

OKVIRI RAZUMNIH RJEŠENJA ZA PRILAGODBU POSTOJEĆIH POGONA SEKTORA ZA TERMoeLEKTRANE HEP-a PROMJENAMA GRANIČNIH VRIJEDNOSTI EMISIJA U ZRAK

Dr. sc. Nikola B a r b a l i ć – mr. sc. Damir K o p j a r, Zagreb

UDK 338.49:621.31.22
PREGLEDNI ČLANAK

Razmatrane su mogućnosti prilagodbe proizvodnih jedinica Sektora za termoelektre HEP-a promjenama graničnih vrijednosti emisije, koje su propisane prema prijelaznim i završnim odredbama Uredbe o graničnim vrijednostima emisije u zrak iz stacionarnih izvora. Ukazano je na opći trend promjena emisijskih normi u svijetu i na njihov utjecaj na postupak propisivanja emisijskih normi u Hrvatskoj.

Značajnost promjena graničnih vrijednosti emisije ocijenjena je prema tzv. prvim i kontinuiranim mjerenjima emisije u proizvodnim pogonima Sektora za termoelektre. Izdvojeni su slučajevi emisija onečišćujućih tvari za koje treba poduzeti prikladne mjere, radi prilagodbe promijenjenim graničnim vrijednostima emisije, i određen je njihov poredak prema važnosti. Nabrojene su i analizirane objektivne mogućnosti rješavanja problema prilagodbe promjenama graničnih vrijednosti emisije u okviru razumnih rješenja.

Ključne riječi: emisijske norme, propisi, prijelazne odredbe, termoelektre, Hrvatska elektroprivreda, mjere prilagodbe, razumna rješenja.

1. UVOD

Prema poglavlju "Prijelazne i završne odredbe", članak 124. – 135., Uredbe o graničnim vrijednostima emisije onečišćujućih tvari u zrak iz stacionarnih izvora [1] (Uredba GVE), granične vrijednosti emisije (GVE) onečišćujućih tvari znakovitih za rad pogonskih jedinica Sektora za termoelektre (STE) Hrvatske elektroprivrede (HEP), koje su se primjenjivale za "postojeća" postrojenja, trebaju se promijeniti na niže/strože vrijednosti, i to: dijelom od 1. srpnja 2002., dijelom od 1. srpnja 2004. godine. S obzirom na sadašnji i budući rad proizvodnih jedinica STE-a, nužno je ukazati na značenje propisanih promjena GVE te postaviti zadatke koje valja obaviti u cilju njihova udovoljenja. Posebice valja upozoriti na slučajeve u kojima su strože GVE propisane na temelju neobjektivnih procjena, takvih da se udovoljenje GVE ne može ostvariti s pomoću razumnih (tj. ekonomski opravdanih) tehničkih mjera. Za spomenute slučajeve trebat će, uz dovoljno argumenata i dokaza, zatražiti ispravke u navedenim izmjenama Uredbe GVE.

Navest će se, ukratko, bitne odrednice zadataka koje pred STE postavljaju prijelazne i završne odredbe Uredbe GVE.

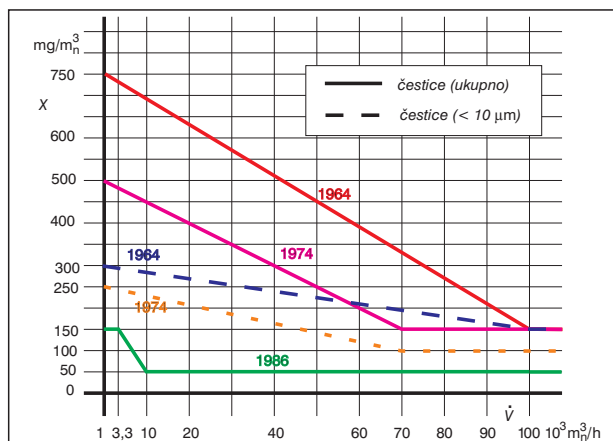
2. OPĆI, OČEKIVANI TREND PROMJENA GVE

Granične vrijednosti emisija onečišćujućih tvari u zrak iz stacionarnih izvora (GVE) ustanovljene su u Hrvat-

skoj Uredbom GVE, u prosincu 1997. godine. Zakonom o zaštiti zraka [2] dano je ovlaštenje predstavničkom tijelu jedinica lokalne samouprave da može, na svom području, donijeti strože propise od propisanih Uredbom GVE. Dužnost poslodavaca, vlasnika ili korisnika stacionarnog ili difuznog izvora onečišćenja zraka jest [2]:

- izvore onečišćenja zraka izgraditi i/ili proizvesti, odnosno opremiti, rabiti i održavati tako da ne ispuštaju u zrak onečišćujuće tvari iznad GVE,
- osigurati redovito praćenje (mjerenje i/ili proračunavanje) emisije iz izvora i o tome voditi očevidnik,
- osigurati redovito dostavljanje podataka o emisijama u katastar emisija u okoliš.

Granične vrijednosti emisije temeljno su oruđe u provođenju zaštite i poboljšanja kakvoće zraka. Na to upućuje učestalost i intenzitet njihovih promjena u svijetu u zadnjih nekoliko desetljeća. Redovito su to postrojenja. U prilog navedenoj tvrdnji, na slici 1. prikazane su promjene 'temeljne vrijednosti' – X emisijske norme za čestice, u ovisnosti o količini otpadnih plinova \dot{V} , prema njemačkim propisima (TA Luft) 1964., 1974. i 1986. godine [3, 4, 5] koji su, također, bili temeljem i odgovarajućih propisa u Europskoj uniji. Za prikazane promjene emisijskih normi za čestice može se ustvrditi da su bile opravdane i primjerene njemačkom financijskom potencijalu i stupnju tehnološkog razvoja. Naime, prije tri do četiri desetljeća istraživanja su upozorila na izuzetno veliki zdravstveni rizik pri udi-



Slika 1. Temeljne vrijednosti emisijske norme za čestice u ovisnosti o količini otpadnih plinova, prema TA Luft 1964., 1974. i 1986.

sanju čestica manjih od oko $10 \mu\text{m}$, koje prodiru duboko u pluća i, posebice, čestica manjih od oko $0,1 \mu\text{m}$, koje prodiru i u plućno tkivo. Kao rezultat tih, tada novih saznanja, emisijske norme za čestice su postupno mijenjane, uz uvažavanje teškoća koje promjene emisijskih normi donose postojećim postrojenjima: uz objektivnu procjenu nužnosti ili obujma prilagodbe i rokova u kojima se te prilagodbe mogu obaviti. Usporedo su poticani, i financijski su podržani, istraživanja i razvoj u području odvajanja čestica, koji su prilagodbu novim emisijskim normama omogućili uz dosljednu primjenu BATNEEC-načela (*Best Available Technology Not Entailing Excessive Costs*). No, teško bi bilo dokazivati jesu li promjene (postroženja) emisijskih normi i u 'ostalim' onečišćujućim tvarima rezultat pouzdanih istraživačkih postupaka, ili su samo rezultat pritiska javnosti, koji se neprekidno usmjerava k industrijskim pogonima, posebice termoenergetskim postrojenjima. Takvo ili slična pitanja bitno je postaviti s obzirom na dosadašnji i budući izbor *GVE*, koji bi trebalo prilagoditi našim osobitim uvjetima i objektivnim mogućnostima. Tada, u poimanju značenja BATNEEC-načela valja ukazati na relativnost značenja pojmova *available technology* (raspoloživa tehnologija) ili *excessive costs* (prekomjerni troškovi), koji u hrvatskim ili, npr., njemačkim uvjetima određuju različite razine vrijednosti.

Činjenica jest da je izbor *GVE* ograničen uvjetima koje nalažu međunarodne obveze Hrvatske i njih se nedvojbeno mora ispuniti, ali, isto tako, nema uvijek dovoljno opravdanja takve uvjete bitno postrožavati nekritičkim prihvaćanjem uzora iz zemalja s najstrože postavljenim emisijskim ograničenjima.

3. BITNE PROMJENE *GVE* ZA POGONE STE-a, PREMA PRIJELAZNIM I ZAVRŠNIM ODREDBAMA UREDBE *GVE*

U poglavlju "Prijelazne i završne odredbe" Uredbe *GVE* propisane su *GVE* i rokovi njihove primjene za

male, srednje i velike uređaje za loženje te za plinske turbine, koji su postojali ili su bili u izgradnji 1. siječnja 1998. ("postojeći" uređaji). Prema propisanoj razredbi u Uredbi *GVE*, od "postojećih" uređaja za loženje u STE-u, samo 4 uređaja (3 kotla u TE-TO Osijek i 1 kotao u EL-TO Zagreb) spadaju u razred srednjih ($< 50 \text{ MW}$), a svi ostali su u razredu velikih ložišta ($> 50 \text{ MW}$). Prema razredbi plinskih turbina u Uredbi *GVE*, sve "postojeće" plinske turbine STE-a su unutar sljedećih razreda:

- prema turbinskoj snazi (članak 90. Uredbe *GVE*): $10 - 100 \text{ MW}$;
- prema količini otpadnih plinova (članak 90. i 91. Uredbe *GVE*): $> 60\,000 \text{ m}^3/\text{h}$.

U tablici 1. prikazane su sve promjene *GVE* (u prijelaznim i završnim odredbama Uredbe *GVE*) bitne za "postojeće" pogonske jedinice STE-a, prema njihovoj strukturi, razredbi i vrsti korištenog goriva, s naznakom rokova njihova nastupanja. Iz pregleda u tablici 1. izuzete su, iako važeće u pojedinim ložišta, promjene *GVE* za dimni broj i zacrnjenje – zbog teškoća njihova cjelovitog određenja i/ili vrednovanja te nesvrhovitosti njihova kontinuiranog mjerenja.

Valja uočiti, prema podacima u tablici 1., da u srednjih ložišta na plin i ulje "bitne promjene" *GVE* postoje samo za nadzor emisija čestica te da su one istovjetne analognim, "bitnim promjenama" *GVE* za čestice u velikih ložišta na plin i ulje. Zbog toga u daljim izlaganjima "slučajevе" srednjih ložišta nije nužno posebno izdvajati.

Tablica 1. Pregled bitnih promjena *GVE* za pogone STE-a

| Uređaj /gorivo/ | Onečišćujuća tvar | <i>GVE</i> -koncentracija/(mg/m^3) | |
|---------------------------------|-------------------|--|------|
| | | drugi rok nastupanja 1. 7. 2004. promjena <i>GVE</i> : ↑ | |
| srednja ložišta /plin/ | čestice | 10 | 5 |
| srednja ložišta /EL, T-ulje/ | čestice | 100 | 50 |
| velika ložišta /ugljen/ | čestice | 200 | 100 |
| | NO_x | 1200 | 650 |
| velika ložišta /plin/ | čestice | 10 | 5 |
| | NO_x | 700 | 350 |
| velika ložišta /T-ulje/ | čestice | 100 | 50 |
| | NO_x | 900 | 450 |
| | SO_2 | 5100 | 1700 |
| plinske turbine /prirodni plin/ | NO_x | 450 | 150 |
| | SO_2 | 600 | 200 |
| | | usiljeni rok nastupanja 1. 7. 2002. ↓ promjena <i>GVE</i> : | |

4. EMISIJA "BITNIH" ONEČIŠĆUJUĆIH TVARI U "POSTOJEĆIM" POGONIMA SEKTORA ZA TERMOELEKTRANE HEP-a

Značajnost promjena *GVE* za pogone STE-a valja procijeniti na temelju njihovih "tipičnih" vrijednosti. U tu svrhu koristit će se sljedeći izvori mjernih rezultata:

- "prva mjerenja" emisije onečišćujućih tvari u zrak, koja su od listopada 1998. do travnja 1999. obavljena u svim "postojećim" pogonima STE-a [6];
- mjesečni izvještaji o kontinuiranim mjerenjima emisije onečišćujućih tvari u pogonima STE-a, travanj – kolovoz 2001. [7].

S obzirom na to da program uspostave kontinuiranog mjerenja onečišćujućih tvari nije još u cijelosti završen u svim pogonima HEP-a, radi jednoobraznosti i usporedi-

vosti, u ovom će se radu koristiti rezultati "prvih mjerenja", s jedinom iznimkom mjerenja u TE Plomin 1, za koja će se koristiti rezultati kontinuiranog mjerenja, zbog dogradnje električnog odvajača nakon provođenja "prvih mjerenja". Tako odabrana baza mjernih podataka dovoljna je za procjenu očekivanih (uobičajenih) emisijskih vrijednosti onečišćujućih tvari čije se *GVE* i njihove promjene navode u prethodnom odjeljku (tablica 1.). Izvod iz tih rezultata mjerenja, dan u tablici 2., smatrat će se reprezentativnim za razmatranje problema i postavku zadataka koje bi valjalo riješiti radi prilagodbe i/ili udovoljenja propisanim promjenama *GVE* (kad god je to nužno, pri navođenju *GVE* radi naglašavanja rokova njihova stupanja na snagu – 1. 7. 2002. ili 1. 7. 2004., koristit će se oznake, redom, *GVE02* i *GVE04*).

Tablica 2.a) Reprezentativne emisijske vrijednosti: ložište STE-a (ugljen) – TE Plomin 1 [7]

| Onečišćujuća tvar | Razdoblje | Broj rezultata mjerenja | Koncentracija (24 h)/(mg/m _n ³) | | | | Broj prekoracačenja <i>GVE04</i> |
|-------------------|---------------|-------------------------|--|------------|------------------|--------------------|----------------------------------|
| | | | min. | maks. | srednja vrijedn. | <i>GVE</i> /iznos/ | |
| čestice | travanj | 27 | 14 | 106 | 42 | <i>GVE04</i> /100/ | 2 |
| | svibanj | 23 | 33 | 103 | 60 | | 1 |
| | lipanj | 4 | 4 | 53 | 36 | | 0 |
| | srpanj | 28 | 79 | 187 | 131 | | 25 |
| | kolovoz | 28 | 66 | 213 | 117 | | 18 |
| | ukupno | 110 | 4 | 213 | 87 | | 46 (42 %) |
| NO _x | travanj | 27 | 546 | 705 | 549 | <i>GVE04</i> /650/ | 8 |
| | svibanj | 23 | 574 | 690 | 634 | | 9 |
| | lipanj | 30 | 106 | 649 | 310 | | 0 |
| | srpanj | 28 | 100 | 647 | 470 | | 0 |
| | kolovoz | 28 | 410 | 634 | 490 | | 0 |
| | ukupno | 136 | 100 | 705 | 482 | | 17 (13 %) |

Tablica 2.b) Reprezentativne emisijske vrijednosti: ložišta STE-a /prirodni plin/ [6]*

| Onečišćujuća tvar | Vrijednost | Koncentracija/(mg/m _n ³) |
|-------------------|--------------------------------|---|
| NO _x | minimalna | 130 |
| | maksimalna | 577 |
| | medijan | 162 |
| | broj rezultata mjerenja | 14 |
| | broj prekoracačenja <i>GVE</i> | 4 (29 %) |
| | | <i>GVE04</i> = 350 |

* koncentracija čestica nije mjerena, zbog njihovih vrlo malih koncentracija pri izgaranju prirodnog plina

Tablica 2.c) Reprezentativne emisijske vrijednosti: ložišta STE-a /teško loživo ulje/ [6]

| Onečišćujuća tvar | Vrijednost | Udio S/% u gorivu | Koncentracija/(mg/m ³) |
|-------------------|-------------------------|-------------------|------------------------------------|
| čestice | minimalna | 2,5 | 79 |
| | maksimalna | 2,1 | 567 |
| | medijan | 2,5 | 175 |
| | broj rezultata mjerenja | 18 | |
| | broj prekoračenja GVE | 18 (100 %) | |
| | eksperiment | 1 | 70 |
| onečišćujuća tvar | vrijednost | udio N/% u gorivu | koncentracija/(mg/m ³) |
| NO _x | minimalna | 0,2 – 0,3 | 161 |
| | maksimalna | | 1262 |
| | medijan | | 726 |
| | broj rezultata mjerenja | 20 | |
| | broj prekoračenja GVE | 16 (80 %) | |
| onečišćujuća tvar | vrijednost | udio S/% u gorivu | koncentracija/(mg/m ³) |
| SO ₂ | minimalna | 2,6 | 2514 |
| | maksimalna | 2,5 | 4008 |
| | medijan | 2,5 | 3353 |
| | broj rezultata mjerenja | 19 | |
| | broj prekoračenja GVE | 19 (100 %) | |
| | eksperiment | 1 | 1515 |

Tablica 2.d) Reprezentativne emisijske vrijednosti: plinske turbine STE-a /prirodni plin/ [6]*

| Onečišćujuća tvar | Vrijednost | Koncentracija/(mg/m ³) |
|-------------------|-------------------------|------------------------------------|
| NO _x | minimalna | 268 |
| | maksimalna | 397 |
| | medijan | 308 |
| | broj rezultata mjerenja | 6 |
| | broj prekoračenja GVE | 6 (100 %) |

* koncentracija SO₂ nije mjerena, zbog vrlo malog udjela sumpora u prirodnom plinu

5. POSTAVKA PROBLEMA I OKVIRI RAZUMNIH RJEŠENJA

Usporedba reprezentativnih emisijskih vrijednosti s odgovarajućim "novim" GVE (odjeljak 4.) u cijelosti postavlja probleme koji se moraju žurno (do 1. 7. 2004.) i vrlo žurno (do 1. 7. 2002.) riješiti.

S obzirom na to da se moraju odrediti mjere i zahvati koji će se primijeniti i/ili obaviti na "starim" postrojenjima, razumna rješenja valja tražiti u okviru ili primjene primarnih postupaka za smanjenje emisija onečišćujućih tvari i/ili primjene administrativnih mjera, putem propisivanja posebnih uvjeta za pojedinačne slučajeve, i/ili sl. Npr., razumna bi rješenja mogla biti:

a) poboljšanja u postupku izgaranja (pretežito radi smanjenja emisije NO_x);

- b) poboljšanje kakvoće goriva ili zamjena goriva (pretežito radi smanjenja emisije čestica i SO₂);
- c) rad plinskih turbina do 2000 sati godišnje (primjena članka 91. Uredbe GVE) i ograničavanje rada velikih uređaja za loženje na 2000 sati godišnje ili na ukupno 30 000 sati rada nakon 1. srpnja 2004. (primjena članka 134. Uredbe GVE);
- d) izmjene u Uredbi GVE kojima bi se uvažile objektivne mogućnosti prilagodbe "postojećih" postrojenja STE-a strožim emisijskim uvjetima.

Prema usporedbama u odjeljku 4., niti u jednom razredu uređaja (a – d) i niti za koju od mjerenih "mjerodavnih" onečišćujućih tvari, reprezentativne emisijske vrijednosti ne udovoljavaju "novim" GVE. Za svaki od tih "negativnih" rezultata naznačit će se okviri mogućih, razumnih rješenja.

5.1. Ložište STE-a /ugljen/ – TE Plomin 1

Prema rezultatima u tablici 2.a, u razdoblju (1. 4. 2001. – 31. 8. 2001.) $GVE04$ za čestice prekoračen je u 87/110 = 46 % izmjerenih vrijednosti i $GVE04$ za NO_x u 17/136 = 13 % izmjerenih vrijednosti.

- Uzroci prekoračenja $GVE04$ za čestice mogli bi biti: nepodešenost električnog odvajača (koji je još u garancijskom roku) i/ili uporaba ugljena s izuzetno nepovoljnim (najčešće većim) vrijednostima specifičnog otpora letećeg pepela (povoljan raspon: $10^4 - 2 \cdot 10^{10} \Omega \text{ cm}$). U potonjem slučaju bilo bi uputno uvjetovati nabavu ugljena, pored ostalog, i povoljnim elektrotopnim karakteristikama njegova letećeg pepela, ili primijeniti mjere za poboljšanje električnog otpora letećeg pepela, npr., s pomoću ubrizgavanja u dimne plinove vode, SO_3 , amonijaka.
- Prekoračenja $GVE04$ za NO_x zabilježena su u 13 % izmjerenih rezultata, s tim što najveće prekoračenje iznosi $705 \text{ mg/m}_n^3 = 1,08 \cdot GVE04$.

S obzirom na vrlo male iznose zabilježenih prekoračenja, čini se mogućim da bi se uz određena ograničenja u upravljanju kotlom, i bez posebnih gradbenih zahvata, moglo osigurati udovoljenje $GVE04$. No, bilo bi uputno prethodno istražiti vezu između udjela N u ugljenu i promjena koncentracije NO_x pri izgaranju, jer tada bi bilo jasnije je li uopće nužno uvođenje "složenijih" primarnih mjera radi otklanjanja uzroka nastajanja NO_x pri izgaranju. Sve te (primarne) mjere jesu primjena jednoga ili kombinacija od više sljedećih postupaka [8]: (i) smanjenja temperature izgaranja, (ii) smanjenja udjela O_2 u prvoj zoni izgaranja, (iii) smanjenja vremena zadržavanja u visokotemperaturnoj zoni. Pri možebitnom izboru pri-

marnog postupka valja u obzir uzeti značajke kotla, npr. za TE Plomin 1: suho odvođenje šljake – što otvara prostor primjeni mjera koje se temelje na smanjenju temperature izgaranja; tangencijalno uvođenje goriva – što znači da su u prvoj zoni izgaranja tokovi goriva i sekundarnog zraka djelomično razdvojeni (stratificirani tokovi) te je smanjen njihov međusobni kontakt, tj. udio O_2 u toj zoni izgaranja [9].

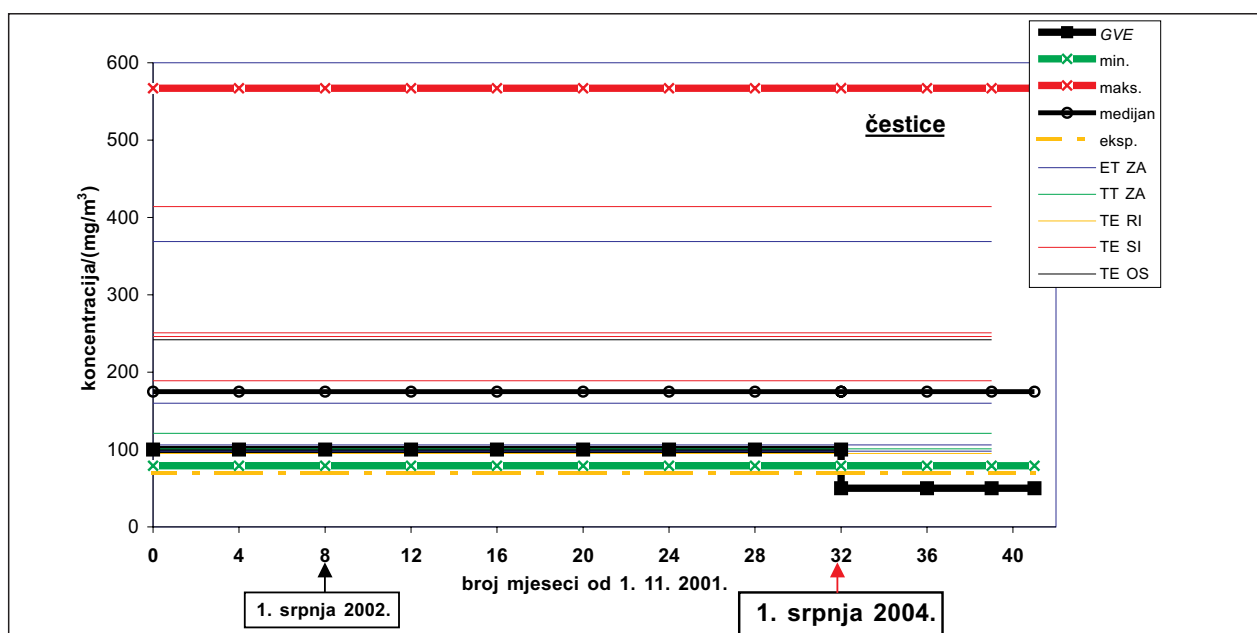
Primjena odredbi članka 134. Uredbe GVE, o 2000 h/a rada, ili ukupno 30 000 h rada, nakon 1. 7. 2004., rješava i problem čestica i problem NO_x u TE Plomin 1. Zacijelo, takvo rješenje ovisi o proizvodnom programu HEP-a.

5.2. Ložišta STE-a /plin/

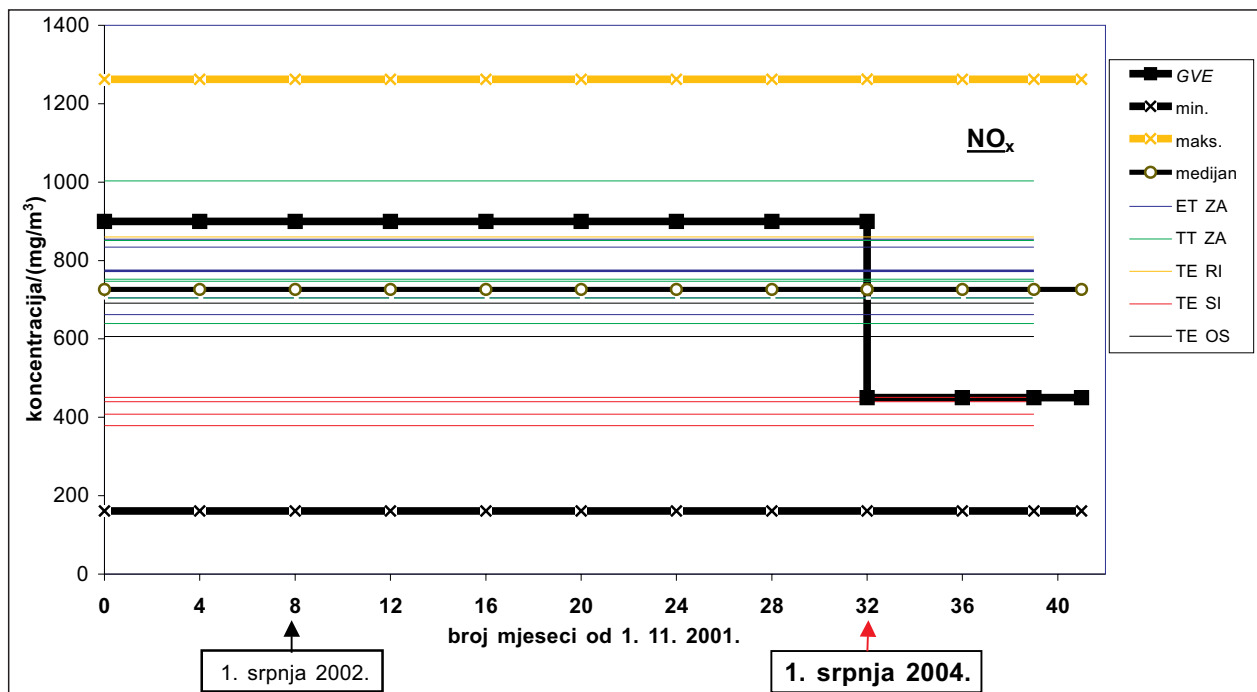
U ovih ložišta postoji samo problem udovoljenja $GVE04$ za NO_x . Maksimalno prekoračenje zabilježeno je u iznosu $1,6 \cdot GVE04$, s tim što medijan iznosi $0,46 \cdot GVE04$. S obzirom na to da se u pogonima STE-a plin sagorijeva u ložištima u kojima se sagorijeva i teško loživo ulje, pri čemu je problem NO_x -emisija puno izraženiji, prirodno je rješenja tražiti u okviru razmatranja zadatka smanjenja NO_x -emisija pri izgaranju teškog loživog ulja u istim ložištima.

5.3. Ložišta STE-a /teško loživo ulje/

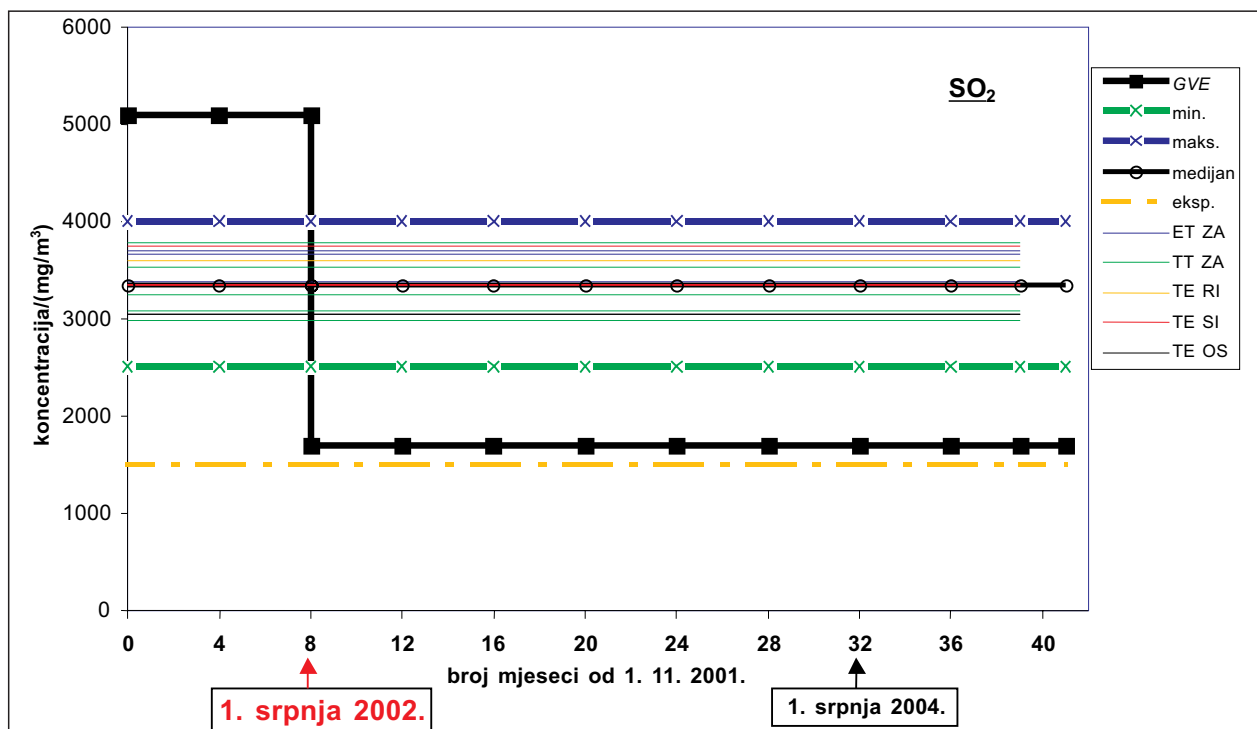
Izmjereno je 100 % emisija čestica iznad odgovarajućeg $GVE04$, 80 % emisija NO_x iznad odgovarajućeg $GVE04$, 100 % emisija SO_2 iznad odgovarajućeg $GVE02$ (tablica 2.c). Radi isticanja značajnosti spomenutih prekoračenja, na slikama 2., 3., 4. su, redom, za čestice, NO_x , SO_2 prikazani svi izmjereni rezultati i odgovarajuće GVE u ovisnosti o rokovima nastupanja promjena.



Slika 2. Ložišta STE-a /teško loživo ulje/: Rezultati mjerenja emisije čestica u usporedbi s graničnim vrijednostima emisije u zrak (GVE), u odnosu prema razdoblju njihova važenja



Slika 3. Ložišta STE-a /teško loživo ulje/: Rezultati mjerenja emisije NO_x u usporedbi s graničnim vrijednostima emisije u zrak (GVE), u odnosu prema razdoblju njihova važenja



Slika 4. Ložišta STE-a /teško loživo ulje/: Rezultati mjerenja emisije SO₂ u usporedbi s graničnim vrijednostima emisije u zrak (GVE), u odnosu prema razdoblju njihova važenja

Radi procjene reprezentativnosti izmjerenih emisijskih vrijednosti u ložištima pri izgaranju teškog loživog ulja, izvršit će se proračun s pomoću emisijskih faktora koje U. S. Environmental Protection Agency (EPA) preporučuje za izračunavanje emisija pri izgaranju teškog loživog ulja ("ostatno ulje br. 6" – re-

sidual fuel oil no. 6) bez primijenjenih mjera za smanjenje emisije, u ovisnosti o masenom udjelu S ili N u gorivu [9]:

- čestice:

$$E/(mg/L\text{ goriva}) = 1250 \cdot (S/\%) + 380 \tag{1}$$

- NO_x:

$$E/(\text{mg/L goriva}) = 2750 + 50000 \cdot (N/\%)^2 \quad (2)$$

- SO₂:

$$E/(\text{mg/L goriva}) = 19000 \cdot (S/\%) \quad (3)$$

gdje su S i N maseni udjeli, redom, sumpora i dušika u gorivu.

S obzirom na to da jednačbe (1) – (3) nisu preuzete iz izvornika, nužno je, bar grubo, potvrditi opravdanost njihove uporabe:

- Iz jednačbe (1) slijedi da emisija čestica ovisi: (i) o udjelu S u gorivu, (ii) o (približno) nepromjenjivim, "prosječnim" uzrocima nastanka "ostalog" dijela čestica. Ovisnost nastanka čestica o udjelu S u gorivu je očekivan, jer oko 5 % sumpora iz goriva (čak i više uz katalitičko djelovanje vanadija) prelazi u SO₃ i, dalje, u sumpornu kiselinu te, konačno, zbog prisustva Ca, Na, Mg itd., u sulfate [10]. Drugi, nepromjenjivi dio jednačbe (1), uključujući i koeficijent uz S , odnosi se na, vjerojatno vrlo stabilan, prosječni sastav minerala i metala u američkom "ostatnom ulju br. 6".
- U jednačbi (2), razvidno je, prvi dio se odnosi na NO_x "iz zraka", a drugi na NO_x "iz goriva". Druga potencija u drugog člana, vjerojatno, posljedica je složenog ustrojstva nastanka dušičnih spojeva.

- Jednačba (3) izravno odgovara stehiometrijskoj jednačbi nastanka SO₂ pri gustoći loživog ulja 950 kg/m³.

Za izračunavanje prema jednačbama (1) – (3) uzet će se prosječne vrijednosti sastava teškog loživog ulja (tablica 3.) koje se koristi u pogonima STE-a [11]. Pri vrednovanju rezultata dobivenih prema jednačbama (2) i (3), valja uvažavati njihovu pojednostavljenu interpretaciju složenih ustrojstava nastanka čestica i NO_x pri izgaranju loživih ulja u ložištima.

Prema podacima iz tablice 3., za odnos obujma suhih dimnih plinova i mase goriva, pri udjelu kisika u dimnim plinovima 3 %, dobiva se razmjerno uzak raspon vrijednosti: od 11,67 m_n³/kg ($C = 86 \%$, $H = 10 \%$, $S = 4 \%$) do 12,07 m_n³/kg ($C = 89 \%$, $H = 11 \%$, $S = 0$), te će se za računanje koncentracija onečišćujućih tvari koristiti vrijednost: 12 m_n³/kg.

Prema jednačbama (1) – (3) i tablici 3. slijedi:

- čestice:

$$S = 2,4 \%: c = (258 + 33) \text{ mg/m}_n^3 = (0,89 + 0,11) \cdot 291 \text{ mg/m}_n^3 = 291 \text{ mg/m}_n^3$$

$$S = 1 \%: c = (108 + 33) \text{ mg/m}_n^3 = (0,77 + 0,23) \cdot 141 \text{ mg/m}_n^3 = 141 \text{ mg/m}_n^3$$

$$\text{za } c = 50 \text{ mg/m}_n^3 = GVE04: \quad S = 0,16 \%$$

Tablica 3. Prosječne vrijednosti kakvoće teškog loživog ulja [11]

| Značajka kakvoće | Mjerna jedinica | Postupak ispitivanja | Rezultat ispitivanja |
|---|--------------------|----------------------|----------------------|
| udio ugljika (C) | % (m/m) | ASTM D 5291 | 85 – 90 |
| udio vodika (H) | % (m/m) | ASTM D 5291 | 10 – 11 |
| udio dušika (N) | % (m/m) | ASTM D 5291 | 0,2 – 0,3 |
| gustoća (15 °C) | kg/m ³ | HRN EN ISO 12185 | 968 |
| točka paljenja | °C | HRN EN 22719 | 102 |
| kinemat. viskoznost (100 °C) | mm ² /s | HRN EN ISO 3104 | 28 |
| udio sumpora (S) | % (m/m) | HRN EN ISO 8754 | 2,2* |
| ogrjevna vrijednost (donja) | MJ/kg | ASTM D 4809 | 40 |
| udio pepela | % (m/m) | HRN EN ISO 6245 | 0,05 |
| koksni ostatak (Conradson) | % (m/m) | HRN ISO 6615 | 12 |
| točka tečenja | °C | HRN ISO 3016 | 8 |
| udio vode i sedimenta | % (v/v) | HRN ISO 3734 | 0,0 (0 + 0,2) |
| udio vanadija | ppm | ISO 14597 | 120 |
| udio nikla | ppm | ISO 14597 | 40 |
| kvalitativna analiza metala: Mg, Al, Ca, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn | | | |

* u izračunu se za vrijednost udjela sumpora u gorivu uzima 2,4 %, što odgovara prosječnoj vrijednosti udjela sumpora u gorivu pri "prvim" mjerenjima [6]

- NO_x:

$$\underline{N = 0,2 \%}: \quad c = (237 + 172) \text{ mg/m}_n^3 = \\ (0,58 + 0,42) \cdot 409 \text{ mg/m}_n^3 =$$

$$\mathbf{409 \text{ mg/m}_n^3 < GVE04 = 450 \text{ mg/m}_n^3}$$

$$\underline{N = 0,3 \%}: \quad c = (237 + 387) \text{ mg/m}_n^3 = \\ (0,38 + 0,62) \cdot 624 \text{ mg/m}_n^3 =$$

$$\mathbf{624 \text{ mg/m}_n^3 > GVE04 = 450 \text{ mg/m}_n^3}$$

- SO₂:

$$\underline{S = 2,4 \%}: \quad c = \mathbf{3920 \text{ mg/m}_n^3}$$

$$\underline{S = 1 \%}: \quad c = \mathbf{1634 \text{ mg/m}_n^3}$$

$$\underline{\text{za } c = 1700 \text{ mg/m}_n^3 = GVE02}: \quad S = \mathbf{1,04 \%}$$

$$\underline{\text{za } c = 400 \text{ mg/m}_n^3 = GVE \text{ (nova ložišta)}}: \\ S = \mathbf{0,24 \%}.$$

Prema netom izračunatim pokazateljima veze između udjela sumpora u loživom ulju i emisije SO₂ u zrak, jednostavno se uočava veza između postavljanja graničnih vrijednosti za emisiju SO₂ u europskim propisima (koje nastoji slijediti i Hrvatska) i graničnih vrijednosti udjela sumpora u gorivu.

Ukupno, prema rezultatima mjerenja (tablica 2.c; slike 2. – 4.) i prethodnoj analizi, slijedi:

- čestice: Udovoljenje *GVE04* ne može se postići s pomoću primarnih mjera.
- NO_x: Mogućnost udovoljenja *GVE04* s pomoću primarnih mjera je upitno, s obzirom na iznose najvećih zabilježenih koncentracija NO_x u prvim mjerenjima, ali i prema, razmjerno "umjerenim" (i manje pouzdanim), vrijednostima koje se dobivaju s pomoću emisijskog faktora.

Primarne mjere za smanjenje emisije NO_x kod tekućih goriva jednake su već nabrojenim za kruta goriva. Njihovom pojedinačnom primjenom može se računati sa smanjenjem emisija NO_x do (40 – 50) %, s tim što se pri usporednoj primjeni više primarnih mjera ne može računati sa stupnjem odvajanja koji bi odgovarao njihovoj rednoj vezi [8]. Ipak, u prilog mogućnosti učinkovite primjene primarnih mjera u preinaci (*retrofit*), kako bi se udovoljilo emisijskim normama, navodi se primjer iz pregleda troškova preinaka za udovoljenje granične vrijednosti emisije NO_x (400 mg/m_n³ – ložišta na teško loživo ulje) u Njemačkoj, do sredine 1988. [12]: – gorivo: destilacijsko ulje; donja ogrjevna vrijednost: 42,7 MJ/kg; tip kotla: tangencijalni; snaga (korištenje kapaciteta): 450 MW_{el} (1000 h/a); smanjenje emisije NO_x: s 1090 mg/m_n³ na 350 mg/m_n³, pri 3 % O₂; primijenjene primarne mjere: preinaka gorionika, stupnjevanje dovođenja zraka, recirkulacija dimnih plinova; investicije: 17,6 DM/kW_{el}; pogonski troškovi: 0,38 Pf/g/kWh; troškovi po masi odvojenog NO_x: 1900 DM/t; preostalo radno razdoblje ložišta nije naznačeno. U navedenom se primjeru, vjerojatno, radi o povećanim troškovima u odnosu prema

uobičajenim, jer: primijenjene su tri primarne mjere za smanjenje emisije NO_x; iskorištenje kapaciteta je samo 1000 h/a; možda su kratki rokovi otplate, s obzirom na preostalo vrijeme rada termoelektrane. U istom pregledu [12] navode se primjeri prilagodbe "novim" emisijskim normama s pomoću primarnih mjera još u 7 ložišta: lignit, kameni ugljen, prirodni plin, prirodni plin – kombinirani ciklus (nijedno više ložište na loživo ulje) i troškovi se kreću u sljedećim rasponima: investicije (11,1 – 95,8) DM/kW_{el}; pogonski troškovi (0,039 – 0,38) Pf/g/kWh; trošak po masi uklonjenog NO_x (310 – 2700) DM/t.

