B za primjenu na otvorenom prostoru: Izmjere i zahtjevi (DIN 14650-1:1979), OB-metoda
HRN DIN 14650-2:1997 de	Ručni detektori požara A i B za primjenu na otvorenom prostoru: Smještaj dijelova (DIN 14650-2:1977), OB-metoda
HRN DIN 14650-3.1997 de	Ručni detektori požara A i B za primjenu na otvorenom prostoru: Impulsni diskovi, impulsne opruge i uzemljenje (DIN14650-3:1977), OB-metoda
HRN DIN 14651:1977 de	Ručni detektori D za primjenu u suhim prostorijama (DIN 14651:1979), OB-metoda
HRN DIN 14652:1997 de	Ručni detektori požara E za primjenu na otvorenom prostoru (DIN 14652:1979), OB-metoda
HRN DIN 14653:1997 de	Samostojeći detektor požara za primjenu na otvorenom prostoru (DIN 14653:1962), OB-metoda
HRN DIN 14654:1997 de	Ručni detektor požara za primjenu na otvorenom prostoru (DIN 14654:1979), OB-metoda
HR DIN 14655:1997 de	Ručni detektori požara G za primjenu u suhim prostorijama (DIN 14655:1979), OB-metoda
HRN DIN 14678:1997 de	Ručni detektor požara K za primjenu u eksplozijom ugroženim pogonskim prostorijama (DIN 14678:1979), OB-metoda

SBK

PRIHVAĆENE STRANE NORME IZ PODRUČJA ISPITIVANJA NAFTNIH PROIZVODA

Strane norme iz područja ispitivanja naftnih proizvoda prihvaćaju se kao hrvatske norme objavljvanjem obavijesti o prihvaćanju (OB - metoda). To su slijedeće norme:

Oznaka norme	Naziv norme
HRN EN 237:1997	Tekući naftni proizvodi - Benzin - Određivanje niskog sadržaja olova pomoću atomske apsorpcijske spektrometrije EN 327:1996)
HRN EN ISO 3830:1997	Naftni proizvodi - Određivanje količine olova u motornom benzinu - Metoda jod monoklorida (EN ISO 3830:1995)
HRN EN 238:1997	Tekući naftni proizvodi - Benzin- Određivanje količine benzina pomoću infracrvene spektrometrije (EN 238:1996)
HRN EN 25164:1997	Motorna goriva - Određivanje lupanja - Istraživačka metoda (EN 25164:1993)
HRN EN 25163:1997	Motorna goriva - Određivanje lupanja - Motorna metoda (EN 25163:1993)
HRN EN ISO 7536:1997	Naftni proizvodi - Određivanje oksidacijske stabilnosti benzina - Metoda indukcijskog vremena (En I
HRN EN 24260:1997	Naftni proizvodi i ugljikovodici - Određivanje količine sumpora - metoda izgaranja po Wickboldu (EN 24260:1994)
HRN EN ISO 8754:1997	Naftni proizvodi - Određivanje količine sumpora - Metoda rentgenske fluoroscencije s visokom rezolucijom energije (EN ISO 8754:1995)
HRN DIN 51400-7:1997	Ispitivanje mineralnog ulja i goriva - Određivanje sadržaja sumpora (ukupni sumpor) - Mikrokulometrijsko određivanje - Metoda oksidacije (DIN 51400-7:1978)
HRN DIN 51400-2:1997	Određivanje sadržaja sumpora (ukupni sumpor) - Sagorijevanje po Grote-Krekeleru - Acidometrijska titracija - Gravimetrijsko određivanje (DIN 51400-2:1978)
HRN DIN 51413-3:1997	Ispitivanje tekućeg mineralnog ulja - Ugljikovodici - Analiza plinskom kromatografijom - Aromati (DIN 51413-3:1988)
HRN EN 116:1997	Dizelsko gorivo i loživo ulje ekstralako - Određivanje točke filtrabilnosti (EN 116:1981)
HRN ISO 3016:1997	Naftni proizvodi - Određivanje točke tečenja (ISO 3016:1994)
HRN ISO 3405:1997	Naftni proizvodi - Određivanje značajki destilacije (ISO 3405:1988)
HRN DIN 51527-1:1997	Određivanje polikloriranih bifenila (PCB) (DIN 51527-1:1987)
HRN EN ISO 4259:1997	Naftni proizvodi - Određivanje i primjena podataka o preciznosti u odnosu na metode ispitivanje (EN ISO 4259:1995)

SBK

HRN - POVUČENE NORME

S obzirom da su donesene nove hrvatske norme HRN iz upotrebe je povučen dio normi grane A, B, H, M i N kako je u slijedećoj tablici prikazano:

Oznaka norme	Naziv norme
HRN A.A1.020:1980	Veličine, jedinice i simboli. Opća načela
HEN A.C0.010.1981.	Nazivlje i leksikografija: Izradba i uobličavanje normi s definicijama i nazivima pojmova. (Terminološke norme)
HRN B.H0.510.1965	Maziva od nafte, ugljenog katrana i škriljevca i sintetička maziva. Klasifikacija i nazivi
HRN B.H3.019.1974.	Mineralna ulja. Brodska karterska motorna ulja
HRN B.H3.039:1974	Mineralna ulja. Brodska cilinderska motorna ulja
HRN B. H3.044:1976	Mineralna ulja. Posebno ulje za dvotaktne dizelske motore
HRN B.H3.120:1963	Hidraulično ulje ekstralako (HU-ELL)
HRN B.H3.121:1963	Veoma lako hidrauličko ulje (HU-VL)
HRN B.H3.123:1963	Ekstralako hidrauličko ulje (HU-EL)
HRN B.H3.124:1963	Lako hidrauličko ulje (HU-L)
HRN B.H3.125:1963	Srednje hidrauličko ulje (HU-S)
HRN B.H3.126:1963	Teško hidrauličko ulje (HU-T)
HRN B.H3.127:1963	Veoma teško hidrauličko ulje (HU-VT)
HRN B.H3.128:1963	Posebno teško hidrauličko ulje (HU-PT)
HRN B.H3.129:1974	Mineralna ulja. Motorna ulja tipa A
HRN B.H3.139:1974	Mineralna ulja. Motorna ulja tipa B
HRN B.H3:141:1962	Veoma lako ulje za hlađenje kompresora (KH-VL)
HRN B.H3.142:1962.	Lako ulje za hlađenje kompresora (KH-L)
HRN B.H3.143:1962.	Srednje ulje za hlađenje kompresora (KH-S)
HRN B.H3.144:1962.	Teško ulje za hlađenje kompresora (KH-T)
HRN B.H3.149:1974.	Mineralna ulja. Motorna ulja tipa C
HRN B.H3.151:1962.	Lako kompresorsko ulje (KU-L)
HRN B.H3.154:1962.	Veoma teško kompresorsko ulje (KU-T)
HRN B.H3.155:1962.	Posebno teško kompresorsko ulje (KU-NT)
HRN B.H3.156:1962.	Ekstra teško kompresorsko ulje (KU-ET)
HRN B.H3.169:1974.	Mineralna ulja. Motorna ulja tipa D
HRN B.H3.181:1974.	Mineralna ulja. Motorna ulja za zaštitu i podmazivanje
HRN B.H3.210:1976.	Motorna ulja. Turbinska ulja
HRN B.H3.230:1973.	Ulja za podmazivanje. Cirkulacijska ulja
HRN B.H3.270:1955.	Ulja za podmazivanje s povećanim adhezivnim svojstvima na osnovi naftnih derivata. Veoma lako tekuće mazivo za otvorene zupčanike
HRN B.H3.273:1955.	Ulja za podmazivanje s povećanim adhezivnim svojstvima na osnovi naftnih derivata. Teško polutekuće mazivo za otvorene zupčanike
HRN B.H3.274:1955.	Ulja za podmazivanje s povećanim adhezivnim svojstvima na osnovi naftnih derivata. Veoma lako polutekuće mazivo za otvorene zupčanike
HRN B.H3.302:1973.	Mineralna ulja. Ulja za mehaničke prijenosnike motornih vozila (Tip MP4)
HRN B.H3.303:1973.	Mineralna ulja. Ulja za mehaničke prijenosnike motornih vozila (tip MP)
HRN B.H3.526:1974.	Mineralna ulja. Neemulgirajuća ulja za obradu kovina odvajanjem čestica
HRN B.H3.536:1974.	Emulgirajuće tekućine za obradu kovina odvajanjem čestica - otopive
HRN B.H3.561:1987.	Izolacijska mineralna ulja za transformatore i električne rasklopne aparate. Opći tehnički uvjeti
HRN B.H3.624:1974.	Mineralna maziva. Masti za visoke tlakove
HRN B.H3.634:1974.	Mineralna maziva. Višenamjenske masti
HRN B.H3.644:1965.	Kruta mast za visoke temperature (MVT-4)
HRN B.H3.645:1974.	Mineralna maziva. Masti za kuglične ležajeve
HRN B.H3.648:1965.	Briketna mast za visoke temperature (MVT-B)
HRN B.H3.656:1974.	Mineralna maziva. Masti za ležajeve
HRN B.H3.661:1970.	Masti za podmazivanje. Grafitirana mast
HRN B.H3.666:1976.	Mineralna maziva. Masti s molibdendisulfidom
HRN B.H8.011:1964.	Uzimanje uzoraka nafte i naftnih proizvoda
HRN B.H8.044:1966.	Ispitivanje turbinskih ulja. Određivanje atikorozivnih svojstava turbinskih ulja u vodi
HRN B.H8.235:1962.	Metode ispitivanja naftnih proizvoda. Ispitivanje kompresorskih ulja i ulja za kompresore za hlađenje
HRN B.H8.238:1964.	Proizvodi od nafte. Metode ispitivanja hidrauličkih ulja
HRN B.H8.239:1965.	Metode ispitivanja masti za podmazivanje
HRN B.H8.250:1962.	Metode ispitivanja naftnih proizvoda. Ispitivanje hipoidnih ulja i ulja za visoke tlakove
HRN H.Z2.010:1984.	Antifriz na osnovi etilenskog glikola. Tehnički uvjeti
HRN H.Z2.100:1986.	Kočne tekućine (tekućine za hidraulične prijenosne mehanizme sustava za kočenje motornih vozila). Tehnički uvjeti
HRN H.Z8.050:1984.	Ispitivanje antifriza: Uzimanje uzoraka i priprema vodenih otopina za ispitivanje
HRN M.J2.101:1986.	Oprema za istraživanje i iskorištavanje nafte, plina i slojnih voda. Radne bušaće šipke

Oznaka norme	Naziv norme
HRN M.J2.102:1989.	Oprema za istraživanje i iskorištavanje nafte, plina i slojnih voda. Gornji i donji zasun radne šipke
HRN M.J2.103:1988.	Oprema za istraživanje i iskorištavenje nafte, plina i slojnih voda. Bušaće šipke
HRN M.J2.104:1989.	Oprema za istraživanje i iskorištavanje nafte, plina i slojnih voda. Spojnice za bušaće šipke
HRN M.J2.105:1985.	Oprema za istraživanje i iskorištavanje nafte, plina i slojnih voda. Zaštitne i eksploatacijske cijevi
HRN M.J2.108:198.	Oprema za istraživanje i iskorištavanje nafte, plina i slojnih voda. Bušaće šipke od aluminijskih slitina
HRN M.J2.109:1989.	Oprema za istraživanje i iskorištavanje nafte, plina i slojnih voda. Teške šipke
HRN M.J2.110:1985.	Oprema za istraživanje i iskorištavanje nafte, plina i slojnih voda. Cijevi za isplaku
HRN M.J2.112:1989.	Oprema za istraživanje nafte, plina i slojnih voda. Prijelazne spojnice
HRN M.J2.113:1990.	Oprema za istraživanje i iskorištavanje nafte, plina i slojnih voda. Klasifikacija upotrebljavanih bušaćih šipki
HRN M.J2.116:1989.	Oprema za istraživanje i iskorištavanje nafte, plina i slojnih voda. Klasifikacija dlijeta za bušenje
HRN M.J2.117:1989.	Oprema za istraživanje i iskorištavanje nafte, plina i slojnih voda. Žrvanjska dlijeta i dlijeta reznog tipa
HRN M.J2.118:1989.	Oprema za istraživanje i iskorištavanje nafte, plina i slojnih voda. Dijamantna dlijeta, polikristalna dijamantna dlijeta i dijamentne krune
HRN M.J2.131:1990.	Oprema za istraživanje i iskorištavanje nafte plina i slojnih voda. Okretljivi stol
HRN M.J2.201:1990.	Oprema za istraživanje i iskorištavanje nafte, plina i slojnih voda. Klipne šipke
HRN M.J2.203:1990.	Oprema za istraživanje i iskorištavanje nafte, plina i slojnih voda. Spojnice i prijelazne spojnice za klipne i glatke šipke
HRN N.N0.029:1974.	Pouzdanost elektronskih sastavnih dijelova i uređaja.
	Planovi i postupci uzimanja uzoraka za nadzor prema atributima
HRN N.S8.007:1991.	Protueksplozijska zaštita - Zone opasnosti prostora ugroženih eksplozivnim smjesama plinova i para
HRN N.S8.090:1982.	Protueksplozijska zaštita - Zahtjevi za električne instalacije i uređaje u prostorima ugroženim od eksplozivne atmosfere (osim radnika)

SBK

TEHNIČKI ENERGETSKI SUSTAVI

Za obavljanje potrebnih aktivnosti na definiranju, analiziranju i uspoređivanju tehničkih energetskih sustava osnovan je tehnički odbor ISO TC 203. Objavljen je nacrt prve norme ISO/DIS 13600 Technical energy system - Basic concepts. Ova norma daje pregled temeljnih pojmova, struktura i metoda za upotrebu u energetskim studijama. To će omogućiti lakšu usporedbu različitih energetskih studija. Isto tako će omogućiti da se rezultati jedne studije koriste kao podloge za druge studije. Tu je dano niz definicija, pa je tako pojam "energija" (energy), definiran kao fizikalna veličina koja se pokorava zakonima termodinamike". Energija je apstraktna veličina i ne može izravno biti uočena ili mjerena. Drugi pojam je "energetski nositelj" (energy carrier) definiran kao "tvar ili pojava koja može biti upotrebljena za stvaranje mehaničkog rada i topline ili za djelovanje u kemijskim i fizikalnim procesima". "Energetska roba" (energyware) je definirana kao "roba podložna trgovini i upotrebljena uglavnom za mehanički rad ili toplinu ili djelovanje u kemijskim i fizikalnim procesima". Za razliku od energije energetska roba može biti i proizvedena i potrošena. Uzimajući u obzir i prirodni okoliš uvodi se pojam "tehnosredine" kao "sve tehničke energetske sustave i od njih stvorene produkte u iznosu koji ne može biti zanemaren kao otpuštanje (emisija)".

SBK

IZ STRANE STRUČNE LITERATURE

DALJNJE POVEĆANJE POREZA NA ENERGIJU NEPODNOŠLJIVO

U Njemačkoj godišnje porezno opterećenje na energiju danas iznosi oko 66 milijardi DEM, što je za industriju i građane jedva podnošljivo. Proizvodnja time toliko poskupljuje da predstavlja opasnost za konkurenciju na svjetskom tržištu. Njemačka je industrija već u velikoj mjeri dala svoj doprinos racionalnom korištenju električne energije, što će činiti i ubuduće. Njezin udio u potrošnji električne energije pedesetih godina, u starom dijelu Njemačke, iznosio je oko 50%, a danas se smanjio na 27%. Potrošnja po jedinici proizvoda pala je u posljednjih 25 godina za 45%. Industrija se dobrovoljno obvezala da će do godine 2005, sniziti emisiju ugljičnog dioksida za 20%. Dodatna porezna opterećenja ne bi mnogo djelovala na sniženje CO_2, ali bi mogla imati vrlo nepovoljan utjecaj na proizvodnju i zaposlenost.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 10

Mrk

MODERNIZACIJA TERMOELEKTRANA U RUSIJI

Poznati svjetski proizvođač hidrostrojeva tvrtka Sulzer sklopila je s ruskim poduzećem Mosenergo ugovor vrijedan 12 milijuna DEM za modernizaciju napojnih crpki za kotlove termoelektrana. Poduzeće Mosenergo iz Moskve sudjeluje s 13% u ukupnoj energetskoj proizvodnji Rusije. Opskrbljuje grad Moskvu i okolicu električnom i toplinskom energijom.
Ovim će se ugovorom modernizirati crpke u 22 elektrane, što će mnogo doprinijeti sigurnoj i pouzdanoj opskrbi električnom energijom. Radove treba završiti 1998. godine. Zaključenju ugovora sigurno je mnogo pridonijela uspješna modernizacija napojnih crpki ruske proizvodnje u istočnom dijelu Njemačke. Posao je izveden u rekordnom vremenu od pola godine u termoelektranama na smeđi ugljen. Primjenom nove tehnologije podignuta je korisnost crpki za 7%. To je donijelo elektroprivrednom poduzeću Veag u Berlinu godišnju uštedu od 5,5 milijuna DEM.

ELektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 10

Mrk

CIJENA ELEKTRIČNE ENERGIJE U AUSTRIJI

Cijena električne energije u Austriji rasla je znatno sporije u usporedbi s porastom plaća. Prema podacima Saveza austrijskih elektrana (VEÖ), austrijski je radnik 1966. godine morao za 100 kWh raditi 4 sata i 23 minute, a u godini 1966., dakle 30 godina kasnije, samo 1 sat i 44 minute. Cijena 1 kWh za kućanstvo povećala se u razdoblju od 1966.-1996. za nešto više od tri puta, dok je u isto vrijeme prosječna plaća povećana 6,5 puta. Mora se naglasiti, da je porast cijene električne energije manji od inflacije. Relativno pojeftinjenje struje u Austriji mora se izraziti i tako da se uzme da je radnik radeći jedan sat 1966. godine zaradio 23 kWh, a 1996. godine 58 kWh.
U posljednjih 30 godina poskupljenje električne energije bilo je neznatno dok je znatno porastao životni standard.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 11

Mrk

ZAJAM SLOVAČKOJ ELEKTROPRIVREDI

Slovačka je elektroprivreda (Slovenske elektrane – SE) dobila zajam od Europske investicijske banke (EIB) u visini od 70 milijuna ECU, uz jamčevinu 11 značajnih svjetskih banaka.
Zajam je namijenjen saniranju elektrane Vojany u istočnoj Slovačkoj. Investicije obuhvaćaju nove parne uređaje, parne turbine i transformatore kao i rashladni sustav. Osim toga nabavit će se potrebni instrumentarij za nadzor stanja okoliša.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 12

Mrk

INTELIGENTNO BROJILO ELEKTRIČNE ENERGIJE

Električno brojilo tvrtke ABB, nazvano alfa-brojilo (alpha-Zäler) s ugrađenim tarifnim modulom daje široke mogućnosti primjene najrazličitijih tarifnih sustava. Modul bilježi i pohranjuje mjerene vrijednosti uzimajući u obzir tarifne promjene i vrlo zamršenu tarifnu strukturu. Pri tome vodi računa o vremenu, nadnevku, radnim danima i blagdanima, naponskim ispadima i slično. Dobavljač električne energije može stanje brojila direktno očitati putem telefona ili niskonaponske mreže. Informacije se mogu prenositi u oba smjera: dobavljač – potrošač.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 12

Mrk

BILANCA PROGRAMA ZA POTPOMAGANJE RAZVOJA ISKORIŠTENJA OBNOVLJIVE ENERGIJE

Njemačko savezno ministarstvo za gospodarstvo osnovalo je 1995. program za pomoć projektima za iskorištenje obnovljive energije. Za tu je svrhu predviđena svota od ukupno 100 milijuna DEM. Trajanje programa predviđeno je u vremenskom rasponu od 1995. - 1998. godine. Pokazalo se da je dosadašnji tijek programa uspješan. Ukupno je do sada prihvaćeno 12 362 ponude u iznosu od 58 milijuna DEM, što ukupno predstavlja investicijski volumen od 300 milijuna DEM. Program obuhvaća uređaje solarnih kolektora, toplinske crpke, vjetroelektrane, uređaje za iskorištenje biomase i slično. Na temelju dosadašnjih iskustava i primljenih ponuda ne izgleda više razumno primati ponude za potporu vjetroelektrana, uređaja za iskorištenje biomase i fotovoltaike.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 11

Mrk

IZBJEGNUTA EMISIJA CO_2 U NJEMAČKOJ

Njemački proizvođači električne energije izbjegli su emisiju ugljičnog dioksida za 186 milijuna tona, što je za 5% više nego 1995. godine. To je postignuto proizvodnjom električne energije u nuklearnim i hidroelektranama i iskorištenjem izvora obnovljive energije. Povećana proizvodnja u nuklearkama doprinijela je da je izbjegnuta emisija za ukupno 162 milijuna tona. Proizvodnjom u ostalim elektranama, računajući ovdje i hidroelektrane, smanjile su emisiju za 24 milijuna tona. Kao što se vidi, glavno smanjenje emisije ugljičnog dioksida otpada na proizvodnju električne energije u nuklearnim elektranama, a smanjenje je vrlo malo radom solarnih elektrana i vjetroelektrana. Da npr. vjetroelektrane proizvedu jednaku količinu energije kao jedna velika nuklearka, trebalo bi izgraditi instaliranu snagu od 4500 MW, a snaga sviju eolskih rotora u Njemačkoj iznosi danas 1140 MW.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 13

Mrk

PREMALI UDIO OBNOVLJIVE ENERGIJE U PROIZVODNJI ELEKTRIČNE ENERGIJE

Njemačka je Savezna vlada konstatirala da je udio obnovljive energije u ukupnoj primarnoj energiji vrlo mali, iako su vjetroelektrane povećale proizvodnju električne energije od 358 u 1992. godini na 2619 GWh u 1995., a solarne elektrane od 1,5 GWh na 5 GWh. Porast proizvodnje u hidroelektranama je 5%, no hidropotencijal Njemačke vrlo je mali u usporedbi s ostalim zemljama EU. Savezna vlada podupire EU da poveća upotrebu obnovljive energije. Postoje razmišljanja o obveznom davanju prednosti korištenju pojedinih nosioca obnovljive energije. Ipak, znatno smanjenje emisije štetnih plinova moguće je samo većim udjelom rada nuklearnih elektrana.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 13

Mrk

SVE RACIONALNIJE KORIŠTENJE ENERGIJE

Korištenje energije u 15 zemalja EU, u vremenskom rasponu od 1973. godine do 1994. postalo je 21% učinkovitije. Dok je 1973. godine, na početku naftne krize, u prosjeku za privređivanje 1000 US dolara realnog bruto proizvoda trebalo utrošiti 396 kg SKE (ekvivalentni ugljen od 7000 kgcal ili 29 308 kJ), u godini 1992. ta je količina pala na 312 kg SKE. To je objavio Savez njemačkih elektrana VDEW u svom izvješću.
U navedenom vremenskom razdoblju energetska se učinkovitost naročito povećala u 3 zemlje EU. U Španjolskoj za 14%, u Grčkoj za 24%, a u Portugalu čak za 46%.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 13

Mrk

TVRTKA OSRAM GRADI U KINI

Tvrtka Osram izgradila je na jugu Kine u Foslanu veliku modernu tvornicu različitih vrsta žarulja. Proizvodni i poslovni prostor obuhvaća površinu od 30 000 m^2, gdje je uposleno oko 1750 djelatnika. Investicije su iznosile 30 milijuna DEM. Vlasništvo tvrtke Osram u novoj je tvrtki 85%.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 17

Mrk

OBNOVLJIVA ENERGIJA U AUSTRIJI

U svezi s najnovijim nastojanjima u Austriji da se podigne cijena električne energije zbog ulaganja u uređaje za iskorištenje obnovljive energije (vidjeti Energija, god. 46(1997), br. 5) austrijska je elektroprivreda (VEÖ) zaključila slijedeće:

1. Austrija je već danas među zemljama EU u korištenju obnovljive energije sa 70% u ukupnoj proizvodnji električne energije. Zbog toga nije primjereno povećati subvencioniranje uređaja za korištenje obnovljive energije.
2. Dodatno povećanje dosadašnje tarife znatno bi opteretilo privredu i domaćinstva. Austrijske tarifne strukture moraju svoje pretjerane želje platiti iz vlastitog džepa.
3. U sadašnjim je prilikama jedina alternativa povećanje učinkovitosti i stupnja tehnike u proizvodnji električne energije. Oko 80% investicija ulagat će se u postrojenja za iskorištenje obnovljive energije koja mogu biti ekonomski opravdana.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 12

Mrk

SLOBODNO TRŽIŠTE ELEKTRIČNE ENERGIJE

U mnogim elektroprivredama svijeta u tijeku je prestrukturiranje i prilagodba natjecanju u slobodnoj trgovini električnom energijom. Tom se prilikom javlja vrlo važan problem slobodnom pristupu prijenosa i razdiobe. Budući da je električna mreža nervni sustav elektrogospodarstva, upravo obračun korištenja tog sustava predmet je diskusija u zemljama koje se pripremaju na slobodnu trgovinu elekričnom energijom.

U obzir dolaze u prvome redu dvije vrste tarifa za korištenje električne mreže. Zakup za korištenje čitave mreže na temelju je odnosa godišnjih troškova mreže i godišnje vršne snage. Ovakav se princip može primijeniti i na kraće vremensko razdoblje, npr. na mjesec dana. Obračun je prikladan naročito za razdjelne mreže. Za dulje prijenose prikladna je tarifa ovisna o snazi i daljini prijenosa. Oba spomenuta tarifna sustava već su u višegodišnjoj upotrebi u SAD, Engleskoj i Velsu. U Njemačkoj, na primjer, o tome se na veliko raspravlja, a namjera je da se realiziraju i prvi pilot – programi.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 17

Mrk

KORIŠTENJE SMEĐEG UGLJENA U ELEKTRANAMA NJEMAČKE

Još pet godina nakon ujedinjenja (1995.), glavni energent u proizvodnji električne energije u istočnom dijelu Njemačke ostao je smeđi ugljen. Dok je godine 1991. udio proizvedene električne energije u termoelektranama iznosio 95%, u 1995. pao je na 85%. U zapadnom dijelu Njemačke taj je postotak oko 20%, nepromijenjen u razdoblju od 1991. godine do 1995.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 16

Mrk

HIDROENERGIJA U EU

U 15 zemalja EU u 1995. godini oko 14% proizvedene električne energije dolazi iz hidroelektrana (304 TWh). Najveći udjel proizvodnje u hidroelektranama ima Austrija, od 70%.
Udjeli iznad prosjeka su u Luxemburgu (67%), Švedskoj (47%), Portugalu (28%), Finskoj (20%), Italiji (18%), Francuskoj (16%) i Španjolskoj (16%). U Njemačkoj je taj udio 5%, a u Danskoj i Nizozemskoj samo 0,1%.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 16

Mrk

NJEMAČKA DOMAĆINSTVA TROŠE SVE RACIONALNIJE ELEKTRIČNU ENERGIJU

Prema podacima Saveza njemačkih elektrana (VDEW) njemačka domaćinstva troše električnu energiju sve racionalnije, kupujući štedne električne aparate. Na temelju toga se procjenjuje da će potrošnja ove grupe potrošača lagano padati od 2000. godine, premda će se njihov broj povećati.

U zapadnom dijelu Njemačke bio je godišnji porast potroška električne energije u domaćinstvu, u godišnjem razdoblju od 1976. - 1986. 3,1%, a od 1986. do 1996. samo 1,6%.

Njemačko tročlano domaćinstvo trošilo je 1986. godišnje 3877 kWh, a 1996. godine 3963 kWh.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 18

Mrk

IZVAN SVAKE JE REALNOSTI ODRICANJE OD NUKLEARNIH ELEKTRANA

Na skupu kojeg je u svibnju 1997. organiziralo Nuklearno tehničko društvo (Kerntechnische Gesellschaft e. V.) i Njemački atomski forum (Deutsche Atomforume e.V.) u Aachenu, sakupilo se oko 1000 stručnjaka iz 15 zemalja i pretreslo važna pitanja iz nuklearne energetike.
Opći je zaključak tog skupa da usprkos mnogih protesta i protivljenja širom svijeta nije moguće odustajanje od nuklearnih elektrana.
Konstatirano je da danas u 29 zemalja svijeta ima u pogonu 443 nuklearne elektrane koje svojom proizvodnjom pokrivaju 17% svjetske potrošnje električne energije. Nuklearke se i nadalje grade pa ih je samo u jugoistočnoj Aziji 18 u gradnji. Ukoliko bi se električna energija proizvedena u nuklearnim elektranama morala proizvesti korištenjem fosilnih goriva u klasičnim termoelektranama, atmosfera Zemlje bila bi opterećena golemim količinama štetnih plinova izgaranja. Na primjer, samo u Njemačkoj od početka rada nuklearki proizvedeno je 2400 TWh električne energije, čime je izbjegnuto da ode u atmosferu 2 milijarde tona ugljičnog dioksida. Činjenica je međutim, da neke zemlje mogu odustati od nuklearne energije, kao na primjer Nizozemska, koja ima na raspolaganju znatne količine zemnog plina.
Na plenarnim sastancima u 11 tehničkih sekcija prodiskutirani su tehnički aspekti nuklearnih elektrana, prvenstveno pitanje njihove sigurnosti.
Pokrenuto je također pitanje uloge nuklearne energetike u okolnostima slobodnog tržišta i suradnje zemalja koje posjeduju nuklearke. Izražena je zabrinutost da mlade generacije tehničara slabo zanima nuklearna tehnika, pa bi se uskoro moglo pojaviti pomanjkanje stručnjaka na tom području.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 16