Radi usporedbe, npr. za TE Rijeka, prema Katastru emisije za 1998. godinu [13] slijedi: godišnja emisija NO_x iznosi 2395 t/a, uz 45 % korištenja kapaciteta i srednju koncentraciju NO_x 692 mg/m_n³ (u prvim mjerenjima je u TE Rijeka zabilježeno 860 mg/m_n³ i 1262 mg/m_n³). Ako se pretpostavi da se udovoljenje *GVE04* = 450 mg/m_n³ može ostvariti sa stupnjem odvajanja od prosječno 60 %, uz trošak od, npr., 1000 DM/t (što je polovica nego u navedenom "nje-mačkom" primjeru), godišnji bi troškovi za smanjenje emisije NO_x iznosili, prema takvoj (gruboj) procjeni, 1 400 000 DM/a.

- SO₂: S pomoću primarnih mjera udovoljenje *GVE02* se može postići jedino uz uporabu loživog ulja s masenim udjelom sumpora do 1 %.

5.4. Plinske turbine STE-a /prirodni plin/

Prema rezultatima u tablici 2.d svi rezultati prvih mjerenja emisije NO_x najmanje dvostruko prekoračuju *GVE02* = 150 mg/m_n³. Međutim, na temelju vizualnog promatranja analognih zapisa kontinuiranog mjerenja emisije NO_x u PTE (EL-TO – Zagreb) za polusatno vrijeme usrednjavanja [7], može se, doduše grubo, procijeniti da se *GVE02* (koja je postavljena za vrijeme uzorkovanja 24 h) prekoračuje u oko 30 % slučajeva i to do vrijednosti od oko 180 mg/m_n³. Takav "nalaz" valja provjeriti i za plinske turbine u KTE Jertovec i TE-TO Osijek. No, bez obzira na rezultate tih, budućih mjerenja, u cilju udovoljenja *GVE02* valja svakako računati na primjenu primarnih mjera za smanjenje emisije NO_x.

U plinskim turbinama dušik iz goriva u cijelosti oksidira u NO_x, ali, uobičajeno je mnogo veći udio NO_x nastao u procesu sagorijevanja. Na taj udio veliki utjecaj imaju i atmosferski uvjeti i opterećenje turbine (npr., pri relativnoj vlazi 60 % i temperaturi 30 °C emisija NO_x je oko 20 % manja nego pri ISO-standardnim uvjetima atmosfere [8]). Načelno, mjere smanjenja emisije NO_x jednake su već nabrojenim u slučaju razmatranja ložišta na kruta i tekuća goriva. No, za slučajeve "brze" preinake (*retrofita*) čini se da je najpogodniji "mokri" postupak (ubrizgavanje pare ili vode), kojim se utječe na smanjenje temperature izgaranja. Njime se, pri punom opterećenju, može postići stupanj odvajanja i do oko 75 %, no, pritom se pozornost mora

pokloniti i emisiji CO [8]. Za plinske se turbine koristi maseni odnos voda/gorivo od 0,5 do 1,5, ali se za odnose veće od 1 naglo povećava emisija CO i HC: do odnosa voda/gorivo od približno 1 emisija CO i HC raste vrlo sporo i, zatim, vrlo naglo [10]. Dodavanje vode povećava snagu, i do 16 %, ali se tada, zbog smanjenja temperature plinova, smanjuje termodinamički stupanj turbinskog ciklusa, do 4 % [9, 14]. Nadalje, voda koja se injektira mora biti demineralizirana, da ne bi oštećivala turbinu, što povećava troškove smanjenja emisije NO_x [9].

6. NUŽNOST IZMJENA U UREDBI GVE

Prema razmatranjima u odjeljku 5., te uzimajući u obzir značenje pojedinih pogona STE-a u energetske proizvodnji i opskrbi, može se među njima postaviti poredak prema važnosti/žurnosti izvršenja zadataka za udovoljenje GVE, i to:

1. Ložišta /teško loživo ulje/ – SO₂: rok je 1. 7. 2002.; jedina primarna mjera s pomoću koje bi se problem mogao riješiti jest uporaba goriva s udjelom sumpora manjim od 1 %, što je u doglednom vremenu praktički neostvarivo.
2. Plinske turbine /prirodni plin/ – NO_x: rok je 1. 7. 2002.
3. Ložišta /teško loživo ulje/ – čestice: ne može se riješiti s pomoću primarnih mjera.
4. Ložišta /teško loživo ulje/ – NO_x: vjerojatno je nužna usporedna primjena više primarnih mjera, što bitno utječe na povećanje troškova smanjenja emisije.
5. Ostali slučajevi (ložište TE Plomin 1 /ugljen/ – čestice i NO_x; ložišta /prirodni plin/ – NO_x): mogu se riješiti ili s pomoću samo poboljšanja/prilagodbi u vođenju pogona ili s pomoću povremene primjene primarnih mjera.

Rješenja problema nabrojenih od 1. do 3. mora se tražiti u promjenama odredaba Uredbe GVE. Uputno bi bilo, i objektivno, problemima s poretkom važnosti 1., 2., 3. pridružiti i problem s poretkom važnosti 4. (teško ulje – NO_x), zbog možebitno velikih potrebnih ulaganja, neopravdanim u odnosu prema preostalom razdoblju rada odgovarajućih 'postojećih' pogona.

Prema ranijim razmatranjima, za probleme s poretkom 2. – 4. je posve jasno zašto ih je nužno rješavati izmjenama odgovarajućih odredbi Uredbe GVE. Više pozornosti potrebno je pokloniti problemu s poretkom važnosti 1., tj. valja upozoriti na činjenicu da razmatrano rješenje utemeljeno na poboljšanju kakvoće goriva nije realno ostvarivo.

Hrvatska je stranka Protokola o daljnjem smanjenju emisije sumpora [15], prema kojem su joj propisane obveze u smanjenju emisije SO₂, u odnosu prema 1980. godini: 17 % do 2005.; 22 % do 2010. Tim protokolom preporučene su i granične vrijednosti emisije SO₂ za nova postrojenja (identične su hrvatskim GVE). Te

norme nisu obvezne za postojeće objekte i, općenito, za takva se postrojenja dopušta propisivanje emisijskih normi "prema potrebi", uz uvjet da država ispuni preuzetu obvezu o smanjenju ukupne emisije SO₂, na državnoj razini. Tako se pitanju postojećih postrojenja pristupa i u Protokolu o suzbijanju zakiseljavanja, eutrofikacije i prizemnog ozona [16] – (nije stupio na snagu). Dakle, prema navedenim odrednicama, u oba spomenuta protokola, mjere za smanjivanje ukupne emisije sumpora na državnoj razini ne treba tražiti samo u okviru energetskeg sektora. Tako se, u navođenju mjera za djelotvornu zaštitu zraka u Hrvatskoj [17] s razlogom ustvrđuje: "Glavni zakonodavni instrumenti za smanjenje emisije sumpora su Uredba o graničnim vrijednostima onečišćujućih tvari u zrak iz stacionarnih izvora i Uredba o standardima kakvoće tekućih naftnih goriva." Zbog toga je u Uredbi o standardima kakvoće tekućih naftnih goriva [18] za graničnu vrijednost količine sumpora u teškom ulju izabran iznos 1 %, ali je, istodobno, domaćim proizvođačima dopuštena granična vrijednost 4 % – do 1. 7. 2002. (dakle, kad na snagu treba stupiti GVE02 za SO₂). Zbog pristupanja Hrvatske WTO-u, da bi se ispunio uvjet o istom položaju na tržištu svih proizvođača, forma dopuštenja se mijenja, u Izmjenama i dopunama [19] spomenute Uredbe [18], tako što sad Ministarstvo gospodarstva, po prethodno pribavljenom mišljenju Ministarstva zaštite okoliša i prostornog uređenja, može izdati dozvolu o količini teškog ulja koje se smije, godišnje, stavljati na domaće tržište, a koje ne udovoljava standardima o kakvoći, pri čemu se utvrđuje i najveće dopušteno odstupanje od granične vrijednosti kakvoće. Tako je, npr., za 2001. godinu odobreno stavljanje na domaće tržište 500000 t teškog ulja s udjelom sumpora do 4 % (Odluka [20]). To stvarno znači da će mogućnosti nabavke teškog ulja s manje od 1 % sumpora na domaćem tržištu i dalje biti ograničene te je razvidno da se trajno rješenje problema udovoljenja GVE pri izgaranju teškog ulja ne može temeljiti isključivo na primjeni ulja s malim udjelom ukupnog sumpora. Hrvatske rafinerije (Rijeka i Sisak) nisu se osposobile za proizvodnju teškog ulja s manjim udjelom sumpora od 1 %, niti bi to bilo moguće u doglednoj budućnosti (a, posebice, do 1. 7. 2002.). Ustvari, rafinerije Rijeka i Sisak ne mogu, tehnološki, uklanjati sumpor (npr., postupcima hidrobrade) iz teških naftnih komponenti, pa udio sumpora u loživim uljima isključivo ovisi o njegovu udjelu u prerađivanoj nafti. Nabavka niskosumpornih nafti, takvih da bi se dobilo teško loživo ulje s manjim udjelom sumpora od 1 %, pretpostavlja se, vrlo je upitna, i njihova je cijena, sigurno, neprihvatljivo visoka. Tj., rafinerije moraju i s "visokosumpornim" naftama nastaviti s proizvodnjom brojnih, nužnih derivata. Pitanje jest, što rafinerije mogu uraditi s teškim komponentama iz naftne prerade (iz kojih se, njihovim razrjeđivanjem, dobivaju loživa ulja), ako se loživo ulje, zbog nemogućnosti udovoljenja GVE za SO₂, ne

može prodavati termoelektranama. Dakle, problem graničnih vrijednosti kakvoće loživog ulja glede sumpora i problem *GVE* za emisiju SO_2 u termoelektranama valja istodobno razmatrati. Tako se, npr., postupa i u preporukama Europske unije za kakvoću goriva [21], prema kojima se dozvoljava proizvodnja teškog ulja i do udjela sumpora od 3 %, ukoliko se tada neće prekoračivati emisijske norme za SO_2 . I u nas se mora pristupiti skupno, uzajamnim uvažavanjem i "jednih" i "drugih" graničnih vrijednosti. Međutim, u nas se mora, za razliku od smisla odredbi u preporukama Europske unije, usvojiti suprotan smjer veze među razmatranim graničnim vrijednostima: *GVE* mora biti razmjerno graničnoj vrijednosti udjela sumpora u loživom ulju (koje bi stvarno bilo raspoloživo na domaćem tržištu), tj. zasad, prema jednadžbama u odjeljku 5., $GVE = (1700 \cdot GS(\%)) \text{ mg/m}_n^3$, gdje je *s* *GS* označena granična vrijednost udjela sumpora u loživom ulju. U protivnom, morala bi se ili u, dijelom islužene, pogone termoelektrana ili u rafinerije nafte uložiti sredstva reda veličine stotina milijuna njemačkih maraka. Sveukupno slijedi, problemi udovoljenja *GVE* nabrojani u poretku važnosti od 1. do 3. i, možebitno, 4. moraju se riješiti uz izmjene odgovarajućih odredbi Uredbe *GVE*, što jest jedino razumno rješenje.

Međutim, valja upozoriti na vrlo kratko vrijeme koje je preostalo do stupanja na snagu nekih od spornih odredbi Uredbe *GVE*, čija bi ishitrena provedba onemogućila rad velikog dijela proizvodnih jedinica STE-a. Zbog toga, neodložno je potrebno, praktički odmah, rokove stupanja na snagu novih *GVE* za SO_2 (ložišta/teško ulje) i NO_x (plinske turbine/prirodni plin) pomaknuti do 1. 7. 2004. (to je rok koji ima uporišta i u Protokolu [15], za razliku od zasad važećeg roka – 1. 7. 2002.). Nakon takve odluke, ostat će dovoljno vremena da se nužne promjene i dopune Uredbe *GVE* obave cjelovito i razumno, do 1. 7. 2004.

7. ZAKLJUČAK

Prema "prijelaznim i završnim odredbama" Uredbe o graničnim vrijednostima onečišćujućih tvari u zrak iz stacionarnih izvora, bitne promjene graničnih vrijednosti emisije (*GVE*) za pogone Sektora za termoelektrane HEP-a jesu u sljedećim slučajevima:

- ložište TE Plomina 1 /ugljen/: čestice i NO_x (rok 1. 7. 2004.);
- ložišta /plin/: NO_x (rok 1. 7. 2004.);
- ložišta /teško loživo ulje/: čestice i NO_x (rok 1. 7. 2004.), SO_2 (rok 1. 7. 2002.);
- plinske turbine /prirodni plin/: NO_x (rok 1. 7. 2002.).

S obzirom na preostali radni vijek, razumne mjere za udovoljenje *GVE* 'postojećih' pogona STE-a jesu:

- poboljšanja u sustavu izgaranja goriva (pretežito radi smanjenja emisije NO_x);

- poboljšanje kakvoće goriva ili zamjena goriva (pretežito radi smanjenja emisije čestica i SO_2);
- ograničavanje rada plinskih turbina na 2000 sati godišnje (primjena članka 91. Uredbe *GVE*) i ograničavanje rada velikih uređaja za loženje na 2000 sati godišnje ili na ukupno 30 000 sati rada, nakon 1. srpnja 2004. (primjena članka 134. Uredbe *GVE*);
- izmjene u Uredbi *GVE* kojima bi se uvažile objektivne mogućnosti prilagodbe "postojećih" postrojenja STE-a strožim emisijskim uvjetima.

Na temelju obavljenih "prvih" mjerenja i, samo za TE Plomin 1, kontinuiranih mjerenja, dobiveni su sljedeći rasponi variranja emisijskih vrijednosti (uz usporedbu s odgovarajućim, 'novim' vrijednostima *GVE*):

- ložište TE Plomina 1 /ugljen/:

- čestice: (4 – 213) mg/m_n^3 , $GVE04 = 100 \text{ mg/m}_n^3$,
- NO_x : (100 – 705) mg/m_n^3 , $GVE04 = 650 \text{ mg/m}_n^3$,

- ložišta /plin/:

- NO_x : (130 – 577) mg/m_n^3 , $GVE04 = 350 \text{ mg/m}_n^3$,

- ložišta /teško loživo ulje/:

- čestice: (79 – 567) mg/m_n^3 , $GVE04 = 50 \text{ mg/m}_n^3$,
- NO_x : (161 – 1262) mg/m_n^3 , $GVE04 = 450 \text{ mg/m}_n^3$,
- SO_2 : (2514 – 4008) mg/m_n^3 , $GVE02 = 1700 \text{ mg/m}_n^3$,

- plinske turbine /prirodni plin/:

- NO_x : (268 – 397) mg/m_n^3 , $GVE02 = 150 \text{ mg/m}_n^3$.

Emisije za ložišta na teško loživo ulje izračunate prema emisijskim faktorima koje za ta ložišta preporučuje "Američka agencija za zaštitu okoliša" (*Environmental Protection Agency* – U. S. EPA), uz usporedbu s odgovarajućom *GVE*, iznose:

- čestice:

$$S = 2,4 \%: c = 291 \text{ mg/m}_n^3$$

$$S = 1 \%: c = 141 \text{ mg/m}_n^3$$

$$\text{za } c = 50 \text{ mg/m}_n^3 = GVE04: S = 0,16 \%$$

- NO_x :

$$N = 0,2 \%: c = 409 \text{ mg/m}_n^3 < GVE04 = 450 \text{ mg/m}_n^3$$

$$N = 0,3 \%: c = 624 \text{ mg/m}_n^3 > GVE04 = 450 \text{ mg/m}_n^3$$

- SO_2 :

$$S = 2,4 \%: c = 3920 \text{ mg/m}_n^3$$

$$S = 1 \%: c = 1634 \text{ mg/m}_n^3$$

$$\text{za } c = 1700 \text{ mg/m}_n^3 = GVE02: S = 1,04 \%$$

$$\text{za } c = 400 \text{ mg/m}_n^3 = GVE \text{ (nova ložišta): } S = 0,24 \%$$

Dakle, tipične emisijske vrijednosti "postojećih" pogona STE-a, dobivene i prema mjerenjima i prema izračunavanju s pomoću emisijskih faktora, prekoračuju njima odgovarajuće *GVE*.

Poredak po važnosti zadataka koje valja riješiti u cilju udovoljenja *GVE* jest:

1. Ložišta /teško loživo ulje/ – SO_2 : zasad važeći rok je 1. 7. 2002.; jedina primarna mjera s pomoću koje bi se problem mogao riješiti jest uporaba goriva s udje-

lom sumpora manjim od 1 %. Dokazano je da je to u doglednom vremenu praktički neostvarivo.

2. Plinske turbine /prirodni plin/ – NO_x: zasad važeći rok je 1. 7. 2002.
3. Ložišta /teško loživo ulje/ – čestice: ne može se riješiti s pomoću primarnih mjera.
4. Ložišta /teško loživo ulje/ – NO_x: vjerojatno je nužna usporedna primjena više primarnih mjera, što bitno utječe na povećanje troškova smanjenja emisije.
5. Ostali slučajevi (ložište TE Plomin 1 /ugljen/ – čestice i NO_x; ložišta /prirodni plin/ – NO_x): mogu se riješiti ili s pomoću samo poboljšanja/prilagodbi u vođenju pogona ili s pomoću povremene primjene primarnih mjera.

Problemi udovoljenja GVE nabrojani u poretku važnosti od 1. do 3. i, možebitno, 4. moraju se riješiti uz izmjene odgovarajućih odredbi Uredbe GVE, što jest jedino razumno rješenje. Promjene odredbi Uredbe GVE nužno je obaviti u dva stupnja:

- (i) Pomicanje roka '1. 7. 2002.', stupanja na snagu GVE za pojedine slučajeve ložišta i onečišćujućih tvari (koji nema stvarnog uporišta – npr., u međunarodnim obvezama Hrvatske), na '1. 7. 2004.'.
- (ii) Rad na promjenama i dopunama odredbi Uredbe GVE: nužno je da se one obave cjelovito i stručno, uz istodobno uvažavanje i međunarodnih obveza Hrvatske i sveukupnosti tehničko-ekonomskih uvjeta rada pogona STE-a.

LITERATURA

- [1] Uredba o graničnim vrijednostima emisije onečišćujućih tvari u zrak iz stacionarnih izvora, Narodne novine, br. 140., str. 4406 – 4425, 1997,
- [2] Zakon o zaštiti zraka, Narodne novine, br. 48., 1452 – 1458, 1995,
- [3] Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft (GmBl 7), Bonn 1986,
- [4] Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft, Erste Verwaltungsvorschrift zum BimSchG, GmBl 25, Bonn 1974,
- [5] Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft (Gesetz zur Änderung der Gewerbeordnung von 1959), 1964,
- [6] Novelacija rezultata studije SETØHEP, EKONERG, Zagreb, svibanj 2000,
- [7] Mjesečni izvještaji o kontinuiranom mjerenju emisija u pogonima STE-a (travanj – kolovoz 2001.), HEP – Sektor za termoelektrane, Zagreb, 2001,
- [8] O. RENZ et. al., "Emission control at stationary sources in the Federal Republic of Germany", Vol. I, French-German Institute for Env. Res., Karlsruhe, 1996,
- [9] L. G. BORMAN, W. K. RAGLAND, "Combustion Engineering", McGraw-Hill, Singapore, 1998,

- [10] K. WARK, C. F. WARNER, W. T. DAVIS, "Air Pollution – Its Origin and Control", Addison-Wasley Longman, Menlo Park, 1998,
- [11] CKTL – Prosječne vrijednosti kakvoće loživog ulja, Centralni kemijsko-tehnološki laboratorij, HEP – Sektor za termoelektrane, Zagreb, rujan 2001,
- [12] B. SCHÄRER, N. HAUG, H-J. OELS, "Costs of Retrofitting Denitrification, A Selection of Recent Publication" (Vol. 2), Umweltbundesamt, Berlin, 1988,
- [13] Katastar emisija u okoliš: emisije u zrak iz termoelektrana HEP-a, EKONERG, Zagreb, 2000,
- [14] N. BARBALIĆ, A. BERNIK, G. MARIJAN, "Stručne podloge i procjena uvjeta za obavljanje normativnog ispitivanja djelotvornosti PTE-Zagreb zapad (2 x 25 MW)", HEP – Sektor za termoelektrane, Zagreb, ožujak 2001,
- [15] Zakon o potvrđivanju Protokola o daljnjem smanjenju emisija sumpora Konvencije o dalekosežnom prekograničnom onečišćenju zraka iz 1979. godine, Narodne novine – Međunarodni ugovori, br. 17, 1998, str. 691 – 716,
- [16] Nact Protokola o suzbijanju zakiseljavanja, eutrofikacije i prizemnog ozona Konvencije o dalekosežnom prekograničnom onečišćenju zraka iz 1979. godine, Göteborg, studeni 1999, prijevod na hrvatski,
- [17] A. KUTLE, J. NEČAK, V. JELAVIĆ, "Trend emisija te okvirni ciljevi i mjere za djelotvornu zaštitu zraka u Republici Hrvatskoj", Gospodarstvo i okoliš 7 (1999), br. 40, str. 427 – 436,
- [18] Uredba o standardima kakvoće tekućih naftnih goriva, Narodne novine br. 76, 1997, str. 2472 – 2476,
- [19] Uredba o izmjenama i dopunama Uredbe o standardima kakvoće tekućih naftnih goriva, Narodne novine: I. br. 66/1999, str. 2542 – 2543; II. br. 149/1999, str. 4852 – 4853,
- [20] Odluka o određivanju količine tekućih naftnih goriva koja se smije stavljati u promet na domaćem tržištu, a ne udovoljava standardima kakvoće tekućih naftnih goriva propisanim Uredbom o standardima kakvoće tekućih naftnih goriva, Narodne novine br. 16, 2001, str. 409,
- [21] Council Directive 1999/32EC of 26 April 1999 relating to a reduction in the sulphur content of certain liquid fuels and amending Directive 93/12/EEC, Official Journal of the European Communities, L121/13 – L121/18, 1999.

FRAMEWORK FOR REASONABLE SOLUTIONS OF ADAPTION TO EMISSION IN THE AIR LIMIT CHANGES WITHIN EXISTING PLANTS OF THE THERMAL POWER SECTOR OF THE CROATIAN ELECTRIC POWER COMPANY

The paper evaluates possibilities of production units' adaptation of the Thermal Power Plant Sector within the Croatian Electric Power Company considering emission limits prescribed in the transient and final regulation in the Decree on emission limits in the air from stationary sources. General trend in emission regulation in the world is given and its influence on emission regulation procedure in Croatia. The significance of emission limits has been evaluated according to first and continuous emission measurements in the production units of the Sector. Separated are cases where the corresponding measures are to be taken in order to

adapt to changed limited values and their importance according to priority has also been determined. Enumerated and analysed are real possibilities of solving the problem of adaptation to emission limit changes within reasonable solutions.

DIE RAHMEN SINNVOLLER ANPASSUNGS-LÖSUNGEN FÜR BESTEHENDE DAMPF-UND GASKRAFTWERKE DER KROATISCHEN ELEKTRIZITÄTSWIRTSCHAFT (HEP) IM BEZUG AUF ÄNDERUNGEN DER EMISSIONSGRENZWERTE

Im Bezug auf Übergangs- und Schlussbestimmungen der Verordnung über vorgeschriebene Grenzwerte aus ortsfester Abgasentstehungstellen, werden mögliche Anpassungslösungen für Erzeugungseinheiten der Dampf- und Gaskraftwerke der Kroatischen Elektrizitätswirtschaft (HEP) im Artikel behandelt. Hingewiesen wird auf die allgemeine Neigung in der Welt, bezüglich der Emissionsgrenzwerte Änderungen durchzuführen, und auf den Einfluss dieser Änderungen auf das Vorschreiben der Abgasnormen in Kroatien. Die Bedeutung der Änderungen von Emissionsgrenzwerten ist auf Grund der sog. ersten

und ständigen Messungen in den bestehenden Dampf- und Gaskraftwerken der Kroatischen Elektrizitätswirtschaft (HEP) beurteilt worden. Jene Fälle der verunreinigenden Abgase, bei welchen geeignete Massnahmen wegen der Anpassung an die vorgeschriebenen Grenzwerte zu unternehmen sind, wurden herausgelöst und nach Bedeutung abgestuft. Aufgezählt und beurteilt sind sachliche, sinnvolle Möglichkeiten der Anpassung an geänderte Emissionsgrenzwerte.

Naslov pisaca:

**Dr. sc. Nikola Barbalić, dipl. ing.
mr. sc. Damir Kopjar, dipl. ing.
HEP Sektor za termoelektrane
Miševečka 15a
10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2001-11-13.

adapt to changed limited values and their importance according to priority has also been determined. Enumerated and analysed are real possibilities of solving the problem of adaptation to emission limit changes within reasonable solutions.

DIE RAHMEN SINNVOLLER ANPASSUNGS-LÖSUNGEN FÜR BESTEHENDE DAMPF-UND GASKRAFTWERKE DER KROATISCHEN ELEKTRIZITÄTSWIRTSCHAFT (HEP) IM BEZUG AUF ÄNDERUNGEN DER EMISSIONSGRENZWERTE

Im Bezug auf Übergangs- und Schlussbestimmungen der Verordnung über vorgeschriebene Grenzwerte aus ortsfester Abgasentstehungstellen, werden mögliche Anpassungslösungen für Erzeugungseinheiten der Dampf- und Gaskraftwerke der Kroatischen Elektrizitätswirtschaft (HEP) im Artikel behandelt. Hingewiesen wird auf die allgemeine Neigung in der Welt, bezüglich der Emissionsgrenzwerte Änderungen durchzuführen, und auf den Einfluss dieser Änderungen auf das Vorschreiben der Abgasnormen in Kroatien. Die Bedeutung der Änderungen von Emissionsgrenzwerten ist auf Grund der sog. ersten

und ständigen Messungen in den bestehenden Dampf- und Gaskraftwerken der Kroatischen Elektrizitätswirtschaft (HEP) beurteilt worden. Jene Fälle der verunreinigenden Abgase, bei welchen geeignete Massnahmen wegen der Anpassung an die vorgeschriebenen Grenzwerte zu unternehmen sind, wurden herausgelöst und nach Bedeutung abgestuft. Aufgezählt und beurteilt sind sachliche, sinnvolle Möglichkeiten der Anpassung an geänderte Emissionsgrenzwerte.

Naslov pisaca:

Dr. sc. Nikola Barbalić, dipl. ing.
mr. sc. Damir Kopjar, dipl. ing.
HEP Sektor za termoelektrane
Miševecčka 15a
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
2001-11-13.

GLAVNI SUSTAVI PLINSKE TURBINE MS6001FA U TE-TO ZAGREB

Mr. sc. Miroslav Šander, Zagreb

UDK 621.165:621.311.22
PREGLEDNI ČLANAK

Plinska turbina MS6001FA od 70 MW je ugrađena u kombikogeneracijsko postrojenje u TE - TO Zagreb. Turbina je kompleksno postrojenje koje uključuje čitav niz sustava i podsustava. Iako se pogonska stanja turbine kontroliraju i povratni signali šalju u upravljački sustav SPEEDTRONIC pa se čini da su svi drugi sustavi od drugorazredne važnosti, ovdje želimo pokazati kako upravljački sustav ne može funkcionirati i djelovati bez ovih drugih sustava te da su oni za ispravan pogon turbine isto tako važni kao i upravljački sustav. Naravno da se ovdje ne mogu obuhvatiti svi sustavi niti podsustavi, a i samoj podjeli se može pristupiti na drugi način. Ovdje govorimo o sustavu ulja za podmazivanje, sustavu hidrauličkog ulja i ulja za izvrštavanje te uz njih vezane; ulazne privodne lopatice (IGV), sustavu plinskog goriva, sustavu tekućeg goriva. Ulazne privodne lopatice (IGV), sustav plinskog goriva, sustav tekućeg goriva, mogu se sami za sebe uzeti kao glavni sustavi plinske turbine, što ovdje nije učinjeno jer bi tada te sustave morali puno detaljnije obraditi. Uređaji za praćenje i vođenje turbine su oni koji direktno služe računalnom sustavu SPEEDTRONIC, a koji obuhvaćaju sve komponente koje se koriste za praćenje i pri vođenju plinske turbine, tj.: mjerenje temperature, indikaciju vibracija, mjerenje brzine vrtnje, detekciju plamena, paljenje. Također je obrađen sustav za upuštanje.

Ključne riječi: TE-TO Zagreb, glavni sustavi, plinske turbine.

1. OSNOVNE KARAKTERISTIKE TURBINE MS6001FA PODUZEĆA GE

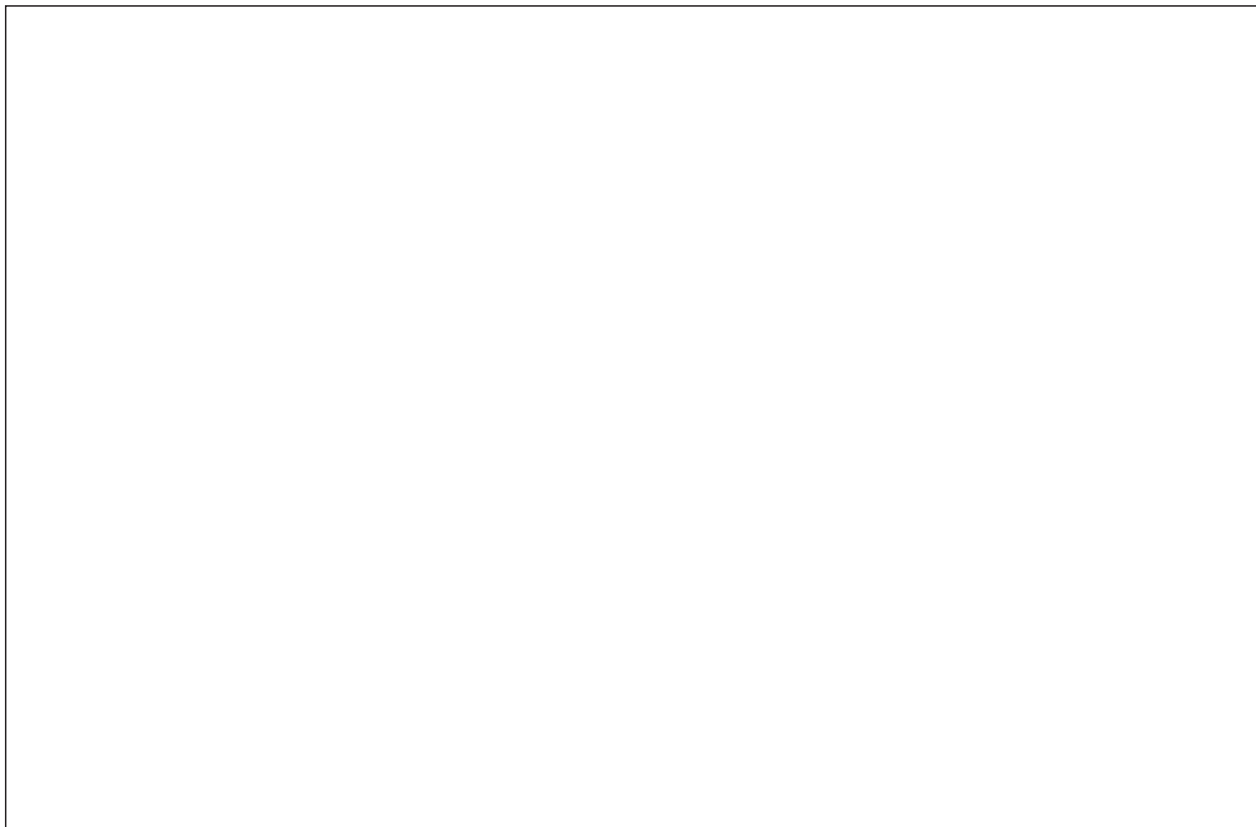
Plinska turbina MS6001FA s visokim stupnjem djelovanja za teške pogonske uvjete je razvijena po zakonitostima aerodinamičke sličnosti iz MS7001FA i MS9001FA plinskih turbina u poduzeću GE. U konstrukciji ona koristi najnoviju tehnologiju turbina za zrakoplove s temperaturama izgaranja od 1283 °C a može se primijeniti za tržišta s mrežom od 50 Hz i 60 Hz, budući da pogoni generator preko reduktora na kompresorskom završetku. Ona proizvodi snagu od 70 MW u otvorenom procesu uz stupanj djelovanja veći od 34 %. Turbina se gradi sa svim dodatnim uređajima da bi se omogućila brza i troškovno učinkovita montaža, a ujedno omogućuje jednostavna rješenja pri dogradnji u kombinirana postrojenja i IGCC (Integrirani sustav kombi postrojenja s rasplinjavanjem ugljena).

Konfiguracija plinske turbine 6FA uključuje kompresor s 18 stupnjeva, šest komora izgaranja te tri stupnja turbine (sl. 1). Osovina je oslonjena u dva ležaja kao i kod 7FA, 9FA, 5P i 6B GE tipova plinskih turbina. Ovaj koncept konstrukcije zajednički navedenim turbinama je napravljen da bi se poboljšalo održavanje turbina. Pet kućišnih dijelova formira strukturnu ljusku; ulazno kućište, kompresorsko kućište, kompresorsko izlazno kućište, turbinska ljuska i ispušna kon-

strukcija. Kompresorski rotor koristi NiCrMoV i CrMoV legure pri konstrukciji rotora, slično kao i na 7FA. Kompresorski oduzimni zrak, koji ne treba vanjske hladnjake, osigurava rashladni zrak za lopatice prva dva turbinska stupnja i za turbinska sapništa sva tri stupnja.

Sustav izgaranja se sastoji iz šest komora izgaranja koje su slične konstrukcijski i s 9FA te mogu koristiti zajedničke komponente (sapnice, vrtložnike, kape i poklopce). Značajka sustava izgaranja je u tome da su lopatice sapnica prvog stupnja cjelobrojni višekratnik s brojem gorionika. Time se osigurava ponovljiva toplinska razdioba od komore do komore koja se nastavlja prema sapnicama prvog stupnja. Turbinski rotor je po aerodinamičkoj sličnosti razvijen iz 7FA. Turbinska kola, odstojnici i stražnja osovina su izrađeni od legure INCO 706 s vijčanim spojevima INCO 718, slično kao i 7FA. Poput kompresora, turbinski rotor također ima ispjeskarene prirubničke površine za pojačani prijenos momenta (1).

Reduktor 6FA između turbine i generatora je razvijen u Njemačkoj sa proizvođačem reduktorskih prijenosa svjetske reputacije Renk AG. Konstrukcijski je reduktor riješen sa zupčanicima koji su horizontalni i suprotno djeluju, a prenose snagu od 90 MW. Izlazna snaga iz 6FA plinske turbine ide preko elastičnih spojki na pogonski zupčanik veće brzine vrtnje. Pogonjeni zupčanik niže brzine vrtnje pogoni generator s krutom



Slika 1. Presjek plinske turbine

spojkom vezanom na osovinu generatora pri čemu je brzina vrtnje generatora 3000 okretaja po minuti. Reduktor 6FA isporučuje se s dvostrukim kosim ozubljenjem. Osovine reduktorskih zupčanika visoke i niske brzine vrtnje su postavljene u rukavce presvučene bijelom kovinom. U ležajno kućište su integralno ugrađeni prolazi za termoparove i osjetnike vibracija. U reduktoru je konstrukcijski dograđen stroj za okretanje osovine u svrhu upuštanja turbine te za sporo okretanje prilikom prekida pogona.

Generator koji se ugrađuje s 6FA turbinom je GE model 7A6C. Generator 7A6C je paketne izvedbe, montiran je na postolje. On se može prilagoditi za motorni start ili opcijama statičkog starta te se može primijeniti na frekvenciju 50 Hz ili 60 Hz. Primjena turbina 6FA se očekuje u rasponu srednjih i temeljnih opterećenja pri čemu su plinske turbine dio kombiniranih i kogeneracijskih postrojenja. Uzevši ove zahtjeve u obzir plinska turbina 6FA kao i 7FA je projektirana za primjenu u kombi procesima sa sljedećim karakteristikama:

- Turbina prigoni na hladnom kraju što dozvoljava da se ispuh usmjerava aksijalno u kotao na ispušne plinove.
- Pomoćni paketi postrojenja su montirani u tvornici na odvojena postolja zbog lakše montaže i održavanja.
- Turbinska oplata izvan postolja osigurava više prostora za održavanje i bolju kontrolu buke.

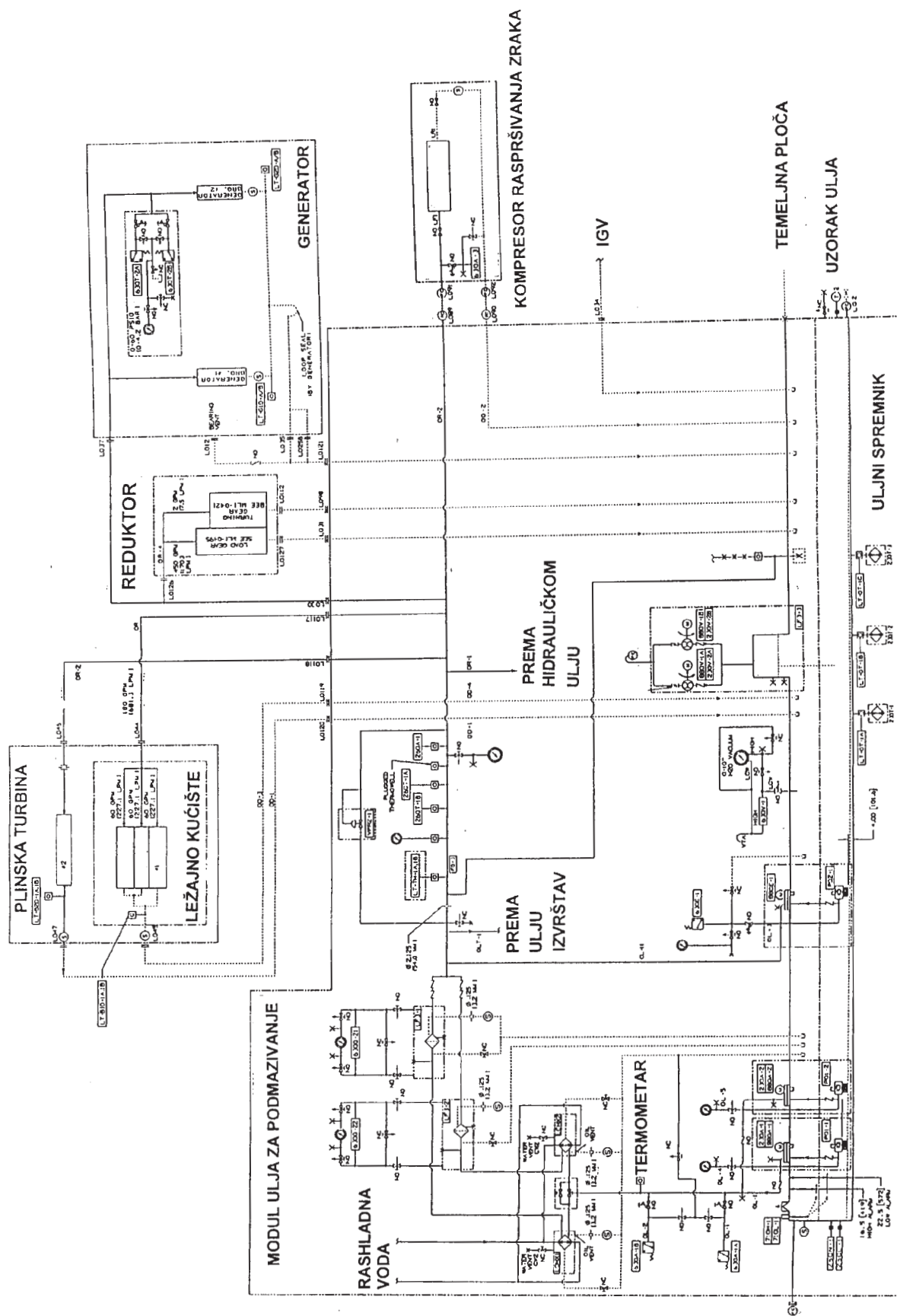
Zrak ulazi u jedinicu kroz standardni jednostupanjski filter s više elemenata lociran iznad generatora, a svrha mu je zaštititi plinsku turbinu od zaprljanja. Ispušni plinovi iz plinske turbine idu kroz aksijalni ispušni difuzor, prolaze kroz prigušivače buke, potom ulaze u kotao na ispušne plinove ili idu kroz dimnjak.

Kao što je rečeno, izlazna snaga osovine se prenosi preko elastične spojke priključene na hladnom kraju te preko pogonskog zupčanika više brzine vrtnje u reduktoru. Pogonjeni zupčanik niže brzine vrtnje pogoni generator preko krute spojke. Stroj za okretanje i za odvajanje pri upuštanju je priključen na slijepom kraju pogonskog zupčanika.