Mrk

BLOK TOPLANA S GORIVIM ĆELIJAMA

U jesen 1997., u stambenoj četvrti Nürberga stavljena je u pogon prva u Bavarskoj blok-toplana s gorivim ćelijama. U kombinaciji s toplinskom crpkom jedinstvena je u Europi. Inicijator ovog modernog uređaja, bez emisije štetnih plinova i buke, bilo je 1991. godine Studijsko društvo za gorive ćelije (Studiengesellschaft Brennstoffzellen e.V. Nürberg). Ono ima u planu ovakvu inovativnu tehniku staviti na europsko tržište.
Budući da kao gorivo u gorivim ćelijama služi vodik, rezultat izgaranja je neškodljiva voda. U ovom postrojenju vodik se dobiva iz zemnog plina, a kisik iz zraka. Toplina iz gorivih ćelija koristi se za grijanje prostorija i pripremu tople vode.
Električna snaga postrojenja iznosi 200 kW, a toplinska 215 kW. Ukupne se investicije kreću blizu 2 milijarde DEM.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 18

Mrk

NAJVEĆI INDUSTRIJSKI POTROŠAČI U NJEMAČKOJ

Prema podacima Saveza njemačkih elektrana (VDEW) najveći industrijski potrošač električne energije bila je kemijska industrija. Ona je godine 1996. potrošila oko 57 TWh, što je dobra četvrtina ukupno potrošene električne energije u industriji Njemačke. Ukupna industrijska potrošnja bila je 222 TWh, a četiri najveće industrijske potrošačke grupe bilie su:

Kemijska industrija	57 TWh
Metalna industrija	44 TWh
Željezare	26 TWh
Drvna i papirna industrija	23 TWh

Prema istom izvoru podataka ukupna industrijska potrošnja električne energije u Njemačkoj pala je 1996. godine za 1,9% prema prethodnoj godini, kada je iznosila 226 TWh. Razlog je tome u padu industrijske proizvodnje za 1,1%. Industrija troši oko polovicu proizvedene električne energije u Njemačkoj. Ona se djelomično opskrbljuje iz vlastitih izvora, a kupnjom od elektroprivrede namiruje 88% svojih potreba.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 18

Mrk

PERSPEKTIVE U GRADNJI TERMOELEKTRANA

Dok u zemljama EU i Sjevernoj Americi već postoji moderna infrastruktura elektrana, u Aziji, Africi, Južnoj Americi i zemljama istočne Europe u tom su pogledu još u deficitu.
Ako se govori o današnjem stanju i budućnosti gradnje novih termoelektrana upravo navedena su područja potencijalna tržišta, posebno Azija. U godini 1995. ukupno je u svijetu ugovoreno okruglo 88 GW instalirane snage novih termoelektrana. Od toga na Kinu otpada 21%, ostalu Aziju i Oceaniju 33,8%, Europu i SAD 22%, a ostalo na Južnu Ameriku i Afriku. Od tog se broja 4 od 10 elektrana baziraju na izgaranju ugljena. Budući da u svijetu raste potreba za primarnom energijom, a ugljen je najrasprostiraniji energent, stručnjaci smatraju da će se u termoelektranama na ugljen proizvoditi 60% potrebne električne energije. U mnogim zemljama državna elektroprivredna poduzeća nisu u mogućnosti da dovoljno brzo izgrade potrebne elektroenergetske izvore, pa se sve više javljaju privatni investitori (IPP – Independent Power Producer) elektroprivrednih objekata. Njihov je broj u području termoelektrana iznosio 1994. godine 15%, a procjenjuje se da će do kraja stoljeća narasti na dvostruki iznos.
Najnovija tehnička rješenja, troškovi proizvodnje i raspoloživost glavne su značajke koje traži tržište. Ipak u različitim zemljama prioritetne značajke koje traži naručitelj nisu jednakog ranga. Dok se danas u Europi i SAD prvenstveno traži zaštita okoliša i visoka raspoloživost, u zemljama Azije prioritet ima cijena. Investitori traže da što prije vrate uloženi novac, pa stoga mora graditelj elektrana što više skratiti vrijeme od sklapanja ugovora do stavljanja u pogon. Danas je već uobičajeno da gradnja termoelektrana, po principu "ključ u ruke" bude završena i pogonski spremna unutar tri godine.
Organizacija koja ugovori gradnju može uz elektranu preuzeti i druge uređaje vezane uz proizvodnju energije. No, u takve opsežne poslove mogu se upustiti samo velike tvrtke. One kao generalni poduzetnici najčešće surađuju s domaćom industrijom prema njezinim mogućnostima.
Kao primjer velikog i opsežnog posla i međunarodne suradnje služi izvedba čitavog kompleksa termoelektrane u Abu Dhabiu na Arabijskom poluotoku, gdje je generalni poduzetnik, po ugovoru vrijednom 2,7 milijardi DEM, bila poznata tvrtka ABB.
Uz termoelektranu od 730 MW izgrađen je najveći uređaj za odsoljavanje morske vode. Dnevno se parom može proizvesti 950 000 m^3 pitke vode. Gradilište je obuhvaćalo 2 km^2 površine, a u svrhu gradnje uposleno je 9500 ljudi, pripadnika 56 narodnosti i 30 različitih vjera.
Treba još naglasiti da prilikom sklapanja velikih poslova treba uspostaviti usku suradnju naručitelja i poduzetnika. Pomnom analizom raspoloživosti i učinkovitosti, troškova goriva i održavanja mogu se naći rješenja kojima se znatno snizuju troškovi. Danas se već kod termoelektrana na kameni ugljen postižu korisnosti od 44% do 47%, a na smeđi ugljen do 43%. S obzirom na nove materijale smatra se da će se uskoro moći postići učinkovitost i od 50%.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96(1997), br. 18

Mrk

SIEMENS GRADI TERMOELEKTRANU NA TAJVANU

Njemačka tvrtka Siemens i privatna elektroprivredna tvrtka Hu-

atung Power Company Ltd. iz Taipeia žele na Tajvanu i ostaloj regiji zajednički graditi termoelektrane. Kao prvi zajednički projekt izgradila bi se na istočnoj obali Tajvana termoelektrana na ugljen sa dva agregata snage po 500 MW. Ukupne su investicije procijenjene na 2 milijarde DEM. Siemens će početi gradnju početkom 1998. godine, a imat će udjela i u pogonu. Za sada se razmatra izvedivost termoelektrana na još dvije lokacije.

Elektrizitátswirtschaft, god. 96(1997), br. 19

Mrk

DEMONSTRACIONA KOMBI ELEKTRANA U BRITANIJI

Tvrtka Siemens i britansko elektroprivredno poduzeće Power Gen izgradit će u Britaniji (Nottinghamshire) demonstraciono postrojenje. To će biti kombinirana elektrana s plinskim i parnim turbinama, a ugradit će se najmodernija Siemensova turbinska tehnika, koja će se testirati u normalnom pogonu i prikazivati potencijalnim naručiteljima. Uređaj će biti izgrađen na terenu britanskog poduzeća i zvat će se "Cottam Development Centre". Investicije od 150 milijuna funti uložit će po pola navedene dvije tvrtke. Početak rada elektrane predviđa se početkom 1999. godine.

Elektrizitätswirtschaft, god. 96 (1997), br. 18

Mrk

BLIŽE ZATVARANJU MREŽE EUROPSKOG TRANSVERZALNOG PLINOVODA

Na jugoistoku Francuske, između La Crau (okolica Marseille-a) i Tulouse-a, pušten je u pogon 375 km dugačak plinovod "Artere du Midi". Plinovod je izgrađen od čeličnih cijevi duljine 13 m i promjera 800 mm. Debljina stijenke je od 9 do 17 mm, ovisno od okolnog terena. Prije polaganja u zemlju cijevi su izolirane polietilenom (isotub). Radni tlak u cijevima je 80 bara, a ispitni je bio 107 bara.
U tijeku izgradnje graditelji su morali riješiti niz poteškoća kao što su:

- prolaz područjem punim arheoloških nalaza
- prolaz ispod rijeka, posebno ispod rijeke Rhône
- prolaz ispod pruga i cesta te veliki broj vrlo oštrih zavoja gdje je cjevovod morao biti izveden sa najmanjim mogućim radijusom.

Međutim, uspješno su riješeni svi problemi i cjevovod je u pogonu od srpnja ove godine. Izgradnjom ove dionice polako se zatvara mreža Europskog transverzalnog plinovoda. Izradnjom priključka od Toulouse-a do Španjolske uspostavit će se cjelina te transverzale.

Lines & Pipes, June 97, 16-17

SBK

KORIŠTENJE ENERGIJE VJETRA U ŠPANJOLSKOJ

Prema izvješću instituta za očuvanje energije (IDAE) Španjolska će imati 654 MW energije iz vjetra krajem 1998. prema 211 MW krajem 1996. godine. Španjolski vjetropotencijal računa sa snagom od 2800 MW. Smatra se da će do 2010. godine ona postati vodeća zemlja u svijetu u korištenju ove energije.
IDAE temelji ove pretpostavke na projektima koji su već ugovoreni sa većinom od autonomnih regija. Jedan od najambicioznijih je sjeverni dio pokrajine Navarre sa glavnim gradom Pamplona, gdje je regionalna vlada osnovala društvo EHN za upravljanje vjetrofarmama.
EHN planira izgraditi 3 vjetroparka oko 30 km jugoistočno od Pamplone na planinama Guerinda. U početku će park biti opremeljen sa 115 vjetroturbina instalirane snage 69 MW. U međuvremenu planira se proširenje parka do 159 turbina i 95 MW snage. Kad bude završen projekt Guerinda bit će to najveći vjetropark u svijetu. Park će biti izgrađen sredstvima European Investment Bank koja će odobriti 47,7 milijuna američkih dolara za tu investiciju.
Ostvarenjem dijela projekta o korištenju obnovljive energije cijela regija će dobiti dovoljnu količinu energije. Program predviđa izgradnju vjetroparka ukupne instalirane snage 567 MW, od koje na Navarre otpada 45%. Predsjednik EHN još je ambiciozniji. On želi da se u cjelosti do 2010. godine potrebe Navarre pokriju obnovljivom energijom.
U ovom trenutku najviše se vjetroenergije proizvodi u Andalucia-i (71,6 MW). IDAE smatra da će krajem 1998. godine Navarra voditi sa 147,8 MW, dok će Andalucia imati 127 MW, a Kanarski otoci 107 MW. Iza njih su regije Aragon (82 MW) i Galicia (73 MW).

Power in Europe, 20 June 1997, 251/21

SBK

PORAST POTROŠNJE PRIRODNOG PLINA U EUROPSKOJ UNIJI

Potrošnja prirodnog plina u Europskoj uniji (EU) prošle godine značajno je povećana u usporedbi do 1995. godine zbog konvencionalnih termoelektrana koje su imale veliki udio u potrošnji. Objavljeni privremeni podaci EU pokazuju porast potrošnje prirodnog plina od 10,8%, što odgovara ekvivalentu 335 milijuna tona nafte u prošloj godini u odnosu na prirodni plin u termoelektranama. Prema EUROSTAT-u Švedska, Danska, Velika Britanija i Njemačka uspješno su povećale udjel u potrošnji plina.

Power in Europe, 20 June 1997, 251/11

SBK

PRVA BELGIJSKA ELEKTRANA NA BIOPLIN

Prva belgijska elektrana na bioplin je u punom pogonu i mogla bi biti prva u nizu sličnih postrojenja širom zemlje smatra belgijska vlada. Tako se Belgija pridružuje Njemačkoj, Švedskoj i Nizozemskoj u eksploataciji ovog izvora energije.
Novo postrojenje je smješteno u Mont-Saint-Guibert-u. Službeno je otvoreno u svibnju, dok je početak pokusnog rada bio u ožujku pa je pokusno puštena u normalni pogon. Sa cijenom od 200 milijuna belgijskih franaka (oko 6 milijuna američkih dolara) u postrojenju se spaljuje plin metan dobiven iz biološki razgradljivog smeća.
Proces zahtijeva da nekoliko godina prije početka eksploatacije sadržaj metana u plinu sa smetlišta bude najmanje 50%. Kasnije ga se cjevovodom vodi do 6 mini stanica od kojih je svaka opremljena plinskom turbinom. Ovih 6 jedinica zajedno daju više energije nego 4 MW instalirane snage, a koja se distribuira na oko 10 000 kućanstava.
Minister za okoliš regije Walloon smatra da će ovaj projekt biti model kojeg će slijediti i ostatak Walloonia-e.

Power in Europe, 20 June 1997, 251/10

SBK

IZGRADNJA NAJVEĆE NA SVIJETU FOTOVOLTAIČKE ELEKTRANE NA OTOKU KRETA

Atena je objavila planove o gradnji najveće na svijetu fotovoltaičke (PV) (fotonaponske) elektrane na otoku Kreti. Elektrana će biti izgrađena do 2003. godine, instaliranog kapaciteta 50 MW, dovoljna da pokrije potrebe oko 100000 stanovnika. Dosada je

najveća PV elektrana ona u Italiji sa 3,3 MW.
Ovaj plan će realizirati kompanija IWECO Solar koja je u vlasništvu američke kompanije ENRON Solar. IWECO namjerava postaviti jedinicu od 5 MW u početku, a zatim će slijediti jedinice po 9 MW svake godine do 2003. Cijena početne jedinice od 5 MW procijenjena je 17,75 milijuna američkih dolara. Oko 55% financijskih sredstava osigurat će EU i grčka vlada, a preostali dio ENRON. Energija iz elektrane će biti prodavana državnoj distribucijskoj kompaniji (PPC) po cijeni od 23 drahme po kWh što je utvrđeno grčkim propisima o obnovljivim energijama i manja je od postojeće cijene PPC-a za potrošače na Kreti.
Kreta je loše opskrbljena energijom. Potrebe otoka rastu oko 7% godišnje, dvostruko više nego na kopnu, što PPC-u stvara velike probleme, toliko urgentne da dozvoli mjerenje i određivanje krivulje potrošnje. Na Kreti ima ukupno 478 MW instaliranih kapaciteta, 175 MW je instalirano u zadnje 3 godine u elektrani Chania koja je jedan od dva glavna proizvođača energije na otoku.
Power in Europe, 20 June 1997, 251/15

SBK

POREZ NA EMISIJU ILI PROPISANA KVOTA UGLJIKA

Nitko još nije uspio uvjeriti industrijske zemlje da trebaju agresivnije smanjiti emisiju plinova staklenika kao što je ugljični dioksid. No, ako se želi globalno zagrijavanje stvarno zaustaviti onda bi uspostavljanje poreza na emisiju ugljičnog dioksida bio bolji izbor nego određivanje kvota za tu emisiju. Tako tvrdi Ian W. H. Perry, ekonomist u "Izvorima za budućnost" iz Washington-a.
Parry dokazuje kako bi milijarde prihoda u budžetu od poreza na ugljični dioksid mogle omogućiti vladama smanjenje drugih poreza na rad i kapital.
Na primjer, porez na emisiju ugljičnog dioksida mogao bi pomoći državnim fondovima da smanje porez za socijalno osiguranje.

Business Week, 23 June 1997, 15

SBK

NJEMAČKI RADNIK - ŽRTVA

Sve dok poslovi bježe iz zemlje njemački sindikati su prihvatili manje plaće uz povećanu produktivnost. Danas Njemačka bilježi rekorde u nezaposlenosti. Više od 4,3 milijuna nezaposlenog radno sposobnog stanovništva dovelo je njihove sindikate u poziciju da traže povećanje radnog vremena, sa današnjih 35 sati na prethodnu satnicu od 40 sati tjedno, uz istu nadnicu. Kako to izgleda u najvećim kompanijama, odnosno gdje je prekinut standardni način rada:

- Bayer: Sindikat kemijskih radnika prihvatio je smanjenje povlastica, učešće zaposlenih u programu dionica te uvođenje fleksibilnog radnog vremena kroz 3 godine.
- Volkswagen: Sindikat IG Metal prihvatio je dvostruki sustav plaća. Povremeni radnici imat će 10% manju plaću od stalno zaposlenih.
- Continental: Radnici u tvornici u Hanover-u povećat će svoju tjednu satnicu za 75 minuta i učiniti druge ustupke vrijedne oko 20 milijuna američkih dolara.
- Daimler-Benz: Oko 1050 radnika imat će skok tjedne satnice na 40 sati. Povremeni radnici moći će u početku biti unajmljeni.
- Deutz: Radnici i konstruktori strojeva prihvatili su i drugu godinu umanjene plaće od 25 do 10% u 1998. godini. Za uzvrat radnici će primiti više od 11 milijuna američkih dolara u proizvodima Deutz-a.

Business Week, 28 July 1997, 23

SBK

PRIVATIZACIJA ELEKTRODISTRIBUCIJE U NOVOM JUŽNOM WELSU U AUSTRALIJI

Vlada Novog Južnog Wels-a je podržala podjelu kompanije Energy Australia, najvećeg od 6 distributera, na dvije odvojene jedinice prije njihove privatizacije. Sa 1,33 milijuna potrošača u Sydney-u i Newcastle-u te okolnim područjima najveći je australijski elektrodistributer. Očekuje se kako će pretvaranje Energy Australia u dvije kompanije biti dio priprema za prodaju električne industrije u Novom Južnom Wels-u. Međutim, neki promatrači smatraju da će ih biti teško prodati (vrijednost je između 3 i 6 milijardi australskih dolara). Tu su i pravni problemi sadašnjih vlasnika distribucije Victoria-e.
U Energy Australia razmatrane su perspektivne javne ponude, dok je vlada signalizirala njezinu spremnost da razmatraju prodaju elektrodistribucijskih kompanija na tržištu malim grupama investitora. Međutim, drugi veliki elektrodistributer, Integral Energy ramatran je ranije za prodaju u sličnim okolnostima.

Power in Asia, 30 June 1997, 229/3

SBK

KANADA GRADI NUKLEARKU U KINI

Kanadske kompanije AECL (Atomic Energy of Canada Ltd.) i NPM (Nuclear project Managers Canada Inc.) potpisale su ugovor o izgradnji nuklearne elektrane Quinshan blizu Šajgaja, vrijedan 1 milijardu američkih dolara. U elekrani će biti postavljena 2 reaktora tipa Candu. Oko 600 milijuna američkih dolara potrošit će se na nabavku opreme iz Kanade, Japana i Južne Koreje, dok će preostali dio iznosa biti osiguran u Kini. Očekuje se da će gradnja trajati 7 godina.
NPM upravo završava gradnju slične elektrane u Južnoj Koreji. Gradnju kineske elektrane nastavit će ista ekipa.

Modern Power System, August 1997, 5

SBK

ISKORIŠTAVANJE GRADSKOG OTPADA IZ KANALIZACIJE U YOKOHAMI

Gradska uprava Yokohame za zbrinjavanje otpada odredila je da se gradski otpad iz kanalizacije iskorištava na način da se proizvodi plin koji će se spaljivati u gorivim ćelijama za proizvodnju energije. Za proizvodnju plina koristi se kanalizacijski talog koji sadrži 65% metana i 35% ugljičnog dioksida. Osim toga može se koristiti i za proizvodnju vodika čijim se izgaranjem u gorivim ćelijama proizvodi električna energija.
Uprava za zbrinjavanje otpada vrši pokusnu proizvodnju plina više od godinu dana. U kolovozu je svečano puštena u rad jedinica gorivih ćelija i u prvih 30 dana opravdala svoju izgradnju.

Modern Power Systems, August 1997, 7

SBK

MAĐARSKA NACIONALNA KOMPANIJA MVM GRADI KOMPLEKS OD 2000 MW

Mađarska nacionalna kompanija MVM raspisala je tender za izgradnju elektrane kombiniranog kapaciteta od oko 2000 MW. Projekt uključuje 2 elektrane po 500 MW na ugljen i nekoliko jedinica od 20 do 200 MW. Početak proizvodnje se planira između 2001. i 2006. godine.
Nove elektrane će graditi privatni sektor. Očekuje se da će investicija iznositi oko 2,5 milijarde američkih dolara. Objavljeno je da će konzorcij RWE Energie i EVS biti uključeni u projekt. Naime, konzorcij je već uključen u razvoj mađarske energetike kao

i brojne druge kompanije kao što su AES, PowerGen i Tractebel. U međuvremenu je izašlo na vidjelo da ove druge kompanije nisu sklone povećati svoja ulaganja u Mađarskoj sve dok pregovori sa MVM o tarifama ne budu završeni. Konzorcij RWE Energie i EVS, svaki za sebe, objavili su planove o investiranju od 1,75 milijardi američkih dolara u moderniaciju 800 MW Elektrane Matra koju kontroliraju, te u gradnju nove elektrane od 1000 MW kod Miskolca na sjeveroistoku zemlje.
Prilikom kupnje Matre 1995. godine za 74 milijuna američkih dolara obvezao se da će je modernizirati i u blizini izgraditi novu elektranu. U međuvremenu lokalne rezerve lignita u Matri pokazale su se nedovoljnim, tako da će nova elektrana biti izgrađena pokraj Miskolca.

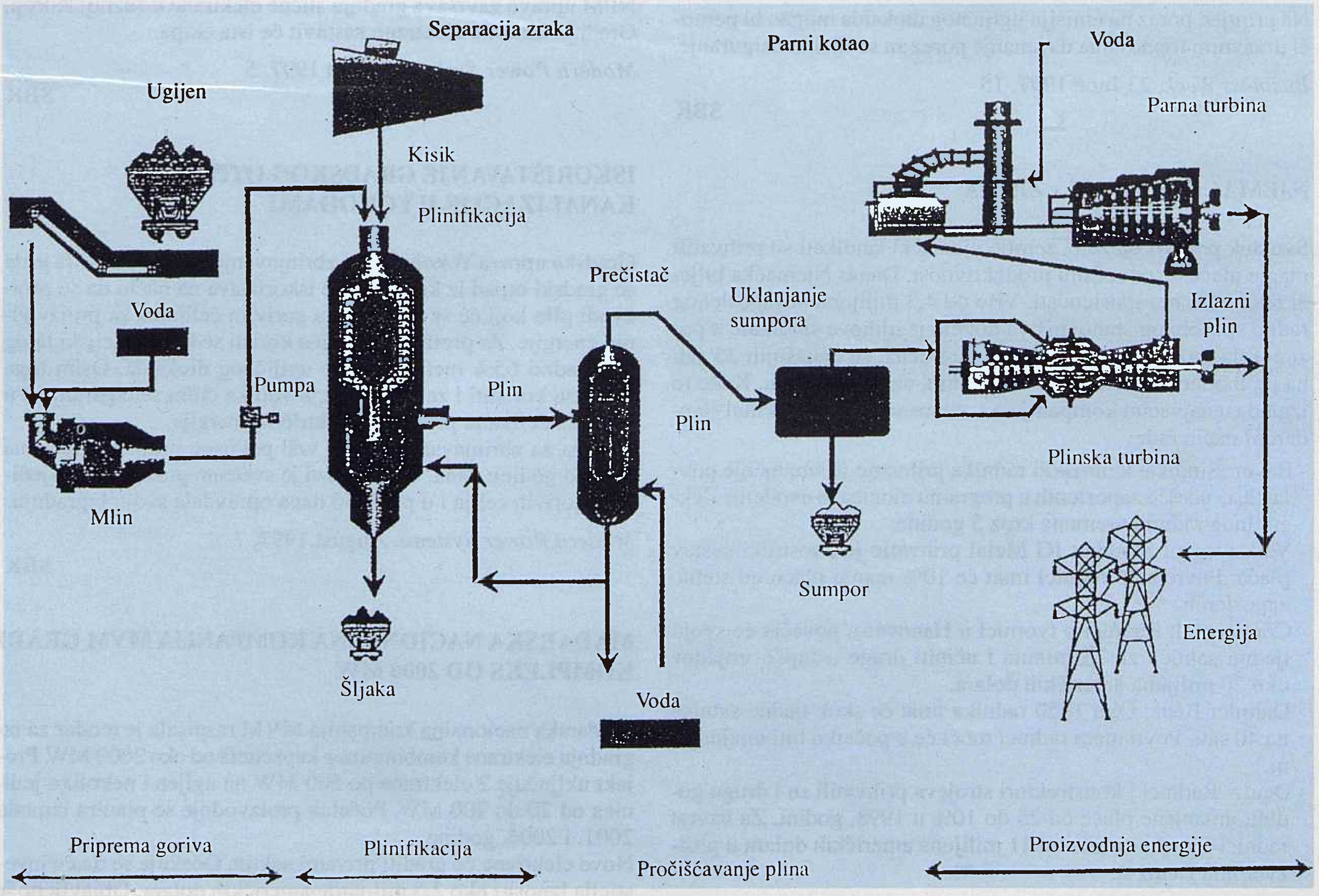
Modern Power Systems, August 1997, 7

SBK

RAZVOJ I PERSPEKTIVE FOTOVOLTAIČKIH ĆELIJA

Razvoj fotovoltaičkih ćelija (solar photovoltaic, pv) koje direktno pretvaraju energiju svjetlosti sunca u električnu energiju napreduje danas velikom brzinom. Sunčevo zračenje daje na površini Zemlje energiju prosječno 1 kW/m^2. Na mjestima dobrog prijema ta energija iznosi približno 2,5 MWh/god/m^2. No, problem je kako ovaj intenzivni izvor energije pretvoriti u upotrebljivu energiju.
Fotoelektrični efekt otkrio je 1839. godine Francuz Edmond Becquerel. Prve upotrebljive fotovoltaičke ćelije na bazi kristala silicija izrađene su 1954. godine. Osim silicija kao poluvodiča koriste se i drugi materijali, kao na primjer: bakar-indij, kadmij-telur, galij-arsenid. Nastoje se pronaći poluvodljivi materijali koji nisu otrovni (kadmij, selen) te oni koji imaju veći stupanj iskorištenja od silicija (28%).
Sunčana energija posredno je iskorištena za proizvodnju električne energije u Francuskoj. U Targasonne-u su izgradili sustav od 114 paraboličnih ogledala u čijem se fokusu zagrijava posebno ulje na 363°C koje zagrijava vodu u vodenu paru koja pokreće parnu turabinu. Dakle, električna energija je proizvedena kao u konvencionalnoj termoelektrani. Međutim, fotovoltaičke ćelije (photovoltaic cells, pv cell) pretvaraju energiju sunčevog zračenja direktno u električnu energiju bez posrednika. Problem je u tome što iz ćelija izlazi istosmjerna struja (direct current, dc), a najveći dio svih današnjih razvodnih mreža je građen za izmjeničnu struju (alternating current, ac). Zbog toga su potrebne pretvaračke jedinice uz fotovoltaičke izvore.
Princenton University's Centre for Energy and Environmental Studies World Energy Council prognoziraju da će se do 2020. godine u svijetu izgraditi fotovoltaičkih izvora najmanje za 500 GW(e). Oni smatraju da će se svake godine ulagati najmanje 1 milijarda američkih dolara u te izvore, a zajedno s pripadajućom infrastrukturom oko 12 milijardi američkih dolara.
Gdje i što se danas radi na voltaičkim izvorima pokazuje slijedeći pregled:

- U Kaliforniji se radi na razvoju aviona koji bi imao sunčane panele na krilima. Prototip, nazvan Centurian, trebao bi poletjeti iduće godine.
- NASA radi na razvoju lagane letjelice malih brzina, ali za vrlo visoke slojeve atmosfere.
- Zemaljske komunikacije preko satelita: Najveći dio težine i volumena satelita čine sunčani paneli. Njihovim poboljšanjem značajno bi se smanjili troškovi podizanja satelita u orbitu.
- Električni automobil: Najdalje je otišla Honda. Njezin proto-



Slika 1. Elektrana na čisti ugljen

tip automobila je prešao bezbroj kilometara po Australiji i čini se da će uskoro biti spreman za serijsku proizvodnju.
- Naftne kompanije već koriste solarne panele kao izvore energije za katodnu zaštitu cjevovoda nafte i plina.
- Neki od programa za dobivanje električne energije iz fotovoltaičkih ćelija za potrebe kućanstava su u tijeku:
  · Njemačka: Program 2500 krovova osigurat će 2000 KW
  · USA: Elektrana 4 MW na Hawai-ma
  · EU: Na Kanarima gradi elektranu 5 MW
  · Filipini: 400 sela na otoku Mindanao dobilo je električnu energiju za rasvjetu uz pomoć Svjetske banke
- Australija: Niz programa za osiguranje energije udaljenim naseljima.

Razvojem i primjenom novih materijala u izradi fotovolatičkih izvora značajno se smanjila cijena dobivenog KW. Npr. u Njemačkoj je cijena 1 kW 1991. godine iznosila oko 2 njemačke marke, a danas je i niža. U svijetu su postignute cijene od 23 do 33 američka centa po kWh, sa tendencijom daljnjeg pada.

Energy Economist, April 1997, 1-6

SBK

ELEKTRIČNA ENERGIJA IZ "ČISTOG UGLJENA"

Planira se gradnja prve velike britanske elektrane na "čisti ugljen" blizu Kellingley Colliery-a u Knottingley-u (zapadni Yorkshire). Investitori su rudnik RJB Mining, Texaco i National Power. Elektrana se smješta u okolici Sheffield-a, SNAGE 400 MW i trebala bi trošiti oko 1 milijun tona ugljena na godinu. Opsrkba ugljenom je iz obližnjih rudnika. Proces prema slici 1.(422. str.) je dao Texaco. To je isprobana tehnologija integriranog kombiniranog ciklusa (IGCC), koja se koristi u sličnoj elektrani blizu Tampa u Floridi. Kompanija RJB ima 50-godišnje iskustvo sa komercijalnom plinifikacijom i vodeća je u svijetu na tom području.

Electricity UK, 29/97, 20

SBK

SURADNJA ŠPANJOLSKE I UKRAJINSKE ELEKTROPRIVREDE

Španjolska kompanija za prijenos Red Electrica de Espana (RED) dobila je ugovor za osuvremenjivanje ukrajinske visokonaponske mreže sa dopuštenjem zatvaranja nuklearne elektrane Černobil. Ugovor je dodijeljen u okviru TACIT programa EU. Ova kompanija već sudjeluje u organiziranju visokonaponske mreže Ukrajine te u restrukturiranju Nacionalne električne kompanije.