2. SUSTAV ULJA ZA PODMAZIVANJE

Glavne komponente uključuju (slika 2):

1. Spremnik ulja za podmazivanje kao osnovno postolje pomoćnog modula.
2. Dvije centrifugalne pumpe (PQ-1 i PQ 1-2), koje pokreću električni motori izmjenične struje (88QA-1 i 88QA -2).
3. Havarijska uljna pumpa (PQ2-1) s motorom istosmjerne struje (88QE-1).
4. Sklop dvostrukog uljnog izmjenjivača topline.
5. Dva paralelna uljna filtra (LF3-1 i LF3-2).
6. Regulator tlaka sabirnika ležajeva (VPR 2-1).
7. Odstranjivač uljnih para (LF3-3) s redundantnim motornim ventilatorom (88QV-1A i 88QV-1VB).



Slika 2. Sustav ulja za podmazivanje

Temperatura uljnog spremnika pokazuje se na termometru na strani rezervoara. Termoparovi vezani prema upravljačkom sustavu pokazuju temperaturu ulja u sabirniku ležaja. Termoparovi u ispuštima ležaja također su spojeni na upravljački sustav turbine zbog nadgledanja. Vratašca za uzimanje uzorka ulja smještena su sa strane uljnog spremnika. Za pokretanje turbine je specificiran maksimalni viskozitet ulja od 173 centistoksa za siguran rad hidrauličkog sustava i za podmazivanje ležajeva. Temperaturna sklopka, 26QN-1, sprječava pokretanje turbine ako temperatura ulja za podmazivanje padne na točku gdje viskozitet ulja prelazi 173 centistoksa.

Uljni spremnik ima kapacitet od 23.470 litara (2). Unutrašnjost spremnika presvučena je zaštitnim slojem otpornim na ulje. Gornji pokrov spremnika je osnovica ili ploča na kojoj su montirane komponente kao što su pumpe i izmjenjivači topline. Sistem se opskrbljuje uljem preko jednoga od dva motora izmjenične struje koji pokreću centrifugalne pumpe. Izbor vodeće i zaostajuće pumpe vrši operator preko turbinskog sistema upravljanja a prije puštanja u pogon. Sati rada pumpi i motora mogu se ujednačiti mijenjanjem vodeće i zaostajuće pumpe. Ulje protječe kroz jedan hladnjak ulja koji je namjenjen za održavanje propisane temperature u sabirniku ležajnog ulja. Ulje zatim protječe kroz jedan od dva paralelna filtra.

Dvojni uljni filtri imaju zamjenjive uloške. Diferencijalni mjerac tlaka pokazuje kada ulošci trebaju biti zamijenjeni. Također su ugrađene i tlačne sklopke 63QQ-1 i 63QQ-2 koje osiguravaju alarmni signal visokog diferencijalnog tlaka. Tlak u sabirniku ležajnog ulja kontrolira regulacijski ventil VPR2-1. Ventil VPR2-1 regulira tlak ulja prema ležajevima turbine i generatora.

Sistem se ventilira kroz odstranjivač uljnih para (LF3-3) koji je montiran na ploči uljnog spremnika. Lagani potlak održava se u sistemu preko jednog od dva redundantna ventilatora na motorni pogon (88QV-1A, 1B) izvlačeći zrak kroz odstranjivač uljnih

para. Ovaj potlak povlači brtveni zrak kroz ležajne brtve plinske turbine.

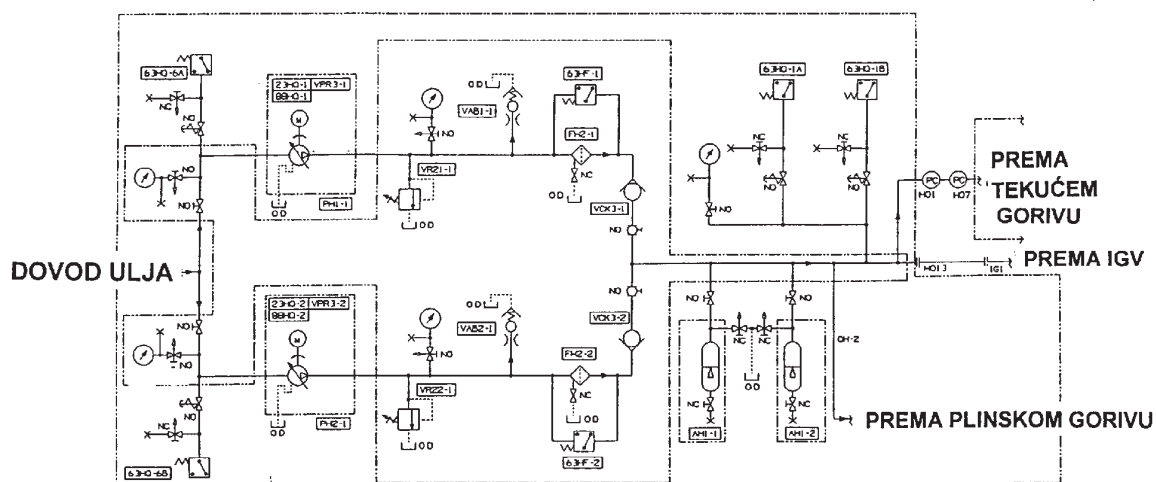
Alarmni uređaj za razinu ulja je montiran na vrhu uljnog spremnika. Plutajući mehanizam je povezan sa dvije sklopke razine, 71QH-1 i 71QL-1. Sklopke su povezane sa alarmnim krugom upravljačke ploče turbine za iniciranje alarma ako se razina ulja podigne iznad ili padne ispod projektno zadanog nivoa. Staklo koje se nalazi sa strane na spremniku omogućava vizualnu indikaciju nivoa ulja. Tijekom perioda mirovanja, ulje se preko grijača 23QT-1-2, & 3 instaliranih na uljnom rezervoaru, održava na ispravnom viskozitetu potrebnom za puštanje turbine u pogon. Temperaturna sklopka 26QL-1 montirana je na strani spremnika. Ona upravlja grijačima za održavanje temperature fluida zbog postizanja dozvoljenog viskoziteta.

Ako bi grijači prestali funkcionirati, temperatura ulja će pasti ispod nivoa kod kojeg viskozitet prelazi 173 centistoksa, pa će temperaturna sklopka 26QN-1 koja se nalazi u spremniku pokazivati alarm niske temperature i ujedno sprječavati pokretanje turbine.

Dvije tlačne sklopke (63QA-1A i 1B) montirane su ispred uljnih hladnjaka u svrhu registracije tlaka. Ako jedna od sklopki registrira niski tlak ulja za podmazivanje, oglasiti će se alarm a zaostajuća pumpa će se automatski pokrenuti. Sve pumpe ulja za podmazivanje imaju protupovratni ventil na izlaznoj cjevi pumpe tako da ulje ne utječe u pumpu koja je izvan funkcije. Hladnjak (toplinski izmjenjivač ulja) za podmazivanje spaja se na paralelne filtre. Odabran je takav model zato da se filtri koji nisu u funkciji mogu zamijeniti bez isključenja turbine.

3. SUSTAV HIDRAULIČNOG ULJA I ULJA ZA IZVRŠTAVANJE

Regulirano, filtrirano ulje za podmazivanje iz sabirnika plinske turbine upotrebljava se kao visokotlačni fluid za potrebe hidrauličkog sustava (slika 3). To će



Slika 3. Sustav hidrauličnog ulja

ulje ići dvjema paralelnim stazama zavisno o tome koja je pumpa vodeća, a koja zaostajuća. Obje staze sadrže iste komponente. Prva komponenta na koju dolazi ulje je ulazna tlačna sklopka (63HQ-6A ili 63HQ-6B). Ove sklopke će signalizirati znak upozorenja ako padne tlak na ulazu u pumpu pa će se time spriječiti kavitacija pumpe (3).

Ulje se zatim pumpa na hidraulički opskrbeni razdjelnik pomoću dvije tlačno kompenzirane pumpe promjenjivog volumena (PH1-1 i PH2-1). Svaka pumpa se pogoni vlastitim motorom izmjenične struje. Operater turbine kontrolira redoslijed pumpi i određuje koja vodi, a koja zaostaje. Određivanjem pumpe koja vodi i pumpe koja zaostaje balansira se rad pumpi i motora. Dio sklopa pumpe/motora je i grijač (23HQ-1 ili 23HQ-2) koji radi dok motori ne rade kako bi se spriječila kondenzacija i smrzavanje.

Hidraulično ulje se pumpa kroz jednu od dvije strujne staze u hidraulički dobavni razdjelnik, ovisno o tome koja je pumpa u pogonu. Razdjelnik je konstruiran tako da se na njega mogu montirati i međusobno povezivati (određeni) broj manjih komponenti. U sklopu razdjelnika su smješteni sigurnosni ventili, odzračni ventili, nepovratne zaklopke, filtri i sklopke diferencijalnog tlaka. Sigurnosni ventili (VR21-1 i VR22-1) štite hidrauličke pumpe od oštećenja u slučaju zakazivanja pumpe ili tlačnog kompenzatora. Odzračni ventili (VAB1-1 i VAB2-1) odzračuju (odvođe) zrak koji bi se mogao naći u tlačnim cjevovodima pumpe.

Poslije prolaza kroz razdjelnik, a u sklopu razdjelnika su smješteni sigurnosni ventili, odzračni ventili, nepovratne zaklopke, filtri i sklopke diferencijalnog tlaka, visokotlačni fluid (ulje) ide na sustav filtara (FH2-1 i FH2-2) te postaje visokotlačno regulacijsko ulje. Hidraulički sustav filtara sprječava onečišćenje regulacijskih uređaja. U slučaju pada tlaka na bilo kojem filtarskom sustavu, tj. kad tlak dosegne 4.14 bara, sklopke diferencijalnog tlaka (63HF-1 i 63HF-2) pokreću alarm.

Svaki krug pumpe iza svog filtra također sadrži nepovratni ventil (VCK3-1 ili VCK3-2) koji sprečava protok ulja iz pumpe u pogonu u pumpu koja nije u pogonu. Ti nepovratni ventili također drže hidrauličke linije ispunjenima kad je turbina obustavila rad. Na izlazu iz sklopa razvodnika, sustav također sadrži dva akumulatora (AH1-1 i AH1-2) da bi se održao tlak u sustavu za vrijeme prijelaznih stanja kao što je stanje djelovanja ventila. Oni su tako projektirani da mogu riješiti najgore slučajeve prijelaznih stanja a da se ipak mogu pravodobno puniti. Konačno, tu su i dvije tlačne sklopke (63HQ-1A i 63HQ-1B) koje mjere hidraulički tlak točno prije no što se on odašilje u hidrauličko-regulacijski sustav. Ako bilo koja od tih sklopki izmjeri nizak tlak, pokrenut će hidraulična pumpa što "zaostaje" i uključit će se alarm.

Sustav regulacije plinske turbine i sustav zaštite plinske turbine su nadzirani sustavom upravljanja

SPEEDTRONIC pomoću elektro-hidrauličkih uređaja. To je izvedeno tako da bi se osigurale potrebne sile za rad regulacijskih i zaštitnih uređaja koji su smješteni na plinskoj turbini i njoj pridruženim modulima.

Ova se oprema sastoji od raznih ventila za gorivo i ulaznih privodnih lopatica kompresora koje mijenjaju svoj položaj. Elektro-hidraulični uređaji se sastoje od servo-ventila koji djeluju tako da moduliraju izvršni element koji reagira na pogonske zahtjeve postrojenja i hidromehaničkih releja razvodnika i elektromagnetski pogonjenih ventila izvrštavanja koji rade tako da prekidaju djelovanje regulacijskih servo-ventila i izvrštavaju izvršni član u slučaju obustave rada. Druge komponente uključuju tlačne sklopke, hidraulične akumulatorne, nepovratne ventile, mjerne prigušnice protoka, ručno pogonjeni ventil izvrštavanja i hidraulične cilindre koji pozicioniraju završne elemente.

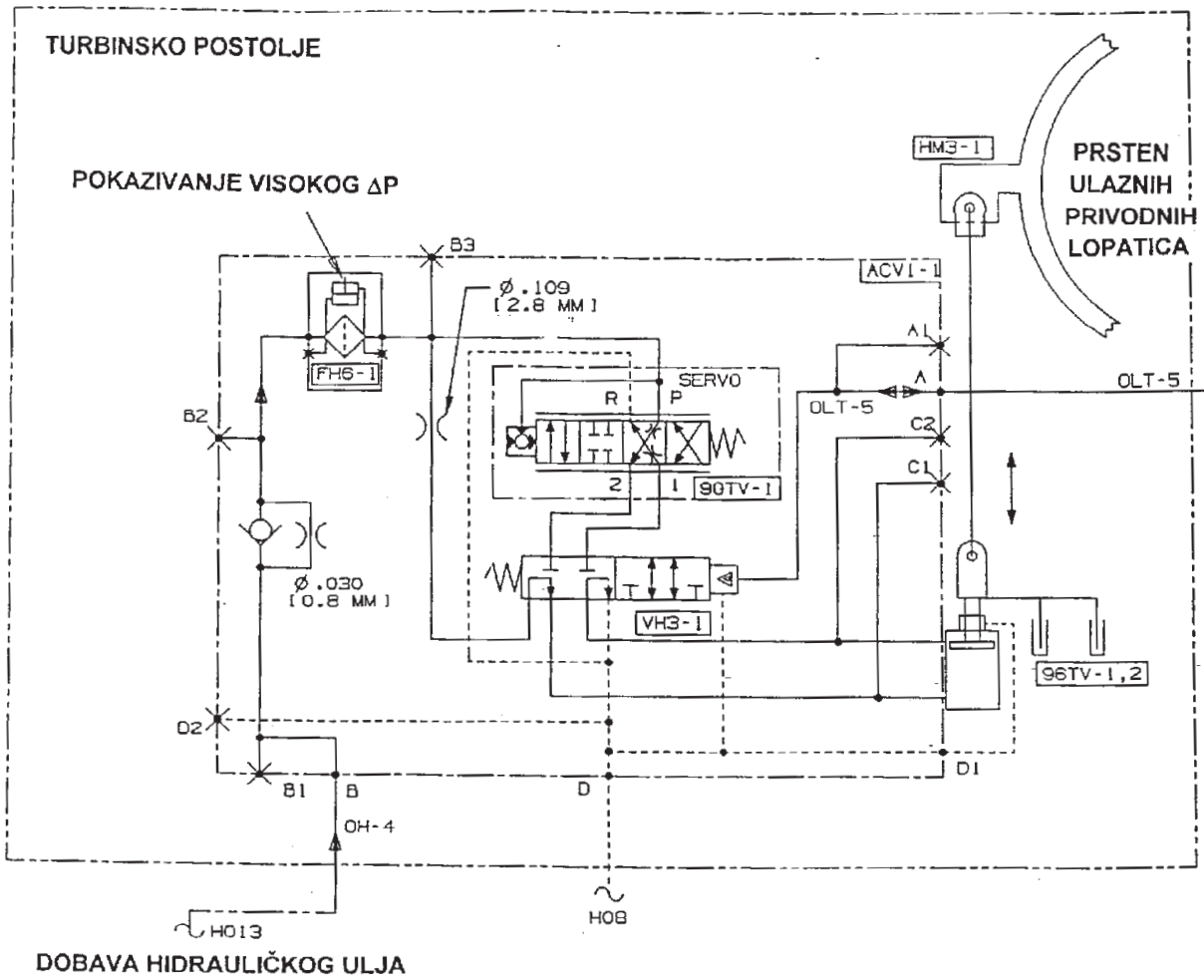
Ovdje ćemo opisati kako sustav hidrauličkog ulja s uljem za izvrštavanje mijenja položaj ulaznih privodnih lopatica, kako djeluje na regulacijske ventile plinskog goriva te regulacijske ventile tekućeg goriva.

Ulazne privodne lopatice (IGV)

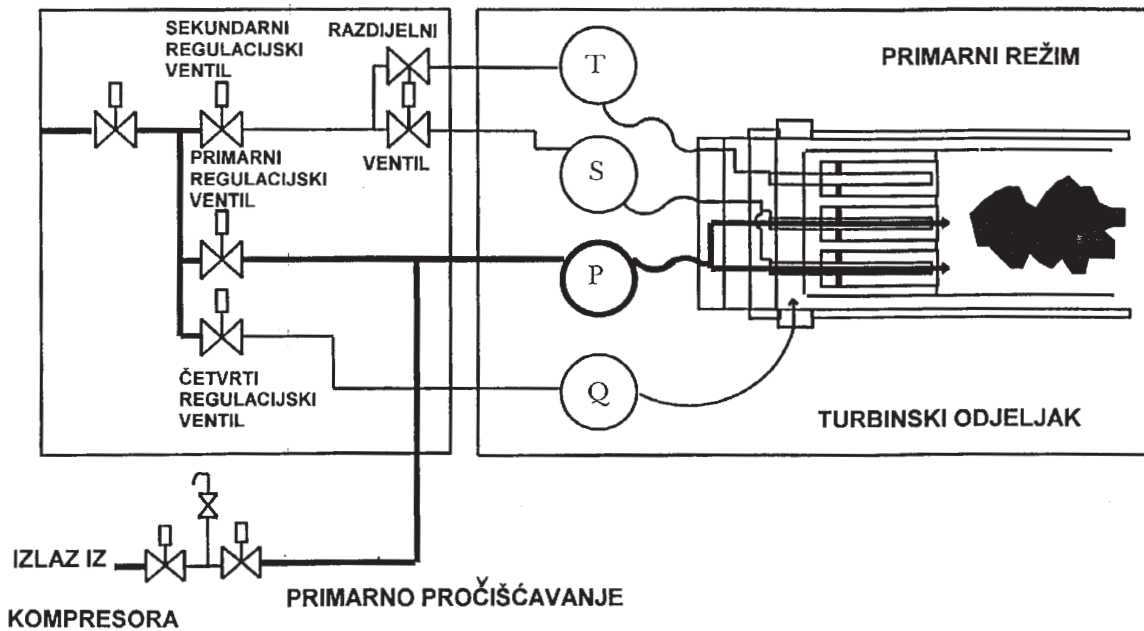
Hidraulični cilindar smješten na turbinskom postolju pozicionira ulazne privodne lopatice. Visokotlačno ulje (OH) iz hidrauličnog opskrbenog sustava se pripušta u ovaj sustav kroz prigušnice/nepovratni ventil (4). Hidraulično ulje tada prolazi kroz relej razvodnik izvrštavanja (VH3-1) prema modulacijskom servo-ventilu (90TV-1) koji djeluje tako da podešava cilindar kao odgovor na naredbu namještanja iz SPEEDTRONIC-a. Položajni pretvornici se brinu za povratnu vezu u ovoj regulacijskoj petlji podešavanja. Relej razvodnik izvrštavanja (VH-3) se aktivira niskotlačnim uljem koje prolazi kroz prigušnicu prema izvršnom klipu releja razvodnika. Elektromagnetski ventil izvrštavanja (20TV-1) kad je pod naponom zatvara se i omogućava ulju izvrštavanja da poveća tlak i pomakne relej razvodnika u poziciju pokretanja. U slučaju IGV obustave, 20TV-1 je deenergiziran, a VH3-1 se miče u položaj izvrštavanja te visokotlačno ulje djeluje tako da se IGV cilindar miče u položaj zatvaranja. Shematski dijagram vidi se na slici 4.

Sustav plinskog goriva

Sustav plinskog goriva se sastoji od pet završnih uređaja, plinskog zapornog/omjernog ventila i tri regulacijska ventila za plin uz razdjelni ventil plina (5). Ti su uređaji prikazani u shematskom dijagramu plinskog goriva (slika 5). Pet ventila radi pomoću identičnih hidrauličnih sustava iako je kontrolna funkcija svakoga jedinstvena. Svaki ventil se pogoni elektro-hidrauličnim servo-ventilom tako da pozicionira ventil kao odziv na položajnu naredbu iz regulacijskog sus-



Slika 4. Ulazne privodne lopatice



Slika 5. Sustav plinskog goriva

tava SPEEDTRONIC-a (5). Svaki ventil ima pretvornike koji omogućavaju povratni signal. Visokotlačno ulje prolazi kroz filtre svakog od servo-ventila. Plinsko gorivo prolazi prvo kroz zaporno omjerni ventil ili glavni ventil, nakon čega se dijeli u tri grane prema tri regulacijska ventila plina; primarni, sekundarni i kvaterni (četvrti) regulacijski ventil plina. Iza sekundarnog regulacijskog ventila plina gorivo nailazi na razdjelni ventil plina koji dijeli sekundarni plin na sekundarni i tercijski plin. Sustav suhog niskog NOx ili DLN2 se upravo sastoji u raspoređivanju razdiobe plina kroz ove četiri plinske linije pomoću tri regulacijska ventila plina i razdjelnog ventila plina te razdiobi u sapnice plina i konačno izgaranju u komorama izgaranja s ciljem postizanja što nižeg NOx.

Sustav tekućeg goriva

Sustav tekućeg goriva se sastoji od raznih zapornih i regulacijskih ventila. Ti su uređaji prikazani u shematskom dijagramu tekućeg goriva (slika 6).

Ventile pokreću identični hidraulični sustavi iako je regulacijska funkcija svakog jedinstvena. Svaki ventil radi pomoću elektro-hidrauličkog servo-ventila koji radi tako da pozicionira ventil kao odgovor na pozicijsku naredbu iz regulacijskog sustava SPEEDTRONIC-a (6). Svaki ventil ima pretvornike koji omogućavaju povratni signal. Visokotlačno ulje prolazi preko filtera na svaki servo-ventil.

4. UREĐAJI ZA PRAĆENJE I VOĐENJE TURBINE

Uređaji za praćenje i vođenje turbine (oni služe pri upravljanju, ali ne upravljaju ili ne vode turbinu jer to čini računalni sustav koji se sastoji od računalnih jezgri) obuhvaćaju sve komponente koji se koriste za praćenje i pri vođenju plinske turbine. Uređaji su

smješteni u ulaznim i ispušnim prostorima i postavljeni na plinskoturbinsku jedinicu, s funkcijama koje uključuju (7) :

- a. mjerenje temperature
- b. indikacija vibracija
- c. mjerenje brzine vrtnje
- d. detekciju plamena
- e. paljenje da bi došlo do izgaranja.

Na prednjoj stijenci ulaznog prostora postavljeni su termoparovi za mjerenja ulazne temperature kompresora (CT-IF-1A i B, 2A i B), koji na ulaz kompresora javljaju temperaturu okoline (sl. 7).

U ispušnom prostoru postavljeni su termoparovi za kontrolu i zaštitu turbinskog ispuha (TT-XD-1 do 21), a primarna im je funkcija mjerenje temperature turbinskog ispuha oko svih 360, a preko izračuna u računalu i na svih šest (6) gorionika. Odabrani slogovi od po sedam (7) termoparova koji se spajaju su na tri (3) jezgre <RST> na Speedtronicu, a da bi se monitoru izgaranja te funkcijama regulacije ispušne temperature, alarma i izvrštavanja osigurali ulazni podaci o temperaturi.

Indikacija vibracija ležaja - pomoću osjetnika brzine (seizmički tip):

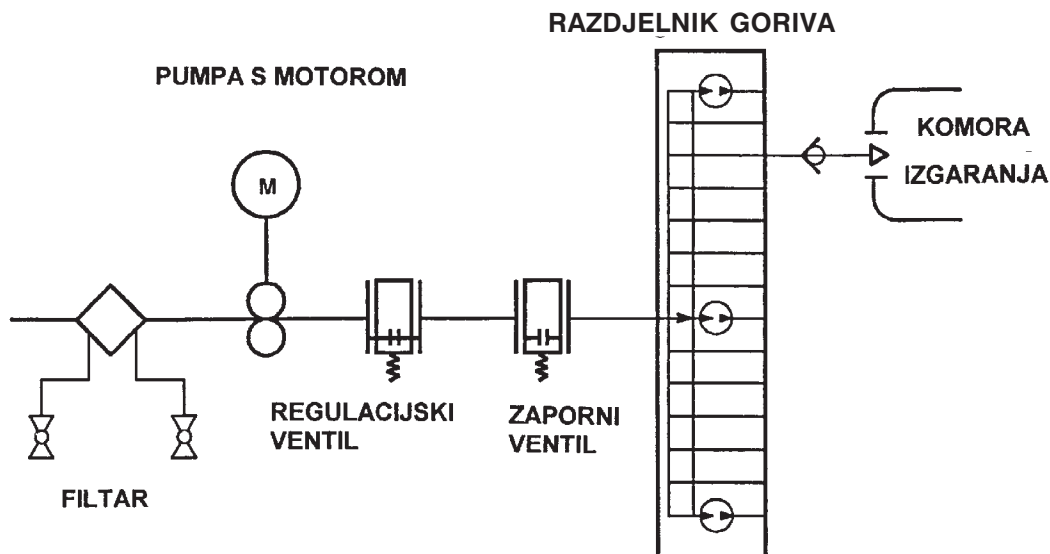
Kućište ležaja br. 1 - (39V-1A, 1B)

Kućište ležaja br. 2 - (39V-2A, 2B).

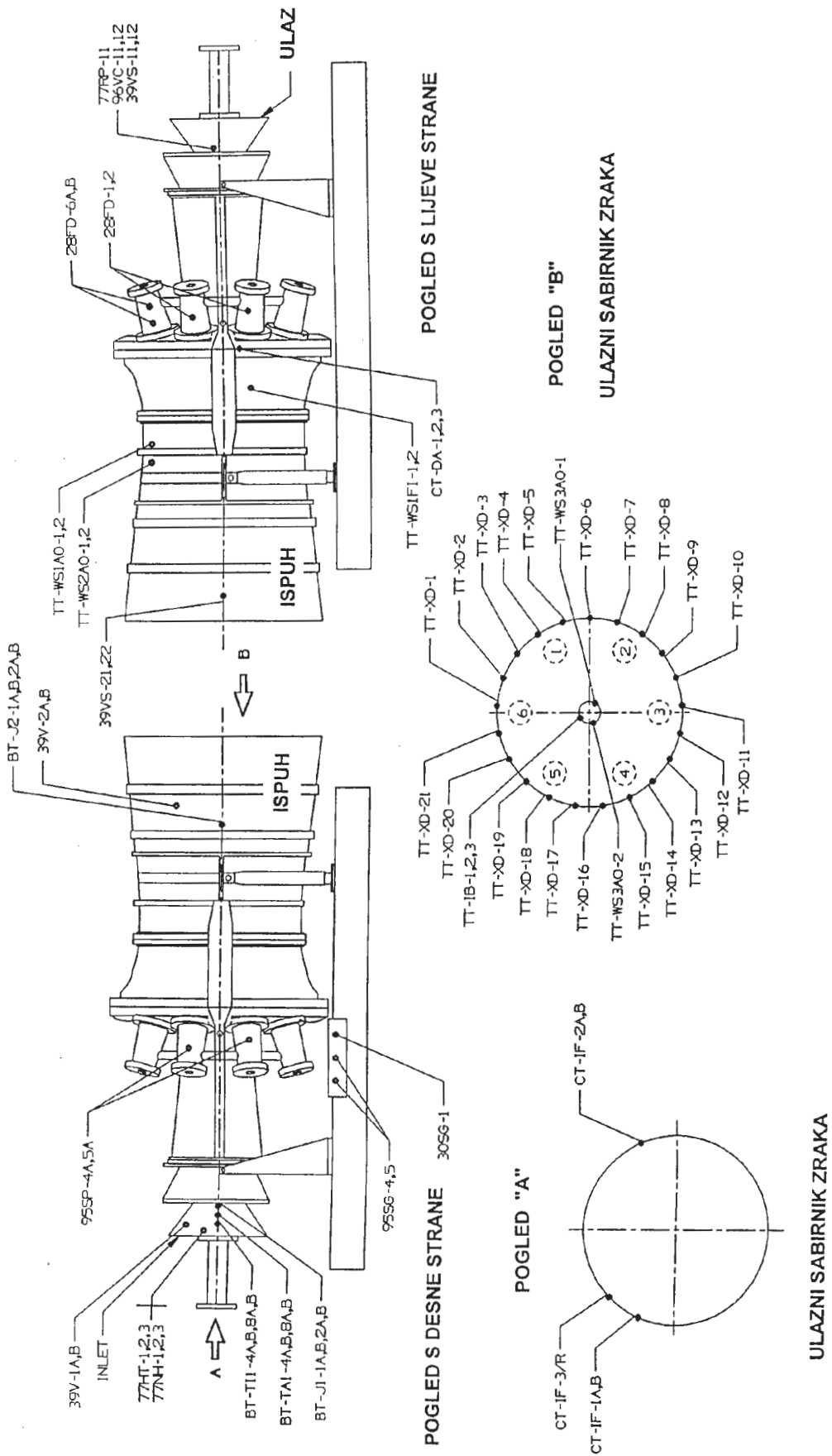
Ovi uređaji služe za praćenje i zaštitu turbinskog rotora i ležajeva od prekomjernih vibracija i oštećenja.

Indikacija brzine turbinskog vratila - pomoću magnet-skih osjetnika:

Prednji kompresorski osovinski blok (77NH-1,2,3) (77HT-1,2,3). Ovom se funkcijom osigurava referentni signal brzine koji se šalje regulaciji na Speedtronic uređaju tijekom upuštanja, opterećivanja i obustavljanja turbinske jedinice.



Slika 6. Sustav tekućeg goriva



Slika 7. Uređaji za praćenje i vođenje turbine

Indikacija temperature - pomoću preciznih termoparova:

Izlaz kompresora - (CT-DA-1,2 i 3). Funkcija je ovih termoparova da daju korigiranu referentnu temperaturu na izlazu kompresora za postavnu vrijednost kompresorskog izlaznog tlaka tijekom regulacije ulaznim privodnim lopaticama i tijekom regulacije brzinom vrtnje.

Pri turbinskom rotoru ili prostorima kola:

Prvi stupanj stražnji vanjski (TT-WS1AO-1,2), Prvi stupanj prednji unutarnji (TT-WS1FI-1,2), Drugi stupanj stražnji vanjski (TT-WS2AO-1,2), Treći stupanj stražnji vanjski (TT-WS3AO-1,2), Unutarnja turbinska oplata (TT-IB-1). Ova funkcija namijenjena je zaštititi dijelova turbine u vrućoj zoni, poput sapnica, rotorskih lopatica i kola od previsokih temperatura tijekom upuštanja, normalnog pogona i obustave.

Detekcija plamena - pomoću osjetnika s ultraljubičastim zračenjem: Detektori plamena (28FD-1, 2, 6A i 6B) u komorama izgaranja 1, 2 i 6. Funkcija detektora plamena je pokazivanje prisutnosti plamena u komorama izgaranja tijekom upuštanja i normalnog pogona turbine.

Paljenje u komorama izgaranja - pomoću sljedećih uređaja : Svjećica (95SP-4A, 5A) u komorama 4 i 5. Uzbuda paljenja (95SG-4 i 5) je postavljena na turbinsko postolje.

Funkcija ovih uređaja su paljenje u komorama i uspostavljanje izgaranja tijekom upuštanja turbine.

Posebne opcije

Praćenje vibracija ležaja

Korištenje bezkontaktnih osjetnika: Kućište ležaja br. 1 - (39VS-11, 12) (radijalni) i (96VC-11, 12) (aksijalni); (77RP-11) (ključni fazor), Kućište ležaja br. 2 - (39VS-21, 22) (radijalni).

Termoparovi kovine ležaja

Radijalni (klizni) i aksijalni (odrivni) ležajevi turbinske jedinice opremljeni su termoparovima za bijelu kovinu ležaja koji imaju funkciju praćenja "stvarne" temperature ležaja u radu i emitiraju alarm ako je temperatura kovine previsoka. Ova je funkcija predviđena da zaštiti turbinske ležajeve i površinu rotorskog rukavca od pregrijavanja i otkaza. Termoparovi su postavljeni na sljedeća mjesta: Glavni radijalni ležaj br. 1 - (BT-J1-1A, 1B, 2A, 2B), Glavni radijalni ležaj br. 2 - (BT-J2-1A, 1B, 2A, 2B), Aksijalni ležaj - aktivna površina - (BT-TA1-4A, B, 8A, B), Aksijalni ležaj - neaktivna površina - (BT-TI1-4A, B, 8A, B)

Uređaj za praćenje radnih karakteristika turbine

Zona ljevkastog kućišta kompresorskog ulaza ima postavljene sonde ukupnog tlaka i otpornički davač temperature (RTD) postavljene za praćenje radnih karakteristika kompresora u radu turbinske jedinice. Vrijednosti ulaznog kompresorskog tlaka i tempera-

ture moraju se mjeriti kako bi se ispunila funkcija praćenja radnih karakteristika turbine. Sustav obuhvaća sljedeću opremu:

- a. Ulazni prostor RTD (CT-IF-3/R)
- b. Sonde ukupnog i statičkog tlaka
- c. Razdjelnik monitora za praćenje radnih karakteristika s armaturama i hvatačima kondenzata
- d. Davače tlaka koji mjere:
 - ukupni tlak ulaznog zraka (96CS-1)
 - diferencijalni tlak ljevkastog kućišta (96BD-1)
 - barometarski tlak (96AP-1A, 1B, 1C)
 - izlazni kompresorski tlak (96CD-1, 1B, 1C)
 - ispušni tlak (96EP-1).

Navedeni davači tlaka postavljeni su na razdjelnik monitora radnih karakteristika koji je smješten izvan turbinskog postolja u neposrednoj blizini turbinskog odjeljka i ispušnih prostora. Osjetni vodovi tlaka idu od prostora do davačkih priključaka razdjelnika monitora.

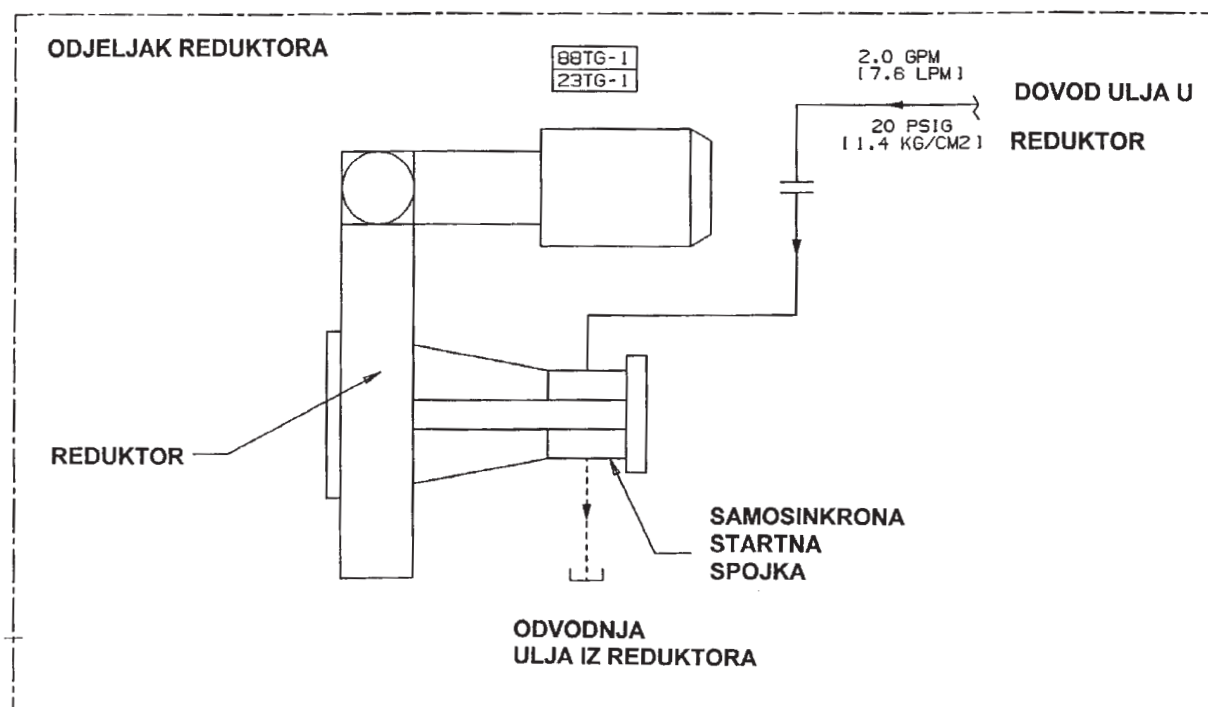
5. SUSTAV UPUŠTANJA TURBINE

Sustav upuštanja se sastoji od invertora komutirajućeg opterećenja (LCI) koji je prigon s prilagodljivom brzinom vrtnje a koristi se pri regulaciji brzine vrtnje sinhronih motora od nule do nazivne brzine vrtnje (8). Prigon se sastoji od statičke konverzije energije i mikroprocesorskih regulacijskih uređaja. LCI je funkcijski regenerativni inverter, reguliran strujom, hlađen tekućinom. On koristi nepovratne mostove istosmjerne struje s tiristorskom regulacijom u ulaznim i izlaznim konverterima snage. Zadatak LCI je da omogućiti okretati tj. podizati brzinu vrtnje turbine / generatora pri čemu generator postaje motor koji vrti turbinu sve dok se ne postigne 90% od nazivne brzine vrtnje.

Stroj za okretanje osigurava potrebnu snagu za rotaciju i odvajanje turbine prije nego što je pustimo u pogon, tj. prije nego će LCI stupiti u igru, a ujedno osigurava nastavak okretanja rotora, nakon prestanka rada turbine, čime se sprječava deformacija rotora.

Stroj za okretanje sastoji se od asinhronog elektromotora, reduktora i spojke koja se odvaja povećanjem broja okretaja, a pokreće osovinu kroz slijepi kraj malog zupčanika reduktora (sl. 8). Stroj za okretanje polako okreće turbinu približno 7 okr/m (9). Spojka je samo-aktivirajuća bilo za vrijeme postupka pri odvajanju turbine ili za vrijeme postupka osiguranja nastavka rada rotora te se otpušta uvijek kada rotor turbine / generatora premašuje pogonsku brzinu "stroja za okretanje", tj. brzinu od 7 okr/m.

Sustav uzbude generatora pogonjenog plinskom turbinom obavlja dvije različite funkcije na ovoj turbini. Od brzine vrtnje stroja za okretanje do 90 % brzine vrtnje, uzbuda osigurava promjenjivu uzbudu generatorskom rotoru. Za vrijeme tog perioda (LCI) Inverter komutiranog opterećenja opskrbljuje izmjeničnom strujom



Slika 8. Stroj za okretanje turbine s reduktorom

(AC) stezaljke generatora da bi generator djelovao kao sinhroni motor te da bi doveo turbinu na sinhronu brzinu vrtnje. Kad rotirajuća oprema postigne 95 % brzine vrtnje, uzбудnik osigurava uzбудu da bi se regulirao izmjenični napon na stezaljkama generatora.

Pri upuštanju od brzine vrtnje stroja za okretanje do 90 % brzine vrtnje generator se vozi kao motor da bi pokretao turbinu i kompresor. LCI Invertor komutiranog opterećenja upravlja za to vrijeme generatorom tako da koristi promjenjivu izmjeničnu frekvenciju i napon na stezaljkama generatora. U trenutku kad je brzina vrtnje postigla 60 % turbina je samoodrživa pa LCI manje doprinosi. Pri upuštanju uzбудnik šalje izlaznu struju prema generatorskom polju da bi u startu podržavao generator kao motor. Postignućem oko 90 % brzine vrtnje LCI i EX2000 obustavljaju, a turbina regulira brzinu vrtnje.

Pri 95 %-tnoj brzini vrtnje starta EX2000 (digitalni sustav uzbuđe) te radi na regulaciji napona izmjenične struje generatora tako da kontrolira veličinu uzbuđnog polja (10). Tiristorski (SCR) Moduli konverzije energije (PCM = Power Conversion Modules) se koriste za ispravljanje izmjenične u istosmjernu električnu energiju. Istosmjerna struja se dobavlja rotoru, tj. generatorskom polju.

6. ZAKLJUČNO O GLAVNIM SUSTAVIMA TURBINE

Upravljački sustav SPEEDTRONIC Mark V sadrži veći broj upravljačkih, regulacijskih, zaštitnih i sustava koji su projektirani za pouzdan i siguran pogon plinske turbine.

Upravljanje plinskom turbinom obuhvaća upuštanje (start), ubrzanje, brzinu vrtnje, temperaturu, obustavu i funkcije ručnog upravljanja. Senzori nadziru brzinu vrtnje turbine, izlaznu temperaturu, tlak na izlazu iz kompresora i druge parametre koji određuju pogonsko stanje turbine. Kada je nužna promjena pogonskog stanja turbine zbog promjene opterećenja ili okolišnih uvjeta, regulacija mijenja protok goriva u turbinu. Na primjer, ako izlazna temperatura teži prekoračenju dopuštene vrijednosti za dano pogonsko stanje, sustav upravljanja temperaturom smanjuje količinu goriva koja se dobavlja turbini i time ograničava izlaznu temperaturu.