Power in Europe, 6 June 1997, 250/30

SBK

FRANCUSKA NUKLEARNA BUDUĆNOST

Očekuje se da nova francuska vlada zatvori Superphenix – brzooplodni reaktor (FBR) u Creys-Malville-u nedaleko švicarske granice. Prije svog izbora novi socijalistički premijer Lionel Jospin je to prihvatio kao politiku partije Zelenih koja se treba ugraditi u program socijalista.
Neposredno prije izbora vođa Zelenih Dominique Voynet je izjavila kako će zatvaranje Superphenix-a te postrojenja za preradu nuklearnog otpada u La Hague biti njezina dva glavna cilja ako bude izabrana za ministra okoliša. Ona je također najavila potporu razvoju obnovljive energije.
FBR je već bio napadnut od prethodnog ministra okoliša Corinne Lepage koja je htjela novo javno istraživanje nakon što je Vlada tražila njegovu preinaku u istraživački centar odustajući od proizvodnje energije. No, čini se da je Vlada na odlasku prihvatila argumente nuklearnog lobija kako je jeftinije sačuvati pogon elektrane nego je zatvoriti.
Ostalu nuklearnu industriju ne ugrožava inicijativa zelenih. Bez narudžbi za nove elektrane, barem u bliskoj budućnosti, nema velikih poslova. Čak i postrojenju u La Hague ne prijeti opasnost od Zelenih sve dok postojeće nuklearne elektrane proizvode otpad.

Power in Europe, 6 June 1997, 250/15

SBK

EdF i COGEMA PODIŽU CENTAR ZA PRERADU NISKORADIOAKTIVNOG OTPADA

Centar za preradu niskoradioaktivnog otpada koji podižu EdF i Cogema blizu nuklearnog centra u Marculue-a trebao bi ući u puni pogon 1998. godine. Postrojenje vrijedno oko 173,6 milijuna američkih dolara gradio je Socodei u kojem Cogema ima 52% udjela, te EdF preostalih 38%. Novo postrojenje poznato pod imenom Centraco uposlit će oko 120 djelatnika kada bude u punom pogonu.
Postrojenje će raditi na dva načina prerade. Prvi način je proces topljenja neznatno radioaktivnih metalnih dijelova od održavanja ili razgradnje nuklearnih instalacija. Imat će kapacitet od oko 4 500 tona na godinu. Drugi način je proces spaljivanja koji će se koristiti za tehnološki otpad i radioaktivne tekućine. U oba slučaja obrađenom materijalu bit će smanjen volumen prije nego ga se odloži u dugotrajno "konačno" skladište.
Socadei je utemeljen 1990. godine s ciljem prerade radioaktivnog otpada. Kompanija već raspolaže brojnim pokretnim jedinicama za preradu koje mogu raditi punim kapacitetom na traženom mjestu (kod korisnika). Kompanija zapošljava oko 80 djelatnika. Prošle godine ostvarila je promet od 60 milijuna francuskih franaka.

Power in Europe, 6 June 1997, 250/15-16

SBK

DANSKA JE STAVILA U POGON NOVU ELEKTRANU NA SMEĆE

Sredinom godine počela je proizvodnja električne energije u elektrani u Odense-u u središnjoj Danskoj koja koristi odlagališta otpada. Investicija je vrijedna 7,2 milijuna američkih dolara. Ukoliko bude sve prema planu ova elektrana će opskrbljivati električnom energijom oko 9.600 okolnih kućanstava i toplinom oko 1.800. Predstavnik vlasnika elektrane je izjavio da je to stvarno golema količina energije dobivene iz gomile smeća.
Plin za elektranu Odense se prikuplja kroz 160 okomitih bušotina dubokih 15 metara na 54 ha sa 6 milijuna tona smeća i otpada. Količine plina koju proizvodi smetlište su dovoljne za osiguranje proizvodnje električne eneregije kroz 20 godina. U kompaniji kažu da je to početak u kojem će se prikupiti 14 milijuna m^3 plina na godinu te da prikupljena energija sa smetlišta Odense odgovara ekvivalentu od 32,2 milijuna litara nafte.
Ista kompanija Miljø-Sam već ima u pogonu dvije manje elektrane na smeće u Danskoj i namjerava ih izgraditi više u budućnosti. Dvije su planirane do kraja ove godine, a idućih pet do šest do kraja stoljeća. U kompaniji smatraju kako će to dovesti do točke zasićenja jer elektrane trebaju puno smeća i financijsku potporu.
No, aktivnost Miljø-Sam-a nije ograničena samo na Dansku. U sjeveroistočnoj Poljskoj gradi elektranu na smetlištu, koja će uskoro biti stavljena u pogon. Kako Poljska pokazuje veliki interes za izgradnju ovakvih elektrana ova danska kompanija vrši prethod-

na istraživanja na oko 60 lokacija smetlišta. Miljø-Sam se nada proširenju svoje djelatnosti i na druge zemlje istočne Europe.

Power in Europe, 6 June 1997, 250/13

SBK

PRIMJENA GORIVIH ĆELIJA U ŠVEDSKOJ

U Švedskoj se nastavljaju pokusi s proizvodnjom električne energije i topline za grijanje iz gorivih ćelija. Petogodišnje ispitivanje predviđeno je za ćelije proizvedene u ONSII u Južnom Windsor-u u SAD. Ispituju se materijali i operativni troškovi. Ćelije od 200 kWe i 50 kW toplinski bile su manje uspješne. Slične Fuji ćelije koje su stavljene u pogon 1991. godine kod Sydkraft-a (kompanija u južnoj Švedskoj) bile su obnovljene poslije problema s materijalima i još su u upotrebi.
Sydkraft ima također u pogonu 200 kW ćelije za proizvodnju električne energije i 200 ONSII ćelije koje već rade 30.00 sati – možda najduže u Europi. Sve ćelije se temelje na fosfornoj kiselini i koriste prirodni plin kao gorivo. Nema još ni jedne potvrde o profitabilnosti gorivih ćelija. Nabavne cijene su visoke. Predračunska cijena električne energije iz novih ćelija je oko 1 švedska kruna po kWh. To je 5 puta više od postojeće cijene električne energije u Švedskoj. Predviđa se da će se u daljoj budućnosti solarna energija koristiti za proizvodnju vodika za direktnu upotrebu u gorivim ćelijama, čime bi se oslobodili potreba za zemnim plinom.

Power in Europe, 6 June 1997, 250/25

SBK

PRIPREME ZA LIBERALIZACIJU TRŽIŠTA ELEKTRIČNE ENERGIJE U NIZOZEMSKOJ

Nizozemski proizvođači električne energije plaćat će u budućnosti porez kao i ostala industrija da bi se izjednačili uvjeti privređivanja kada dođe da primjene novog zakona o električnoj energiji te direktive EU o liberalizaciji tržišta električne energije. Konkretni detalji još se utvrđuju. Najvjerojatnije će to biti sukladno naputku u izvješću za ministra gospodarstva čiji autori su Mortet Ernst & Young. Kod određivanja visine poreza svakako će se uzeti u obzir posljedice na financije proizvođača energije, kako kvantificirati elemente kao što je spremnost na promjene i utjecaj na određivanje cijene zato što kompanija mora platiti porez.

European Energy Report, 6 June 1997, 14

SBK

NJEMAČKO TRŽIŠTE BIODIZEL-GORIVA U PORASTU

U Njemačkoj tržište biodizel-goriva nastavlja rast. Prema ekspertima goviro od uljane repice će bilježiti udjel od 3 do 5% od ukupne prodaje dizel-goriva kroz duže razdoblje. Za sada na istraživanju proširenja tržišta djeluju dvojica pionira. To su Novaol Deutschland (dio grupe Eridania Beghin-Say) te Saarberg Handel (podružnica rudarske kompanije Saarbergwerke). Oni nastoje da se u budućnosti objedine aktivnosti oko biodizel-goriva.
Tako su osnovale zajedničku kompaniju za prodaju Saarberg Bio-Energie Handelgesellschaft (SBE) u Saarbruecken-u te predstavništvo u Heinsberg-u u Sjevernoj Rajnskoj Vestfaliji (North Rhine-Westphalia). Partneri imaju po 50% udjela u SBE čime je posao pokrenut. Inače, Novaol je najveći proizvođač a Saarberg Handel vodeći trgovac biodizel-goriva u Europi.

RER, 6 June 1991, 19/3

SBK

U SVIJETU SE NASTAVLJA POVEĆANJE EMISIJE CO_2

Prema tvradnji grupe za energetiku McGraw-Hill-a (DR1/ McGraw- Hill's Energy Gropu) emisija CO_2 u svijetu kod proizvodnje energije porast će 15% između 1995. i 2000. godine. Taj rast će se ubrzati poslije 2000. godine. U njihovom ljetopisu World Energy Outlook prikazana je perspektiva CO_2 emisije kao posljedica povećane svjetske energetske potrošnje te ekonomske ekspanzije zemalja u razvoju. Naglašeno je da su emisije CO_2 enormne u zemljama sa uočljivim rastom tržišta te da će one predstavljati 90% rasta svjetske populacije između 1990. i 2020. godine.
U 1995. godini Sjeverna Amerika je najviše proizvela CO_2 pri dobivanju energije. To je iznosilo 27% svjetske godišnje emisije. Istočna Europa i bivši Sovjetski Savez (FSU) zajedno s Zapadnom Europom slijede s 16%, zatim na treće mjesto dolazi Kina s 14%.
U drugoj polovici 90-ih godina godišnja emisija CO_2 će rasti skoro 15%. Ostatak Azije, Kina i Sjeverna Amerika i dalje će prednjačiti u porastu emisije računajući s 75% godšnjeg rasta CO_2 između 1995. i 2000. godine. Godišnja emisija iz Sjeverne Amerike ostat će i dalje najveća u svijetu, ali će Kina do 2000. godine prestići obje Europe i bivši Sovjetski Savez. Predviđa se porast emisije CO_2 u svijetu za 50% do 2020. godine. Kao posljedica proizvodnje energije emisija CO_2 po glavi stanovnika porast će između 2000. i 2020. godine diljem svijeta. U svijetu se predviđa ukupni porast emisije po glavi stanovnika sa 4,7 tona CO_2 u 2000. godini na 5,6 tona u 2020. godini. Istodobno je godišnja stopa porasta CO_2 zbog energetskih potreba između 1990. i 2000. godine 1,4%, a između 2000. i 2020. godine 2%.
Gledajući regionalno, godišnja emisija CO_2 iz proizvodnje energije ostatka Azije bit će veća do 2010. godine od Istočne i Zapadne Europe te bivšeg Sovjetskog Saveza. Do 2020. godine kineski udio u emisiji će se približiti onom Sjeverne Amerike. Analiza DRI-ja naglašava da će i veličina emisije CO_2 zbog energetskih potreba dominantnih zemalja narasti rasti iza 2020. godine te se računa sa njihovim udjelom od 60% od ukupne svjetske emisije između 1990. i 2020. godine.
Najveći i najbrži rast emisije CO_2 uzrokuje energetski sektor. Transport je također izvor emisije te će 2020. godine uz industriju zauzeti drugo mjesto. Gledajući emisiju CO_2 ukupo između 1990. i 2020. udio pojedinih grana djelatnosti će izgledati ovako:

– energetski sektor	35%
– industrija	27%
– transport	24%
– kućanstva	14%.

Analitičari DRI-ja smatraju da povećanje udjela električne energije u svjetskoj energetskoj potrošnji može ograničiti porast emisije CO_2 u industriji i kućanstvima. Pri tome je uzeto u obzir rapidno povećanje emisije CO_2 u energetici od 3,2% godišnje u razdoblju od 1995. do 2020.

Power in Asia, 14 July 1997, 230/2

SBK

KRIZA PRVE ŠPANJOLSKE PLINSKE ELEKTRANE

Eksperimentalna španjolska elektrana, prva koja koristi novu integriranu plinifikaciju ugljena u kombiniranom ciklusu u opasnosti je da bude zatvorena čak i prije njenog puštanja u pogon. Dioničari elektrane u Puertollano-a na jugu Španjolske predvođeni španjolskom kompanijom ENDESA (30,5%) i EdF (29,1%) traže od ministarstva industrije da iz svog fonda osigura 100 milijardi pezeta, odnosno 675 milijuna američkih dolara da bi elektrana bila profitabilna. Glasnogovornik elektrane Elcogas smatra da je ta brojka manja za 35%.
Problem je u tome što je elektroenergetski sektor, 1992. godine kada je Elcogas osnovan, bio drugačije pravno ustrojen od onoga

što će biti slijedećeg siječnja kad počinje 10-godišnje prijelazno razdoblje u potpunu liberalizaciju. Tada je 335 MW projekt bio siguran da će svaka elektrana nadoknaditi troškove iz elektrotarife. Od slijedeće godine glavni potrošači će moći izabrati svoje dobavljače. Činjenica da Elcogas koristi novu tehnologiju na eksperimentalnim temeljima podrazumijeva da će njegovi kWh biti skuplji te bi zbog toga njegova proizvodnja mogla početi bez potrošača.
Dionićari, među kojima su velike španjolske elektroprivredne kompanije bez Union Fenrosa, britanski National Power, talijanski ENEL i portugalski EdP, žele da se potrebnih 675 milijuna američkih dolara namiri iz sličnog fonda za tranziciju koji raspolaže s 2 tisuće milijardi pezeta. Iz ovog fonda iz kojeg je već isplaćeno 80%, Elcogas je upravo primio 42,3 milijarde pezeta od 145 milijardi koliko mu treba.

International Gas Report, 11 July 1997, 327/7

SBK

UTEMELJENA NOVA NUKLEARNA INSPEKCIJA

Inspektori za nuklearnu sigurnost Kanade, Francuske, Njemačke, Japana, Španjolske, Švedske, Velike Britanije i USA osnovali su Međunarodno udruženje za nuklearnu regulativu (International Nuclear Assotiation - INRA). Prvi predsjednik s mandatom od dvije godine bit će Shirly Ann Jackson, predsjednica Američke nuklearne komisije za nuklearnu regulativu. Cilj udruženja je poboljšanje nuklearne sigurnosti kako među svojim članicama tako i u ostalom dijelu svijeta.