Pogonska stanja turbine se kontroliraju i kao povratni signali šalju u upravljački sustav SPEEDTRONIC. Postoje tri glavna upravljanja turbinom - upuštanje, brzina i temperatura - koje mogu biti u funkciji za vrijeme pogona turbine. Izlaz ovih upravljačkih petlji je spojen na logički sklop minimalne vrijednosti. Sekundarna upravljanja su ubrzanje te ručno vođenje. Otvorenost ventila za dovod goriva FSR (Fuel Stroke Reference) je upravljački signal za količinu protoka goriva. Selektivna logička vrata minimalne vrijednosti spajaju izlazne signale šest načina upravljanja s FSR; najniža izlazna vrijednost FSR izlaznog signala iz šest upravljačkih petlji može proći kroz logički sklop prema sustavu upravljanja gorivom kao upravljački FSR. Upravljački FSR će uspostaviti ulaznu količinu goriva u turbinu prema iznosu koji zahtijeva režim koji trenutno upravlja (upuštanje, brzina, temperatura, ubrzanje te ručno vođenje). Samo jedno od upravljanja (ili načina upravljanja turbinom) će voditi turbinu u

određenom trenutku, a upravljanje, tj. režim upravljanja koji u tom trenutku postaje regulacijska petlja, ili mod koji upravlja sa FSR bit će prikazan na zaslону.

Regulacija upuštanja sigurno dovodi turbinu od brzine vrtnje nula do radne brzine osiguravajući točno količinu goriva koja je potrebna za uspostavu plamena i ubrzanje turbine na takav način da se smanji zamor dijelova na stazi vrućih plinova za vrijeme te faze. To obuhvaća ispravno određivanje slijeda signala naredbi pomoćnim uređajima, uređaju za start i sustavu regulacije goriva. Budući da sigurno i uspješno upuštanje ovisi o ispravnom funkcioniranju opreme plinske turbine, važno je verificirati stanje izabranih uređaja u sekvenci. Više regulacijskih logičkih krugova ne samo da je pridruženo upravljačkim uređajima sustava regulacije nego omogućuje zaštitnim krugovima da se postignu dopuštena stanja prije početka procesa.

LITERATURA

- [1] J. RAMACHANDRAN i M. C. CONWAY, "MS6001FA - Novija tehnologija 70 MW plinskih turbina klase 50 Hz / 60 Hz - GER - 3765B", GE POWER SYSTEMS, NY 1995.
- [2] LS 4040 " Lubrication system " Gas turbine, General Electric Company, October, 1999.
- [3] HS 4040 " Hydraulic Supply system " Gas turbine, General Electric Company, October, 1999.
- [4] GEK 106910 " Variable Inlet Guide Vane system " Gas turbine, General Electric Company, April 1998.
- [5] GEK 106853 " Fuel Gas Control System " Gas turbine, General Electric Company, March, 1998.
- [6] LF 4040 " Liquid Fuel System " Gas turbine, General Electric Company, October, 1999.
- [7] B00458 " Turbine Control Devices " Gas turbine, General Electric Company, March, 1999.
- [8] GEH-6373 " Load Commutated Inverter " Users Manual, General Electric Company, March, 1998.
- [9] SS 4040 " Starting System " Gas turbine, General Electric Company, October, 1999.
- [10] GEH-6120 " EX200 Digital Exciter "Users Manual, General Electric Company, November, 1994.
- [11] A00023 rev.A " Fundamentals of Speedtronic Mark V control system ", General Electric Company, 16. 08. 1994.

MAIN GAS TURBINE SYSTEMS IN THPP ZAGREB

Gas turbine MS6001FA of 70 MW was built in a combined generation plant THPP Zagreb. The turbine is a complex plant including a whole range of systems and subsystems. Although the turbine's operation state is controlled and back signals are sent to the SPEEDTRONIC management system so that all other systems seem to be of secondary importance, the intention here is to show that a management system cannot operate without those other systems

as regards the turbine's proper operation. Of course, all systems and subsystems cannot be mentioned here and the division itself can't be done in any other way. This time it is about the lubrication oil system, hydraulic and trip oil systems and the related input generation valves, gas fuel and liquid fuel systems. They can be taken as the main gas turbine systems, which has not been done here because in that case the evaluation should be more detailed. The equipment for control and turbine management directly serves the SPEEDTRONIC computer system and contains all components for the control and management of gas turbines, i.e. temperature measurement, vibration indication, rotating speed measurement, fire detection, switching. The launching system is also elaborated.

HAUPTKONSTRUKTIONSSÄTZE DER GASTURBINE MS6001FA IM WÄRMEKRAFTWERK ZAGREB

Die 70 MW Gasturbine MS6001FA ist ein Bestandteil der Kombi-Erzeugungsanlage im Wärmekraftwerk (TE-TO) ZAGREB. Die Turbine ist eine aus vielen Konstruktionshauptsätzen und kleineren Sätzen zusammengesetzte Anlage. Obwohl die Betriebszustände der Turbine kontrolliert sind, wobei rückwirkende Signale in den Steuerungssatz SPEEDTRONIC gesandt werden, und dabei andere Sätze als sekundär erscheinen, ist man hier bestrebt zu zeigen daß der Steuerungssatz ohne diese übrigen Sätze nicht seine Aufgabe erfüllen kann auch nicht wirkungsfähig ist, da sie für den eiwandfreien Betrieb der Turbine genau so wichtig sind wie der Steuersatz. Selbstverständlich können hier nicht alle Sätze mit den dazugehörigen kleineren Sätzen umfasst werden, da die Gliederung nicht anderswie durchzuführen ist. Hier ist die Rede vom Schmierölsatz, dem Hidraulikölsatz und dem Auskuppelungölsatz, und mit diesen Sätzen verbundenen Eintrittslaufschauffeln (IGV), weiters vom Gas- und Flüssigbrennstoffsatz. Eintrittslaufschauffeln (IGV), Gasbrennstoffzusammensetzung und Flüssigbrennstoffsatz können selbstständig als Gasturbinenhauptsätze genommen werden, was hier nicht der Fall ist, sonst müssten wir diese Sätze in wesentlichen Einzelheiten bearbeiten. Gemeint als Nachführungs- und Steuerungsanlagen sind jene die unmittelbar dem Rechnersystem SPEEDTRONIC dienen und alle Bestandteile für die Nachführung und Steuerung umfassen, d.h. Temperaturmessungen, Anzeige der Schwingungen, Drehgeschwindigkeitsmessungen, Flammen- und Zündungsnachweiss. Der Inbetriebnamesatz ist ebenfalls bearbeitet.

Naslov pisca:

Mr. sc. Miroslav Šander, dipl. ing.
Elektroprojekt
Alexandra von Humboldta 4
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
 2001-06-11.

*Svojim suradnicima
i
čitateljima
sretnu i uspješnu
2002.*

želi Uredništvo

ANALIZA MAKSIMALNIH I MINIMALNIH KRATKOSPOJNIH PRILIKA U PRIJENOSNOJ MREŽI HRVATSKE 2000. GODINE

Mr. sc. Davor Nevećerel, Zagreb

UDK 644.1.1:621.317
STRUČNI ČLANAK

U članku su prikazani usporedni rezultati proračuna maksimalnog i minimalnog kratkog spoja za mrežu 2000. godine. Pri tome su rezultati maksimalnog kratkog spoja ažurirani u odnosu na podatke za nazivnu 2000. godinu prema referentnoj studiji [1].

Ključne riječi: proračun kratkog spoja, maksimalni kratki spoj, minimalni kratki spoj.

1. UVOD

U dosadašnjim analizama kratkospojnih prilika prijenosne mreže Hrvatske uobičajena praksa je bila računanje maksimalnog početnog kratkog spoja, potrebnog za dimenzioniranje i kontrolu opreme elektroenergetskih postrojenja. Zadnja sustavna studija proračuna kratkospojnih prilika u EES-a Hrvatske provedena 1999. godine [1] odnosila se je na razvoj kratkospojnih prilika od nazivne 2000. do nazivne 2010. godine.

Zbog razlika između stvarne konfiguracije i predviđenog stanja mreže nazivne 2000. godine, a što je posljedica usporene dinamike obnove i izgradnje prijenosne mreže, ukazala se potreba da se kratkospojne prilike sagledaju za stvarnu konfiguraciju mreže u 2000. godini.

U okvirima analize kratkog spoja koja se odnosi na stvarnu današnju mrežu, korisno je provesti i širu analizu, koja pored proračuna maksimalnog kratkog spoja uključuje i proračun minimalnog kratkog spoja. Sagledane prilike minimalnog kratkog spoja služe kao nužna podloga za kontrolu rada relejne zaštite mreže, s aspekta udešenja i selektivnosti.

Navedeni proračuni se provode prema internacionalnom standardu IEC 909/1988 za karakteristični simetrični kvar (tropolni kratki spoj) i karakteristični nesimetrični kvar (jednopolni kratki spoj), te stoga traže šire modeliranje elektroenergetskog sustava.

Proračun maksimalnog kratkog spoja pretpostavlja pri tome kompletnu prijenosnu mrežu u paralelnom radu, uz angažiranje svih proizvodnih jedinica i direktno uzemljenje svih interkonektivnih transformatora, blok transformatora i transformatora 110/x. Kontrola kratkospojnih prilika provedena u tom slučaju upozorava na moguća prekoračenja kratkospojne čvrstoće postojeće opreme i daje dalje nužne podatke za dimenzioniranje opreme budućih postrojenja.

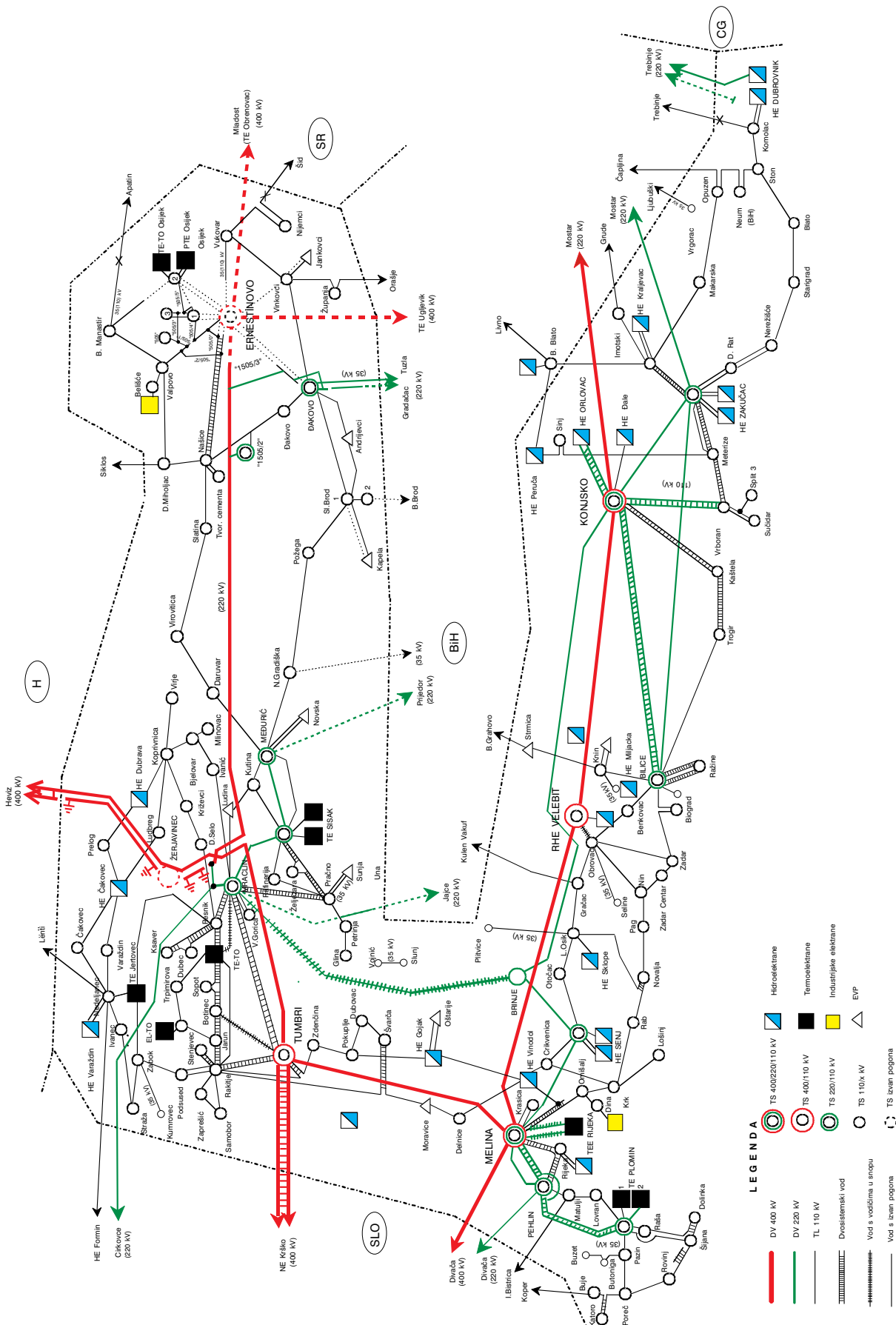
Nakon što je proveden proračun maksimalnog kratkog spoja za postojeću mrežu 2000. godine, prikazan je i osvrt na razlike prema proračunu kratkog spoja u nazivnoj 2000. godini, provedeno u referentnoj studiji [1]. Proračun minimalnog kratkog spoja prema internacionalnom standardu IEC 909/1988 pretpostavlja naponski faktor $c = 1.0$ i smanjeno uklopno stanje prema dogovoru. Uvrštenje generatora usuglašeno je s *Naručiteljem* za prilike minimalnog angažiranja proizvodnih agregata. Za tako usuglašenu mrežu provedena je dalje analiza pojedinačnih ispada svakog od priključenih vodova i transformatora za sva postrojenja 400, 220 i 110 kV.

2. KONFIGURACIJA PRIJENOSNE MREŽE 400, 220 I 110 kV HRVATSKE ELEKTROPRIVREDE 2000. GODINE

Konfiguracija postojeće prijenosne mreže Hrvatske 400 kV, 220 kV i 110 kV u 2000. godini prikazana je na slici 1.

Karakterizira ju uspostava 400 kV veze prema Mađarskoj, koja je ostvarena priključkom na dio DV 400 kV Tumbri – Ernestinovo, preko jedne trojke DV 2x400 kV Veleševac – Žerjavinec na jednu trojku DV 2x400 kV Žerjavinec – Heviz. Takav privremeni pogon je posljedica kašnjenja u izgradnji TS 400/220/110 kV Žerjavinec.

Prijenosna mreža Slavonije je preko TS 220/110 kV 1505/2 povezana na 220 kV nivou s TS 220/110 kV Mraclin koristeći drugu trojku DV 2x400 kV Žerjavinec – Veleševac i ostatak DV 400 kV Tumbri – Ernestinovo. Područje PrP Osijek trpi još velike posljedice Domovinskog rata i nije još u potpunosti obnovljeno. Posebno se to odnosi na obnovu porušene TS 400/110 kV Ernestinovo, koja se planira obnoviti uz međunarodnu pomoć.



Slika 1. Prijenosna mreža 400 – 220 – 110 kV EES Hrvatske – stanje 2000. godine

Prijenosnu mrežu 2000. godine karakteriziraju ulasci novih proizvodnih objekata u pogon, TE Plomin 2 snage 247 MVA i novih agregata u postrojenju 110 kV TE-TO Zagreb snage 3x80 MVA.

Povezivanje s prijenosnom mrežom 400 i 220 kV BiH i SR još nije u potpunosti uspostavljeno (posljedice ratnih razaranja). U pogonu su jedino vodovi 220 kV Đakovo – Tuzla, Konjsko – Mostar (DV 400 kV privremeno pod naponom 220 kV) i Zakućac – Mostar.

3. PRORAČUN UKUPNIH VELIČINA NAJVEĆIH MOGUĆIH POČETNIH STRUJA TROPOLNOG I JEDNOPOLNOG KRATKOG SPOJA

Proračun maksimalnog kratkog spoja proveden je prema [2] i [3], uz pretpostavku napona prije nastanka kvara jednakim nazivnom naponu pomnoženom s naponskim faktorom $c = 1.1$. Treba naglasiti da proračun maksimalnog kratkog spoja predstavlja skup od N proračuna (gdje je N =broj čvorova mreže) koji predstavljaju maksimalne kratkospojne prilike u svakom od razmatranih čvorova.

Struje u čvorištu k gdje je nastao kvar određuju se prema matricnom izrazu:

$$\mathbf{I}_{k(F)}^{sim} = \mathbf{Y}_F^{sim} (1 + \mathbf{Z}_{kk}^{sim} \mathbf{Y}_F^{sim})^{-1} \mathbf{E}_{k(0)}^{sim} \quad (3.1)$$

Struje u granama i - j se dalje određuju prema izrazu:

$$\mathbf{I}_{ij(k)}^{sim} = \mathbf{y}_{i-j}^{sim} (\mathbf{E}_{i(k)}^{sim} - \mathbf{E}_{j(k)}^{sim}) \quad (3.2)$$

U izrazima (3.1) i (3.2) pojedine matrice u sustavu simetričnih komponenata (sim) imaju sljedeće značenje:

- \mathbf{Z}_{kk} = vlastita impedancija čvorišta k
- \mathbf{Z}_{ik} = vlastita impedancija grane i - k
- $\mathbf{E}_{k(0)}$ = vektor napona prije nastanka kvara
- $\mathbf{E}_{i(k)}, \mathbf{E}_{j(k)}$ = vektori napona čvorišta i, j
- sim = općenita oznaka za simetrične komponenta
- \mathbf{y}_{i-j} = vodljivost grane i - j
- \mathbf{Y}_F = matrica kvara [3], sljedećeg iznosa za tropolni i jednopolni kratki spoj:

| | tropolni kratki spoj | | | jednopolni kratki spoj | | |
|-------|----------------------|---|---|------------------------|---|---|
| y_F | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |

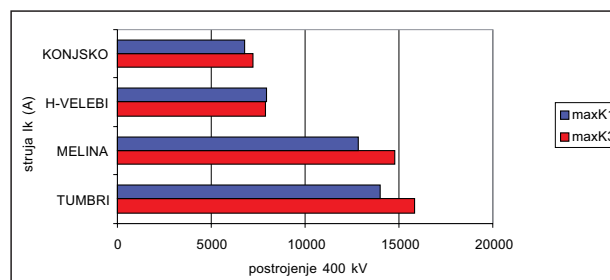
Relacija između faznih i simetričnih veličina opisana je Fortescueovom matricom transformacija $\mathbf{T}: \mathbf{A}^{faz} = \mathbf{T} \mathbf{A}^{sim}$.

4. REZULTATI PRORAČUNA NAJVEĆIH MOGUĆIH POČETNIH STRUJA TROPOLNOG I JEDNOPOLNOG KRATKOG SPOJA NA SABIRNICAMA 400, 220 I 110 kV PRIJENOSNE MREŽE HEP-a

Kompletni rezultati proračuna najvećih mogućih početnih struja tropolnog i jednopolnog kratkog spoja na sabirnicama 400, 220 i 110 kV prijenosne mreže

Hrvatske elektroprivrede nalaze se u [6]. Pregled osnovnih podataka proračuna tropolnog i jednopolnog kratkog spoja prikazan je na slikama 2–4.

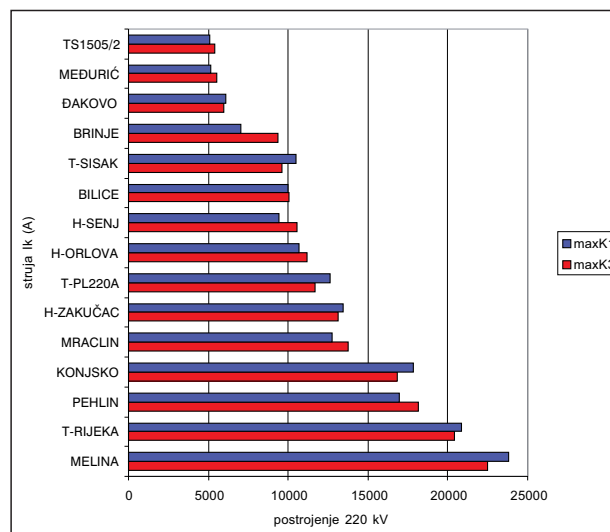
Slika 2 prikazuje rezultate proračuna maksimalnog tropolnog i jednopolnog kratkog spoja u 400 kV mreži Hrvatske elektroprivrede 2000. godine, svrstanih prema kriteriju veličina struja tropolnog kratkog spoja. Radi se o ukupno četiri postrojenja, od kojih se postrojenja Tumbri i Melina na pragu od 16 kA, dok se preostala dva postrojenja H-Velebit i Konjsko još ne dosižu 10 kA (TS Konjsko još nema uspostavljenu 400 kV vezu sa Mostarom).



Slika 2. Najveće moguće ukupne struje kratkog spoja u kV mreži HEP-a

Karakteristično je za kratkospojne prilike u 400 kV mreži Hrvatske, da su struje početnog tropolnog kratkog spoja uglavnom veće od struja jednopolnog kratkog spoja, što je posljedica nedostatka izvora na 400 kV nivou prijenosnog sustava HEP-a.

Slika 3 prikazuje rezultate proračuna maksimalnog tropolnog i jednopolnog kratkog spoja u 220 kV mreži Hrvatske elektroprivrede 2000. godine, svrstanih prema kriteriju veličina struja tropolnog kratkog spoja. Radi se o ukupno petnaest postrojenja, gdje svega dva postrojenja (Melina i TE Rijeka) prelaze prag od 20 kA, sljedeća dva (Pehlin i Konjsko) se nalaze u grupi 16-20 kA, dok su sva ostala postrojenja ispod praga od 16 kA.

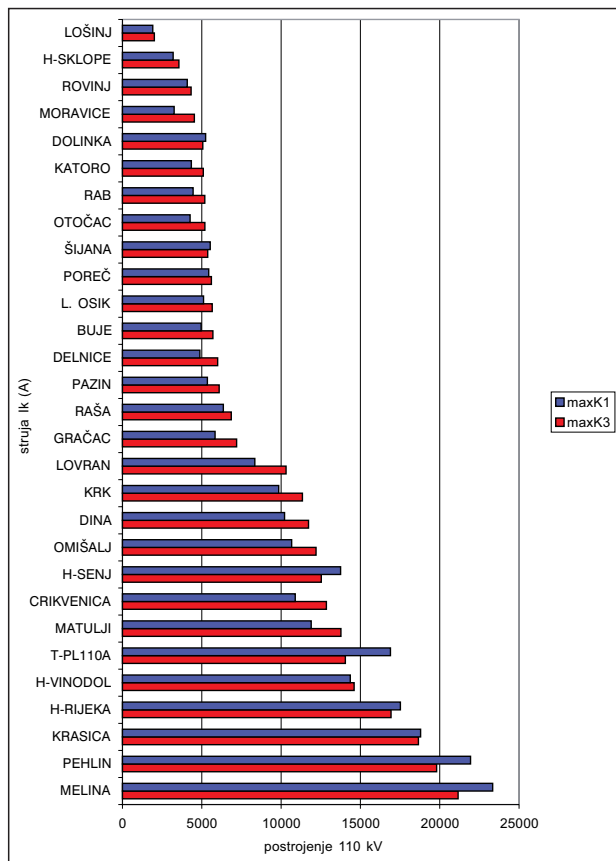


Slika 3. Najveće moguće ukupne struje početnog kratkog spoja u mreži 220 kV HEP-a

Kratkospojne prilike u 220 kV mreži Hrvatske karakteriziraju uglavnom veće struje početnog jednopolnog kratkog spoja u odnosu na struje tropsnog kratkog spoja, što je posljedica veće izgrađenosti izvora na 220 kV nivou prijenosnog sustava HEP-a u kombinaciji sa simetričkim karakteristikama interkonektivnih transformatora.

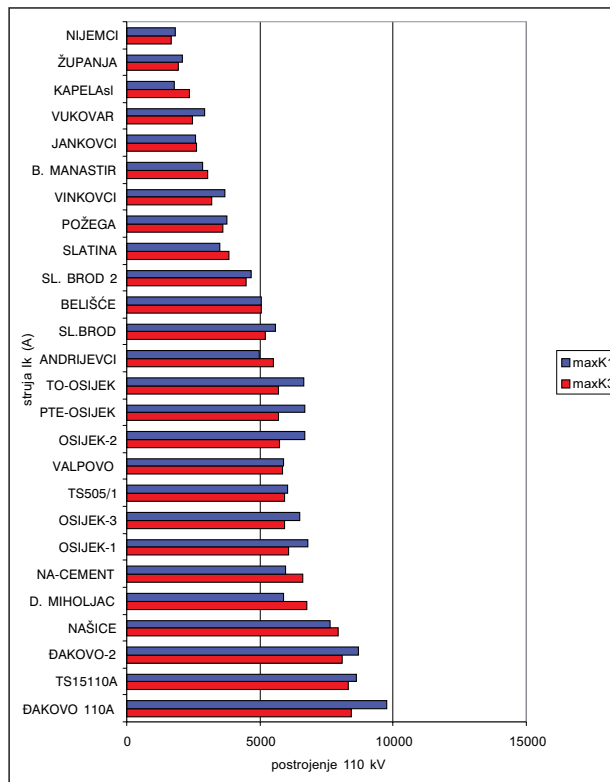
Dalje slijedi slika 4 (podijeljena na četiri elektroprivredna područja PrP Osijek, Opatija, Split i Zagreb) koja se odnosi na prilike u 110 kV mreži Hrvatske elektroprivrede. Najveće struje kratkog spoja su u TS Tumbri (na pragu 40 kA), kod sljedeća dva postrojenja (TE-TO Zagreb i Mraclin) su veće od 31.5 kA, a zatim slijedi grupa postrojenja 20-31.5 kA sa područja (nesekcioniranog, osim 110 kV kabelaške petlje) Zagreba: Botinec, Rakitje, Jarun, Resnik, Trpimirova, EL-TO Zagreb, Sopot, TE Sisak, zajedno s postrojenjima Melina, Pehlin i HE Zakučac.

Sva ostala postrojenja 110 kV ne prelaze prag od 20 kA.

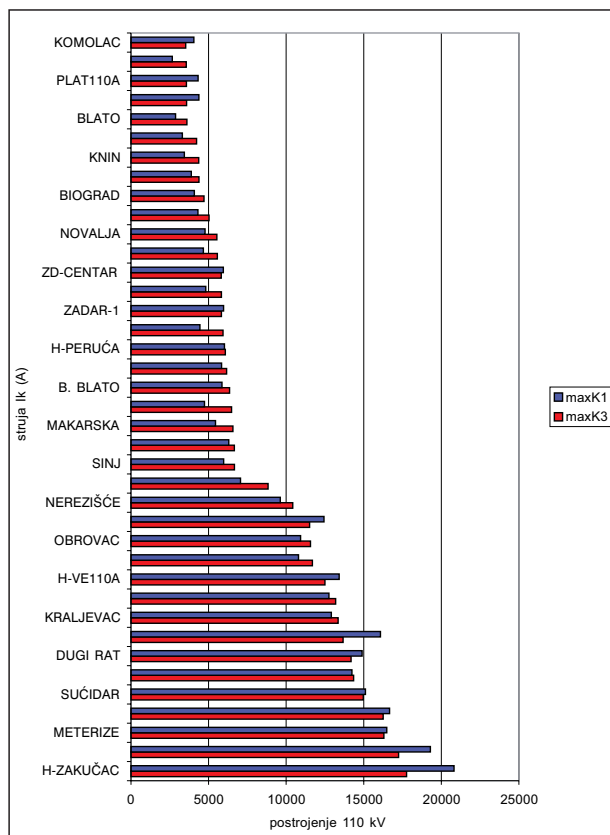


Slika 4a. Najveće moguće ukupne struje početnog kratkog spoja u 110 kV mreži PrP Opatija 2000. godine

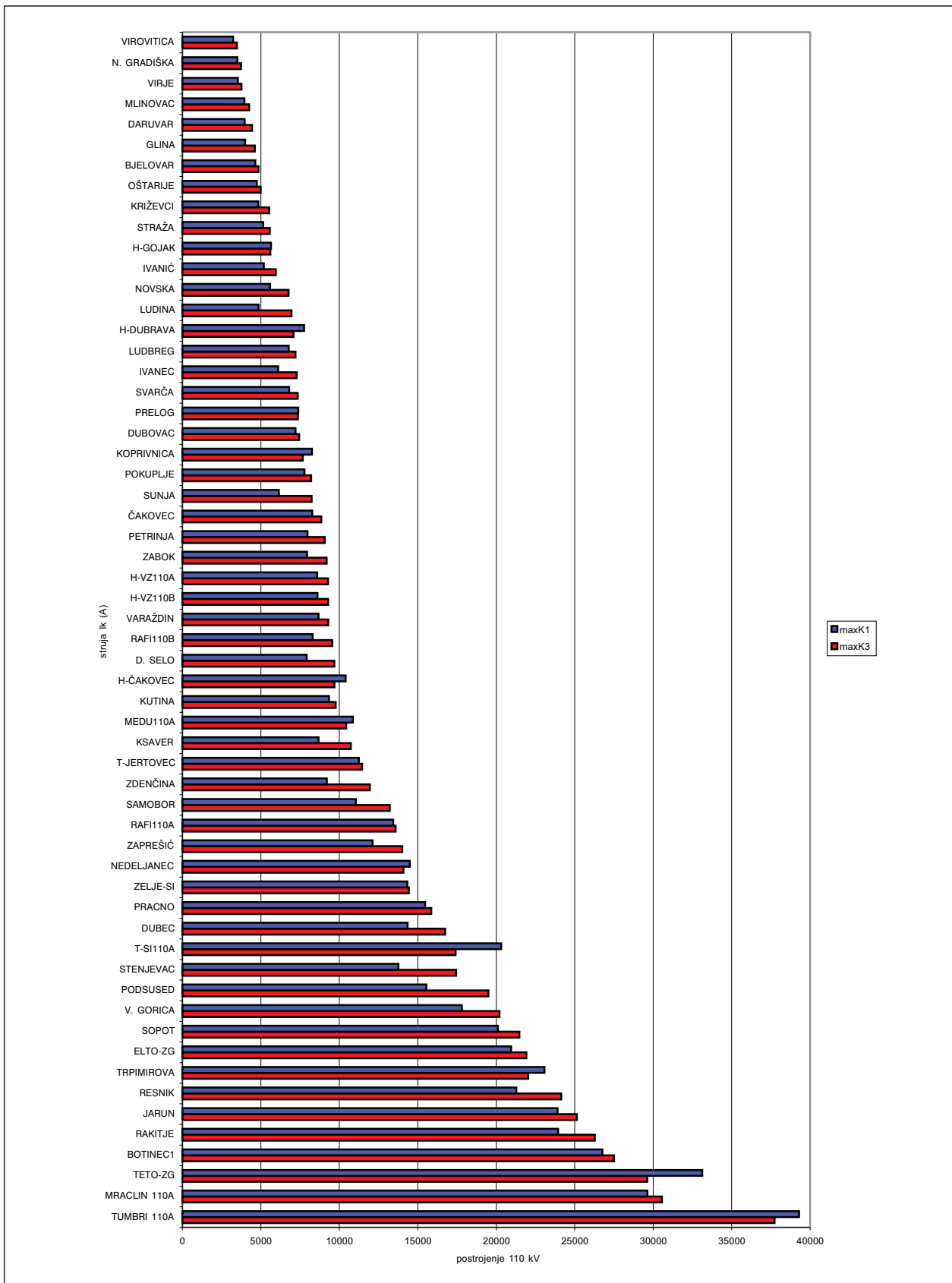
Budući da je sličan proračun za 2000. godinu izrađen 1999. godine [1], priložen je u tablici 1 i usporedbeni osvrt na dobivene rezultate u odnosu na navedenu studiju. Takav osvrt je nužan u kontroli stupnja realizacije predviđenih sagledavanja planirane mreže, koja je sada polazište za usporedbu s rezultatima minimalnog kratkog spoja.



Slika 4b. Najveće moguće ukupne struje početnog kratkog spoja u 110 kV mreži PrP Osijek



Slika 4c. Najveće moguće ukupne struje početnog kratkog spoja u 110 kV mreži PrP Split 2000. godine



Slika 4d. Najveće moguće ukupne struje početnog kratkog spoja u 110 kV mreži PrP Zagreb 2000.

Tablica 1. Usporedba rezultata proračuna kratkog spoja sa [1]

| 2000. stvarna | Ik3'' | Ik1'' | 2000. nazivna | Ik3'' | Ik1'' | delta Ik3'' | delta Ik1'' |
|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|-------------|-------------|
| MELINA | 14792 | 12820 | MELINA | 14161 | 12535 | 4,5 | 2,3 |
| H-VELEBIT | 7878 | 7959 | H-VELEBIT | 7786 | 7897 | 1,2 | 0,8 |
| KONJSKO | 7210 | 6790 | KONJSKO | 7088 | 6711 | 1,7 | 1,2 |
| TUMBRI | 15813 | 13976 | TUMBRI | 15804 | 14674 | 0,1 | -4,8 |
| MELINE 220A | 22515 | 23795 | MELINA220A | 22101 | 23609 | 1,9 | 0,8 |
| T-RIJEKA | 20434 | 20885 | T-RIJEKA | 20109 | 20725 | 1,6 | 0,8 |
| PEHLIN | 18152 | 16945 | PEHLIN | 17845 | 16842 | 1,7 | 0,6 |
| H-SENJ | 10525 | 9396 | H-SENJ | 10496 | 9385 | 0,3 | 0,1 |
| BRINJE | 9366 | 7053 | BRINJE | 9372 | 7062 | -0,1 | -0,1 |
| T-PL220A | 11685 | 12607 | T-PL220A | 11530 | 12529 | 1,3 | 0,6 |
| TS1505/2 | 5386 | 5115 | | | | | |
| ĐAKOVO | 5954 | 6077 | ĐAKOVO | 8996 | 8001 | -33,8 | -24,0 |
| KONJSKO 220A | 16850 | 17812 | KONJSKO 220A | 16299 | 17343 | 3,4 | 2,7 |
| BILICE | 10073 | 9977 | BILICE | 9957 | 10156 | 1,2 | -1,8 |
| H-ZAKUČAC | 13114 | 13441 | H-ZAKUČAC | 13020 | 13400 | 0,7 | 0,3 |
| H-ORLOVAC | 11175 | 10662 | H-ORLOVAC | 10970 | 10536 | 1,9 | 1,2 |
| MRACLIN | 13743 | 12752 | MRACLIN | 14888 | 13786 | -7,7 | -7,5 |
| T-SISAK | 9616 | 10488 | T-SISAK | 11818 | 12325 | -18,6 | -14,9 |
| MEĐURIĆ | 5529 | 5162 | MEĐURIĆ | 10392 | 8876 | -46,8 | -41,8 |
| MELINE 110A | 21157 | 23334 | MELINA110A | 21709 | 24340 | -2,5 | -4,1 |
| Kraljevica | 13429 | 11828 | Kraljevica | 14484 | 13239 | -7,3 | -10,7 |
| Šilo | 12905 | 11320 | Šilo | 14400 | 13385 | -10,4 | -15,4 |
| OMIŠALJ | 12204 | 10664 | OMIŠALJ | 14780 | 14029 | -17,4 | -24,0 |
| DINA | 11730 | 10219 | DINA | 14090 | 13276 | -16,7 | -23,0 |
| H-RIJEKA | 16932 | 17521 | H-RIJEKA | 17018 | 17669 | -0,5 | -0,8 |
| MATULJI | 13771 | 11899 | MATULJI | 13714 | 11892 | 0,4 | 0,1 |
| LOVRAN | 10315 | 8346 | LOVRAN | 10301 | 8350 | 0,1 | 0,0 |
| H-VINODOL | 14603 | 14359 | H-VINODOL | 16550 | 16748 | -11,8 | -14,3 |
| H-SENJ 110A | 12535 | 13750 | H-SENJ110A | 12562 | 13776 | -0,2 | -0,2 |
| DELNICE | 6001 | 4881 | DELNICE | 6214 | 5016 | -3,4 | -2,7 |
| MORAVICE | 4532 | 3261 | MORAVICE | 4601 | 3294 | -1,5 | -1,0 |
| PEHLIN 110A | 19802 | 21944 | PEHLIN110A | 19712 | 22020 | 0,5 | -0,3 |
| KRASICA | 18654 | 18793 | KRASICA | 17708 | 17357 | 5,3 | 8,3 |
| CRIKVENICA | 12855 | 10890 | CRIKVENICA | 13552 | 11493 | -5,1 | -5,2 |
| Kk-krckk | 11983 | 9830 | | | | | |
| KRK | 11345 | 9851 | KRK | 12171 | 10867 | -6,8 | -9,3 |
| Kk-m.bok | 6153 | 4719 | | | | | |
| Kk-merag | 5365 | 4088 | | | | | |
| Kk-surbo | 5737 | 4583 | | | | | |
| Kk-stoja | 5559 | 4477 | | | | | |
| RAB | 5193 | 4454 | RAB | 5105 | 4506 | 1,7 | -1,2 |
| Kk-vasib | 5155 | 4314 | | | | | |
| LOŠINJ | 2011 | 1913 | LOŠINJ | 2037 | 1926 | -1,3 | -0,7 |
| Karlobag | 4813 | 3881 | | | | | |
| Kk-korom | 5155 | 4285 | | | | | |

| 2000. stvarna | Ik3" | Ik1" | 2000. nazivna | Ik3" | Ik1" | delta Ik3" | delta Ik1" |
|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|------------|------------|
| kk-toret | 5200 | 4336 | | | | | |
| T-PL110A | 14052 | 16894 | T-PL110A | 14334 | 17328 | -2,0 | -2,5 |
| DOLINKA | 5065 | 5242 | DOLINKA | 6465 | 6445 | -21,7 | -18,7 |
| SIJANA | 5376 | 5532 | SIJANA | 7599 | 7644 | -29,3 | -27,6 |
| BUJE | 5700 | 4959 | BUJE | 6703 | 6168 | -15,0 | -19,6 |
| RAŠA | 6857 | 6359 | RAŠA | 9384 | 9249 | -26,9 | -31,2 |
| PAZIN | 6098 | 5352 | PAZIN | 7024 | 6589 | -13,2 | -18,8 |
| POREČ | 5607 | 5438 | POREČ | 5998 | 5812 | -6,5 | -6,4 |
| ROVINJ | 4327 | 4084 | ROVINJ | 5337 | 4854 | -18,9 | -15,9 |
| KATORO | 5097 | 4341 | KATORO | 5454 | 4948 | -6,5 | -12,3 |
| L. OSIK | 5658 | 5110 | L. OSIK | 5655 | 5176 | 0,1 | -1,3 |
| H-SKLOPE | 3557 | 3197 | H-SKLOPE | 3556 | 3208 | 0,0 | -0,3 |
| OTOČAC | 5197 | 4262 | OTOČAC | 5199 | 4271 | 0,0 | -0,2 |
| GRAČAC | 7196 | 5837 | GRAČAC | 7231 | 5955 | -0,5 | -2,0 |
| TS15110A | 8310 | 8602 | | | | | |
| ĐAKOVO110A | 8418 | 9777 | ĐAKOVO110A | 15999 | 16315 | -47,4 | -40,1 |
| OSIJEK-1 | 6086 | 6801 | OSIJEK-1 | 15148 | 15806 | -59,8 | -57,0 |
| OSIJEK-2 | 5718 | 6683 | OSIJEK-2 | 15508 | 17077 | -63,1 | -60,9 |
| OSIJEK-3 | 5940 | 6508 | OSIJEK-3 | 14699 | 15799 | -59,6 | -58,8 |
| TO-OSIJEK | 5707 | 6661 | TO-OSIJEK | 15385 | 16869 | -62,9 | -60,5 |
| PTE-OSIJEK | 5713 | 6668 | PTE-OSIJEK | 15450 | 16938 | -63,0 | -60,6 |
| B. MANASTIR | 3019 | 2861 | B. MANASTIR | 7654 | 6580 | -60,6 | -56,5 |
| D. MIHOLJAC | 6768 | 5882 | D. MIHOLJAC | 9250 | 7506 | -26,8 | -21,6 |
| ĐAKOVO-2 | 8077 | 8692 | ĐAKOVO-2 | 13470 | 12416 | -40,0 | -30,0 |
| VALPOVO | 5839 | 5902 | VALPOVO | 9494 | 8898 | -38,5 | -33,7 |
| VINKOVCI | 3184 | 3692 | VINKOVCI | 9442 | 8867 | -66,3 | -58,4 |
| ŽUPANJA | 1925 | 2095 | ŽUPANJA | 3207 | 3043 | -40,0 | -31,2 |
| SL. BROD | 5194 | 5583 | SL. BROD | 8872 | 8547 | -41,5 | -34,7 |
| SL. BROD2 | 4494 | 4653 | SL. BROD2 | 7707 | 7092 | -41,7 | -34,4 |
| POŽEGA | 3619 | 3743 | POŽEGA | 5101 | 4771 | -29,1 | -21,5 |
| NAŠICE | 7933 | 7638 | NAŠICE | 10619 | 8755 | -25,3 | -12,8 |
| SLATINA | 3844 | 3512 | SLATINA | 5072 | 4345 | -24,2 | -19,2 |
| VUKOVAR | 2483 | 2918 | VUKOVAR | 7973 | 7601 | -68,9 | -61,6 |
| NIJEMCI | 1682 | 1814 | NIJEMCI | 4133 | 3737 | -59,3 | -51,5 |
| ANDRIJEVCI | 5497 | 4962 | ANDRIJEVCI | 8384 | 6426 | -34,4 | -22,8 |
| JANKOVCI | 2623 | 2601 | JANKOVCI | 7171 | 5898 | -63,4 | -55,9 |
| KAPELAsl | 2365 | 1784 | KAPELAsl | 4393 | 3255 | -46,2 | -45,2 |
| NA-CEMENT | 6590 | 5964 | NA-CEMENT | 8342 | 6652 | -21,0 | -10,3 |
| BELIŠĆE | 5041 | 5059 | BELIŠĆE | 7355 | 6819 | -31,5 | -25,8 |
| TS505/1 | 5929 | 6041 | | | | | |
| H-VE110A | 12500 | 13417 | H-VE110A | 12466 | 13418 | 0,3 | 0,0 |
| ZADAR-1 | 5830 | 5968 | ZADAR-1 | 5822 | 6274 | 0,1 | -4,9 |
| BILIBRIG | 5814 | 5925 | BILIBRIG | 5805 | 6238 | 0,2 | -5,0 |
| ZD-CENTAR | 5820 | 5953 | ZD-CENTAR | 5812 | 6272 | 0,1 | -5,1 |
| NIN | 6160 | 5838 | NIN | 6147 | 6135 | 0,2 | -4,8 |
| Kk-kulin | 5571 | 4933 | | | | | |

| 2000. stvarna | Ik3'' | Ik1'' | 2000. nazivna | Ik3'' | Ik1'' | delta Ik3'' | delta Ik1'' |
|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|-------------|-------------|
| Kk-selin | 5523 | 4871 | | | | | |
| PAG | 5032 | 4313 | PAG | 5009 | 4458 | 0,5 | -3,3 |
| Kk-deda | 5219 | 4373 | | | | | |
| NOVALJA | 5536 | 4773 | NOVALJA | 5494 | 5106 | 0,8 | -6,5 |
| OBROVAC | 11568 | 10930 | OBROVAC | 11554 | 11023 | 0,1 | -0,8 |
| BIOGRAD | 4703 | 4081 | BIOGRAD | 4700 | 4120 | 0,1 | -0,9 |
| BENKOVAC | 5932 | 4441 | BENKOVAC | 5930 | 4771 | 0,0 | -6,9 |
| STRMICA | 3564 | 2660 | STRMICA | 3214 | 2476 | 10,9 | 7,4 |
| KONJSKO 110A | 17249 | 19298 | KONJSKO 110A | 17299 | 19395 | -0,3 | -0,5 |
| H-ZA110A | 17760 | 20820 | H-ZA110A | 18070 | 21184 | -1,7 | -1,7 |
| H-ĐALE | 6661 | 6303 | H-ĐALE | 6666 | 6308 | -0,1 | -0,1 |
| METERIZE | 16301 | 16485 | METERIZE | 16430 | 17043 | -0,8 | -3,3 |
| SUĆIDAR | 14971 | 15112 | SUĆIDAR | 15303 | 16152 | -2,2 | -6,4 |
| Pujanke | 15070 | 15172 | | | | | |
| VISOKA | 14346 | 14240 | VISOKA | 16046 | 17005 | -10,6 | -16,3 |
| KAST110A | 11690 | 10794 | KAST110A | 11848 | 10939 | -1,3 | -1,3 |
| VRBORAN | 16251 | 16667 | VRBORAN | 16368 | 17381 | -0,7 | -4,1 |
| DUGI RAT | 14186 | 14896 | DUGI RAT | 14456 | 15227 | -1,9 | -2,2 |
| Kk-d.rat | 14002 | 14672 | kk-d.rat | 14267 | 14996 | -1,9 | -2,2 |
| Kk-posti | 10901 | 9732 | kk-posti | 11104 | 9957 | -1,8 | -2,3 |
| Kk-lozna | 11973 | 11685 | kk-lozna | 12198 | 11956 | -1,8 | -2,3 |
| NEREZIŠĆE | 10427 | 9620 | NEREZIŠĆE | 10664 | 9991 | -2,2 | -3,7 |
| Kk-slatti | 7153 | 5908 | kk-slatti | 7372 | 6141 | -3,0 | -3,8 |
| Kk-travn | 6666 | 5466 | kk-travn | 6886 | 5703 | -3,2 | -4,2 |
| STARIGRAD | 5563 | 4664 | STARIGRAD | 5788 | 4921 | -3,9 | -5,2 |
| kk-medve | 4355 | 3399 | kk-medve | 4606 | 3741 | -5,4 | -9,1 |
| kk-prapa | 3919 | 3041 | kk-prapa | 4191 | 3451 | -6,5 | -11,9 |
| BLATO | 3602 | 2875 | BLATO | 3913 | 3431 | -7,9 | -16,2 |
| kk-strec | 3263 | 2492 | KORČULA | 3792 | 3167 | -14,0 | -21,3 |
| kk-perna | 3259 | 2489 | kk-perna | 3800 | 3157 | -14,2 | -21,2 |
| STON | 4380 | 3889 | STON | 7567 | 6157 | -42,1 | -36,8 |
| IMOTSKI | 6483 | 4734 | IMOTSKI | 6543 | 4759 | -0,9 | -0,5 |
| KRALJEVAC | 13349 | 12912 | KRALJEVAC | 13607 | 13100 | -1,9 | -1,4 |
| H-KRALJEVICA | 13192 | 12755 | H-KRALJE | 13443 | 12938 | -1,9 | -1,4 |
| TROGIR | 8836 | 7056 | TROGIR | 9112 | 7337 | -3,0 | -3,8 |
| H-PERUĆA | 6079 | 6021 | H-PERUĆA | 6101 | 6155 | -0,4 | -2,2 |
| B. BLATO | 6352 | 5866 | B. BLATO | 6394 | 5898 | -0,7 | -0,5 |
| SINJ | 6666 | 5972 | SINJ | 6690 | 6448 | -0,4 | -7,4 |
| MAKARSKA | 6568 | 5448 | MAKARSKA | 6730 | 5609 | -2,4 | -2,9 |
| BILI110A | 13667 | 16079 | BILI110A | 13665 | 16683 | 0,0 | -3,6 |
| RAZINE | 11511 | 12436 | RAZINE | 12889 | 15466 | -10,7 | -19,6 |
| KNIN | 4368 | 3440 | KNIN | 3692 | 3032 | 18,3 | 13,5 |
| KNIN-evp | 4228 | 3308 | KNIN-evp | 3591 | 2928 | 17,7 | 13,0 |
| OPUZEN | 5829 | 4820 | OPUZEN | 6656 | 5570 | -12,4 | -13,5 |
| KOMOLAC | 3528 | 4053 | KOMOLAC | 10883 | 10268 | -67,6 | -60,5 |
| PLAT110A | 3574 | 4324 | PLAT110A | 11882 | 13469 | -69,9 | -67,9 |

| 2000. stvarna | Ik3'' | Ik1'' | 2000. nazivna | Ik3'' | Ik1'' | delta Ik3'' | delta Ik1'' |
|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|-------------|-------------|
| H-DUBROVNIK | 3584 | 4377 | H-DUBROVNIK | 11423 | 12792 | -68,6 | -65,8 |
| MEDU110A | 10437 | 10865 | MEDU110A | 13170 | 13274 | -20,8 | -18,1 |
| NOVSKA | 6769 | 5579 | NOVSKA | 7826 | 6158 | -13,5 | -9,4 |
| IVANIĆ | 5956 | 5185 | IVANIĆ | 5961 | 5461 | -0,1 | -5,1 |
| N. GRADIŠKA | 3735 | 3503 | N. GRADIŠKA | 6731 | 5564 | -44,5 | -37,0 |
| DARUVAR | 4441 | 3967 | DARUVAR | 5466 | 4612 | -18,8 | -14,0 |
| KUTINA | 9769 | 9342 | KUTINA | 11020 | 10166 | -11,4 | -8,1 |
| KOPRIVNICA | 7671 | 8255 | KOPRIVNICA | 9473 | 9726 | -19,0 | -15,1 |
| LUDBREG | 7207 | 6775 | LUDBREG | 7980 | 7000 | -9,7 | -3,2 |
| VIROVITI | 3469 | 3233 | VIROVITI | 5933 | 5556 | -41,5 | -41,8 |
| VIRJE | 3767 | 3534 | VIRJE | 6037 | 5305 | -37,6 | -33,4 |
| KRIŽEVCI | 5527 | 4838 | KRIŽEVCI | 6278 | 5320 | -12,0 | -9,1 |
| BJELOVAR | 4846 | 4644 | BJELOVAR | 5135 | 5010 | -5,6 | -7,3 |
| MLINOVAC | 4250 | 3950 | MLINOVAC | 4471 | 4292 | -4,9 | -8,0 |
| H-ČAKOVEC | 9685 | 10397 | H-ČAKOVEC | 10514 | 11057 | -7,9 | -6,0 |
| ČAKOVEC | 8856 | 8272 | ČAKOVEC | 9280 | 8721 | -4,6 | -5,1 |
| PRELOG | 7361 | 7384 | PRELOG | 8025 | 7984 | -8,3 | -7,5 |
| H-DUBRAV | 7083 | 7757 | H-DUBRAV | 7890 | 8443 | -10,2 | -8,1 |
| NEDELJAN | 14092 | 14487 | NEDELJAN | 14635 | 14912 | -3,7 | -2,9 |
| IVANEC | 7287 | 6100 | IVANEC | 7415 | 6164 | -1,7 | -1,0 |
| H-VZ110A | 9276 | 8594 | H-VZ110A | 9497 | 8729 | -2,3 | -1,5 |
| H-VZ110B | 9284 | 8603 | H-VZ110B | 9500 | 8734 | -2,3 | -1,5 |
| VARAŽDIN | 9293 | 8673 | VARAŽDIN | 9667 | 8900 | -3,9 | -2,6 |
| ZABOK | 9194 | 7944 | ZABOK | 9306 | 8020 | -1,2 | -0,9 |
| T-JERTOV | 11451 | 11245 | T-JERTOV | 12838 | 12354 | -10,8 | -9,0 |
| STRAŽA | 5570 | 5146 | STRAŽA | 5627 | 5181 | -1,0 | -0,7 |
| T-SI110A | 17409 | 20310 | T-SI110A | 18515 | 21474 | -6,0 | -5,4 |
| PRACNO | 15860 | 15466 | PRACNO | 16231 | 16145 | -2,3 | -4,2 |
| SUNJA | 8233 | 6147 | SUNJA | 8339 | 6253 | -1,3 | -1,7 |
| PETRINJA | 9074 | 7973 | PETRINJA | 9197 | 8322 | -1,3 | -4,2 |
| RAFI110A | 13589 | 13428 | RAFI110A | 14259 | 13927 | -4,7 | -3,6 |
| RAFI110B | 9546 | 8306 | RAFI110B | 9684 | 8466 | -1,4 | -1,9 |
| ZELJE-SI | 14429 | 14327 | ZELJE-SI | 14985 | 14836 | -3,7 | -3,4 |
| GLINA | 4613 | 4001 | GLINA | 4645 | 4063 | -0,7 | -1,5 |
| POKUPLJE | 8204 | 7780 | POKUPLJE | 8140 | 7745 | 0,8 | 0,5 |
| H-GOJAK | 5606 | 5641 | H-GOJAK | 5825 | 5820 | -3,8 | -3,1 |
| OSTARIJE | 4984 | 4743 | OSTARIJE | 5157 | 4869 | -3,4 | -2,6 |
| ZDENCINA | 11946 | 9201 | ZDENCINA | 11515 | 9039 | 3,7 | 1,8 |
| SVARČA | 7343 | 6808 | SVARČA | 7265 | 6765 | 1,1 | 0,6 |
| DUBOVAC | 7440 | 7205 | DUBOVAC | 7369 | 7164 | 1,0 | 0,6 |
| TUMB110A | 37736 | 39299 | TUMB110A | 32875 | 35994 | 14,8 | 9,2 |
| RESNIK | 24141 | 21278 | RESNIK | 28190 | 25799 | -14,4 | -17,5 |
| TETO-ZG | 29620 | 33128 | TETO-ZG | 29637 | 33457 | -0,1 | -1,0 |
| LUDINA | 6948 | 4859 | LUDINA | 7167 | 4939 | -3,1 | -1,6 |
| MRAC110A | 30558 | 29628 | MRAC110A | 26394 | 26720 | 15,8 | 10,9 |
| SOPOT | 21472 | 20101 | SOPOT | 20365 | 18850 | 5,4 | 6,6 |

| 2000. stvarna | Ik3'' | Ik1'' | 2000. nazivna | Ik3'' | Ik1'' | delta Ik3'' | delta Ik1'' |
|---------------|-------|-------|---------------|-------|-------|-------------|-------------|
| JARUN | 25138 | 23909 | JARUN | 18514 | 18449 | 35,8 | 29,6 |
| ELTO-ZG | 21920 | 20945 | ELTO-ZG | 16900 | 16913 | 29,7 | 23,8 |
| RAKITJE | 26280 | 23938 | RAKITJE | 21754 | 21325 | 20,8 | 12,3 |
| STENJEVAC | 17447 | 13764 | STENJEVAC | 15336 | 12861 | 13,8 | 7,0 |
| PODSUSED | 19500 | 15543 | PODSUSED | 17189 | 14930 | 13,4 | 4,1 |
| SAMOBOR | 13215 | 11053 | SAMOBOR | 11971 | 10465 | 10,4 | 5,6 |
| V. GORICA | 20202 | 17810 | V. GORICA | 18297 | 16730 | 10,4 | 6,5 |
| D. SELO | 9684 | 7919 | D. SELO | 14840 | 12630 | -34,7 | -37,3 |
| ZAPREŠIĆ | 14010 | 12117 | ZAPREŠIĆ | 12619 | 11412 | 11,0 | 6,2 |
| KSAVER | 10735 | 8678 | KSAVER | 11946 | 8466 | -10,1 | 2,5 |
| DUBEC | 16742 | 14352 | DUBEC | 24964 | 21858 | -32,9 | -34,3 |
| BOTINEC1 | 27502 | 26759 | BOTINEC1 | 19171 | 18197 | 43,5 | 47,1 |
| TRPIMIROVA | 22035 | 23072 | TRPIMIROVA | 22059 | 23394 | -0,1 | -1,4 |
| TRPIMIRx | 19043 | 17910 | TRPIMI-X | 15142 | 14919 | 25,8 | 20,0 |

Iz gornjeg pregleda je vidljivo u kojoj mjeri nisu realizirani planovi razvoja prijenosne mreže za današnje stanje mreže 2000. godine. Zato uvodimo i često navođeni pojam "nazivne" mreže, koja je vezana uz zadanu topologiju i stupanj izgrađenosti mreže u proizvodnji, prijenosu i distribuciji.

Konstatirajmo u našem slučaju razlike između postojeće 2000. godine i nazivne 2000. godine iz [1]:

- 400 kV mreža Hrvatske 2000. godine sadržava (u zagradi su brojke iz mreže nazivne 2000. godine): 4 postrojenja 400 kV (6),
- 220 kV mreža Hrvatske 2000. godine sadržava (u zagradi su brojke iz mreže nazivne 2000. godine): 15 postrojenja 220 kV (16),
- 110 kV mreža Hrvatske 2000. godine na području sva četiti prijenosna poduzeća sadržava (u zagradi su brojke iz mreže nazivne 2000. godine), po prijenosnim poduzećima:
 - PrP Opatija 29 postrojenja 110 kV (41),
 - PrP Osijek 26 postrojenja 110 kV (26),
 - PrP Split 39 postrojenja 110 kV (43),
 - PrP Zagreb 56 postrojenja 110 kV (60),

Tako razlike u broju 400 kV postrojenja između stvarne i nazivne 2000. godine dolaze od neizgrađenosti planiranih TS 400/(220)/110 kV Ernestinovo i Žerjavinec, dok razlike u broju 220 kV postrojenja između stvarne i nazivne 2000. godine dolaze od neizgrađenosti planiranih TS Plat i Žerjavinec 220 kV i još i dalje privremenog pogona TS 220/110 kV 1505/2.

Razlike u broju 110 kV postrojenja između stvarne i nazivne 2000. godine dolaze od neizgrađenosti planiranih TS 110/x kV u nazivnoj 2000. godini, redom:

PrP Opatija: TS Vodnjan i Sušak, EVP Podvezica, Šapjane, Vrata, Plase i Ivani (prelaz elektrovođe na 25 kV izmjenično) i TS Dunat, Karlobag, Butoniga, Buzet i D.Lapac (transformacija trajno izvan pogona)

PrP Osijek: TS Ernestinovo i Osijek 4, uz još dalje privremeni pogon TS 1505/2 i TS 505/1.

PrP Split: TS Dobri, Drniš, Podi i Ploče

PrP Zagreb: TS Siscia, Žerjavinec, Trnje 2 i Volovčica, mreža nije poprečno sekcionirana, osim kabela 110 kV TE-TO Zagreb – EL-TO Zagreb – Jarun.

Na navedenu situaciju dodatno utječu još dva faktora: iako su zbog neostvarenja svih planova izgradnje prijenosne mreže rezultati kratkog spoja sniženi u odnosu na nazivnu 2000. godinu, zbog preciznijeg modeliranja nadomjesne mreže Italije vidi se neznatan porast kratkospojnih struja u PrP Opatija, dok je porast struja kratkog spoja na zagrebačkom području posljedica privremenog paralelnog rada 110 kV mreže Zagreba.

5. PRORAČUN UKUPNIH VELIČINA NAJNIŽIH OČEKIVANIH POČETNIH STRUJA TROPOLNOG I JEDNOPOLNOG KRATKOG SPOJA NA SABIRNICAMA 400, 220 I 110 KV PRIJENOSNE MREŽE HEP

Proračun ukupnih veličina najnižih očekivanih početnih struja trolnog i jednopolnog kratkog spoja proveden je uz sljedeće pretpostavke:

1. proračun minimalnog kratkog spoja proveden je prema IEC 909/1981 uz naponski faktor $c = 1.0$
2. pretpostavljeno je početno stanje sniženog angažiranja elektrana koje odgovara ljetnom minimumu prema tablici 2
3. izračunate su veličine kratkog spoja uz pretpostavku isključenja (neraspoloživosti) redom svake od grana neposredno priključenih na svako razmatrano postrojenje 400, 220 i 110 kV prijenosne mreže HEP-a.

Proračun minimalnog kratkog spoja prema gornjim pretpostavkama proveden je modifikacijom programa RIMA [5]. Za potrebe obrade rezultata otvoren je novi

kanal za spremanje karakterističnih rezultata proračuna minimalnog kratkog spoja To su: struja u fazi R trolnog kratkog spoja i struja 3I₀ jednopolnog kratkog spoja. Rezultati su paralelno tabelirani, da se jasno može prepoznati ispad pojedinog elementa mreže (u tom slučaju udio iz isključene grane je jednak nuli).

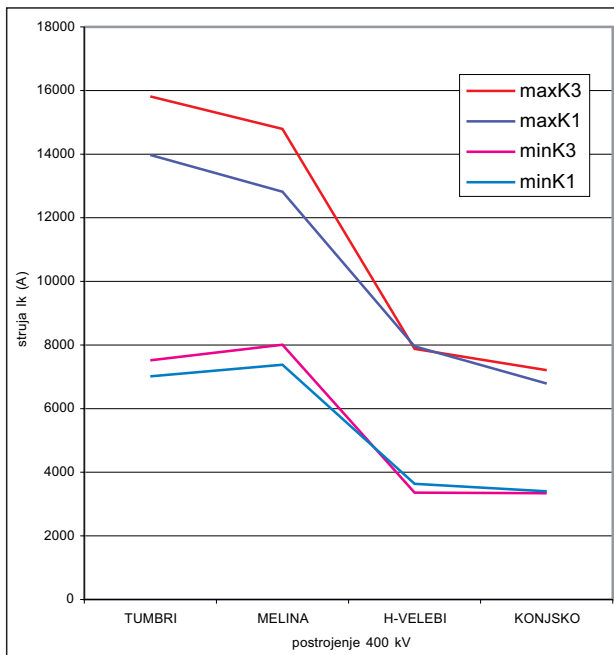
Modifikacija početnog stanja prema pretpostavki 2. (sniženje angažiranja elektrana, tablica 2) provedeno

je na način, da je sačuvano vodno (transformatorsko) polje u ispisu rezultat proračuna. Neraspoloživost određene elektrane se u tom slučaju može jednostavno prepoznati u iznosu struje jednakom nuli za sve moguće proračune.

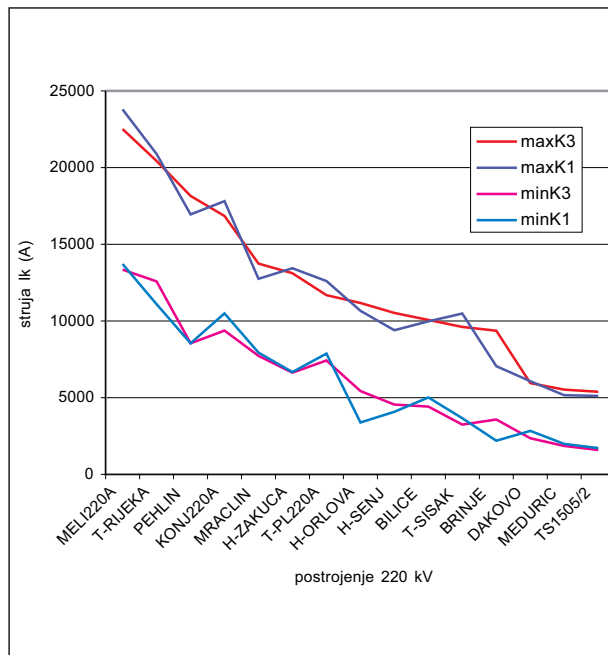
Širi ispis rezultata proračuna nalazi se u [6], dok je grafički prikaz usporedbe veličina maksimalnog i minimalnog trolnog i jednopolnog kratkog spoja prikazan na priloženim slikama 5–10.

Tablica 2. Pregled elektrana priključenih na naponskim razinama 400, 220, 110 i 35 (30) kV u mreži Hrvatske elektroprivrede, za maksimalni i minimalni kratki spoj

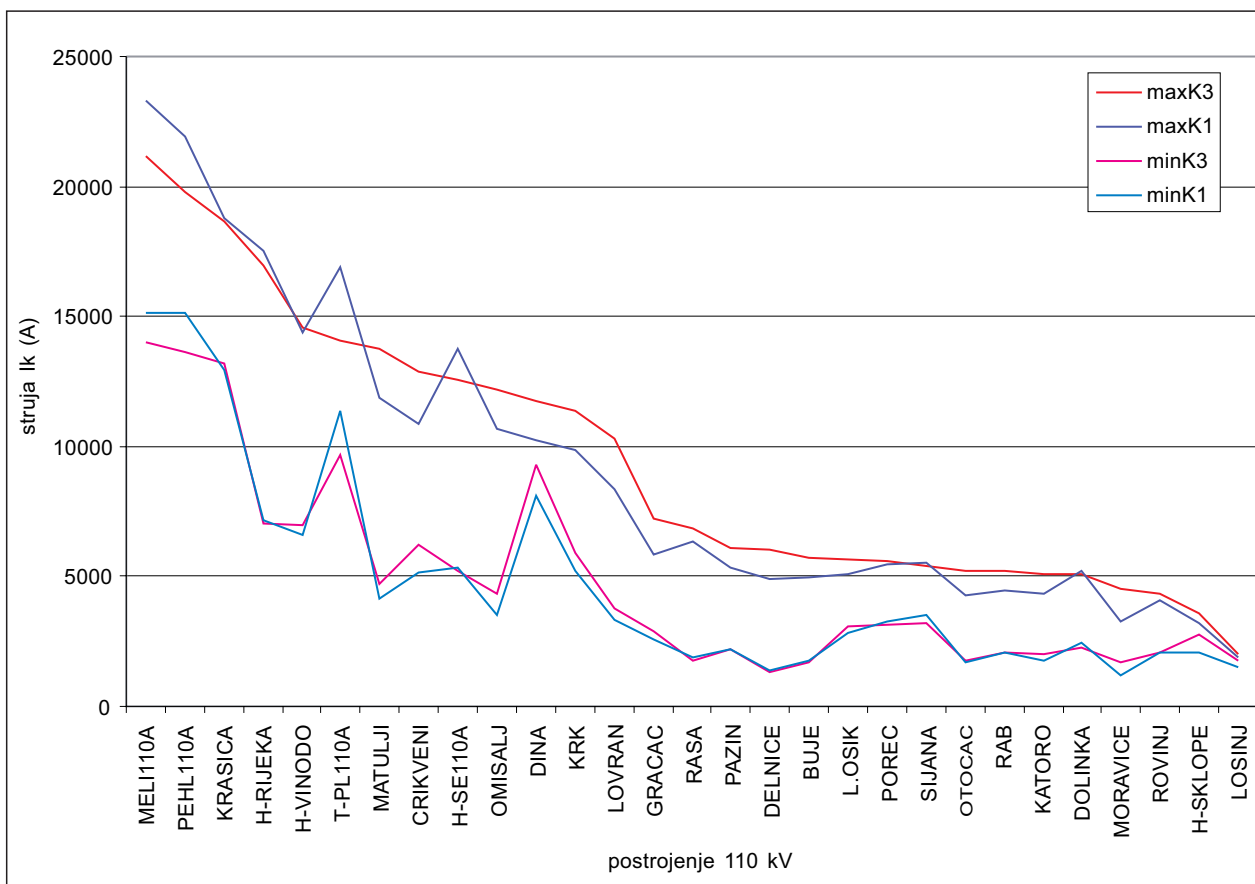
| Naziv objekta | | Napon mreže (kV) | Broj i instalirana snaga generatora (kom. x MVA) MAXKS | Broj i instalirana snaga generatora (kom. x MVA) MINKS |
|---------------|----------------|------------------|--|--|
| 1. | RHE Velebit | 400 | 2 x (155/-135) | 1 x (155/-135) |
| 2. | HE Orlovac | 220 | 3 x 83 | 0 x 83 |
| 3. | TE Rijeka | 220 | 1 x 376 | 0 x 376 |
| 4. | TE Sisak 2 | 220 | 1 x 247 | 0 x 247 |
| 5. | TE Plomin 2 | 220 | 1x 247 | 1x 247 |
| 6. | HE Senj | 220 | 1 x 80 | 0 x 80 |
| 7. | HE Zakučac 1 | 220 | 1 x 120 | 1 x 120 |
| 8. | HE Zakučac 2 | 220 | 1 x 150 | 0 x 150 |
| 9. | HE Dubrovnik | 110 | 1 x 120 | 1 x 120 |
| 10. | HE Senj | 110 | 2 x 80 | 1 x 80 |
| 11. | HE Sklope | 110 | 1 x 25 | 0 x 25 |
| 12. | HE Vinodol | 110 | 3 x 35 | 1 x 35 |
| 13. | HE Peruča | 110 | 2 x 26 | 1 x 26 |
| 14. | HE Zakučac 1 | 110 | 1 x 120 | 1 x 120 |
| 15. | HE Zakučac 2 | 110 | 1 x 150 | 0 x 150 |
| 16. | HE Đale | 110 | 2 x 24 | 1 x 24 |
| 17. | HE Rijeka | 110 | 2 x 23 | 1 x 23 |
| 18. | HE Gojak | 110 | 3 x 20 | 0 x 20 |
| 19. | HE Varaždin | 110 | 1 x 50+1x53.5 | 1 x 50+0x53.5 |
| 20. | HE Čakovec | 110 | 2 x 42 | 1 x 42 |
| 21. | HE Dubrava | 110 | 2 x 42 | 1 x 42 |
| 22. | HE Kraljevac | 110 | 2 x 26 + 6 | 0 x 26 + 6 |
| 23. | CS Buško Blato | 110 | 3 x 3,4 | 1 x 3,4 |
| 24. | TE Plomin 1 | 110 | 1 x 156 | 1 x 156 |
| 25. | TE Sisak 1 | 110 | 1 x 247 | 1 x 247 |
| 26. | KTE Jertovec | 110 | 2 x 16 + 2 x 41,8 | 0 x 16 + 0 x 41,8 |
| 27. | TE-TO Zagreb | 110 | 40 + 150 + 3 x 80 | 0x40 + 0x150 + 0 x 80 |
| 28. | EL-TO Zagreb | 110 | 2 x 28,1 | 1 x 28,1 |
| 29. | PTE Osijek | 110 | 2 x 32 | 0 x 32 |
| 30. | TE-TO Osijek | 110 | 56,3 | 0x56,3 |
| 31. | Belišće | 110 | 2 x 20 | 0 x 20 |
| 32. | Kutina (TDG) | 110 | 1 x 40 | 0 x 40 |
| 33. | HE Miljacka | 35 | 1 x 6 + 3 x 8 | 1 x 6 + 0 x 8 |
| 34. | EL-TO Zagreb | 30 | 1 x 15,7 + 1 x 37,5 | 0 x 15,7 + 0 x 37,5 |
| | | | 0,5 | |



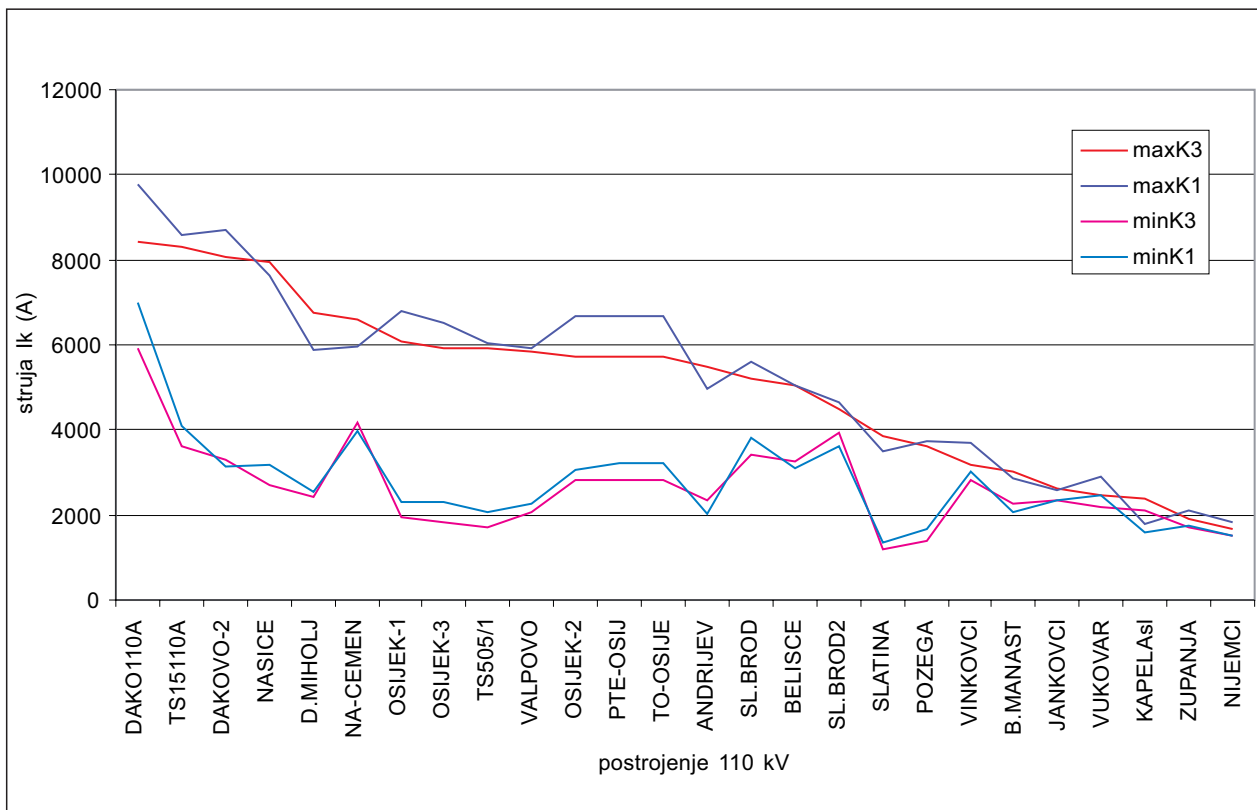
Slika 5. Usporedba ukupnih veličina MAX i MIN I_{k3} i I_{k1} u 400 kV mreži Hrvatske 2000. godine



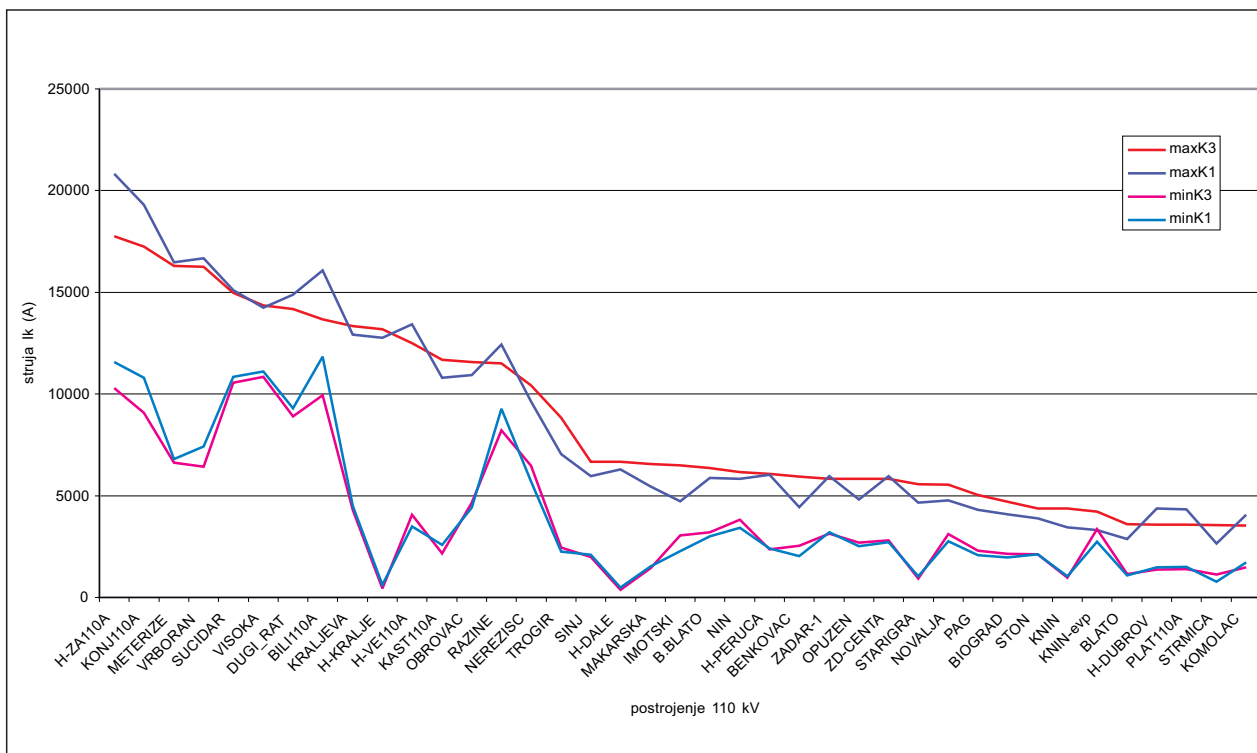
Slika 6. Usporedba ukupnih veličina MAX i MIN I_{k3} i I_{k1} u 220 kV mreži Hrvatske 2000. godine



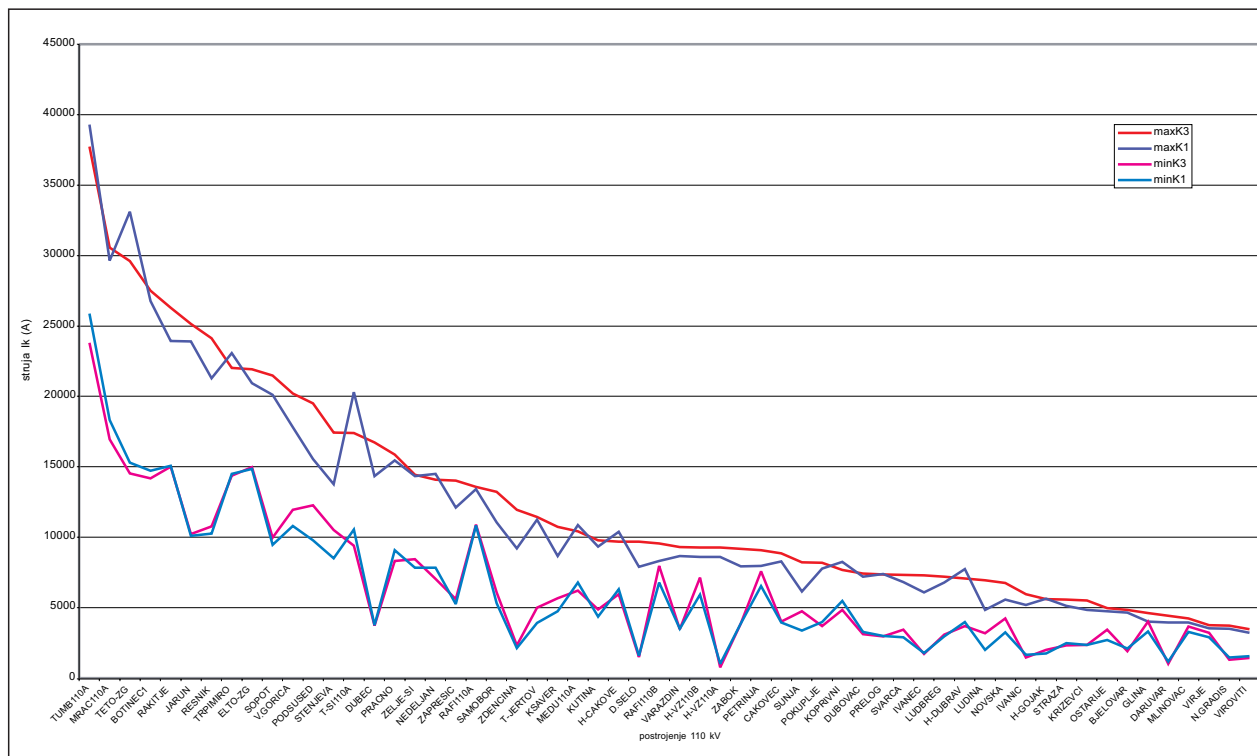
Slika 7. Usporedba ukupnih veličina MAX i MIN I_{k3} i I_{k1} u mreži 110 kV PrP Opatija 2000. godine



Slika 8. Usporedba ukupnih veličina MAX i MIN Ik3 i Ik1 u 110 kV PrP Osijek 2000. godine



Slika 9. Usporedba ukupnih veličina MAX i MIN Ik3 i Ik1 u mreži PrP Split 2000. godine



Slika 10. Usporedba ukupnih veličina MAX i MIN I_{k3} i I_{k1} u mreži 110 kV PrP Zagreb 2000. godine

6. ZAKLJUČAK

Provedenu analizu kratkospojnih prilika u postojećoj mreži 2000. godine možemo sagledati u dva dijela.

U prvom dijelu analizirani su dobiveni rezultati maksimalnog kratkog spoja u mreži 400, 220 i 110 kV HEP-a i istaknuta je razlika u rezultatima prema referentnoj studiji [1]. Dobiveni rezultati proračuna maksimalnog kratkog spoja su bili temelj za usporedbu prema rezultatima minimalnog kratkog spoja.

U drugom dijelu analizirani su dobiveni rezultati minimalnog kratkog spoja u mreži 400, 220 i 110 kV HEP-a. Kompletni rezultati proračuna minimalnog kratkog spoja prokazani su u [6].

Ponovimo ovdje da je proračun ukupnih veličina najnižih očekivanih početnih struja trolnog i jednopolnog kratkog spoja proveden uz sljedeće pretpostavke:

1. proračun minimalnog kratkog spoja proveden je prema IEC 909/1981 uz naponski faktor $c = 1.0$
2. pretpostavljeno je početno stanje sniženog angažiranja elektrana koje odgovara ljetnom minimumu prema tablici 2.
3. izračunate su veličine kratkog spoja uz pretpostavku isključenja (neraspoloživosti) svih grana neposredno priključenih na svako razmatrano postrojenje 400, 220 i 110 kV prijenosne mreže HEP-a

Veličine najnižih struja izračunate su uz istodobno uvažavanje svih triju navedenih pretpostavki. Situacije

minimalnog kratkog spoja koje vode prema struji jednakoj nuli nisu razmatrane, tj. minimum = 0 nije akceptiran u ovim proračunima (npr. kratki spoj na sabirnicama visokonaponskog postrojenja uz ispad jedine grane koja napaja navedeno postrojenje).

Na slici 5 prikazana je usporedba ukupnih veličina maksimalnih i minimalnih struja trolnog i jednopolnog kratkog spoja u mreži 400 kV Hrvatske 2000. godine, na slici 6 usporedba struja kratkog spoja u 220 kV mreži i konačno na slikama 7–10 usporedba ukupnih veličina maksimalnih i minimalnih struja trolnog i jednopolnog kratkog spoja u mreži 110 kV Hrvatske 2000. godine po pojedinim prijenosnim poduzećima.

Izračunate veličine svrstane su po kriteriju maksimalnog trolnog kratkog spoja.

Pregledom rezultata proračuna minimalnog kratkog spoja možemo zaključiti o relacijama u kojima se kreću veličine minimalnog kratkog spoja u odnosu na maksimalne.

Općenito su iznosi minimalnog kratkog spoja manji za 10% (naponski faktor!) + sniženje nivoa angažiranja elektrana + ispad najutjecajnije grane. Za 400 kV mrežu iznosi struja minimalnog kratkog spoja se kreću oko 50% veličina maksimalnog kratkog spoja; u mreži 220 kV struje minimalnog kratkog spoja se kreću već u širim granicama do 30% - 60% struja maksimalnog kratkog spoja; konačno za mrežu 110 kV granice su još puno šire, od 5% - 90%, ovisno o situaciji priključka razmatranog postrojenja 110 kV na elektroenergetski sustav HEP-a.