European Energy Report, 11 July 1997, 14

SBK

ŠVEDSKA ZAVRŠAVA SKLADIŠTE ZA ISTROŠENO NUKLEARNO GORIVO

Izgradnja dugovjekog skladišta za istrošeno nuklearno gorivo u Švedskoj je pri kraju. Ovaj projekt je dio planova nuklearne industrije za izgradnju niza stalnih podzemnih prostora za skladištenje visokoradioaktivnog otpada i istrošenog goriva iz nuklearki.
Pokusno postrojenje za inkapsulaciju otpada u Oskarshamn-u u južnoj Švedskoj smješteno je u luci. Izgradnja pogona i jednogodišnje testiranje stajat će oko 150 milijuna švedskih kruna ili 19,4 milijuna američkih dolara te dodatno godišnje 10 milijuna švedskih kruna za funkcioniranje pogona. Glavni cilj projekta je zavarivanje snopom elektrona koje je razvijeno u Institutu za zavarivanje u Velikoj Britaniji pomoću kojeg se nepropusno zatvara vanjska bakarna kapsula za smještaj istrošenog nuklearnog goriva. Unutrašnji dio kapsule je od čelika, promjera 900 mm, oklopljen bakarnim štitom debljine 50 mm koji točno prati oblik kapsule dugačke 5 m i teške 25 tona.
Nisko i srednje radioaktivni otpad sada se skladišti u pećinama Forsmark-a sjeverno od Stockholm-a, iskopanim ispod Botničkog zaljeva.

Postrojenje za inkapsulaciju financira Švedska agencija za nuklearni otpad (SKB) koja oporezuje nuklearni proizvodni sektor u tu svrhu. SKB je također tražila dopuštenje od Švedske nuklearne inspekcije (SKI) za povećanjem veličine podzemnog skladišnog prostora u Oskarshamn-u, gdje se skladišti istrošeno nuklearno gorivo ispod vode već 40 godina, dok ne bude trajno smješteno ispod zemlje. Postojeći bazen može primiti oko 5.000 tona istrošenog goriva. Očekuje se da će biti pun do 2004. godine. Izgradnja novog podzemnog prostora, 30 m ispod zemlje sa kapacitetom od 8.000 tona visokoradioaktivnog otpada stajat će oko 700 milijuna švedskih kruna i bit će završen do 2004. godine.

Power in Europe, 18 July 1997, 253/19

SBK

IZGRADNJA VJETROPARKA U NIZOZEMSKOJ

Elektrodistribucija Edon koja opskrbljuje energijom sjevero-istočno područje Nizozemske objavila je plan o gradnji vjetroparka na 100 ha u Delfzijl-u zajedno s kompanijom Koop Construction Company (KOOP). 30 vjetroturbina bit će stavljeno u pogon do kraja 1999. godine. Kapacitet od 20 do 25 MW proizvodit će dovoljno električne energije za pokrivanje potreba 20.000 kućanstava. Vjetropark će biti smješten u regiji Groningen čime će se povećati vjetroizvori u toj regiji za 50%, tj. na 75 MW.

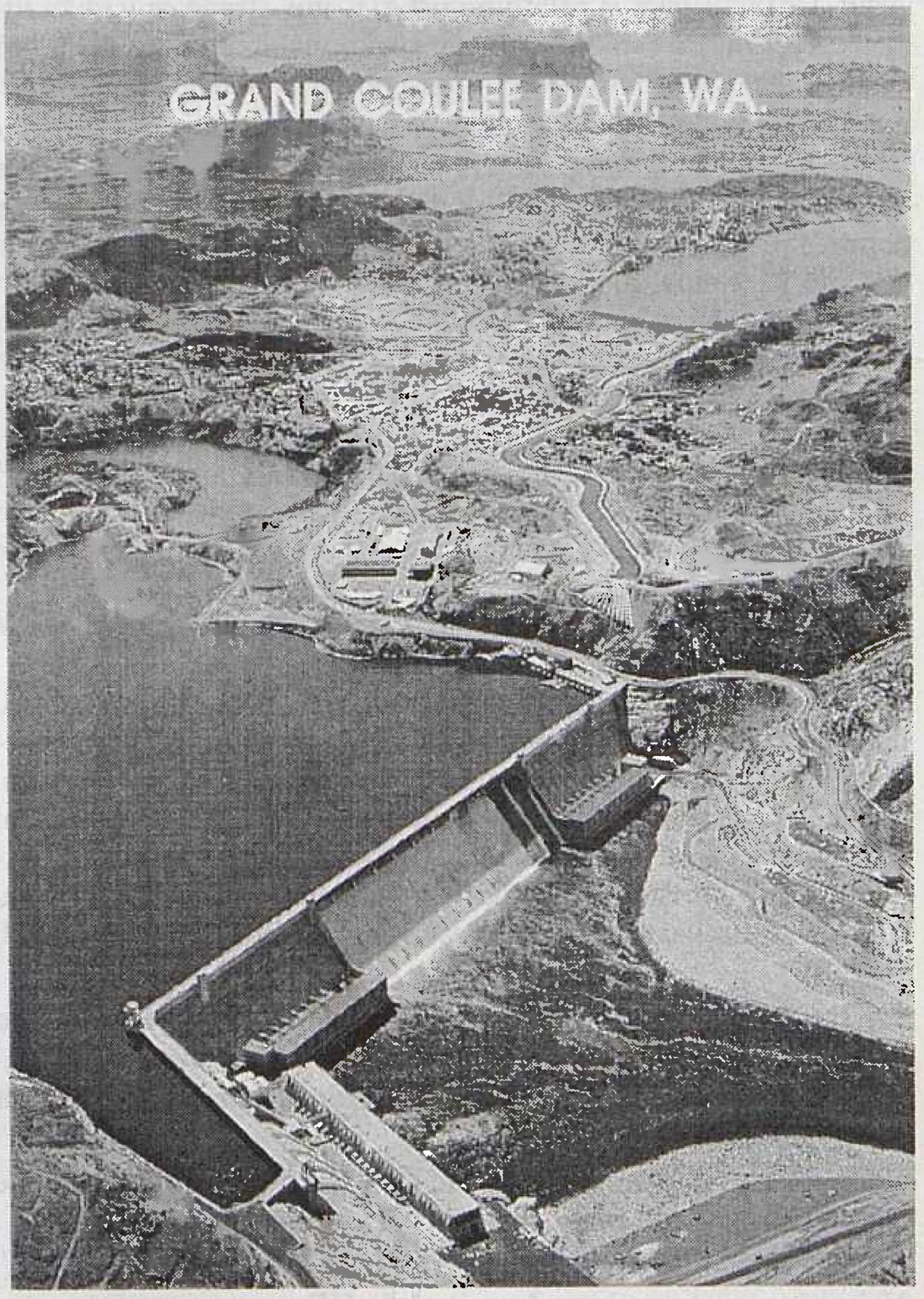
Iako cijena cijelog projekta nije do kraja poznata, vjeruje se da će iznositi nekoliko milijuna guldena. Edon i KOOP sa udjelom 50% svaki planiraju prodati dio svog udjela lokalnoj upravi ili lokalnim investitorima.
KOOP posjeduje lokaciju za vjetropark i planira uskoro preuzeti 100 ha susjednog zemljišta za smještaj budućih 30 vjetroturbina. Nizozemska je potpisala ugovor sa svojim regijama o gradnji vjetroelektrana kapaciteta ukupno 1000 MW do kraja ovog stoljeća. 50 MW u regiji Groningen je realizirani dio postavljenog cilja. Nizozemska vlada teži da 10% ukupnih energetskih potreba bude proizvedeno u dopunskim izvorima energije do 2020. godine.

Power in Europe, 18 July 1997, 253/14

SBK

KORIŠTENJE VODA RIJEKE COLUMBIJE U SAD

Rijeka Columbia izvire u Canadi, a utječe u Tihi ocean u luci Portland (SAD), doljnji tok rijeke je luka za prekooceanske brodove, a na obali rijeke je velika drvna industrija.
Izgradnjom brana za HE i provodnica omogućena je plovidba od Pacifika do Lewistona (država Idaho) u dužini od 752 km. Regu-



Slika 1.

Hidroelektrane na rijeci Columbia (SAD)

		Grand Coole	Chif Joseph	Wells	Rocky Reach	Rock Isladn	Wandpum	Priest Rapids	Mc Mary	John Day	Dallas	Bonneville	Ukupno
udalj. od Pacifika	km	959,9	875,5	828,8	761,1	729,5	669,0	638,9	469,8	346,9	308.11	235.1	
nadmors-ska visina	m	410,0	304,0	248,0	225,0	195,0	182,0	155,0	108,0	85,0	51,0	248,0	
korisni pad	m	105	56	22	29	13	26	27	22,5	33	26	18,7	
srednja protoka	m^3/sek	311,0	3110	3235	3297	3400	3400	3405	4860	4930	5100	5240	
generatora	kom	33	27	10	11	18	10	10	14	16	22	20	180
instal. snaga	MW	6494	2515	774	1213	622	985	910	980	2160	1807	1089	1891
stalna god. proizvod.	TWh	18,851	10,179	3,942	5.685	2,479	4.835	4,756	6,482	8,444	7,121	4,827	77,601
izvođač		USBR	Army corp	Douglas County	Cheldn County	Cheldn County	Grant County	Grant County	Army Corps	Army Corp	Army Corp	Army Corp	

lacijom rijeke započelo se za velike svijetske krize radi zapošljavanja velikog broja nezaposlenih u vrijeme predsjednika Roosevelta.

Tri su razloga bila za regulaciju rijeke:

a) regulaciju nivoa vode u dijelu rijeke koji se koristi kao luka
b) navodnjavanje okolnih pustinjskih visoravni
c) proizvodnju električne energije.

Ad.a. U trenutku posjeta brani Grand Coulle na jezeru Roosevelt prelijevalo se oko 3000 m^3/sek preko 48 brana da se omogući normalna plovidba velikim brodovima.

Ad.b. Dolina rijeke je relativno uska, s obje strane se uzdižu visoravni na cca 500 m nadmorske visine gdje ne raste baš ništa osim žbunja koje svojim oblikom podsjeća na žalfiju.

Čitavo pacifičko priobalje je vulkansko i vulkani se lijepo uočavaju; Neki su nakon 170 godina ponovo aktivni). I kotlina rijeke i visoravan su bazalt sa rijetkim dijelovima granita, sa vrlo malo zemlje koja bi se mogla obrađivati. Uz pacifičku obalu su dva, sa obalom paralelna planinska lanca (sa bregovima preko 3000 m nadmorske visine koji su u vječnom snijegu) a koji sprečavaju prolaz kišnim oblacima tako da je to pustinjsko sušno područje sa nesnosnim vrućinama.

Izgradnjom brane Grand Coulee (1941. g) dužine 1592 m stvoren je jezero Roosevelt. Jezero zauzima 33306 ha, dugo je 243 km, zapremine 11577528 m^3 odnosno iskoristive zapremine 6395640 m3. Time su stvoreni uvjeti za racionalno korištenje voda rijeke Columbia.

Uz samu branu izgrađena je PHE kapaciteta 314 MW (4x53,5+2x50 MW)

Prva tri agregata su građeni: posebno crpke, posebno generatori, dok su slijedeća tri reverzibilna. Maksimalni nivo jezera (Roosevelt) je 393 m, dok je jezero za navodnjavanje na koti 478 m. (Jezero za navodnjavanje je nekadašnje korito rijeke, a presušeni slapovi su viši od onih Niagare). Voda za navodnjavanje je besplatna kao i korištenje provodnica na branama (Farmeri trebaju samo investirati u priključak i sustav navodnjavanja (cca 100 000 USA $).

Ad. c. Kako je iz tabele vidljivo na američkoj strani je izgrađeno 11 HE (na Canadskoj još 3), sveukupno 14 instalirane snage 18 911 MW sa godišnjim proizvodom preko 77 Twh (na američkoj strani)

Na brani Grand Coulle izgrađene su 3 HE. Prve dvije izgrađene elektrane ugrađene su u branu, svaka sa generatorima.

9 x 125 MW + 10 MW (kućni agregat), turbine su Francis.

Naknadno sa strane izgrađena je treća HE sa generatorima:

3 x 600 MW

3 x 700 MW + 20 MW (kućni agregat), generatori su proizvodnje Siemens, turbine su vertikalne Francis.

Generatori su priključeni jednofaznim kabelima na jednofazne transformatore višeg napona 550 kV, koji se nalaze izvan zgrada pod branom.

Na prostoru kraj brane je zgrada, izložbeni prostor, gdje su fotografije gradnje, uzorci tla sa odgovarajućim tekstom, kino dvorana (za cca 100 ljudi) gdje se prikazuje film o gradnji. Na pultu za informacije mogu se uzeti prospekti.

S brane (koja je prolazna i po kojoj se može šetati) spušta se lift (za cca 50 osoba sa vodičem u izložbeni prostor HE gdje su fotografije gradnje i sheme vodova. Uz tumačenje sa platforme može se pogledati postrojenje, a zatim se silazi u generatorski dio i turbine gdje su lopatice za regulaciju.

U PHE Grand Coule osoblje se kreće malim automobilima (kao za golf) na akumulatorski pogon.

Zadnja u nizu je brana Bonneville čime je stvoreno jezero dugačko 77 km. Na brani su dvije HE i prevodnica za brodove. Na nekadašnjim brzacima su tri otočića pa je između otočića i obale 1938. g. izgrađena prevodnica za brodove, a između slijedeća dva otočića HE sa 526 instalirane snage:

8 x 54 MW
1 x 51 MW
1 x 43 MW 2 x 13 MW kućni

Turbine su Kaplan.

Izgradnja je započeta za vrijeme krize da se stanovnicima Oregona da neko zaposlenje. Između 1974. i 1981. g. izgrađena je druga HE instalirane snage 8 x 66 MW. Kako je vidljivo iz tabele HE Bonneville je izgradila USA Army Corps of Engineers koja je održava i upravlja pogonom.

U HE je izložbeni prostor, kino dvorana, sa terase se može vidjeti strojarnica. Na ulazu je informativni centar sa prospektima na engleskom, francuskom i njemačkom jeziku. Sve brane na rijeci imaju prevodnice za ribe, osim na Grand Coulle.

Na brani Bonnewille USA Army, specijalnim kamionima prevozi godišnje oko 700 000 odrasle ribe na mriješćenje u Tanner Creek i 30-50 10^6 riblje mlađi nizvodno u Pacifik.

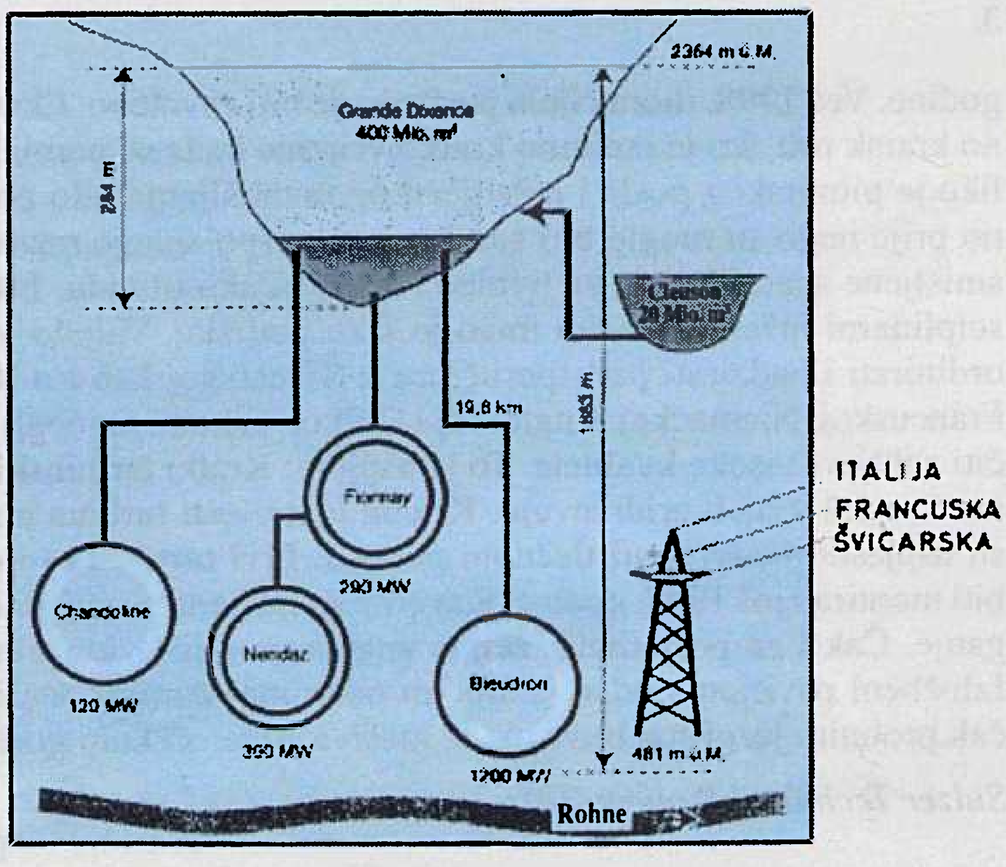
Pred turbine su ugrađene rotirajuće mreže da spriječe ulaz ribe u turbine. U dijelu prevodnica za ribe su veliki ostakljeni, rasvjetljeni prozori gdje se može promatrati migracija riba.

B. Mrakovčić

ELEKTRANA SUPERLATIVA

Četvrto proširenje hidroenergetskog sustava Grande Dixence pokazuje da potencijal izgradnje postojećih postrojenja još nije is-

crpljen. Nova elektrana u Bieudron-u nadopunjava dosadašnju snagu na dva i po puta veću, ne uzimajući od prirode niti jednu dodatnu kapljicu vode. Tako je moguće u srcu Europe, također bez izgradnje novih akumulacionih basena, pokrivati potrebe u električnoj snazi bez diranja u okoliš.
Impozantno hidroenergetsko postrojenje Grande Dixence u Alpama Wallis-A i do sada su izazivala divljenje stručnjaka. Prvo je postrojenje priključeno na mrežu još 1939., a ustava je akumulirala 50 mi. m^3 vode iz slivnog područja Vallée-a Dix. Kapacitet je proširen 1949. zahvatom vode Vouason i crpnom akumulacijom Chandoline, a još uvijek daje pažnje vrijednu snagu od 120 MW te je do sada držala primat s obzirom na pad od 1710 m. Dvadeset godina kasnije izgradnjom Grand Dixence drastično je povećana instalirana snaga. Najviše brana na svijetu visoine 284 m akumulira 400 mi. m^3 vode, a obje elektrane Fionay i Nandaz svojom snagom od 680 MW povećavaju ukupnu snagu na 800 MW (v. sl. 1)



Slika 1.

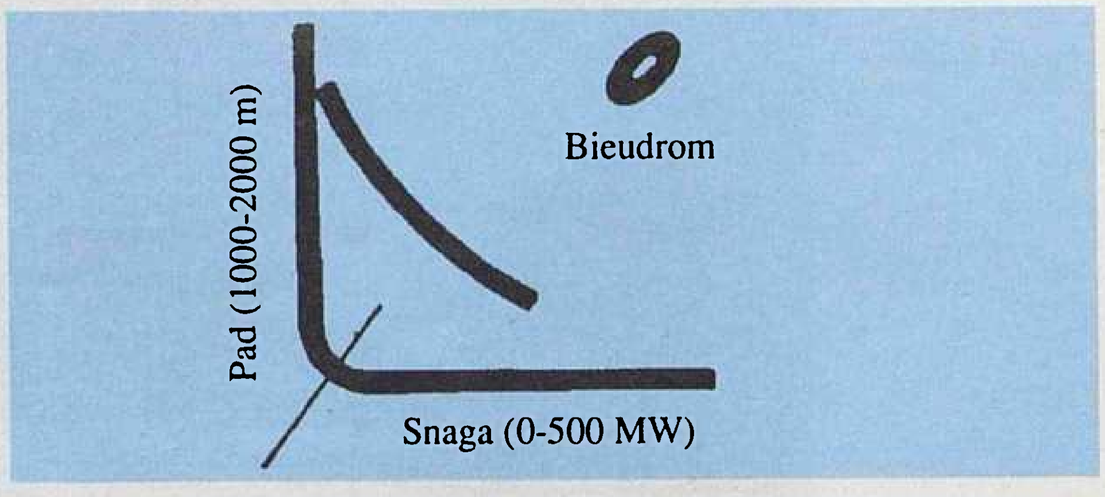
Bieudron tuče sve rekorde

Izgradnjom četiriju stupnjeva korisnici ovog sustava dostižu željeni cilj. S jedne strane treba poboljšati iskorištenje velikih rezervi vode, a s druge pokriti varijabilnu potrebu vršne snage. Projektiranje triju Pelton-turbina prenijela je EOS (L'Energie de l'Ouest-Suisse) na konzorcij "Groupement Cleuson-Dixence" (koji se sastoji iz Sulzer Hydro i Hydro Vevey) radi svjetski poznatog projektima i konzorcijalnim poslovima. Bieudron će premašiti sve dosadašnje granice – instalirana snaga turbina sa po pet sapnica iznosit će ne manje od 423 MW po proizvodnoj jedinici, a maksimalni pad 1883 m ostavlja u sjeni sve poznato. Brzinom od 690 km/h udara pet mlazova ukupno 35 puta u sekundi na svaku lopaticu proizvodeći impuls od po 57 t. Takve enormne sile iziskuju odgovarajući inžinjering i Know-how. Tako je na primjer, savijanje do 82 mm debelih termički oplemenjenih čeličnih limova za kružni cijevni dovod turbine moralo biti obavljeno na specijalnoj preči za savijanje, firme Sulzer Turbo. Također i 20 km dugačka okna i tuneli pod tlakom postavljali su teške uvjete za konstruktere i za materijale. Tlačni cjevovodi promjera 4,8 i 3,2 m obloženi su čelikom za tlak do 20,3 MPa (203 bara).

Sigurnost prije svega

Težilo se iznimno velikim snagama pa su razrađene studije izvodljivosti i pokusi strujanja, modeli na računalu i metode proračuna, simulacije na računalu, a bile su nužne i pretpostavke opterećenja, da bi se izračunali efekti promjena opterećenja na lopaticama rotora. Pri tom se pokazalo da je bilo moguće poboljšati do sada uobičajeni kut nagiba turbinskih lopatica.

Vidi sliku 2 koja ilustrira odnos ovih prema sadašnjim Pelton turbinama.



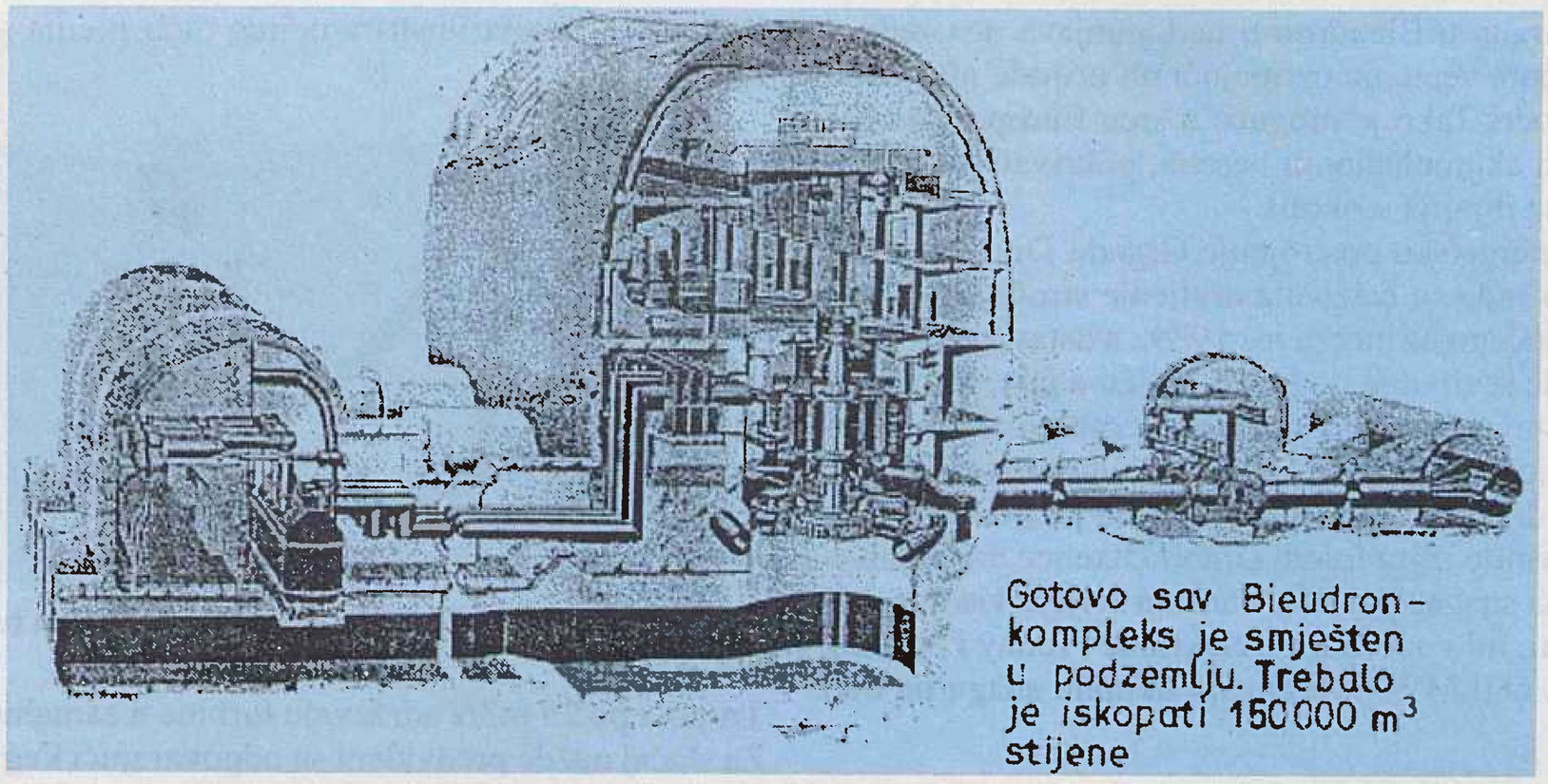
Slika 2. Područje dosadašnjih Pelton turbina

Tri puta po 25 m3/s održavaju turbine u zamahu pri punoj snazi. Za slučaj nužde predviđeni su odgovarajući kuglasti zatvarači za sigurno prekidanje mlaza vode. Pri njhovoj konstrukciji se išlo novim putovima, da bi sigurno savladali sile. Po prvi put je kućište izrađeno iz jednog lijevanog komada, a ne sastavljano iz više dijelova. Zajedno s elementom kugle i prirubnicima ove komponente dosižu oko 200 t. Dodatno na ulazu u tlačni tunel i iza vodne komore predviđen je po jedan leptirasti zatvarač, koji mogu automatski presjeći vodni mlaz.
Značajku projektantske grupe "Bieudron-Grande Dixence" simbolizira kvantni skok u konstrukciji Pelton turbina:
veliki pad i ujedno velika snaga.

Dojmljivi karakteristični podaci	
Akumulacija Grand Dixence	
Usporna visina	284 m
Volumen akumulacije	400 mi m^3 + 20 mi m^3 u Cleuson-u
Slivno područje	360 km^2, 4 crpne stanice
Centrala Bieudron	
Snaga	1200 MW
Pad	1883 m
Količina vode 3x25	75 m^3/2
3 turbinska rotora:	
Promjer	4,6 m
Brzina vrtnje	428 min-1
Lopaticâ	po 26
Dovodni tlačni tunel (vodoravni): – Dužina	15,8 km
– Promjer	4,8 m
Tlačno okno (pod na gibom): – Dužina	4,2 km
– Promjer	3,2 m
Težina (čelik)	10500 t
Razdioni cjevovod:	
Ulazni promjer	3,2 m
Izlazni promjer	3 x 1,7 m
Težina	460 t
Pokusni tlak	30,5 MPa
3 kuglasta zatvarača:	
Težina	po 200 t
Nazivni promjer	1400 mm
Protoka prekidanja	100 m3/s
3 kružna cjevovoda:	
Debljina stijenke	do 82 mm
Pokusni tlak	30,5 MPa
3 nosiva prstena generatora:	
Težina	po 120 t

Zaštita prirodnih i energetskih izvora

Vodu smatramo obnovljivim izvorom energije. To se za Bieu-



Gotovo sav Bieudron-kompleks je smješten u podzemlju. Trebalo je iskopati 150000 m^3 stijene

Slika 3.

dron ostvaruje u dvojakom smislu. Elektrana se koristi pretežno za pokrivanje vršnih opterećenja u satima kada raspoloživa temeljna energija nije dovoljna. Budući da se vršna opterećenja mogu vrlo naglo pojaviti, velika se pozornost polaže na brzi zalet turbina. Za manje od dvije minute elektrana treba da bude na punoj snazi, što je također rekord.

Gotovo cijela građevina je u podzemlju. U kaverni-strojarnici, velikih dimenzija, smješteni su dovodni cijevni razvod, kuglasti zatvarači, turbine, generatori, transformatori i pomoćni pogoni. Tlačna okna i tuneli su izbušeni pod zemljom. Novo postrojenje ne koristi samo stanovništvo Wallis-a. 17% akumulirane energije Švicarske dolazi iz Grande Dixence-a. K tomu postrojenje daje dobro došli doprinos međunarodnoj razmjeni električne energije, jer veliki industrijski centri u Italiji i Francuskoj trebaju vrijednu vršnu energiju iz Alpa.

Međunarodno postrojenje

Ugovor za izgradnju postrojenja Sulzer Hydro je dobio 1994. godine. Već 1998. mora cijelo postrojenje biti završeno. Ekstremno kratak rok, što je iznimno kratko vrijeme kada se pomisli koliko je pionirskog posla i inženjerskog razmišljanja bilo potrebno prije nego su mogle biti stavljene na raspolaganje razrađene smišljene specifikacije za livnice i za metalsku obradu. Interdisciplinarni inženjerski tim imao je jaku podršku. Valjalo je koordinirati i nadzirati podisporučioce u Švicarskoj kao i u Italiji, Francuskoj, Njemačkoj, Engleskoj i Češkoj, kako bi se mogli jamčiti zahtjevi visoke kvalitete. To je uspjelo: Kratki terminski planovi se još uvijek pridržavaju. Kružni cjevovodi turbina upravo su uspješno podvrgnuti tlačnom pokusu. Prvi turbinski rotor će biti montiran još 1997. godine. Kaverne su izbijene pa slijedi oblaganje. Čak i za posjetitelje željne znanja gradilište je spremno. Izložbeni paviljon s odgovarajućim nacrtima, zornim odelima i čak probnim jezgrima bušotina iz masiva Alpa očekuju gosta.