Općenito, ekstremi su povezani uz radijalnu topologiju mreže, s maksimalnim vrijednostima u slučaju radijalno priključenih transformatorskih postrojenja 110 kV, do minimalnih vrijednosti u slučajevima radijalno priključenih manjih proizvodnih postrojenja na 110 kV sustav.

LITERATURA

- [1] D. NEVEČEREL: "Proračun kratkog spoja u mreži Hrvatske 2005. i 2010. godine", IE, Zagreb, III/1989.
- [2] W. STAGG, A. H. EL.-ABIAD: "Computer Methods iz Power System Analysis, McGraW-Hill Book Company, 1968. "
- [3] IEC 909/First edition 1988.:Short-circuit current calculation in three-phase a.c. systems.
- [4] H. SELJESETH, A. CAMPLING, K. H. FEIST, M. KUUSSAARI: "Station Earthing - Safety and Interference Aspects" - Electra, No 71, - July 1980.
- [5] D. NEVEČEREL: "Programski sustav RIMA za proračun kratkog spoja u elektroenergetskim mrežama" (R), Energija, god.37/1988/3, str.221-230.
- [6] D. NEVEČEREL: "Analiza maksimalnih i minimalnih kratkospojnih prilika u prijenosnoj mreži Hrvatske 2000. godine" , IE, Zagreb, VII/2000.

MAXIMAL AND MINIMAL SHORT CIRCUIT CIRCUMSTANCE ANALYSIS OF THE CROATIAN TRANSMISSION NETWORK IN THE YEAR 2000

The paper presents the network's comparable maximal and minimal short circuit calculation results for the year 2000. The maximal short circuit results are updated in relation to the base year 2000 and according to the study referred [1].

UNTERSUCHUNG MAKSIMALER UND MINIMALER KURZSCHLUSSANGELEGENHEITEN IM ÜBERTRAGUNGSNETZ KROATIENS IM JAHRE 2000

Hier sind Ergebnisse des Vergleichs von Berechnungen des maximalen und minimalen Kurzschlusses im Netz des Jahres 2000 dargestellt. Dabei sind, laut der entsprechenden Studie /1/, die Folgen des maximalen Kurzschlusses auf den Netz im neuesten Zustand gebracht worden.

Naslov pisca:

**Mr sc. Davor Nevečerel, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu d.d.
Ulica grada Vukovara 37
10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2001-05-11.

PREGLED INOZEMNIH I DOMAĆIH PILOT PROGRAMA ENERGETSKE EFIKASNOSTI U ZGRADAMA

Mr. sc. Vesna K o l e g a, Zagreb

UDK 624/628:620.91
PREGLEDNI ČLANAK

U članku je dan pregled nekih od zanimljivijih inozemnih i domaćih programa energetske efikasnosti u zgradama, koji konkretno dokazuju moguće opsege uštede energije i očuvanja čovjekove okoline, primjenom energetski efikasnih uređaja i sustava u zgradama, bioklimatskih projektantskih tehnika, te aktivne i pasivne solarne arhitekture.

Ključne riječi: pilot zgrada, energetska efikasnost, aktivna i pasivna sunčana arhitektura.

1. UVODNA RAZMATRANJA

Suvremeni pristup arhitekturi i graditeljstvu karakterizira energetska i ekološka racionalno urbanističko planiranje, projektiranje, izgradnja i rekonstrukcija građevina i naselja uz primjenu bioklimatskih projektantskih tehnika i principa pasivne i aktivne solarne arhitekture.

Posljednjih se godina u razvijenim zemljama Europe i svijeta, provode brojni programi energetske efikasnosti u zgradama kojima je zajednički cilj maksimalno reducirati potrošnju energije i emisiju onečišćujućih tvari u atmosferu uz osiguranje visoke, svjetlosne, toplinske i mikroklimatske udobnosti korisnika zgrada.

Inozemna su iskustva pokazala da su u uvjetima ograničenih sredstava za razvoj i velikog broja sudionika različitih interesa, pilot programi najbolja prilika za oživotvorenje raznih tehnoloških i drugih dostignuća.

Pilot programi trebaju biti jednostavni, lako razumljivi i provedivi, ciljani programi i projekti Vlade, lokalnih uprava, uprava gradova i odgovarajućih institucija.

Dobro osmišljen i proveden pilot program je najneposrednija i najefikasnija pomoć osnaživanju zakonskih, institucionalnih i poticajnih mjera energetske politike i odgovornog gospodarenja energijom.

Osnovni je cilj pilot programa energetske efikasnosti u zgradama stvaranje povoljnih uvjeta i pretpostavki za implementaciju mjera energetske efikasnosti i zaštite okoliša u graditeljstvu, pri čemu je jedan od prioriteta potvrditi nužnost izmjena i dopuna postojeće tehničke regulative u skladu sa Smjernicama vijeća Europske unije.

2. INOZEMNI PRIMJERI USPJEŠNO PROVEDENIH PILOT PROGRAMA ENERGETSKE EFIKASNOSTI U ZGRADAMA

2.1. Pokazne zone energetske efikasnosti u tranzicijskim zemljama

Zamisao o pokaznim zonama bazirana je na pretpostavci da se specifične potrebe mogu najbolje razumjeti na lokalnoj razini i da je ona ta na kojoj treba donositi odluke važne za održivost nekog projekta. Karakteristično za pilot programe u zemljama u tranziciji je da, u principu, ne predstavljaju pokusne tehnologije, već u obzir dolaze jedino one potpuno provjerene na tržištu. U gospodarstvima tranzicijskih zemalja većina se ulaganja smatra rizičnima, te su lokalne pokazne zone na neki način, provjere institucionalnog ustroja. Pilot programi uspješno provedeni u jednoj pokaznoj zoni provjeravaju se i u drugim zonama, da bi se tako provjereni na kraju prenijeli na državnu razinu.

Jedna od glavnih značajki pilot programa u sektoru energetike je važnost ekološke komponente. Uvažavajući činjenicu da je zagađenje okoliša, u većini slučajeva lokalne naravi, pokazne zone energetske efikasnosti učinkovito su sredstvo reduciranja emisija onečišćujućih tvari u atmosferu.

U izvješću o vrednovanju programa energetske efikasnosti, izrađenom od strane Odbora za energiju Gospodarske komisije za Europu Ujedinjenih naroda (1997.), o projektima pokaznih zona ustanovljeno je slijedeće [1]:

- pokazne zone su vodeći projekt programa Energy Efficiency 2000 (Energetska efikasnost 2000);
- svi pokrenuti pilot programi moraju biti tržišno orijentirani;

- pokrenuti projekti ne trebaju biti prezahtjevni, već manji, realni i fleksibilni;
- naglasak je dan praktičnim rezultatima provedbe;
- preliminarni rezultati moraju biti dostupni najkasnije godinu dana nakon završetka radova u sklopu pilot programa.

2.2. Niskoenergetska zgrada u Beču

Kao primjer uspješno provedenog pilot programa energetske efikasnosti u zgradarstvu u stručnim se krugovima navodi niskoenergetska zgrada u Beču (Wien-Leopoldstadt) završena krajem 1995. godine. To je višestambena zgrada s ukupno 333 stana i predviđenom godišnjom potrebnom energijom za grijanje od 44 kWh/m². Ovako niska očekivana potrošnja toplinske energije rezultat je primjene bioklimatskih projektantskih tehnika i pasivne solarne arhitekture.

Smjernice za uštedu energije bazirane na rezultatima ovog pilot programa su sljedeće:

- kompaktno tijelo zgrade s povoljnim omjerom oplošja i volumena, A/V;
- primjena kvalitetnih toplinsko-izolacijskih materijala;
- pasivni solarni doprinosi kroz dobru orijentaciju i veličinu prozora, uz upotrebu izolacijskih stakala;
- korištenje povratne energije za dogrijavanje vode i dr.

Pilot programom je dokazano da se troškovi gradnje mogu bitno reducirati:

- uključivanjem građevinskih fizičara u najraniju fazu projektiranja;
- zajedničkim radom grupe projekatana na inovacijskim konceptima;
- uskom suradnjom projekatana i izvođača radova;
- uvođenjem penala za prekoračenje troškova.

2.3. Energetski samodostatna obiteljska kuća u Freiburgu

Jedan od uspješnih primjera energetski samodostatne arhitekture je obiteljska kuća u Freiburgu (sl. 1), useljena u listopadu 1992. godine, izgrađena prema koncepciji i projektu Adolfa Goetzbergera, i uz financijsku potporu njemačke Vlade i industrije [2]. Solarna kuća u Freiburgu je pilot program Fraunhofer instituta za solarne energetske sustave. Karakteristično je za ovu dvokatnicu, ukupne korisne površine od 145 m², da zadovoljava sve energetske potrebe obitelji bez vezanosti na elektroenergetski sustav, plinsku mrežu ili neke druge izvore energije. Većina toplinskih zahtjeva pokrivena je primjenom visokokvalitetne transparentne izolacije. Zagrijavanje vode se provodi eksperimentalnim sunčanim pretvornicima-kolektorima, smještenima na krov, koji u kombinaciji sa spremnikom vode kapaciteta 100 litara, osiguravaju opskrbu kućanstva toplom vodom kroz čitavu godinu [19]. Fotonaionske ćelije proizvode električnu energiju, a sus-

tav vodikove tehnologije omogućava godišnje uskladištenje energije. Primijenjeni visokoučinkoviti sunčani pretvornici konstruirani su unutar polukružne koncentrirajuće plohe tako da je omogućen izravan prihvrat solarnog zračenja odozgo i reflektirano dozračivanje odozdo. Na taj je način apsorber osunčan s obje strane, pri čemu mu je efikasnost dodatno potencirana slojem transparentne izolacije s gornje i donje strane.

Slika 1. Energetski samodostatna obiteljska kuća u Freiburgu [19]

Ukupna cijena kuće koja obuhvaća projekt, građevinske radove i svu pripadajuću opremu iznosi cca 6 milijuna DEM.

2.4. Naselje Neckarsulm-Amorbach u njemačkoj pokrajini Baden-Württemberg

Naselje Neckarsulm-Amorbach, čija je izgradnja završena u srpnju 1996. godine je niskoenergetsko naselje sa solarnim postrojenjima, kapaciteta cca 4000 stanara, a sastoji se od jednokatnica u nizu, nekoliko višekatnica i manjeg broja samostojećih obiteljskih kuća (sl. 2).

Središnji dio naselja čini zelena površina okružena školom, vrtićem i staračkim domom. Izgradnju naselja je kao pilot program energetske efikasnosti djelomično financiralo Ministarstvo gospodarstva Baden-

Slika 2. Pilot naselje Neckarsulm-Amorbach [17]

Württenberga. Sve građevine u naselju projektirane su kao niskoenergetske primjenom bioklimatskih projektantskih tehnika i pasivne sunčane arhitekture. Stambene su jedinice tako projektirane da su prostorije u kojima se boravi tijekom većeg dijela dana (dnevni boravci, dječje sobe i dr.) okrenute prema jugu s ugrađenim prozorima velikih dimenzija s izolacijskim staklima. Kao toplinsko-izolacijski materijal korištena je mineralna vuna. Debljine toplinsko-izolacijskih slojeva iznose 12 cm u vanjskim zidovima i 18 cm u krovnim konstrukcijama. Na krovove višekatnica postavljeno je 2000 m² solarnih kolektora, koji godišnje proizvode ukupno 350 MWh energije, a koja pokriva cca 12% potrebne toplinske energije čitavog naselja. Postavljanjem solarnih kolektora ostvarena je ušteda na zemnom plinu od cca 35 000 m³, a prosječna godišnja emisija CO₂ u atmosferu reducirana je za cca 420 t. Opisana konstrukcijska rješenja povećala su ukupne investicijske troškove gradnje za cca 6%, a rezultirala su smanjenjem troškova grijanja i pripreme tople vode za više od 40%. Prosječna godišnja potrebna energija za grijanje iznosi 70 kWh/m², što potvrđuje energetska efikasnost primijenjenih mjera aktivne i pasivne sunčane arhitekture i bioklimatskih projektantskih tehnika.

2.5. Projekt "Energetska udobnost 2000" (Energy comfort - EC 2000)

"Energetska udobnost 2000" jedan je od pilot programa energetske efikasnosti u zgradama u sklopu programa THERMIE [15]. Krajnji cilj programa je razvitkom koncepta niske energetike reducirati potrošnju energije u 8 novoizgrađenih javnih zgrada za 50%, a emisije CO₂ za 50-70% u odnosu na konvencionalnu gradnju. Svih osam projekata pokriva cca 60 000 m² novoizgrađenih površina.

Koordinatori projekta su:

- ECD Energy and Environment, Bruxelles, Belgija;
- Esbensen Consulting Engineers, Virum, Danska.

Jedan od glavnih zadataka projekta je dokazati da visoki standardi udobnosti ne moraju, obvezno, biti u suprotnosti s niskim troškovima energije.

Projektom je obuhvaćeno projektiranje, izgradnja i praćenje korištenja osam građevina raznih tipova u bitno različitim klimatskim uvjetima:

- zgrade sveučilišta u Velikoj Britaniji i Francuskoj,
- javne zgrade u Nizozemskoj,
- poslovne zgrade u Velikoj Britaniji, Grčkoj, Nizozemskoj i Španjolskoj,
- multifunkcionalni paviljon na EXPO 98 u Lisabonu.

Zajednički ciljevi EC 2000 primijenjeni na svim zgradama su:

- reduciranje energetske potrošnje za 50% u odnosu na utvrđene razine potrošnje za određeni tip zgrade i klimatsko područje u kojem se nalazi;
- reduciranje emisije CO₂ za 50-70%;

- izbjegavanje ili minimaliziranje kondicioniranja zraka u prostoru zgrade;
- osiguranje visokih standarda svjetlosne i toplinske udobnosti korisnika zgrade;
- primjena individualne kontrole sustava rasvjete, grijanja i hlađenja;
- stimuliranje primjene ekoloških građevinskih tehnologija, elemenata i materijala.

U realizaciji projekta kombinirane su konvencionalne i suvremene tehnologije energetske-ekološki svjesne arhitekture i graditeljstva:

- aktivni i pasivni solarni elementi i sustavi;
- prirodno osvjetljenje i ventilacija;
- suvremeni rasvjetni sustavi;
- podno hlađenje;
- noćna ventilacija;
- atriji;
- zasjenjenja;
- hlađenje rječnom vodom i dr.

Prva završena zgrada EC 2000 projekta je biblioteka i učilišni centar u sklopu Politehničkog sveučilišnog centra Anglia u Chelmsford-u (Velika Britanija) (sl. 3). Zgrada je završena u rujnu 1994. godine, i dana na korištenje u listopadu iste godine. Kraljica Elizabeta II. je službeno otvorila zgradu u lipnju 1995. koja je njoj u čast nazvana Queen's Building. Praćenjem i analizom dobivenih rezultata u razdoblju od 12 mjeseci (srpanj 1995. - lipanj 1996.) od strane ECD Energy and Environment institucije i samog sveučilišta utvrđena je godišnja potrošnja od 114 kWh/m².

Poslovna zgrada City Office Park u Leeds-u (Velika Britanija) je, ustvari, kompleks površine 6 500 m², dovršen 1997. godine, koji karakterizira prostrani centralni atrij s prirodnom ventilacijom kao dodatkom mehaničkom ventilacijskom sustavu. Zgrada je još u razdoblju praćenja rezultata.

Pilot zgrada u centru Atene je upravna zgrada građevinskog poduzeća Avax SA Construction, površine 2 000 m², čije je glavno pročelje okrenuto na

Slika 3. Queen's Building, Chelmsford [20]

istok, a kao ljetna zaštita od pregrijavanja koriste se vertikalni brisoleji. Zgrada će biti hlađena mehaničkom ventilacijom što će reducirati upotrebu klimatizacijskih uređaja i potrošnju električne energije.

Zgradu porezne uprave u Enscheden-u u Nizozemskoj, površine 4 000 m², za koju je karakteristična široka primjena prirodnog osvjetljenja i ventilacije, te fotonaponske instalacije na krovu, završenu u studenom 1996. godine, izgradila je Vladina građevinska agencija kao niskoenergetsku referentnu zgradu za buduće rekonstrukcije i izgradnje javnih zgrada u Nizozemskoj.

U multifunkcionalnom paviljonu na EXPO 98 u Lisabonu, kapaciteta 16 000 posjetitelja, korišten je aktivni sustav hlađenja s predhlađenjem riječnom vodom.

Slika 4. Paviljon na EXPO 98 [18]

a) vanjski izgled

b) unutarnji izgled

Od samog početka rada na projektu EC 2000, istraživači, projektanti i druge zainteresirane stranke sastaju se svakih 6 mjeseci, razmjenjujući informacije i iskustva. Naglasak diskusija je na energetske efikasnosti, pasivnoj sunčanoj arhitekturi i djelovanju na okoliš, a pojedinačni se projekti svake zgrade detaljno analiziraju radi iznalaženja što uspješnijih rješenja. Ukupni troškovi čitavog projekta EC 2000 iznosili su 95 000 000 ECU, od čega je 3 490 000 ECU bila THERMIE potpora.

Stečena su iskustva elaborirana u sljedećim publikacijama dostupnima širokom krugu zainteresiranih:

- sigurnost od požara u atrijima,
- pasivna ventilacija u novim uredskim zgradama,
- prozor – ključ pasivnog oblikovanja,
- korisnici i niskoenergetske zgrade,
- kontrolne strategije energetske efikasnosti i toplinske udobnosti u zgradama.

2.6. Projekt “Stanovanje 2000” (“Wohnen 2000”)

Projekt “Stanovanje 2000” pokrenut je u Njemačkoj 1991. godine kao natječaj radi iznalaženja najuspješnijih rješenja reduciranja i izjednačenja godišnje

potrebne energije za grijanje za tri tipa stambene izgradnje (tabl. 1):

- samostojeće obiteljske kuće;
- obiteljske kuće u nizu;
- višestambene zgrade.

Tablica 1. Godišnja potrebna energija za grijanje u kWh/m² prema natječaju “Stanovanje 2000”

| Tip stambene izgradnje | Izgradnja do 1984. godine | Izgradnja nakon 1984. godine (pooštreni propis o toplinskoj zaštiti zgrada) | Ostvareno natječajem “Stanovanje 2000” |
|-----------------------------|---------------------------|---|--|
| Samostojeća obiteljska kuća | 270 | 190 | ≤ 70 |
| Obiteljska kuća u nizu | 190 | 110 | ≤ 60 |
| Višestambena zgrada | 160 | 90 | ≤ 60 |

Projekt “Stanovanje 2000” je u sklopu međunarodne izložbe vrtno arhitekture (Internationale Garten Architektur-IGA), održane u Stuttgartu 1993. godine, nizom ostvarenja samostojećih obiteljskih kuća, obiteljskih kuća u nizu i manjih višestambenih zgrada, potvrdio konačnu opredijeljenost za energetske svjesnu i ekološki koncipiranu stambenu arhitekturu.

U vanjske stijene pročelja integrirani su solarni fotonaponski pretvornici (kao plohe fotonaponskih ćelija za pretvaranje solarne u električnu energiju) i aktivni toplinski pretvornici za zagrijavanje potrošne sanitarne vode (kolektori solarne energije s vodenim medijem). Pojedini dijelovi pročelja obloženi su visokokvalitetnom transparentnom izolacijom. Južna pročelja koncipirana kao visokotehnološka sinergijska pročelja osiguravaju velik dio energetske potrebe, pri čemu se potencijalni višak električne energije može prodavati javnoj mreži (sl. 5).

Slika 5. Energetsko-ekološka obiteljska kuća s pasivnim, aktivnim fotonaponskim i sustavom za prikupljanje oborinske vode za sanitarnu upotrebu u Breisachu, arhitekt prof. Thomas Spiegelhalter, 1993.

Dvostruko ostakljeno pročelje omogućuje bioklimatsku cirkulaciju zraka, odnosno prirodnu ventilaciju solarnom energijom zagrijanog zraka u sezoni grijanja ili cirkulaciju ohlađenog zraka u noćnom ciklusu sezone hlađenja. Ovako koncipirano pročelje značajno je u ukupnoj energetskoj bilanci građevine zbog mogućih velikih ušteda energije za hlađenje zgrada, a rezultira toplinskom i svjetlosnom udobnošću prostora, uz značajan ekološki doprinos korištenjem obnovljivih izvora energije [10].

2.7. Mreža europskog ekološkog stanovanja – (European Housing Ecology Network – EHEN)

Mreža europskog ekološkog stanovanja je kooperativno tijelo osnovano 1992. godine od grupe stambenih udruženja iz sedam zemalja članica Europske unije u savezu s KAB Consult, Cenergia Energy Consultants u Danskoj i Ken Walker and Partners u Velikoj Britaniji, te nekim drugim organizacijama, a osnovni joj je zadatak primjenom suvremenih koncepata energetske ekološke efikasnosti reducirati potrošnju energije za grijanje i pripremu tople vode za 50-70%.

U sklopu mreže su pokrenuti pilot programi u različitim klimatskim podnebljima u Danskoj, Nizozemskoj, Irskoj, Italiji, Portugalu, Španjolskoj i Velikoj Britaniji.

Rad na pilot programima obuhvaća:

- međusobne usporedbe pojedinih projekata dokumentirane detaljnim energetskim analizama;
- iznalaženje optimalnih energetske-ekoloških strategija urbanističkog planiranja, izgradnje novih i rekonstrukcija postojećih zgrada;
- izradu kataloga proizvoda, materijala i projektnih uputa za pomoć u izgradnji energetski efikasnih zgrada koji će putem brošura, videa, reportaža i internacionalnih konferencija biti dostupni širokom krugu korisnika.

1. Winterswijk, Nizozemska:

- pilot program izgradnje niskoenergetskog naselja s aktivnim solarnim postrojenjima;
- solarna energija osigurava 40% energije za pripremu tople vode i 11% za grijanje prostora.

2. Swansea, Wales:

- pilot program obuhvaća praćenje i analizu 35 niskoenergetskih i 10 konvencionalnih kuća s ciljem usporedbe energetske potrošnje i toplinske udobnosti korisnika.

3. Madrid, Španjolska:

- pilot programom obuhvaćeno praćenje i analiza energetskih bilanci u 95 postojećih kuća različitih toplinsko-izolacijskih karakteristika, sustava grijanja i pripreme tople vode i dr.

4. Lleida, Španjolska:

- pilot program nazvan "La Parra" pokrenut od instituta Catala del Sol (INCASOL);
- izgradnja 73 stambene jedinice u 2 zgrade (trokatnica i peterokatnica);
- unutar zgrada se nalazi i 11 stanova namijenjenih starijim osobama, te 7 komercijalnih prostora u prizemlju (dućani, frizerski salon i dr.);
- ukupna izgrađena površina iznosi 6 000 m²;
- projekt je lociran u kontinentalnoj klimatskoj zoni (područje Katalonije je podijeljeno na 7 klimatskih zona) gdje prosječno dnevno globalno zračenje na horizontalnu plohu iznosi 15,3 MJ/m² (6 MJ/m² u siječnju i 24,6 MJ/m² u srpnju);
- izgradnja je završena 1996. godine;
- energetska bilanca pokazuje prosječnu godišnju toplinsku potrošnju od 50 kWh/m²;
- ostvarena ušteda energije za grijanje i pripremu tople vode iznosi 44 kWh/m², a godišnja ušteda električne energije 480 kWh po stambenoj jedinici [18].

5. Torino, Italija:

- pilot program izgradnje niskoenergetske zgrade sa 68 stanova;
- razdoblje izgradnje 1995.- 97.;
- ukupni grijani volumen 16 000 m³;
- 114 m² solarnih kolektora (na krovu) osiguravaju pripremu tople vode;
- u tijeku projektiranja zgrade prezentirane su i uspoređene razne graditeljske tehnologije, elementi i materijali, uz primjenu pasivne solarne arhitekture, čime je omogućen energetske-ekonomski optimalan odabir načina gradnje.

6. Dublin, Drogheda i Waterford, Irska:

- pilot programom je obuhvaćena izgradnja 55 samostojećih obiteljskih kuća na 5 lokacija u istočnom dijelu Irske;
- za program je značajna podrška lokalnog stanovništva u svim fazama izgradnje i praćenja postignutih rezultata.

7. Nafarros, Portugal:

- pilot projekt nazvan "Quinta Verde" smješten u selu Nafarros, 30 km od Lisabona;
- projektom je obuhvaćena izgradnja demonstracijskog naselja od 91 obiteljske kuće (dvokatnice) uz prateće objekte (sl. 6);
- južna orijentacija pročelja (sl. 7);
- solarni kolektori osiguravaju pripremu tople vode, uz instalirane plinske bojlere kao rezervnu soluciju;
- zahvaljujući primjeni pasivne solarne arhitekture i bioklimatskih projektantskih tehnika prosječna godišnja energija za grijanje iznosi samo 6 kWh/m², dok je za pripremu tople vode potrebno 30 kWh/m²;
- postignuta godišnja ušteda energije za grijanje je 54 kWh/m², za pripremu tople vode 18 kWh/m², dok je godišnja ušteda električne energije 10 kWh/m² [18].

Slika 6. Avionski snimak naselja

Slika 7. Sheme pročelja

2.8. Program MONITOR

U sklopu programa MONITOR, pokrenutog pod pokroviteljstvom nadležnih tijela Europske unije, sustavno je praćena izgradnja ili rekonstrukcija, te višegodišnje korištenje 49 građevinskih objekata, koji obuhvaćaju obiteljske kuće, javne zgrade (škole, poslovne zgrade i dr.) i velika naselja (stambenih višekatnica, kuća u nizu).

Rezultati višegodišnjeg praćenja pružili su svim zainteresiranim strankama čvrstu i nedvojbenu eksperimentalnu potvrdu energetske i ekološke efikasnosti principa solarne arhitekture. U ovisnosti o uspješnosti projekta, opsegu primijenjenih pasivnih i aktivnih solarnih zahvata, te geografskoj lokaciji građevine ili naselja, pokazalo se da korištenje sunčeve energije može reducirati energetske toplinske potrebe u rasponu od 30-70%. Vrijeme otplate dodatnih investicija kretalo se od nekoliko mjeseci do 8-10 godina [3].

2.9. Projekt ekološke izgradnje – (Low Environmental Impact New Housing – LEINH)

Projekt ekološke izgradnje (LEINH) obuhvaća dva pilot programa izgradnje socijalnih stanova u Velikoj Britaniji i Danskoj, namijenjenih starijima i osobama s niskim primanjima, te pilot program izgradnje niskoenergetske zgrade u Berlinu za prodaju na slobodnom tržištu.

Glavni ciljevi programa su reducirati troškove grijanja, rasvjete i ventilacije (za) između 48 i 75% uz

zadržavanje jednake udobnosti stanovanja, te smanjiti emisiju CO₂ povezanu s grijanjem i pripremom tople vode za cca 44%.

Krajnji je cilj LEINH projekta, za kojeg je iz THERMIE fondova izdvojeno 1,3 MECU, demonstrirati ekonomsku isplativost poduzimanja mjera energetske efikasnosti i zaštite okoliša iznad onih propisanih važećim nacionalnim standardima i propisima [18].

1. Bristol, Velika Britanija:

- pilot program obuhvaća izgradnju niskoenergetske zgrade s 58 stanova od čega je njih 44 namijenjeno starijim osobama;
- s obzirom na socijalni karakter zgrade projekt je financijski potpomognut od Guinness-ove zaklade, nacionalnog stambenog udruženja za starije osobe;
- u projekt je uključeno i rušenje deseterokatnog bloka stanova vrlo problematične kvalitete na ukupnoj površini od 2 900 m² pri čemu je sav iskoristiv građevinski materijal recikliran za daljnju upotrebu;
- zgradu karakterizira južna orijentacija, dobra toplinska izolacija (20 cm mineralne vune u zidovima i 7.5 cm u podovima), toplinsko-izolacijski prozori s plinom između stakala, štedni rasvjetni sustavi, prirodna ventilacija i aktivna solarna postrojenja za pripremu tople vode;
- voditelj programa je Gradsko poglavarstvo Bristola.

2. Aalborg, Danska:

- pilot programom je obuhvaćena izgradnja naselja od 14 obiteljskih kuća, površine 85 m² + zajednički objekt površine 70 m² na području ukupne površine 1 260 m² primjenom bioklimatskih projektantskih tehnika i pasivne solarne arhitekture;
- namjena zajedničke kuće je održavanje sastanaka i društvenih događanja, u skladu s razvitkom tzv. socijalnog oblika stanovanja, vrlo popularnog u Danskoj i drugim razvijenim europskim zemljama;
- kuće su izgrađene prema "C.L.E.A.R." (niska cijena, niska energija, zdravo stanovanje, visoki nivo zaštite okoliša) konceptu gradnje;
- voditelj projekta je poznati danski arhitekt Lars Højensgård;
- ostvarena ušteda za troškove grijanja iznosi 51% u odnosu na konvencionalnu gradnju

3. Berlin, Njemačka:

- projekt izgradnje 30 obiteljskih kuća u bivšem istočnonjemačkom dijelu Berlina;
- kuće su izgrađene prema "C.L.E.A.R." konceptu gradnje razvijenom u Danskom tehnološkom institutu;
- kuće karakterizira dobra toplinska izolacija krovova, zidova i podova, južna orijentacija, prirodna ventilacija, izo stakla i dr.

2.10. Program gospodarenja energijom u stambenom sektoru mediteranskog podneblja (Residential Energy Management in the Mediterranean Area – REMMA)

REMMA je THERMIE projekt pokrenut 1994. godine, a obuhvaća izgradnju i monitoring stambenih zgrada u mediteranskom podneblju.

Cilj programa je odrediti energetske-ekonomski optimalnu kombinaciju različitih pasivnih i aktivnih solar-nih elemenata i sustava, načina gradnje, vrsta i karakteristika građevinskih materijala i elemenata, i dr. Projekt je u fazi praćenja rezultata, koji upućuju na moguće smanjenje troškova grijanja za 60% i pripreme tople vode za 70%.

1. Castelldefels, Španjolska:

- lociran na samoj obali, u mjestu Castelldefels, smještenom cca 20 km južno od Barcelone;
- izgradnja i monitoring 303 stambene jedinice u 11 zgrada na terenu ukupne površine 46 190 m²;
- prvi rezultati monitoringa pokazuju godišnju uštedu energije primjenom pasivne i aktivne solarne arhitekture veću od 40%, uz visoku toplinsku i svjetlosnu udobnost, visoku kvalitetu zraka, niski nivo buke, i dr.;
- koordinator projekta je Institut Cerda iz Barcelone.

2. Cecina, Italija:

- projekt je startao 1994. godine;
- sastoji se od izgradnje 44 stambene jedinice smještene u četiri dvokatna stambena bloka koji okružuju igralište;
- u tijeku je monitoring postignutih rezultata.

3. Lisabon, Portugal:

- portugalski projekt je lociran u sjeverno-istočnom dijelu Lisabona, u području novogradnje;
- izgrađen je 14-katni neboder, sa 48 stanova, smještenih na 12 gornjih katova, prosječne stambene površine od 100 m²;
- dva kata nebodera su namijenjena komercijalnoj upotrebi (uredi, ordinacije, dućan i dr.);
- ukupna površina zemljišta iznosi 7 000 m²;
- u tijeku je prikupljanje preliminarnih rezultata.

Ukupna THERMIE potpora za tri navedena pilot projekta iznosi 3,0 MECU.

Nadalje je, u sklopu programa REMMA, u 1998. godini pokrenuto šest novih pilot programa koji se baziraju na konceptu energetske i ekološke efikasnosti u urbanističkom planiranju:

- *EXPO gradovi* – izrada novih urbanističkih planova za potrebe naglog rasta Lisabona, Hannovera, Palma de Mallorce i Utrechta;
- *Ponovni početak* – izrada novih urbanističkih planova velikih industrijskih gradova kompatibilnih suvremenim energetske-ekološkim konceptima;

- *Zeleni gradovi* – formiranje mreže europskih gradova i regija koji će vlastitim pozitivnim primjerima promovirati energetske-ekološki svjesno urbanističko planiranje;
- *Meduca* – u sklopu pilot programa prate se i analiziraju međutjecaji povećanja energetske efikasnosti na toplinsku i svjetlosnu udobnost korisnika u obrazovnim ustanovama;
- *Suhn* – programom je obuhvaćena izgradnja i monitoring 10 niskoenergetskih zgrada u 8 europskih zemalja uz predviđeno smanjenje potrošnje energije za 50%;
- *Shine* – program obuhvaća izgradnju i monitoring niskoenergetskih obiteljskih kuća uz planiranu prosječnu uštedu energije za cca 60%.

2.11. Program Međunarodne energetske agencije (International Energy Agency – IEA, Task 20)

U sklopu programa Međunarodne energetske agencije, Task 20, izgrađeno je 15 demonstracijskih objekata. Glavni cilj programa, završenog 1996. godine, bio je, poduzimanjem raznih zahvata, naći maksimum energetske uštede bez smanjenja udobnosti stanara, uz uvažavanje ekoloških imperativa.

Neki od izvedenih zahvata su sljedeći [13]:

- kvalitetnija toplinska izolacija;
- ostakljeni balkoni i/ili galerije;
- primjena poluprozirnih izolacijskih materijala;
- korištenje "selektivnih" slojeva/premaza;
- zamjena ravnih krovova kosima, uz ugradnju sunčanih kolektora.

Višegodišnjim praćenjem rezultata došlo se do zaključaka:

- radi smanjenja toplinskih gubitaka građevine najuspješnije su metode koje kombiniraju kvalitetnu toplinsku izolaciju s primjenom solarne pasivne arhitekture;
- ugradnjom aktivnih toplinskih i fotonaponskih solar-nih pretvornika u zgrade kontinentalnog podneblja energetske potrebe su reducirane za, prosječno, 75%;
- investicija u aktivne solarne uređaje za grijanje čitavih gradskih naselja iznosi 550 - 1 050 DEM/m² kolektora, uz godišnju isporuku energije od 300 do 550 kWh/m²;
- cijena sezonskih spremnika topline je dvostruko veća od dnevnih spremnika, ali oni omogućuju 2 do 3 puta veći udio energije sunca u podmirivanju ukupnih toplinskih potreba zgrade.

2.12. Program za Berlin

Berlinski parlament usvojio je 21. rujna 1995. godine odluku prema kojoj je zakonski propisana obveza ugradnje uređaja za grijanje sanitarne vode sunčevom energijom, dimenzioniranih tako da pokriju minimalno 60% potreba za sanitarnom toplom vodom 14.

Odredba vrijedi za, praktično, sve buduće građevinske objekte, taksativno navodeći malobrojne dozvoljene iznimke. Uzimajući u obzir da je Berlin jedno od najvećih gradilišta u Europi (predviđena je izgradnja više od 300 000 stanova u sljedećih 15-20 godina) može se ocijeniti opseg i značaj ove odluke, koja, ujedno, obvezuje arhitekte i urbaniste na planiranje pogodno orijentiranih krovnih, fasadnih i drugih površina radi zadovoljenja propisa.

Donošenju odluke prethodila je javna rasprava, na kojoj su glavni argumenti oponenata bili sljedeći:

- nedovoljan toplinski i ekološki doprinos;
- nužnost subvencioniranja proizvođača opreme;
- nedokazana profitabilnost.

Diskusija je rezultirala zaključkom da niti jedan od navedenih argumenata (više) ne vrijedi:

- ugradnja kolektora u krov povećava ukupne investicije građevine za cca 1-2% u odnosu na klasični krov (uštedom energije ova će se dodatna solarna investicija otplatiti za nekoliko godina);
- emisija CO₂ kod novoizgrađenih zgrada bit će smanjena za 15% u odnosu na postojeću;
- značajnim povećanjem tržišta osjetno će se smanjiti cijena solarnih tehnologija, a time i potreba za subvencijama;
- provođenje odluke pozitivno će se odraziti na zaposlene u sektorima proizvodnje, projektiranja i gradnje;
- donošenje ove odluke dugoročno će utjecati na gospodarski prosperitet Berlina razvitkom modernih, inovativnih i perspektivnih tehnologija 21. stoljeća.

3. USPJEŠNI PRIMJERI ENERGETSKI EFIKASNE ARHITEKTURE U HRVATSKOJ

3.1. Naselje Trnsko u Zagrebu

U sklopu višegodišnjeg hrvatsko-američkog znanstveno-istraživačkog projekta "Energetska i ambijentalna rehabilitacija u stanovanju", vođenog od *Arhitektonskog fakulteta u Zagrebu* i *University of California, Berkley* izrađena je na primjeru naselja Trnsko u Zagrebu, znanstveno utemeljena projektna podloga za energetska i ekološka obnovu [4], [5], [6].

Krajnji cilj projekta je na temelju detaljnih analiza postojećeg stanja doći do temeljnih pokazatelja za energetska i ekološka rekonstrukciju zgrada i naselja u dvije različite klimatske zone: mediteranskoj (Split) i kontinentalnoj (Zagreb).

Projekt je startao u Zagrebu, gdje je za prototipnu zgradu odabrana tipična samostojeća peterokatnica s tri stubišta u kojoj su dnevni boravci svih stanova orijentirani na jug, a u čijoj su neposrednoj blizini dvije tlocrtno i oblikovno identične zgrade orijentirane prema istoku i zapadu, što će u nastavku istraživanja omogućiti komparaciju energetske potrošnje, kvalitete osunčanja, te svjetlosne i toplinske udobnosti.

Korištena se metodologija temelji na simulacijskom modelu tokova energije u zgradama, DOE-2, razvijenom u Berkley-vom istraživačkom laboratoriju. Izradi simulacijskog modela prethodila je detaljna analiza ponašanja stanara u smislu dinamike i intenziteta korištenja energije u odnosu na zaposlenost, životnu dob i standard. Na temelju prikupljenih podataka formirane su tipične grupe stanara raspoređene u pet različitih tipova stanova u zgradi i definirana mreža godišnjeg korištenja rasvjete i kućanskih uređaja, te njihovo opterećenje. Sustav grijanja i godišnji raspored grijanja, hlađenja i prirodne ventilacije jednaki su za sve stanove.

Radi iznalaženja optimalnog odnosa uštede energije i razine kvalitete stanovanja provedene su brojne simulacije:

- rekonstrukcija plašta zgrade s pojačanom izolacijom (više građevinsko-tehnoloških rješenja);
- primjena toplinsko-izolacijskog ostakljenja;
- promjena dimenzija prozora (smanjenje na neosunčanim i povećanje na osunčanim pročeljima);
- povećanje površine stana dodavanjem optimalno orijentiranih prostora za pasivno korištenje Sunčeve energije (npr. staklenika);
- dodavanje tavanskih prostora pod novim krovovima;
- ugradnja izolacijskih zastora i roleta;
- primjena modernih, energetska efikasnih sustava grijanja;
- korištenje aktivnih sunčanih sustava;
- izvođenje termoakumulacijskih zidova na južnom pročelju.

Projekt je podijeljen u dvanaest faza, a preliminarni su rezultati početnih faza (fizikalna poboljšanja zgrade) obećavajući. Simulacija je pokazala da se kombiniranjem pojačane toplinske izolacije (dodatni toplinsko-izolacijski sloj debljine 5 cm), trostrukog ostakljenja i poboljšanja ventilacijskog sustava potrošnja energije značajno smanjuje.

Radi poboljšanja ekoloških karakteristika zgrade i naselja u cjelini predviđeni su sljedeći zahvati:

- primarna selekcija otpada;
- prikupljanje kišnice za sanitarne potrebe;
- redizajn hortikulture i prometa;
- obveza primjene ekoloških građevinskih materijala i elemenata.

Ovdje je važno naglasiti, da se veći dio investicija za energetska i ekološka obnovu može pokriti rekonstrukcijom postojećih ravnih krovova nadogradnjom krovne stambene etaže i dobivanjem nove, korisne stambene površine [3].

3.2. Pasivne solarne obiteljske kuće u Hrvatskoj

U ratnim je razaranjima porušeno i oštećeno cca 210 000 stambenih jedinica [3]. Zbog potrebe brzog zbrinjavanja prognanika odlučeno je kao projektntu dokumentaciju koristiti projekte već izvedenih zgrada i

obiteljskih kuća. Pod pokroviteljstvom Ministarstva graditeljstva i zaštite okoliša, 1992. godine je raspisan "Natječaj za cjelovitu i izgradnjom provjerenu dokumentaciju obiteljskih kuća i manjih višestambenih zgrada", proveden od konzalting kuće Koprojekt. Natječaj je osmislio Koordinacijski odbor sastavljen od renomiranih stručnjaka HAZU, fakulteta, instituta i drugih organizacija. U svibnju 1993. članovi Ocjenivačke komisije odabrali su najuspješnije projekte, koji su objavljeni u Katalogu obiteljskih kuća i zgrada [7]. U Katalogu su, kao uspješan primjer pasivne solarne obiteljske kuće dane projektne dokumentacije sljedećih objekata:

- Kuće "P2" u Mariji Bistrici;
- Kuće "V1" u Koprivnici.

3.2.1. Kuća "P2" u Mariji Bistrici

Pasivnu solarnu obiteljsku kuću "P2" u Mariji Bistrici (sl. 8), izgrađenu 1985. godine, arhitektonski je osmislio doc. dr. Ljubomir Mišćević.