Sulzer Technical Review, 3/97

E. H.

TREĆE SAVJETOVANJE HRVATSKOG KOMITETA CIGRE

U Cavtatu je od 26. do 30. listopada 1997. godine održano treće, jubilarno savjetovanje HK CIGRE. Jubilarno zato jer je prošlo pet godina od kada je HK CIGRE prihvaćena kao nacionalni komitet međunarodne CIGRE u kojoj ona djeluje od 1951. godine. Prisustvovalo je 700 sudionika.
Svečano otvorenje savjetovanja održano je u nedjelju 26. listopada u 19 sati. Savjetovanje je otvorio predsjednik HK CIGRE g. Milan Bobetko, a zatim su sudionike pozdravili g. Luka Korda načelnik općine Konavle, g. Yves Thomas generalni sekretar međunarodne CIGRE, Dr. sc. Božo Udovičić u ime Hrvatske Gospodarske Komore, g. Lorenzo Thone u ime talijanskog nacionalnog komiteta i g. Frano Tomšić direktor hotela Croatia u kojem je održano savjetovanje. Iza pozdrava održana su dva uvodna predavanja:

Yves Thomas - CIGRE sadašnja i buduća i
Milan Bobetko - Hrvatska elektroprivreda - Hrvatska elektroindustrija

U svom izlaganju g. Thomas se osvrnuo na dosadašnje djelovanje CIGRE i na tendencije njenog razvoja. Naznačio je važnost nacionalnih komiteta, jaču povezanost s univerzitetima, značaj časopisa "Electra" i sve veću prisutnost ekologije u djelovanju CIGRE.
Uvodni govor g. Bobetka dajemo u nastavku.
Nakon svečanog otvorenja održana je IV. redovna Skupština HK CIGRE. Izvješće o radu u proteklom periodu od II. Savjetovanja podnio je glavni tajnik HK CIGRE dr. sc. Zorko Cvetković, a zatim su predana priznanja koja je zaslužnim članovima CIGRE dodijelio Izvršni odbor HK CIGRE. Priznanja su dobili g. dr. sc. Ivo Hrs, g. Boris Markovčić, g. mr. sc. Ivo Putanec i g. Željko Zlatar.

Tijek savjetovanja

Savjetovanje se održavalo u 15 grupa, a ukupno je razmatrano 139 referata. U okviru savjetovanja sudjelovalo je i 29 domaćih i stranih firma - sponzori savjetovanja. Njihovi stručnjaci održali su interesantna predavanja, a održana je i izložba njihovih proizvoda.
Također je tijekom savjetovanja predstavljen Prvi hrvatski elektroenergetički pojmovnik, koji je priredio g. Josip Moser, prikazan projekt He Ombla i izvršen tehnički posjet HE Dubrovnik.
U srijedu je održan Okrugli stol na temu ***Razvoj Hrvatske veleprijenosne mreže.*** *Osim naših stručnjaka sudjelovali su i stručnjaci iz Slovenije i Mađarske.*
Sve detalje o savjetovanju čitatelji će moći naći u Izvještaju III. Savjetovanja koji će biti izdan početkom 1998. godine.

Uvodno predavanje M. Bobetko

CIGRE, HRVATSKA ELEKTROPRIVREDA, HRVATSKA ELEKTROINDUSTRIJA

Neposredno nakon prvoga svjetskog rata dolazi do formiranja Znanstvenog društva koje je okupilo inženjere iz 12 zemalja oko tehničkih problema mreža visokoga napona CIGRE. Već tada, prije 77 godina, shvatilo se da će se elektroenergetski sustavi protezati preko nacionalnih granica te da će biti nužna međunarodna stručna koordinacija razvoja, izgradnje i funkcioniranja elektroenergetskih sustava pojedinih zemalja.
Danas međunarodna konferencija za električne mreže, CIGRE, čije je sjedište u Parizu, ima preko 80 zemalja članica organiziranih u nacionalne komitete.
Hrvatska je članica od 1951. godine, a samostalna od 1992. godine.
Treba posebno naglasiti da je tijekom tog vremenskog razdoblja ostvareno proširenje velikih prijenosnih mreža, odnosno interkonekcija. Svaki elektroenergetski sustav ima interes da se poveže sa svojim susjedima zbog sigurnosti i ekonomije. Nije zanemarivo da se u slučaju poremećaja može dobiti pomoć, da se može značajno smanjiti investicije za vršnu proizvodnju i da se u svakom trenutku mogu koristiti elektrane s najmanjim troškovima proizvodnje.
Ta tendencija prisutna je u europskim i izvaneuropskim zemljama.
Zapadnoeuropska mreža UCPTE utemeljena je 1950. godine, a stalno proširivana novim zemljama članicama, učinila je 1995. godine veliki napredak vezavši se s mrežom CENTREL, zajedničku mrežu Poljske, Mađarske, Češke i Slovačke. Na sjeveru UCPTE-a "baltički prsten" - NORDEL je u fazi ostvarenja i trebao bi povezati sve nordijske zemlje. On će se povezati na CENTREL preko Poljske i na UCPTE preko Njemačke putem "back-to-back" postrojenja. Za slična povezivanja postoje i drugi brojni primjeri u Europi i izvan Europe.
Tehnički i ekonomski interesi uvjetuju povezivanje regionalnih prijenosa u superponirane prijenose električne energije. Da takvo proširenje ne bi oslabilo cijeli sustav potrebno je uspostaviti regionalnu solidarnost tako da svatko s respektom prema sustavu kao cjelini bude odgovoran za tehničku kvalitetu razmjene sa susjedima.
Hrvatska elektroprivreda - (HEP) shvatila je te tendencije razvoja te je 1996. godine potpisala ugovor sa Mađarskom elektroprivredom o gradnji 400 kV voda Hrvatska-Mađarska (Žerjavinec-Heviz), a radi se i na studijskim podlogama za buduću gradnju druge 400 kV veze prema Mađarskoj iz TS Ernestinovo.
Isto tako Hrvatska elektroprivreda će voditi računa o povezivanju svoga EES-a i sa susjedima i pokrenut će istraživanja o tim mogućnostima kao na primjer direktnim povezivanjem s talijanskom elektroprivredom.
Električna energija koristi se u svijetu od konca prošlog stoljeća, a njene mnogobrojne karakteristike čine ju privlačnim oblikom korištenja.
Danas se trećina sveukupne energije najprije pretvori u električni oblik i potom privodi finalnom korištenju.
U četvrt stoljeća iza drugog svjetskog rata utrošeno je u svijetu više energije no u čitavom dotadašnjem povijesnom razdoblju.
Takovo kretanje se, prema sagledavanju Svjetske energetske konferencije predviđa i za razvoj do 2020. godine. Prosječni bruto proizvod zemalja zapadne Europe će se udvostručiti, ali uz značajno povećanje učinkovitosti ukupno utrošene energije:

- jedan dolar bruto domaćeg proizvoda 2020. godine ostvarivat će se utroškom polovine ukupne energije od utrošene u 1980. godini. Pri tome rast od utrošene električne energije i dalje će biti gotovo linearan. Od oko 5500 kWh/stan. u 1990. godini narast će na oko 8000 kWh/stan. u 2020. godini.

Ostvarena razvojna razina Hrvatske 1990. godine je oko 42% prosječnog proizvoda zapadne Europe, oko 64% utrošene ukupne energije po stanovniku i oko 55% utrošene električne energije po stanovniku (oko 3000 kWh). Rat je takvo stanje još pogoršao. Ako bi se 2020. godine u Hrvatskoj koristilo 5500 kWh/stan., koliko je prosječno ostvareno u zapadnoj Europi 30 godina ranije, trebalo bi dograđivati elektroenergetski sustav za ekvivalent jedne elektrane od 250 MW svake tri godine. U tom razdoblju trebat će i revitalizirati gotovo svaku od postojećih dvadesetak većih elektrana u Hrvatskoj, te dio vodova u mreži visokog i niskog napona i transformatorskih stanica, kojih ima oko 20 tisuća.
Složena zadaća stoji pred hrvatskom elektroprivredom, odnosno

hrvatskim gospodarstvom.
Trebat će osmisliti, proizvesti, izgraditi i koristiti takva postrojenja i trošila da se sve veći dio uložene primarne energije preobrazi u električni oblik, prenese, raspodijeli i iskoristi, uz znatno viši stupanj iskorištenja, uz što manje utroška svekolikog materijala, uz prihvatljivo opterećenje okoliša i uz savladivu cijenu.
Zadaća je neostvariva bez dovoljno zainteresiranih mladih ljudi za visoku naobrazbu u tom području. Stanje nije ohrabrujuće. Samo 20% studenata treće i četvrte godine, na elektrotehničkim fakultetima u Osijeku, Splitu i Zagrebu studira na smjeru elektroenergetike i prihvatljivo srodnim smjerovima.
Dugo vremena elektroprivrede mnogih europskih zemalja, pogotovo zemalja bivšeg socijalističkog bloka, bile su tretirane kao strategijski nacionalni sektori. Stvaranjem novih ekonomskih odnosa i načina privređivanja većina tih i zemalja u razvoju je danas u nemogućnosti financiranja investicija potrebnih za svoj razvoj, te su prisiljene otvaranju svojih elektroprivreda vanjskom kapitalu. Isto tako na području tržišta električnom energijom Europska unija teži organiziranju tržišta električne energije koje bi uvelo veću tržištu konkurenciju i s tom robom. Te novonastale okolnosti u svakom slučaju utjecale su i utjecat će na hrvatsko gospodarstvo i na hrvatsku elektroprivredu.
Restruktuiranje Hrvatske elektroprivrede formalno je započelo 1994. godine, kada je HEP postao dioničko društvo u vlasništvu Republike Hrvatske.
I ostale europske zemlje u tranziciji pristupile su restruktuiranju i privatizaciji u energetskom i elektroenergetskom sektoru. U ovom trenutku ne može se govoriti o nekom prevladavajućem pristupu. Ono što je prevladavajućem zajedničko za te zemlje je odnos razvijenog svijeta, ponajprije europskih, ali i prekomorskih zemalja prema njima. To je zagovaranje privatizacije i ulaska stranog kapitala u elektroprivrede zemalja u tranziciji kao "spasonosnom" ključu za rješenje problema, nataloženim u bivšim gospodarsko-političkim sustavima. Sigurno je glavni razlog tim nastojanjima osiguranje tržišta kapitala i opreme, pored ostvarivanja određenih strateških interesa.
Hrvatska država zajedno sa hrvatskom elektroprivredom trebala bi oprezno pristupiti razmatranju tih novonastalih okolnosti vodeći računa o hrvatskim dugoročnim interesima.
Osobito pomno treba razmatrati i oprezno prihvaćati ponude tzv. neovisnih proizvođača električne energije (IPP, Independent Power Producer) koji se javljaju s raznih strana, nudeći kapital i znanje, radi izgradnje, korištenja u određenom razdoblju i predaje elektrana nakon toga Hrvatskoj elektroprivredi. Cijena otkupa tako proizvedene energije, obveze prema zaštiti okoline pri tome, uvjeti preuzimanja te energije, udjel domaćeg znanja, proizvodnje opreme i izvođenja radova, elementi su koje treba utvrditi na način koji udovoljava hrvatske gospodarske, socijalne i elektroprivredne interese. Ako to nije moguće, mora se ići na neposredno nalaženje kapitala potrebnog za građenje, pa čak alternativno razmatrati i rješenja s planiranim uvozom električne energije u stanovitom kraćem predstojećem razdoblju. Dugoročno, treba ustrajati na opredjeljenju o hrvatskoj elektroenergetskoj neovisnosti. Stalno treba voditi računa da cijena kWh treba biti analitički okvir za sve buduće odnose u hrvatskoj elektroprivredi. Ne bi se smjelo dozvoliti da putem stvaranja bilo kakvih odnosa u hrvatskoj elektroprivredi dolazi do prelijevanja kapitala iz hrvatskog gospodarstva izvan hrvatskih granica.
Na električnu energiju nužno je gledati kao na dobro od javnog interesa, kojim se naprosto mora opskrbiti sve građane, ustanove, tvrtke, na cijelom državnom području, danas i u sagledivom vremenu unaprijed, te stoga ne može biti prepuštena potpuno slobodnom tržištu, na kojem bi osnovni cilj bio maksimiranje imovine i dobiti putem proizvodnje, prijenosa i distribucije električne energije, Kilovatsat nije roba kao druga, ne da se uskladištiti, on ne nosi zaštitni znak proizvodnje.
Objektivno monopolni položaj elektroprivrede, država - čak i građani - trebaju nadzirati, uspostavom odgovarajućih kontrolnih mehanizama, a među najvažnijim su državni utjecaj na cijenu električne energije, nepristrani nadzor zaštite okoliša, te zaštita imovine i drugih interesa pri izgradnji objekata. Pri tome, na osnovi strategije razvoja HEP-a koju treba usvojiti, cijena treba osigurati potrebnu prostu i proširenu reprodukciju elektroprivrede.
Paralelno, trebalo bi postići odgovoran društveni koncenzus o tome što je u tim područjima podložno potencijalnoj privatizaciji, u kojoj mjeri i prema kakvim ponuditeljima za otkup dionica. Različit pristup trebalo bi imati prema postojećim i novim hidroelektranama (isključivo koriste opće prirodno dobro Hrvatske), prema postojećim termoelektranama (u koje treba ulagati radi povećanja učinkovitosti i smanjenja opterećenja okoline), novim termoelektranama (za koje treba osigurati velika investicijska sredstva), prijenosnoj mreži i upravljanju elektroenergetskim sustavom (što osigurava funkcioniranje sustava u skladu s državnim/javnim interesom), distribuciji (koja je najizloženija potencijalnoj privatizaciji, ali u izabranom i najvjerojatnije ne stranom udjelu), te malim i industrijskim izvorima električne energije (koje treba poticati i otpočetka razvijati na privatnoj osnovi).
Razvidno je da u novonastalim odnosima hrvatska industrija ima i imat će značajnu ulogu u ostvarenju navedenih ciljeva. pri tome država preko svojih institucija će morati uvoditi reda u odnose hrvatska elektroprivreda - industrija i obrnuto, kako bi se izbjegle slabosti prijašnjeg ekonomskog sustava, a isto tako onemogućila nekorektna konkurencija stranih proizvođača. Pri tome stalno treba imati na umu da je hrvatska elektroprivreda veliko tržište za jedne i za druge.
Jasno je da su dugoročni ciljevi hrvatskog gospodarstva rast industrijske proizvodnje, rast standarda i zaposlenosti. U toj težnji pripomoći će i naš rad kako pojedinačno tako i kroz određene institucije i organizacije kao što je između ostalih i Hrvatski komitet CIGRE.

Predsjednik HK CIGRE
Milan Bobetko