Bioklimatski koncept kuće prepoznatljiv je po tlocrtnoj geometriji izduženog oblika u smjeru istok-zapad.

Slika 8. Pasivna sunčana obiteljska kuća "P2" u Mariji Bistrici

Dubinu kuće određuje doseg niskih, zimskih zraka do (unutarnje plohe) sjevernog zida dnevnog boravka kroz visoke otvore južnog pročelja.

Za kuću je karakteristična primjena isključivo autohtonih prirodnih materijala i izgradnja masivnog ostakljenog termoakumulacijskog zida (sl. 9) [8], [9].

Zračni kolektori topline povezani su s podnim spremnikom topline u stakleniku u kojem je termoakumulacijski zid tipa Trombe-Michel izveden od prirodnog kamena. Topli se zrak iz staklenika bioklimatskom cirkulacijom odvodi podnim razvodom do spavaćih soba i kupaonice u potkrovlju.

Pasivni solarni elementi dimenzionirani su na temelju kompjutorskih simulacija programa BAMP I i II, razvijenih u Institutu "Ruđer Bošković" [3].

Potrošna voda se zagrijava solarnim kolektorima postavljenim kao nadstrešnica ulaza u garažu.

Usporedba potrošenog plina za etažno zagrijavanje ove kuće i klasične obiteljske kuće sličnih dimenzija, rezultirala je s cca 60-70% uštede. Subjektivne ocjene stanara u pogledu toplinske i svjetlosne udobnosti vrlo su dobre.

Izum i patentiranje masivnog ostakljenog termoakumulacijskog zida južno orijentiranog pročelja tipa Trombe-Michel unio je krajem šezdesetih godina novu dimenziju u pasivnu solarnu arhitekturu. U realizacijama pasivnih solarnih obiteljskih kuća u Hrvatskoj (oko 45S), termoakumulacijski se zid pokazao s jedne strane energetske efikasnim, a s druge ekonomski isplativim zbog zanemarivo niske dodatne investicije u odnosu na ukupnu cijenu građevine.

Predfabrikacija takvog arhitektonsko-građevinskog elementa, dodatno bi reducirala njegovu cijenu, uz istodobnu veću kvalitetu pojedinih detalja.

3.2.2. Kuća "V1" u Koprivnici

Kuća je izgrađena 1986. godine, u novom, vrlo gusto naseljenom području Lenišće, gdje razmak između kuća nije dovoljan za energetske efikasno korištenje sunčeve energije u prizemnoj etaži u zimskim mjesecima. Iz tog su razloga termoakumulacijski zidovi izvedeni na pročelju 1. kata. Za kuću je karakterističan staklenik povezan sa staklenikom vanjskog bazena koji znatno povećava energetske efikasnost. Solarni pretvornici-kolektori za zagrijavanje vode uklopljeni su u krovnu konstrukciju kao "sunčani pokrov".

Ova obiteljska kuća odabrana je kao arhitektonski model za prostorno-energetsku demonstraciju u okviru razvojnog, edukacijskog i stručno-znanstvenog projekta "Energetska kuća" Saveza energetičara Hrvatske [11].

3.3. Projekt "Energetska kuća"

U sklopu razvojnog, edukacijskog stručno-znanstvenog projekta "Energetska kuća" Saveza energetičara Hrvatske, pokrenutog 1991. godine, po prvi je

Slika 9. Termoakumulacijski zid od prirodnog kamena u stakleniku (pogled s jugozapada)

put u Hrvatskoj, na visokoj, znanstvenoj i stručnoj razini definiran i razrađen pojam energetske kuće [11].

U projekt je na razne načine uključeno više od 60 stručnjaka iz državne uprave, znanstvenih i stručnih ustanova, te proizvodnih i izvođačkih tvrtki i poduzeća.

Od 1992. godine kontinuiranim se organiziranjem domaćih i međunarodnih znanstveno-stručnih skupova pod pokroviteljstvom resornih ministarstava, pokušava podići energetske-ekološka svijest i dostići europska razina građenja u Hrvatskoj.

Projekt "Energetska kuća" postavlja kriterije i zahtjeve na kvalitetu građenja koji su usmjereni prema etapnom, vremenski i materijalno realnom dosegu europskih standarda i normi, pri čemu su uvjeti građenja definirani urbanističkim, arhitektonskim, građevinskim, tehnološkim, funkcionalnim, energetske, ekološkim, ekonomskim, estetskim i normativnim zahtjevima uz uvažavanje regionalnih i etnoloških karakteristika. Projekt se temelji na izgradnji ogledne energetske obiteljske kuće u Hrvatskoj, radi iznalažnja i predlaganja optimalnih normi i standarda u području toplinske zaštite i građevinske fizike, te korištenja sunčeve energije i drugih obnovljivih izvora, uz kontinuirano promoviranje novih, prvenstveno domaćih, energetskih i građevinskih tehnologija, elemenata i materijala.

Nadalje, on daje posebno značenje ekonomskim karakteristikama izgradnje novih i rekonstrukcije postojećih stambenih i gospodarskih zgrada, polazeći od načela da ekonomskom analizom isplativosti gradnje ili rekonstrukcijskih zahvata treba obuhvatiti čitav životni vijek građevine, uvažavajući sve uštede korištenja suvremenih, visokokvalitetnih energetski efikasnih sustava, tehnologija, elemenata i materijala.

Jedan je od prioritarnih zadataka projekta što skorije provođenje izmjena i dopuna važećih hrvatskih propisa za područje toplinske zaštite zgrada u skladu sa Smjernicama vijeća Europske unije [15], [16].

4. ZAKLJUČAK

Različiti primjeri inozemnih uspješno provedenih pilot programa energetske efikasnosti u zgradarstvu ukazuju na nekoliko zajedničkih momenata:

- najjači poticaj realizaciji programa energetske efikasnosti je zadovoljavajuće zakonodavno uređenje područja toplinske zaštite i pasivne i aktivne solarne arhitekture unutar urbanističke, arhitektonsko-građevinske i energetske legislative;
- primjenom suvremenih principa energetske efikasnosti koji objedinjuju bioklimatske projektantske tehnike, visokokvalitetnu toplinsku zaštitu, aktivne solarne elemente i sustave, koncepte pasivne sunčane arhitekture, te primjenu energetski efikasnih uređaja i sustava u zgradama, potrošnja energije za grijanje i pripremu tople vode može se

reducirati u granicama između 30 i 70%, a emisija CO₂ od 15 do 50%;

- jedan od preduvjeta uspješne provedbe pilot programa je sustavni, višegodišnji monitoring pilot zgrada, uz kontinuirano informiranje javnosti o svim važnim momentima provedbe programa i postignutim rezultatima.

Kao izravna posljedica svjetske energetske krize 1973. godine, u Hrvatskoj se početkom osamdesetih godina, pojavljuju prvi projekti pasivne solarne arhitekture obiteljskih kuća. Za daljnji razvitak energetski efikasne arhitekture od najvećeg je značenja donošenje novih, strožih propisa o toplinskoj zaštiti zgrada [15]. Postojeći su propisi znatno niži od europskih standarda i odnose se jedino na građevine veće od 500 m², čime je veliki dio današnje stanogradnje izvan zakonske obveze.

Dosadašnja pozitivna iskustva u primjeni pasivne solarne arhitekture u Hrvatskoj trebaju osigurati njezin daljnji razvitak, kao jedan od preduvjeta modernog, europski orijentiranog i ekološki koncipiranog graditeljskog i energetskog sektora.

U posljednje vrijeme gotovo svi pilot programi, i to ne samo u sektoru energetike, imaju jako izraženu ekološku komponentu, a s obzirom na činjenicu da je zagađenje okoliša obično lokalne naravi, pokazna zona je vrlo podesna za pilot programe energetske efikasnosti radi reduciranja emisije onečišćujućih tvari.

Prigodom odabira pilot programa energetske efikasnosti u zgradama pokazne zone trebaju biti u tri klimatski različita područja Hrvatske.

Radi uspješne realizacije pilot programa treba slijediti neke općenite odrednice:

- odabrani pilot program treba biti prilagođen trenutnoj situaciji u Hrvatskoj, a ne jednostavno preslikano tuđe iskustvo;
- odabrane pokazne zone trebaju biti što tipičnije za Hrvatsku u cjelini, a ne jedino za specifična, uska područja zemlje;
- u svim fazama pripreme i realizacije pilot programa nužno je djelotvorno praćenje, prikupljanje, analiza i sinteza rezultata;
- dobiveni rezultati moraju biti važan čimbenik u oblikovanju nacionalne energetske politike, zakonodavstva i normi.

U pripremi i realizaciji pilot programa KUEN_{zgrada} trebaju od početka zajednički sudjelovati istraživačko-razvojne ustanove i građevinska industrija radi što brže implementacije dobivenih rezultata. Financiranje pilot programa, trebaju uz državu i međunarodne fondove novčano poduprijeti proizvođači građevinskih materijala i opreme, kojima suradnja na programu može otvoriti pristup na tržište.

Strana i domaća iskustva, istraživanja i analize pokazuju da je energetski efikasna građevina, izvedena od zdravih materijala, opremljena tehničkim instalacijskim i informatičkim uređajima koji upravljaju

energetsko-ekološkim funkcijama i osiguravaju poziti-
van odnos između arhitekture i okoliša, idealna zgrada
21. stoljeća i prihvatljiva opcija održivog razvitka u
trećem tisućljeću.

Energetsko-ekološka kuća 21. stoljeća je, ustvari,
prijamnik sunčeva zračenja, spremnik topline ili hlad-
noće koja se bioklimatski raspodjeljuje u unutarnjem
prostoru toplinske i svjetlosne udobnosti, proizvođač
energije aktivnim instalacijskim i fotonaponskim susta-
vima, a ujedno je aktivno ekološko mjesto primarne se-
lekcije sekundarnih sirovina, organske reciklaže i
prikupljanja oborinske vode za sanitarnu upotrebu [12].

LITERATURA

- [1] V. KOLEGA [et. al.]: "KUEN_{ZGRADA} – Program ener-
getske efikasnosti u zgradarstvu: prethodni rezultati i
buduće aktivnosti", Energetski institut "Hrvoje Požar",
Zagreb, travanj 1998.
- [2] LJ. MIŠČEVIĆ: "Suvremene energetske ekološke kon-
cepcije i materijali u arhitekturi", Zbornik radova sim-
pozija "Uvjeti kvalitetne izgradnje hrvatskih regija",
SEH, Zagreb, 1994.
- [3] B. HRASTNIK [et. al.]: "SUNEN – Program korištenja
energije sunca: prethodni rezultati i buduće aktivnosti",
Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb, travanj
1998.
- [4] G. KNEŽEVIĆ, V. BAZJANAC, LJ. MIŠČEVIĆ, B.
BALETIĆ: "Improving the Energy Performance of
Large Scale Housing through the Redesign of the Build-
ing Envelope", Zbornik radova Međunarodne konferen-
cije International Solar Energy Society (ISES),
Milano, 1990.
- [5] B. BALETIĆ: "Energetske pretpostavke stambene ob-
nove", Čovjek i prostor, br. 11-12, Zagreb, 1990.
- [6] LJ. MIŠČEVIĆ: "Renewable Energy Technology and
Bioclimatic Architecture in Croatia – a useful experi-
ence", Zbornik radova Svjetskog kongresa Interna-
tional Solar Energy Society (ISES), Harare, Zimbabwe,
1995.
- [7] KOPROJEKT, Katalog obiteljskih kuća i zgrada, Ko-
projekt, Zagreb, 1993.
- [8] LJ. MIŠČEVIĆ: "Passive Solar Architecture in Croa-
tia", Solar World Congress, Proceedings, Budapest,
1993.
- [9] LJ. MIŠČEVIĆ: "Bioclimatic Rehabilitation of Dwell-
ings in Croatia, Sun at Work in Europe, The Franklin
Company Consultants Ltd., Vol. 8: No. 3, Birmingham,
UK, 1993.
- [10] LJ. MIŠČEVIĆ: "Niskoenergetska visokotehnološka
arhitektura", Zbornik radova Međunarodnog kongresa
o energiji i zaštiti okoliša, Opatija, 1994.
- [11] Savez energetičara Hrvatske "Projekt Energetska
kuća", Zbornici znanstveno-stručnih hrvatskih i
međunarodnih simpozija, Zagreb, 1992.
- [12] Architektur, Innenarchitektur, Technischer Ausbau
(AIT), 1-2/1993. I Architectural Review (AR), Houses,
br. 1196, 10/1996.
- [13] H. TER HORST: "Building integrated PV in the Neth-
erlands", SunWorld No. 1, 1996.
- [14] D. LOY, U. HARTMANN: "Berlin Solar Collector Or-
dinance", Zbornik radova 10. međunarodne konferen-
cije EUROSUN 96, München, 1996.
- [15] V. KOLEGA: "Uvod u nacionalni program energetske
efikasnosti u zgradarstvu - KUEN_{ZGRADA}", Energija br.
5, Hrvatska elektroprivreda, Zagreb, listopad 1999.
- [16] Smjernice Vijeća Europske zajednice 89/106 o građe-
vinskim proizvodima, Temeljni dokument o uštedi ener-
gije i toplinske zaštite, 21. prosinca 1988.
- [17] Internet adresa: www.neckarsulm.de
- [18] Internet adresa: europa.eu.int
- [19] Internet adresa: www.ise.fhg.de
- [20] Internet adresa: www.ecde.demon.co.uk

REVIEW OF FOREIGN AND DOMESTIC ENERGY EFFICIENCY IN BUILDINGS' PILOT PROGRAMMES

The paper reviews some interesting foreign and domestic programmes of energy efficiency in buildings that prove real possibilities of energy saving measures and environmental protection, using energy effective equipment and systems in buildings, bio-climate design techniques as well as active and passive solar architecture.

DIE ÜBERSICHT AUSLÄNDISCHER UND EINHEIMISCHER VERSUCHSPROGRAMME DER ENERGETISCHEN LEISTUNGSFÄHIGKEIT IN GEBÄUDEN

In diesem Artikel ist die Übersicht einiger interessanten ausländischen und einheimischen Versuchsprogramme der energetischen Leistungsfähigkeit in Gebäuden dargestellt. Dabei ist der mögliche Ausmaß der Energiesparung und der Umfang des Umweltschutzes durch energetisch wirksame Geräte und Einrichtungen, durch bioklimatische Entwurfsverfahren, sowie mittels aktiver und passiver Nutzung der Sonne in der Architektur sachlich erreicht.

Naslov pisca:

Mr. sc. Vesna Kolega, dipl. ing.
Energetski institut "Hrvoje Požar"
Savska cesta 163
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
2001-11-15.

TEHNIČKE I EKONOMSKE ZNAČAJKE RAZLIČITIH SUSTAVA INDIVIDUALIZIRANJA TROŠKOVA GRIJANJA

Mr. sc. Florijan Rajić, Zagreb

UDK 644.1.1:621.317
PREGLEDNI ČLANAK

U radu se opisuju temeljne tehničke i gospodarske značajke opreme i sustava individualiziranja troškova grijanja i uporabe tople i hladne vode. Daje se pregled osnovnih vrsta tehničkih izvedbi dijelova opreme, podsustava i sustava, i opisi načina njihovog djelovanja, dimenzioniranja, održavanja, očitavanja i obrade podataka. Opisuju se osnovni načini informatičkog povezivanja sustava, počevši od ogrjevnih tijela i potrošnih mjesta, do stanova, zgrada i stambenih kompleksa. Daju se osnovne informacije o cijeni i gospodarskim efektima investicija u različite sustave, te o načinima optimiranja vremena njihove isplate.

Ključne riječi: individualizacija troškova, toplina, grijanje, cijene, efikasnost.

UVOD

U Njemačkoj je prije više desetljeća (1952) tvrtka **TECHEM**, vodeća u Europi na ovome tehničkom području, uvela prva individualizirana mjerenja i razdiobu troškova potrošnje topline u skupno grijanim stambenim zgradama i stanovima, odnosno na njihovim ogrjevnim tijelima ili radiatorima. Mjerenja su tijekom nekoliko desetljeća razvijana i izvođena isključivo s isparničkim razdjelnicima, koji se i danas, u vrlo usavršenim izvedbama, u zapadnim zemljama Europe pretežito, i vrlo učinkovito i jeftino, koriste u iste svrhe. U posljednjih desetak godina u uporabi su i elektronički razdjelnici topline. Unatoč tome zastupljenost isparničkih razdjelnika je, na primjer u Njemačkoj pa i drugim zemljama Zapadne Europe, i dalje gotovo dvostruko veća. Tako je u Njemačkoj od donošenja osnovnih zakona i uredbi za područja čuvanja i potrošnje energije grijanja, sustavima individualiziranja (SI) opremljeno oko 15 milijuna stanova, od kojih je samo tvrtka **TECHEM** opremila njih više od 5 milijuna.

Tablica 1. Pregled broja stanova u europskim državama

| Država | Ukupan broj stanova | Podobno za SI | Opremljeno sa SI |
|----------|---------------------|----------------|-------------------------|
| Njemačka | 26.796.000 | 20.055.000 | 18.000.000 |
| Rusija | 38.000.000 | 30.000.000 | Pilot-projekti ! |
| Austrija | 3.000.000 | 2.000.000 | 1.200.000 |
| Češka | 3.700.000 | 2.200.000 | 500.000 |
| Mađarska | 3.955.000 | 3.000.000 | 500.000 |
| Bugarska | 600.000 | 540.000 | 300.000 |
| Poljska | 11.610.000 | 6.330.000 | 1.500.000 |
| Hrvatska | 850.000 | 630.000 | Pilot-projekti ! |

Istodobno je veliki napredak u primjeni ovih sustava učinjen i u zemljama Istočne Europe, u takozvanim tranzicijskim zemljama, kao što su **Poljska, Češka, Slovačka, Mađarska i Bugarska**. I **Rusija** u tom pogledu izvodi velike pripreme; učinila je veliki dio posla na "inventarizaciji" postojećeg stanja, odnosno pregledu svih svojih potreba i mogućnosti, pa se, temeljem mnogobrojnih pilot-projekata i priprema ukupne zakonske regulative, priprema za veliko povećanje učinkovitosti cjelokupnih sustava grijanja, i racionalne uporabe topline u, kod njih za individualizaciju troškova grijanja raspoloživih, **30.000.000 stanova** (tablica 1)!

PRIMJENA SUSTAVA INDIVIDUALIZACIJE TROŠKOVA GRIJANJA I VODE U HRVATSKOJ

A što je do sada učinjeno u Hrvatskoj? Učinjene su mnogobrojne prezentacije, stručna predavanja, promocije i razgovori s potencijalnim korisnicima sustava individualizacije troškova grijanja. Na njima je široki krug stručnih ljudi, i građana-stanara, detaljno upoznat sa svrhom i tehnikom sustava, mogućnostima njihove nabave i ugradnje, vrstama izvedbi, cijenama investicija u cjeline i dijelove sustava, mogućim iznosima štednje energije i vode, vremenu povrata uloženi novaca i dr. Interes stanara i građana Hrvatske za ove sustave je vrlo velik, a isto takva je i njihova spremnost na primjerena i razborita investicijska ulaganja. Ali, dvije su **osnovne prepreke napretku** u tom smislu: prva je **nepostojanje adekvatne zakonske regulative**, a druga je **nespremnost isporučilaca energenata (plina) i topline (iz vrelodnih mreža)** da ove sustave i njihove rezultate neodgodivo, i **u smislu savjesnog gospodarenja energijom i vodom** uvode i prilagođavaju našim ukupnim, zakonskim i financijskim mogućnostima.

Urađeno je i nekoliko uspješnih Pilot-projekata sustava individualizacije troškova grijanja, a njihovi se rezultati samo djelomično koriste za pokusna obračunavanja. Dva Pilot-projekta, u dvije zgrade s 90 stanova, izvedena su i s jeftinim isparničkim razdjelnicima, no oni su od strane nekih "poduzetnih i naprednih stručnjaka" ocijenjeni kao neperspektivni, i nepodobni za domaću primjenu, a razlog tomu je "nepoželjno" (jednom godišnje!) ulaganje u stanove radi očitavanja podataka! Rezultati ovih Pilot-projekata pokazali su efikasno djelovanje i visoku točnost razdiobe troškova grijanja, ali po njima, zbog neutemeljenih osporavanja podobnosti isparničkih sustava od strane isporučilaca energije, stanarima nikada nisu ispostavljeni računi.

Prije nekoliko godina napravljen je i nacrt "Zakona o obračunu troškova grijanja...", kojemu se, neobjašnjivo, već u prvom čitanju, zagubio svaki trag?! **Nepostojanje zakonske regulative** razlog je i isporučiocima plina da stanarima Pilot-projekata ne obračunavaju troškove grijanja prema pokazanim rezultatima jednostavnog, potpuno efikasnog i točnog isparničkog sustava individualiziranja. Na drugoj strani, isporučiocu vrelovodne topline razlog za izbjegavanje novog obračunavanja je i njegova unaprijedna, **nerazborita i svojevolutna odluka**, o "orijentaciji na

moderne", ni malo efikasnije ali i neusporedivo skuplje i složenije, sustave individualizacije troškova s elektroničkim razdjelnicima.

VRSTE SUSTAVA INDIVIDUALIZACIJE TROŠKOVA GRIJANJA U STAMBENIM ZGRADAMA

Postoji više vrsta osnovnih izvedbi sustava individualizacije troškova grijanja i potrošnje vode u skupno grijanim zgradama i stambenim objektima. Oni se međusobno bitno razlikuju i po tehničkim izvedbama i značajkama, a još više po njihovoj cijeni izgradnje, uporabe i održavanja. Pregled jedne grupe ovih sustava pokazan je u tablici 2.

a) Sustavi individualizacije troškova s posebnim mjerilima topline. Najjednostavnija, pa i najjeftinija, individualizacija troškova grijanja po stanovima postiže se ugradnjom zasebnih mjerila topline za svaki grijani stan. Mjerila topline treba postaviti na hodnicima ili stubištima zgrada, dostupno za očitavanja bez ulazaka u stanove i obveznog prisustva stanara. Individualno mjerenje je najbolje predvidjeti prvim projektom zgrada i stanova s ugradbom etažnog, jednocijevnog ili dvocijevnog grijanja. U istu svrhu, ogrjevna tijela u stanovima treba opskrbiti i s prikladnim termostatskim ventilima. Uz mjerila toplinske energije ogrjevne vode,

Tablica 2. Pregled osnovnih značajki različitih sustava individualizacije troškova grijanja

| Poslovi ugradnje, očitavanja i održavanja | Zasebna mjerila topline za stanove | Isparnički razdjelnici | Elektronički razdjelnici s lokalnim očitavanjem | Elektronički razdjelnici s lokalnim očitavanjem i dva osjetila | Elektronički razdjelnici s daljinskim očitavanjem u zgradi | Elektronički razdjelnici s daljinskim očitavanjem iz centra |
|---|------------------------------------|-------------------------|---|--|--|---|
| | a | b | c | d | e | f |
| Inventariziranje, snimanje podataka o ogrijevnim tijelima | + | + | + | + | + | + |
| Skaliranje ili svrstavanje u područja potrošnje | + | + | + | + | + | + |
| Računalsko programiranje | + | - | + | + | + | + |
| Očitavanje i zapisivanje podataka o potrošnji | Ručno ili daljinski | Ručno, na obrasce | Ručno, na obrasce | Ručno, na obrasce | Na kartice ili diskete | Na diskove računala |
| Obvezne zamjene dijelova | Baterija, nakon 5-6 godina | Ampula, jednom godišnje | Baterija, nakon 7-8 godina | Baterija, nakon 7-8 godina | Baterija, nakon 6-8 godina | Baterija, nakon 6-8 godina |
| Nadzor rada | Lokalno + daljinski | Lokalno | Lokalno | Lokalno + daljinski | Lokalno + daljinski | Lokalno + daljinski |
| Štetne tvari | Li-baterije i dr. | - | Li-baterije i dr. | Li-baterije i dr. | Li-baterije i dr. | Li-baterije i dr. |
| Oprema za prijenos podataka | Sabirnice i radijski moduli | - | - | - | Radijski moduli | Radijski moduli i TT prijenosnici ili modemi |

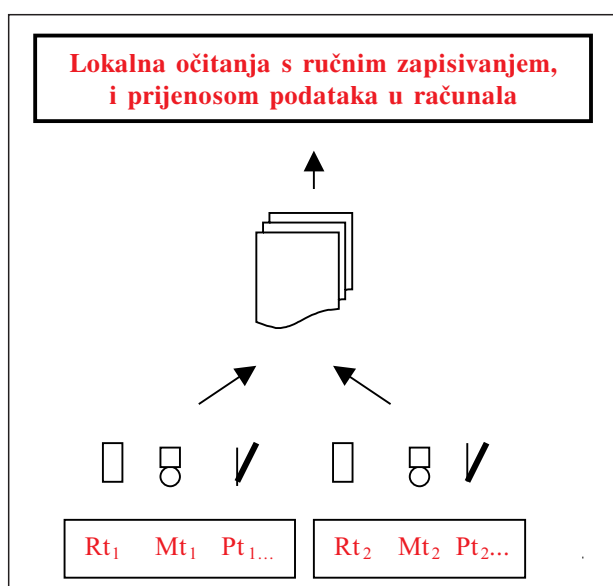
moгу se ugraditi i posebna mjerila potrošnje tople sanitarne i hladne vode. Mjerila se smještaju zajedno u razvodnim i mjernim ormarićima.

U nas je, pa i u mnogim drugim osobito tranzicijskim zemljama, naknadna ugradnja sustava individualizacije, zbog raznolikih oblika kućnih instalacija grijanja, spojena s mnoštvom problema. Prvenstvena poteškoća u tome su neprikladne razvodne mreže s mnogostrukim usponskim vodovima za napajanje ogrjevnih tijela-radijatora, te napajanja sanitarnom i hladnom vodom. I za ovakve stanove je jedina ispravna perspektiva ona, u kojoj će se kućne mreže preurediti tako, da će se u njima omogućiti i zasebna mjerenja ne samo ogrjevne i tople sanitarne, nego i mjerenja potrošnje pitke vode. S ovakvim podsustavima omogućit će se i jednostavnija daljinska očitavanja i prijenosi potrebitih podataka.

b) Sustavi individualizacije troškova grijanja s isparničkim razdjelnicima topline omogućavaju vrlo jednostavno i točno očitavanje potrošene topline na ogrjevnim tijelima. Načela djelovanja i izvedbi su im jednostavna, jednostavna je i njihova ugradnja, pa su ovakvi sustavi zasigurno najjeftiniji u izgradnji, ali i očitavanju i održavanju (slika 1). Uz njih se obvezatno ugrađuju i termostatski ventili za automatsko održavanje željenih temperatura prostorija.

Jedini nedostatak ovakvih sustava, koji se urednom organizacijom poslova očitavanja može umanjiti do nebitnosti, je prijeko potrebno ulaženje u stanove radi "ručnog" očitavanja podataka o potrošnji topline, i jedne godišnje zamjene isparničkih cjevčica.

Očitani podaci s isparničkih razdjelnika topline (R_{t1} , R_{t2} ...), kao i potrebni podaci s mjerila topline (M_{t1} , M_{t2} ...) ili temperatura (P_{t1} , P_{t2} ...) i dr., prenose se na prikladne obrasce (SO) "ručno", a sa njih se onda podaci učitavaju neposredno na elektronička računala (slika 1).



Slika 1. Jednostavni isparnički sustavi individualiziranja troškova grijanja

c) Sustavi s elektroničkim razdjelnicima i lokalnim očitavanjem. Ovi sustavi se izvode kao i jednostavni sustavi s isparničkim razdjelnicima, koji se ugrađuju jednako ili slično, ovisno o tome koje su vrste elektronički razdjelnici. Tako postoje **kompaktni elektronički razdjelnici**, s ugradnjom jednakom isparničkim razdjelnicima, neposrednim očitavanjem s elektroničkih pokaznika, i ručnim zapisivanjem podataka. Napajaju se baterijama dugog trajanja (8 do 10 godina), kod kojih dugoročno nema zamjena. Bitan nedostatak elektroničkih razdjelnika je netočno mjerenje potrošnje topline pri malim razlikama temperatura između okoline i ogrjevnih tijela, odnosno "polaznih" i "povratnih" temperatura vode.

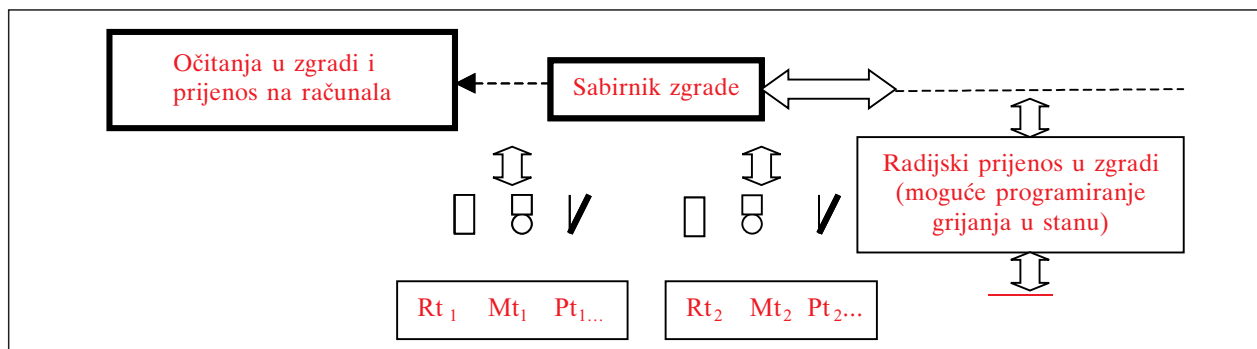
d) Sustavi s elektroničkim razdjelnicima topline s dva osjetila nemaju spomenuti nedostatak netočnosti. Kod njih se jednim mjernim osjetilom mjeri temperatura ogrjevnog tijela, a drugim, ugrađenim u razdjelnik, temperatura okoline na ugradbenom mjestu. Zbog složenije građe, ovi razdjelnici imaju i bitno više cijene isporuke, montaže i održavanja.

e) Elektronički razdjelnici topline s daljinskim očitavanjima u zgradi. Elektronički razdjelnici se mogu graditi i za različite vrste daljinskog prijenosa podataka unutar stambenih zgrada; pomoću M-sabirnica ili s radijskim prijenosom. Pri tome također nema obvezatnih ulazaka u stanove radi očitavanja, a skraćuju se i vremena očitavanja i zapisivanja podataka. Osim toga, ovdje se zbog drugačije tehnologije razdjelnika, očitavanja izvode u svim stanovima praktično istodobno, što je pri primjeni suvremenih, daljinski nadziranih, pa i vođenih i očitavanih elektroničkih sustava relativno sigurno i jednostavno.

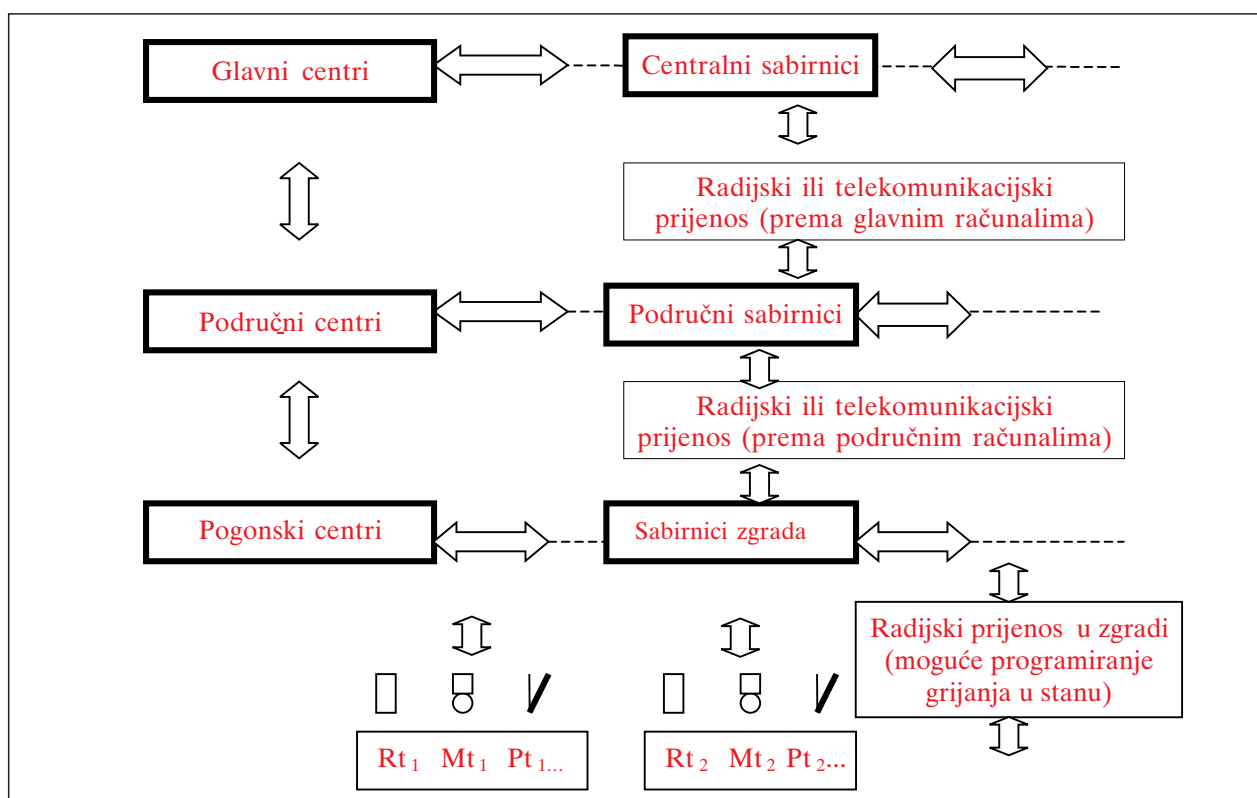
f) Sustavi s elektroničkim razdjelnicima i daljinskim radijskim ili sabirničkim prijenosom podataka, su najsuvremenija vrsta razdjelnika topline, s kojima se izbjegava većina poteškoća neposrednih očitavanja. Ove izvedbe razdjelnika topline omogućavaju građu podsustava individualiziranja i maksimalnog "komfortiranja" sustava grijanja, s potpunim elektroničkim povezivanjem, primjerice putem M-sabirnica tako da je omogućeno potpuno daljinsko očitavanje, računalno programiranje iz pogonskih prostora vođenja, obračunavanje i ispostave računa, a uz to se programiranim podsustavima mogu ostvariti puni nadzor i vođenje ogrjevnih tijela s individualiziranjem troškova u svakom stanu (slika 2).

Takvi, složeni elektronički sustavi individualiziranja troškova mogu biti zasnovani i građeni u nekoliko osnovnih varijanata. Najjednostavniji su s **pogonskim centrima**, u kojima se mogu, prema slici 2., kad oni služe za obradu više stanova i zgrada, izvoditi i daljinski prijenos i obrada očitanih podataka putem radijskih primopredajnika, ili putem M-sabirnica i TT-linija.

Kod velikih sustava individualiziranja, u kojima se obrađuje veliki broj zgrada i stanova, na primjer kod



Slika 2. Jednostavni elektronički sustavi individualiziranja troškova grijanja



Slika 3. Složeni elektronički sustavi individualiziranja troškova grijanja

sustava s više od 5000 stanova, formiraju se odgovarajuću i znatno veći **područni centri**. Prijenos podataka i u njima može biti izveden radijski ili putem telekomunikacijskih mreža, te velikih mreža s M-sabirnicama. Ove mreže mogu biti formirane na više načina; kao **linijske, zvjezdaste, kružne** ili drugačije mreže. Osim obračuna troškova, u većim područnim centrima se mogu obavljati i drugi poslovi integralnog vođenja cjelokupnog sustava; poslovi ugovaranja, inventariziranja i gradnje, održavanja sustava, i dr.

Velike tvrtke, koje se bave proizvodnjom opreme, projektiranjem, izgradnjom, uspostavljanjem djelovanja i održavanjem sustava individualiziranja troškova grijanja, potrošnje vode, plina, električne energije i dr, imaju velike **glavne centre za sustavno vođenje** mnogih drugih poslova. U njima su glavne banke podataka,

pomoću kojih se brzo i efikasno izvode skaliranja i dimenzioniranja razdjelnika, dimenzioniranja ostale opreme sustava, te vode njihovi ukupni pregledni i statistički podaci, upravlja proizvodnjom i distribucijom robe, i dr. Glavni centri vođenja mogu biti formirani i kao veliki gradski, ili regionalni, pa i državni.

Sustavi individualizacije troškova grijanja su veliki i specifični sustavi, izrazito distribuirani i povezani na vrlo velikim urbanim površinama, i u velikim prostorima, područja, zgrada i stanova. Njihovi su, glavni i osnovni, uvijek mnogobrojni, relativno jednostavni sastavni dijelovi. To su pretežito mehanički ili elektronički dijelovi i uređaji: isparnički i elektronički razdjelnici toplote, elektronički prijenosni i sabirnički moduli, mjerila količine toplote, količine vode i dr.

TEHNIČKA EFIKASNOST SUSTAVA INDIVIDUALIZIRANJA TROŠKOVA

Tehnička efikasnost sastavnih dijelova i sustava individualizacije troškova može se odrediti temeljem promatranja njihove pouzdanosti, raspoloživosti, radne sigurnosti i ekološkičnosti. **Pouzdanost** se može promatrati na više razina sustava. Tako je pouzdanost osnovne opreme; razdjelnika topline i mjerila, ovisna više o pouzdanosti izvedbi i namjeni pojedinih njezinih dijelova, a pouzdanost nadgrađenih informatičkih sustava i prijenosnika podataka je ovisna i o pouzdanosti primijenjenih programskih, odnosno "softverskih paketa" i prijenosnih medija.

Pouzdanost osnovne opreme, u dijelu **točnosti mjerjenja**, može se promatrati posebno za razdjelnike topline, koji pripadaju u grupe mjernih indikatora, a posebno za ostala mjerila topline tlaka i protoka, koji pripadaju grupama "klasičnih" toplinskih mjerila. Naime, za praktičnu primjenu razdjelnika topline potrebite su suglasnosti Državnog zavoda za normizaciju i mjeriteljstvo (što podjednako vrijedi za isparničke i elektroničke razdjelnike topline), a za mjerila topline i dr. standardna "Tipska odobrenja" za uporabu u RH. Sve suvremene izvedbe razdjelnika topline i drugih mjerila, moraju zadovoljiti i sve međunarodne kriterije kvalitete i točnosti opreme za njezinu praktičnu primjenu u RH (DIN, IEC, EN).

Radna **sigurnost** osnovne i informatičke opreme mora također potpuno zadovoljavati sve spomenute standarde i norme, pa se i ona najčešće može primjenjivati bez ograničenja. **Raspoloživost** mora biti odlika suvremenih sustava individualiziranja troškova grijanja i potrošnje vode, a postiže se osiguranjem potrebite tehničke kvalitete i zalihosti dijelova i opreme.

Sa stajališta **ekološkičnosti**, suvremena oprema ovih elektroničkih sustava mora zadovoljavati sve kriterije, iako neki njezini dijelovi mogu sadržavati i problematične tvari (sastojci elektroničkih sklopova, LiCl-baterije i dr.), a moguće su i štetnosti radijskih zračenja odašiljačkih dijelova sustava, koje se još uvijek ozbiljno istražuju.

EKONOMSKA EFIKASNOST SUSTAVA INDIVIDUALIZIRANJA TROŠKOVA

Za ove sustave, kako za njihovu osnovnu opremu tako i za informatičke mreže, mora se reći, da oni nikako nisu sami sebi svrha, i da se moraju graditi u najefikasnijim, točnim, pouzdanim i sigurnim, pa za naše uvjete i iznad svega, u financijski prihvatljivim formama. U cjelini gledano, sve izvedbe sustava individualiziranja, pa čak i one najjeftinije i vrlo efikasne s isparničkim razdjelnicima, su skuplje od sustava individualizacije troškova grijanja sa zasebnim mjerilima topline, kad se ona unaprijed projektiraju, i instaliraju pri gradnji stanova.

Uređaji i oprema individualiziranja troškova povezuju se u male, srednje ili velike elektroničke informacijske

sustave. Sustavi su stoga najčešće složeni, a rabe i različite složene elektroničke medije i opremu za prijenos i obradu podataka. Cijene sustava bitno ovise o primijenjenim vrstama informatičkih mreža i medija, pa njihove cijene mogu i bitno premašivati cijene osnovne opreme. Stoga se pri projektiranju sustava individualizacije troškova grijanja i potrošnje vode, nikada ne smije manje važni čimbenik "komfor" pretpostaviti mnogo važnijoj svrsi, cijeni i efikasnosti sustava. Svi poslovi projektiranja i gradnje sustava moraju se voditi vrlo razborito, uz razmišljanje dobrih gospodara, u dobroj vjeri, i uvijek na dobro potrošača i na opće dobro. To se posebno odnosi na poslove uvođenja sustava individualiziranja u postojeće zgrade, s njihovim, lošim, a "hardverski i softverski" uhodanim, "socijaliziranim" plaćanjem grijanja i potrošnje vode.

Pregledni podaci mogućih cijena investicija u različite izvedbe sustava individualiziranja troškova grijanja po stanu, pokazani su u tablici 3. I iz ove tablice se vidi da bi uvođenje individualizacije troškova grijanja bilo najjednostavnije i najisplativije sa zasebnim mjerilima topline u svakom stanu. Nebitno su skuplji i jednostavni isparnički sustavi, a cijene elektroničkih sustava znatno rastu, ovisno o njihovoj prilagodbi daljinskim očitavanjima ili mogućnostima programiranih vođenja grijanja na svim ogrjevnim tijelima. Ovakvi sustavi imaju daljinski i programski vođene, te također komunikacijski, s M-sabirnicama ili radijski, povezane termostatske ventile.

Neki od navedenih sustava, u našim su uvjetima nestimuliranih investiranja, preskupi, pa u rokovima isplate investicijskih troškova od deset pa i od dvadeset godina, donose realne gubitke investitorima. Tako je u našim uvjetima investiranje u sustave individualiziranja troškova grijanja i potrošnje vode potpuno destimulirano. Prvo je to učinjeno neprikladnim i sveprisutnim PDV-om, zatim troškovima carinjenja, različitim doprinosima, prirezima i trošarinama, te mnogim drugim nerazboritim davanjima. Za razliku od naše prakse, u zapadnoeuropskim zemljama su svi postojeći zakoni i uredbi uređeni tako da potpuno ili značajno eliminiraju sve destimulirajuće troškove spomenutih vrsta investiranja. U uređenim i razboritim gospodarstvima, razboritom se regulativom sve građane i investitore pomaže u izgradnji, državi i korisnicima prijeko potrebitih, štedljivih sustava individualiziranja troškova grijanja i troškova potrošnje vode.

Primjena elektroničkih sustava donosi i nove troškove, naprimjer troškove komunikacija zbog uporabe radijskih frekvencija ili TT-linija, koji bitno rastu prema cijenama pripadnih osnovnih uređaja i opreme. Ta "komforna nadgradnja" informatičke opreme, i opreme vođenja i komunikacija, može često, i sasvim nepotrebno i mnogostruko, poskupiti troškove i onih, prijeko potrebitih, dijelova osnovnog sustava individualiziranja troškova grijanja. S time se i ukupna efikasnost investicija može bitno umanjiti.

Tablica 3. Troškovi investicija, očitavanja, održavanja i godišnjih ušteda različitih sustava

| Radovi ugradnje, očitavanja i održavanja | Zasebna mjerila topline | Isparnici | Elektronički razdjelnici s lokalnim očitavanjem | Elektronički razdjelnici s dva osjetila i s lokalnim očitavanjem | Elektronički razdjelnici s daljinskim očitavanjem u zgradi | Elektronički razdjelnici s daljinskim očitavanjem iz Centra | Programirani sustav Techem-“ASSISTO” |
|---|-------------------------|-----------|---|--|--|---|--|
| a | b | c | d | e | f | g | h |
| Prosječna cijena opreme po stanu (a'50m ² , 5 radijatora) [kn] | 2.200,00 | 1.700,00 | 2.800,00 | 4.500,00 | 6.000,00 | 9.000,00 | 12.000,00 |
| Pristojbe za uporabu komunikacija [kn] | - | - | - | - | Pristojbe za uporabu frekvencija | Pristojbe za uporabu frekvencija, HT pristojbe | Pristojbe za uporabu frekvencija, HT pristojbe |
| Cijena održavanja i očitavanja [kn/ st. /god.] | 30,00 | 40,00 | 70,00 | 120,00 | 150,00 | 200,00 | 250,00 |
| Godišnji dobitak / Gubitak (+)/(-) [kn] (za 10 g.) | +350,00 | +390,00 | +250,00 | +30,00 | -150,00 | -550,00 | -850,00 |
| Godišnji dobitak / Gubitak (+)/(-) [kn] (za 20 g.) | +460,00 | +475,00 | +390,00 | +275,00 | +150,00 | -50,00 | -250,00 |

Ni cijena negativnih ekoloških utjecaja složenih elektroničkih sustava ne smije se zanemariti, a kojih ima znatno više nego što ih se prikazuje. Tu prije svega pripadaju moguće interferencijske radijske smetnje, i masovni “elektronski smog” iz mnoštva odašiljačkih dijelova sustava, troškovi zbrinjavanja nerekiclabilnih dijelova (primjerice Li-baterija, elektrolita i drugih elektroničkih dijelova ...).

Pri zasnivanju i projektiranju ovih sustava uvijek se moraju odabrati razboriti oblici izvedbi i niže cijene investicija koje mogu, i moraju, omogućiti ne samo uredne rokove isplativosti, nego i samoodrživi razvoj i održavanje sustava. S tim ciljem, radi boljeg uvida u buduću primjenu različitih sustava u našoj zemlji, navedene su i procjene njihove gospodarske isplativosti naznačene u tablici 4.

Tablica 4. Cijene, vremena isplativosti i mogućnosti samorazvoja različitih sustava

| Oprema sustava individualiziranja troškova grijanja za 100.000 stanova [stan -50 m ²] | Zasebna mjerila topline | Isparnički | Elektronički s očitavanjem u zgradi | Elektronički s očitavanjem iz centra | Programirani sustav Techem-“ASSISTO” |
|---|-------------------------|-------------------------|--|---|---|
| Procjena iznosa investicija [kn] | 220.000.000 | 150.000.000 | 600.000.000 | 900.000.000 | 1.200.000.000 |
| Vrijeme otplate [god.] | 1,5 do 2,5 | 1 do 2 | 6 do 8 | 9 do 12 | 10-14 |
| Mogućnost izgradnje sustava samoodrživim razvojem iz ušteda (početni broj stanova 10.000) | moguća za 6-8 godina | moguća za 5 do 7 godina | praktično nemoguća (“moguća” za 18-20 godina!) | Praktično nemoguća (“moguća” za 27 do 32 godina!) | Praktično nemoguća (“moguća” za 32 do 38 godina!) |

Iz tablice se vidi, da su neki od raspoloživih sustava za primjenu u nas neprikladni, jer se “isplaćuju” u predugim i neprihvatljivim rokovima, a kod nekih nema ni govora o mogućem efikasnom i prihvatljivom samorazvoju.

Naznačeni podaci o procjenama govore da se neki od sustava, a s obzirom i na naše “tarifne” oblike obračunavanja troškova grijanja i tople vode, ne bi mogli isplatiti u razumnim rokovima, a kamo li da bi se mogli i samoodrživo razvijati.

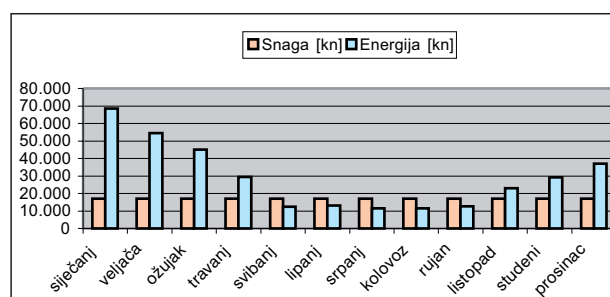
Ponovimo, gospodarski bi najefikasnije, bilo investirati, i graditi sustave sa zasebnim mjerilima topline, ili isparničke sustave. Elektronički sustavi se, i u najjednostavnijim izvedbama, isplaćuju u znatno duljim rokovima, a rokovi njihovog samoodrživog razvoja su predugački i praktično nemogući.

SUSTAVI NAPLATE TROŠKOVA GRIJANJA I ODNOSI SPRAM POTROŠAČA

Zanimljivi su i oblici odnosno tarifni sustavi s kojima domaći isporučioци energenata i topline izvode obračune i naplate krajnjim korisnicima, odnosno potrošačima. U tu svrhu su znakovito formirani i obračunski formulari, temeljem kojih se ispostavljaju računi i izvodi naplata troškova energenata i topline. Za ilustraciju, u tablici 5 su pokazani sadržaji obračuna i načini naplate troškova energenata i energije grijanja u dvije domaće i u jednoj inozemnoj tvrtki.

Sadržaji računa zorno pokazuju i osnovne elemente njihovih tarifnih sustava. Tako, na primjer, tvrtka GPZ ima 13 relativno razložnih “stavki” iz kojih se vidi, kako

je ova tvrtka, isporučilac plina za toplinske stanice, korekcijskim faktorima po volumenu i po garantiranoj kvaliteti, sasvim dobro formirala sigurnu naplatu količina isporučenog plina. Ipak, iz dostupnih računa i nije baš potpuno jasno, kako su na mjerilima ugrađenim ispred toplinskih stanica, osigurani i faktori točnog mjerenja volumena plina, odnosno njegovi tlakovi i temperature? U računima i tarifnom sustavu CSG-a, dominantne vrijednosti imaju “zakupljena snaga potrošača” i “isporučena energija”, koje su za primjer jedne zgrade pokazane dijagramom 1. Tarifni sustav ovog isporučioца topline, jednak je za toplinu koju isporučuje putem CSG-a, i putem posebnih toplinskih stanica koje koriste energent iz plinske mreže. Primjer sa dijagrama, odnosi se na takvu zgradu, za koju isporučilac plina, za plin isporučen “na pragu” toplinske stanice račune ispostavlja CSG-u. Drugim riječima, i cijena snage se u računima CSG-a odnosi vjerojatno na troškove amortizacije, pogona i



Dijagram 1. Prosječni troškovi “snage” (37%) i “energije” (63%) u jednoj zgradi CSG-a!?

Tablica 5. Usporedba obračunskih lista i različitih sustava naplate topline

| Obračunska lista GPZ (mjesečni obračun) | Obračunska lista CSG-a (mjesečni obračun) | Obračunska lista “Techem” (godišnji obračun) |
|---|---|--|
| a | b | c |
| 1 Zadnje očitavanje | 01 Zakupljena snaga [MW] | 1 Troškovi energije [MJ, DM] |
| 2 Predzadnje očitavanje | 02 Isporučena energija [MW] | 2 Podjela troškova |
| 3 Utrošena količina plina [m ³] | 03 Površina stambenog objekta | -fiksni troškovi 30% |
| 4 Korekcijski faktor brojila | 04 Površina stana [m ²] | [m ² , MW] |
| 5 Korekcijski faktor kv. plina | 05 Osnovica za obračun PDV-a | -promjenjivi troškovi 70% |
| 6 Količina za naplat [m ³] | 06 Osnovica za obračun kamata | [EJ, MW] |
| 7 Cijena plina [kn/m ³] | 07 Cijena snage [kn/MW] | 3 Iznos troškova stana [DM] |
| 8 Iznos za obračun PDV-a | 08 Cijena energije [kn/MW] | 4 Uplaćene akontacije [DM] |
| 9 Iznos PDV-a | 09 Cijena za objekt [kn/m ²] | 5 Razlika (doplata/povrat) [DM] |
| 10 Iznos za naplatu u zgradi | 10 Stopa PDV-a | |
| 11 Cijena po m ² | 11 Mjesečna kamatna stopa [%] | |
| 12 Površina stana [m ²] | 12 Iznos troškova snage [kn] | |
| 13 Iznos za naplatu u stanu | 13 Iznos troškova energije [kn] | |
| | 14 Iznos troškova grijanja [kn] | |
| | 15 Iznos PDV-a [kn] | |
| | 16 Iznos zatezne kamate [kn] | |
| | 17 Ukupno (14+15+16) [kn] | |

održavanja postrojenja toplinske stanice, čiju su izgradnju financirali sami stanari zgrade.

Održavanje plinske mreže ovdje ide na teret GPZ-a, a sva održavanja instalacija grijanja na teret pričuve u GSKG-u. Usprkos tome, u ovoj su zgradi (2000.g.) naplaćeni prosječni troškovi snage 37% godišnjih troškova; zimi cca 20%, a ljeti (kad je generirana samo topla voda!) cca 70%(!) ukupnih troškova grijanja!?

Koliko je poznato, u zemljama Zapadne Europe, troškovi snage se iskazuju najčešće kao dio pogonskih troškova, a tamo gdje se to čini zasebno oni iznose najviše 20-22% ukupnih troškova grijanja. To je svakako zanimljiv "specifikum" u naznačenom tarifnom sustavu, koji može značiti samo da CSG-a radi neracionalno i skupo i da tako znatno oštećuje potrošače.

Prema tablici 5, za primjer i usporedbu, mogu se analizirati i osnovni sadržaji obrasca računa, kakve ispostavlja tvrtka Techem u Njemačkoj i mnogim zemljama Europe, gdje isporučio energije grijanja rijetko imaju u posjedu i toplinske stanice i njihovo održavanje.

UŠTEDE TROŠKOVA I NJIHOVO REINVESTIRANJE U ENERGETSKU EFIKASNOST ZGRADA

Rečeno je da sustavi individualiziranja troškova grijanja i potrošnje vode nisu sami sebi svrha, a ni ukras ogrjevnih tijela u stanovima. Sustavi individualiziranja troškova služe prvo za pravedno plaćanje računa, zatim za otkrivanje nedostataka u energetske učinkovitosti sustava grijanja, stanovima i zgradama, i napokon za plaćanje učinkovitog otklanjanja nedostataka, koje je uvijek povezano s novim, prijeko potrebitim i svakako racionalnim troškovima. Investicije u racionalnu uporabu energije i vode je najbolje realizirati prvo na teret sredstava iz ušteda, i potom na teret novih racionalnih ulaganja.

Nama, kao vrlo poučan primjer, mogu poslužiti ulaganja u dorade, odnosno u poboljšanje energetske kvalitete zgrada u Njemačkoj, pokazana u tablici 6.

Tablica 6. Ulaganja u gradnju novih i dorade postojećih zgrada u Njemačkoj

| Ulaganja u zgradarstvo Njemačke (godina 1996.) | |
|--|----------------------------|
| U novogradnje | U dorade postojećih zgrada |
| 170.000.000.000,00 ŠDMČ | 145.000.000.000,00 ŠDMČ |

Vidi se da se u Njemačkoj veliki dio investicijskih troškova odnosi na popravljivanje energetske efikasnosti postojećih zgrada, pa je odnos ulaganja i izgradnju novih zgrada prema ulaganjima u postojeće vrlo znakovit, i iznosi 1:0,85. Tako bi morali raditi i mi, i uvoditi racionalne sustave individualiziranja troškova, a uz to i nove i stare zgrade činiti energetske optimalno efikasnim. Energetski stručnjaci to vrlo razborito rade u

svim zapadnoeuropskim nacionalnim gospodarstvima. Tako će se i u nas, svi pozitivni rezultati ušteda energenata pomoću efikasnih sustava individualiziranja troškova grijanja, morati razborito reinvestirati u njihov daljnji razvoj. Tako će se morati raditi sve do konačne uspostave ovih sustava u svim našim raspoloživim stanovima.

Pri svakom razmišljanju o vrsti primijenjenih sustava individualiziranja troškova grijanja, odlučujuća mora biti njihova gospodarska učinkovitost. Stoga ovi sustavi moraju biti jeftini i brzo isplativi. **Oni moraju omogućiti i samoodrživi vlastiti razvoj.** S takvog su stajališta, i kao naši budući najprihvatljiviji sustavi individualiziranja troškova grijanja, sustavi sa zasebnim mjerilima topline ili isparnički sustavi. **Svako drugo razmišljanje, i eventualne odluke o nabavi i instaliranju skupih, a ne i učinkovitijih sustava, ići će na našu opću štetu, odnosno na štetu i državi i potrošačima.**

ZAKLJUČCI

Temeljem navedenih podataka i procjena moguće je nedvojbeno zaključiti sljedeće:

- U našoj se zemlji mora neodgodivo započeti sa širokim upoznavanjem stanovništva s vrstama i mogućnostima primjene sustava individualiziranja troškova grijanja i uporabe tople i hladne vode.
- Moraju se, neodgodivo, donijeti odgovarajući zakoni, uredbi i propisi pomoću kojih će se uvesti racionalna i štedljiva uporaba energije grijanja i vode.
- Mjerodavne državne institucije moraju što prije utvrditi mogućnosti, strategiju i načine povećavanja energetske učinkovitosti postojećih zgrada.
- Mora se propisati primjena optimalnih sustava individualiziranja troškova, koji će biti tehnički i gospodarski efikasni, suvremeni, točni, pouzdani i sigurni.
- Sve novogradnje, s više stanova ili zasebnih prostora, moraju se projektirati i izgraditi sa zasebnim mjerilima topline, tople i hladne vode.
- Moraju se odrediti načini i rokovi opremanja postojećih stambenih zgrada sustavima individualiziranja troškova grijanja i potrošnje vode.
- Vrste, cijene izgradnje, uporabe i održavanja sustava individualiziranja troškova moraju omogućiti njihov prihvatljiv i samoodrživ razvoj.
- Moraju se donijeti zakoni koji će se stimulirati, subvencionirati, ili osloboditi od poreza i ostalih pristojbi, sve investicije kojima se racionaliziraju potrošnja energije za grijanje, potrošnja vode i dr.
- Sve novčane uštede, koje se postignu temeljem ovakvih sustava, moraju se prvenstveno usmjeravati na efikasno smanjivanje toplinskih gubitaka i povećavanje energetske učinkovitosti postojećih i novograđenih zgrada, stanova i poslovnih prostora, te na daljnje učinkovito razvijanje sustava individualiziranja troškova grijanja i potrošnje vode.

LITERATURA

- [1] Energija u strategiji razvitka grada Zagreba, Poglavarstvo grada Zagreba, Zagreb 1992.
- [2] Energija u Hrvatskoj 1990-1994, Ministarstvo gospodarstva Hrvatske, 1995.
- [3] Program racionalnog korištenja energije, Republički komitet za energetiku i industriju SRH 1988.
- [4] Statistički ljetopis Republike Hrvatske, 1996., 1998.
- [5] W. FRANKE: Heizkostenabrechnung nach verbrauch, modernisierungs magazin 5/6/95, Sonderdruck von TECHEM AG.
- [6] Prospektna, tehnička i opća dokumentacija tvrtke TECHEM o opremi i sustavima prikupljanja i obrade, podataka i ispostavljanja racuna za potrošenu toplinu i vodu, 1990. do 2001.
- [7] M. KAMENSKI: Toplinska energija i njezino mjerenje, EEG, No.16, 12/97.
- [8] F. RAJIĆ: Suvremeni sustavi individualizacije troškova grijanja u zgradarstvu hrvatske; Energija, Zagreb 2000.
- [9] Studije, bilteni i publikacije tvrtke TECHEM, 1990-2001.

TECHNICAL AND COST CHARACTERISTICS OF DIFFERENT SYSTEMS FOR MAKING HEATING COSTS INDIVIDUAL

Basic technical and cost characteristics of equipment and systems for making heating, hot and cold water costs individual are described. A review on basic technical concepts of equipment parts, subsystems and systems is given together with the description of their operation, design, maintenance, reading and data processing. Ways of information linkage among systems are described, starting from heat-

ing devices and consumption spots to flats, buildings and housing complexes. Information on prices and economic effects of investments into different systems as well as possibilities of optimising the pay back period are given.

TECHNISCHE UND WIRTSCHAFTLICHE KENNGRÖSSEN VERSCHIEDENER SYSTEME DER INDIVIDUELLEN HEIZUNGSKOSTENANPASSUNG

Geschildert werden technische und wirtschaftliche Grundkenngrößen der Geräte und Systeme individuell angepasster Heizung sowie Warm- und Kaltwassernutzung. Gegeben wird die Übersicht der Grundarten technischer Ausführung der Bestandteile von Geräten, Sätzen und Gruppen sowie die Beschreibung deren Wirkungsweise, Bemessung und Instandhaltung, noch dazu die Datenaufnahme und -bearbeitung. Beschrieben werden die Grundarten informatischer Koppelung in den Systemen, mit Heizkörpern und Verbrauchsstellen angefangen, bis zu den Wohnungen, Gebäuden und Wohnblöcken. Grundangaben über den Preis und die Haushaltsauswirkungen der Geldanlagen in verschiedene Systeme; die Modalitäten der Optimierung der Zeitspanne derer Rückzahlung werden ebenfalls gegeben.

Naslov pisca:

**Mr. sc. Florijan Rajić, dipl. ing.
Omiška 18
10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2001-04-20.

NEIZRAZITA (FUZZY) LOGIKA I NJENA PRIMJENA U ELEKTROENERGETICI

Sonja Tomasić-Škevin, Zagreb

UDK 621.31:51
PREGLEDNI ČLANAK

Elektroenergetski sustavi spadaju među najkompleksnije sustave naše civilizacije. Uz mnoštvo faktora pomoću kojih se može opisati rad tog sustava postoje i razni vanjski utjecaji koji više ili manje utječu na ponašanje promatranog sustava. Zakonitosti po kojima se vladaju takvi sustavi počesto nisu linearni niti do kraja određeni. Zbog složenosti a ponekad i neodređenosti i zbog potrebe korištenje znanja eksperta na određenom području neizrazita (engl. fuzzy) logika našla je primjenu kod rješavanja problema u elektroenergetici. Neizrazita logika sa svojim svojstvom korištenja neizrazitih varijabli može uhvatiti razne neodređenosti i biti kao pomoćni alat inženjerima u mnogim dijelovima elektroprivrede.

Ključne riječi: neizrazita logika, neodređenost, elektroenergetski sustav.

1. UVOD

Matematičar Lotfi A. Zadeh 1965. godine uvodi pojam fuzzy skupa kao matematički opis neodređenosti koje se javljaju u lingvistici. Fuzzy skupovi mogu se promatrati kao generalizacija klasične teorije skupova [1].

Zadehov princip nekompatibilnosti kaže da se s porastom kompleksnosti sustava smanjuje naša sposobnost donošenja točnih i vrijednih zaključaka o ponašanju tog sustava. Proces se nastavlja sve do dostizanja praga nakon kojeg točnost i značajnost (ili relevantnost) postaju karakteristike koje gotovo u potpunosti isključuju jedna drugu. Iz toga se može izvesti zaključak o povezanosti kompleksnosti i dvosmislenosti (netočnosti):

“Što bliže pogledamo problem stvarnog svijeta, njegovo rješenje postaje nejasnije”. [Zadeh] [1]

Način na koji ljudi misle rješavajući probleme uključuje kompleksnost i dvosmislenost na subjektivan način. Kad čovjek proučava kompleksni sustav, on zaključuje približno o njegovom ponašanju (sposobnost koju računalo nema) i tako zadržava samo generičku sliku problema. Za razumijevanje kompleksnih sustava dovoljna je ta općenitost i dvosmislenost.

Što se više bavimo nekim sustavom njegova kompleksnost se smanjuje a raste naše razumijevanje sustava. Preciznost koju pri modeliranju dobivamo računalnim metodama postaje sve korisnija. Za manje kompleksne sustave, koji stoga imaju malu nesigurnost, matematički izrazi nude precizan opis ponašanja sustava. Kod sustava koji su samo malo kompleksniji,

ali za koje postoje karakteristični podaci, metode umjetne inteligencije predstavljaju moćna i efikasna sredstva za smanjenje nesigurnosti pomoću učenja zasnovanog na uzorcima koji se nalaze u bazi podataka.

Ne postoji problem za koji bi se moglo reći da su poznate apsolutno sve informacije o njemu, tj. bez nepoznatog, bez nejasnog, bez nepreciznog ili bez elemenata slučajnog. Nesigurna informacija može imati mnogo različitih oblika. Postoji nesigurnost koja proizlazi iz kompleksnosti, npr. kompleksnost procjene pouzdanosti distribucije u energetici. Postoji nesigurnost koja proizlazi iz ignorancije, iz slučajnosti, iz nepreciznosti, iz nesposobnosti da se izvedu adekvatna mjerenja, iz nedostatka znanja, iz neodređenosti, kao i neodređenost koja proizlazi iz našeg govornog jezika.

Prije odabira prikladne metode za izražavanje nesigurnosti sustava potrebno je proučiti prirodu nesigurnosti sustava. Neizrazita logika pomaže pri razumijevanju ponašanja vrlo kompleksnih sustava za koje postoji malo numeričkih podataka, a raspoloživi podaci su dvosmisleni ili neprecizni na takav način da dozvoljava interpolaciju između promatrane ulazne i izlazne situacije. Fuzzy modelima se općenito može obuhvatiti vrlo velika nepreciznost.

Neizrazita logika je zasnovana na načinu na koji ljudski mozak procesira neprecizne informacije. Neizraziti sustavi spajaju neizrazite skupove s neizrazitim pravilima kako bi dobili sveukupno kompleksno nelinearno ponašanje sustava. Oni počinju od vrlo formalnog uvida u strukturu kategorija koje nalazimo u stvarnom svijetu i tada daju neizrazita IF-THEN pravila. Kako su neizraziti sustavi zapravo strukturirani numerički esti-

matori, oni omogućavaju bolju analizu sustava pri nje-govu radu s nesigurnim ili nepreciznim informacijama ili u uvjetima punim smetnji.

Prilikom razvoja modela fizičkog procesa neke infor-macije se mogu učiniti kao instinktivna reakcija projek-tanta fizičkog procesa, radije nego određena kvantitativna informacija. Neizrazita logika omo-gućava uvođenje intuicije u rješavanje problema. Ona je moćan alat koji omogućava izražavanje informacije na našem vlastitom sredstvu komunikacije: ljudskom jeziku. Po svojoj prirodi ljudski je jezik dvosmislen i neprecizan. Ipak, on je najjači oblik komunikacije i razmjene informacija među ljudima. Usprkos neodređenosti ljudskog jezika, ljudi imaju vrlo malo problema u razumijevanju tuđih ideja i zamisli. Takovo razumijevanje nije moguće postići u komunikaciji s računalom jer ono zahtijeva veliku preciznost prilikom korištenja.

Primjena fuzzy sustava je pokazala da je pomoću njih moguće modelirati kompleksne nelinearne procese do određenog stupnja točnosti. Broj i raznolikost prim-jena fuzzy sustava je u porastu, od industrijskih procesa preko medicinskih instrumenata do informacijskog sustava i analize odlučivanja.

2. NEIZRAZITI (FUZZY) SKUPOVI

Osnovna ideja neizrazitog skupa je vrlo jednostavna. Kod konvencionalnih skupova element ili pripada ili ne pripada tom skupu tj. pripadnost je kruta. Neizraziti skup je uopćenje običnog skupa na način da dozvoljava mjeru pripadnosti (eng. membership degree) za svaki element posebno u nekom rasponu. Tako funkcija pri-padnosti neizrazitog skupa pridružuje svakom ele-mentu skupa mjeru pripadnosti.

Teoretski, neizraziti skup F na promatranom skupu vrijednosti (referentnom skupu) $X = \{x\}$ je definiran kao funkcija, $f(x) : X \rightarrow [0, 1]$ kojom se svakom x -u pri-družuje broj iz intervala $[0, 1]$ prikazujući do koje mjere x ima atribut F . $f(x)$ se zove funkcija pripadnosti ili mjera (stupanj) članstva. Nakon normaliziranja imamo $f(x) : X \rightarrow [0, 1]$. Neizrazita logika se tada naziva nor-malizirana [2]. Funkcija pripadnosti ima najčešće trokutast, trapezoidan ili oblik razlomljene linearne funkcije. Ponekad se koristi i oblik Gauss-ove funkcije. Odabir oblika funkcije pripadnosti je proizvoljan i najčešće ovisi o iskustvu korisnika. Broj funkcija pri-padnosti ovisi također o korisniku. Korištenjem više funkcija pripadnosti dobivaju se kvalitetnija rješenja, ali to povećava kompleksnost računanja.

Neizrazita vrijednost varijable može biti iskazana ne samo brojem već i atributom. U tom slučaju neizrazita varijabla se naziva lingvistička varijabla, a njena vrijed-nost lingvistička vrijednost. Zbog te svoje sposobnosti neizrazita logika se koristi za kvalitativno modeliranje ljudskog razmišljanja. Kao u ljudskom jeziku tako u neizrazitoj logici postoje razni modifikatori za naglašava-

vanje značenja izraza ili općenito neizrazitog skupa. Postoji li neizraziti skup koji se zove "stabilan sustav", tada se korištenjem raznih modifikatora dobije *vrlo sta-bilan sustav, ne tako stabilan sustav, nešto malo manje stabilan sustav, slabo stabilan sustav* itd. Modifikatori se mogu smatrati operatorima koji djeluju na funkciju pripadnosti neizrazitog skupa kako bi je modificirali. Modifikatori koji se najčešće koriste su:

koncentratori (lingvistički: vrlo) kojima je cilj sma-njenje vrijednosti onih elemenata neizrazitog skupa koji imaju malu vrijednost funkcije pripadnosti;

rastezači (lingvistički: prilično) kojima je cilj rastezanje neizrazitog skupa povećavanjem vrijednosti funkcije pripadnosti onim elementima koji imaju malu vrijed-nost za veću vrijednost nego onim elementima koji imaju veću vrijednost.

Isto kao i kod konvencionalne teorije skupova i kod teorije neizrazitih skupova koristi se logika "i" (unija), "ili" (presjek) i "ne" (komplement). Bilo koji odnos dva skupa može biti prikazan pomoću tih operatora. U neizrazitoj logici se unija, presjek i komplement izražavaju pomoću funkcije pripadnosti.

Pretpostavimo li da su A i B neizraziti skupovi opisani pomoću svojih funkcija pripadnosti $A(x)$ i $B(x)$, tada vrijedi:

$$\text{unija: } A \cup B(x) = A(x) \cup B(x) = \max(A(x), B(x)); \quad (1)$$

$$\text{presjek: } A \cap B(x) = A(x) \cap B(x) = \min(A(x), B(x)); \quad (2)$$

$$\text{komplement: } \neg B(x) = 1 - B(x) \quad (3)$$

Neizrazita relacija R iz neizrazitog skupa A prema neizrazitom skupu B može biti označena funkcijom pripadnosti $R(x,y)$ koja zadovoljava pravilo kompozicije koje glasi:

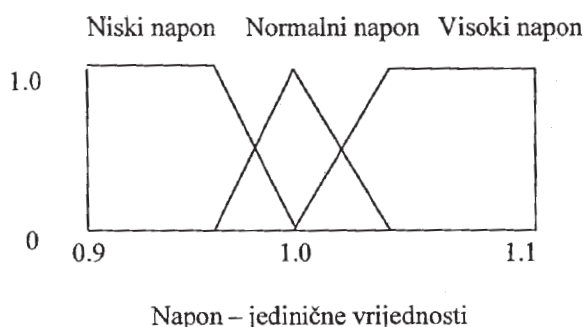
$$B(y) = \max(\min(R(x,y), A(x))) \quad (4)$$

Logika kojom se dobije izrazita (eng.crisp) vrijednost iz neizrazitog ulaza naziva se neizrazita logika. Kako bi se izrazila distribucija istinitosti oko varijable potrebno je definirati relaciju. Na primjer, "malo" je definirano kao distribucija oko vrijednosti x . To znači da bilo koja vrijednost unutar distribucije može biti označena kao "malo", ali s različitim stupnjem istinitosti (pripad-nosti, važnosti).

Teorija neizrazitih skupova ne bavi se kreiranjem dis-tribuirane vjerojatnosti oko vrijednosti varijabli, već se bavi pravilima za računanje kombinirane vjerojatnosti izraza koji sadrže neizrazite varijable.

Jedna od osnovnih karakteristika neizrazite teorije je dopuštanje nesigurnosti pri formulaciji problema. Na slici 1 prikazana su tri neizrazita skupa: jedinične vrijednosti (p. u. – *per unite*) napona na sabirnicama koje su definirane kao niska vrijednost napona, nor-malna vrijednost napona i visoka vrijednost napona. Pojmovi *niski, normalni* i *visoki napon* su neprecizni i subjektivni, ali su ipak način prezentiranja prosudbe vrijednosti koja može biti izražena s određenim stup-

njem sigurnosti. Na slici 1 0% je sigurno da je 0,92 p. u. napona normalna vrijednost i 100% je sigurno da je taj nivo napona nizak [3].



Slika 1. Neizraziti prikaz napona

Ako napon u predočenom primjeru nije "normalan", on je tada ili nizak ili visok. Između 0,95 p. u. i 1,0 p. u., npr. 0,97 p. u., za napon se može reći da je niski sa sigurnošću od 0,6 ili normalan sa sigurnošću 0,4. Skupovi poput ovih nazivaju se komplementarnim skupovima jer su niski i visoki naponi komplementarni normalnom naponu i obrnuto. Prema definiciji stupanj pripadnosti komplementarnih skupova jednak je jedinici, ali skupovi koji se preklapaju ne moraju biti komplementarni budući da mogu sadržavati pripadnost atributa koji nisu komplementarne prirode.

Dobivanje konačnog rezultata

Dobivanje konačnog rezultata (defuzifikacija; engl. defuzzification) jedan je vrlo važan korak. Vrlo često, na osnovi funkcija pripadnosti i raznih pravila moguće je pronaći više od jednog odgovora na zadani problem. Općenito, proces dobivanja konačnog rezultata je proces pronalazanja jednog odgovora, iz više vrijednosti funkcije pripadnosti, koji najbolje prezentira izlaz. To je konačna (izrazita) vrijednost izlaznog područja vrijednosti. Dva načina koja su najčešće u uporabi za dobivanja te vrijednosti su

- 1) *maksimiziranje*, koja uzima maksimalnu vrijednost mogućih izlaza

$a = \max_{x_i \in X} \mu_A(x_i)$ gdje je a vrijednost koja najbolje izražava izlaznu vrijednost, a X je skup referentnih vrijednosti

- Postoji li više maksimalnih vrijednosti, najčešće se uzima njihova srednja vrijednost.

- 2) *centroidna metoda*, koja pronalazi centar mase izlaznog signala što se može izraziti kao

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \mu_A(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_A(x_i)} \quad (5)$$

gdje je a vrijednost koja najbolje izražava izlaznu vrijednost. Ovdje se zapravo računa moment funkcije pripadnosti neizrazitog skupa koji treba podijeliti s površinom funkcije pripadnosti.

Postoji još i metoda koja uzima *težinski prosjek*, tj. prosjek težinskih faktora mogućih izlaza.

Neizrazitost i vjerojatnost

Stupanj pripadnosti nije vjerojatnost, ali ga se često zamjenjuje s vjerojatnošću. Vjerojatnost je mjera nečega što se može desiti ili ne, a stupanj pripadnosti neizrazitog skupa pokazuje mjeru do kojeg će se nešto desiti ili će neki uvjet postojati. Onome tko se prvi put susretne s teorijom neizrazitih skupova može se učiniti kako je to samo kamufliran oblik teorije vjerojatnosti. Teorija neizrazitih skupova nam omogućava prezentaciju nesigurnosti. Teorija vjerojatnosti je do sada bila osnovni alat opisa nesigurnosti u matematičkim modelima. Kao rezultat toga, sve nesigurnosti su imale karakteristiku slučajne nesigurnosti. Osnova statističke analize bazira se na teoriji vjerojatnosti ili slučajnim stacionarnim procesima. Većina rezultata eksperimenata sadržava i slučajne (tipičan primjer je smetnja) i ne-slučajne procese. Bilo koja klasa slučajnih stacionarnih procesa pokazuje sljedeće tri karakteristike:

- prostor uzoraka na kojem je definiran proces ne može se mijenjati od eksperimenta do eksperimenta, što znači da se i prostor rezultata ne može mijenjati;
- frekvencija slučajne pojave, ili vjerojatnost, nekog događaja unutar prostora uzoraka je konstantna i ne može se mijenjati od eksperimenta do eksperimenta;
- rezultati se moraju moći ponoviti od eksperimenta do eksperimenta. Rezultat jednog pokusa ne utječe na rezultate prijašnjih niti budućih pokusa.

Neizraziti skupovi nemaju takve karakteristike.

Rezultati nekog određenog slučajnog procesa su strogo pitanje slučaja; a predskazivanje slijeda događaja nije moguće. Za slučajni proces moguće je dati samo precizan opis njegove dugoročne srednje vrijednosti.

Nije sva nesigurnost slučajna. Neki oblici nesigurnosti nisu slučajni i zbog toga nisu prikladni za opis pomoću teorije vjerojatnosti. Čak se može reći da velika većina nesigurnosti povezanih s kompleksnim sustavima zapravo nije slučajnog karaktera. Teorija neizrazitih skupova je odličan alat za opis takvih oblika nesigurnosti povezanih s neodređenošću, s nepreciznošću, i/ili s nedostatkom podataka u svezi s određenim promatranim problemom.

Osnovna razlika između neizrazite logike i vjerojatnosti je korištenje **neizrazitosti** za izražavanje determinističke vjerojatnosti dok se **vjerojatnost** koristi kod nedeterminističkih slučajeva, stohastičkih događaja.

U slučajevima u kojima je preciznost jasno definirana, bolje je koristiti precizne algoritme nego neizrazite sustave. Zahtijevana preciznost dovodi do većih troškova i duljeg vremena razvoja i proizvodnje modela ili proizvoda. U sustavima koji nisu jako mali, troškovi su

proporcionalni preciznosti: veća preciznost zahtijeva i veće troškove. Inženjer koji počne koristiti neizrazitu logiku mora biti svjestan da se mora tolerirati nepreciznost. Tražena velika preciznost rezultira problemom gubitka određene gipkosti pristupa problemu. Neizraziti sustavi rješavaju probleme usredotočivši se na njihovu nepreciznost. Situacije pri kojima je prikladno formulirati probleme u sustavu pomoću neizrazitih skupova su:

- u procesima koji uključuju interakciju (ljudsko opisivanje ili intuitivno razmišljanje);
- kada je raspoloživ ekspert koji može odrediti pravila koja stoje iza ponašanja sustava i neizrazite skupove koji predstavljaju karakteristike svake varijable;
- kada matematički model sustava ne postoji, ili postoji ali je prekomplikiran za programiranje ili je previše kompleksan da bi bio primjenjiv za rad u stvarnom vremenu ili je memorijski vrlo zahtjevan;
- u procesima s kontinuiranim promjenama (jedna ili više varijabli su kontinuirane) koje nije lako podijeliti na manje diskretnih segmenata;
- kada se mora uzeti u obzir visok stupanj smetnji ili se ne mogu koristiti skupi senzori.

Mnoga se područja mogu "fuzzyficirati" pa tako možemo imati fuzzy neuronske mreže, fuzzy prepoznavanje uzoraka, fuzzy matematičko programiranje. Kod korištenja neizrazitosti prednost je veća općenitost, veća moć izražavanja i poboljšana sposobnost modeliranja problema stvarnog svijeta.

Primjena neizrazitih sustava

U mnogim područjima neizrazitost je istisnuo konvencionalne načine rješavanja problema. Najčešće se koristi u kontroli raznih sustava, prepoznavanje uzoraka (slike, audio, procesiranje signala), kod kvantitativne analize (operativna istraživanja, upravljanje), pri zaključivanju (ekspertni sustavi za dijagnozu; inteligentni roboti; softverski inženjering), i pri radu s podacima (baze podataka).

Sustav neizrazite logike je osnovni tip aplikacija temeljenih na teoriji neizrazitih skupa. Kao dodatak postoje još i :

- neizrazita nelinearna simulacija;
- neizrazito odlučivanje;
- neizrazita klasifikacija;
- neizrazito prepoznavanje uzoraka;
- neizrazito programiranje.

3. PRIMJENA NEIZRAZITE (FUZZY) TEORIJE U ELEKTROENERGETICI

Teorija neizrazitih skupa je uvedena u rješavanje problema u elektroenergetici prvi put sedamdesetih godina, ali se tek dvadesetak godina kasnije pojavio veći interes za njezinu primjenu. Rješavanje problema elektroenergetskog sustava, njegovog planiranja i

upravljanja pomoću konvencionalnih analitičkih metoda nailazi na teškoće zbog pretpostavki bez kojih te metode ne bi radile, a koje ograničavaju problem. Čak uz te pretpostavke, rješavanje problema velikih sustava vrlo je zahtjevan zadatak. Elektroenergetski sustavi su veliki, kompleksni, geografski široko rasprostranjeni i pod utjecajem raznih neočekivanih događaja što su uzroci značajnog broja nesigurnosti pri rješavanju velikog broja problema u sustavu. Svi ti faktori značajno otežavaju rješavanje problema elektroenergetskih sustava samo konvencionalnim metodama. Umjetna inteligencija u energetici počela se javljati kao nadopuna ili čak potpuna zamjena konvencionalnog matematičkog pristupa rješavanju problema.

Pri opisivanju problema u elektroenergetici, stručnjak/ekspert svoje empiričko znanje izražava dvosmislenim ili fuzzy opisima. U tom slučaju klasična Booleova algebra nije od velike pomoći, pa se neizrazita logika nameće kao prirodni odabir.

Dosadašnja postignuća u primjeni teorije neizrazitih skupova u elektroenergetici su obećavajuća, iako njezina primjena nije široko prihvaćena. Razlozi njezine smanjene prisutnosti na tom polju su:

- nerazumijevanje koncepta;
- prenaglašene izjave nekih stručnjaka (istraživača);
- nepostojanje instaliranih, implementiranih i raspoloživih sustava;
- (njezin) status "nove" i eksperimentalne teorije.

Neočekivani događaji i nesigurnost njihove pojave prikazuju se pomoću vjerojatnosti. Priroda nekih faktora nesigurnosti je doista neizrazita pa ih je teško opisati probabilistički. U elektroenergetici postoje problemi koji imaju kontradiktorne zahtjeve, primjerice ekonomičnost nasuprot sigurnosti ili maksimalno zadovoljenje potrošača električnom energijom nasuprot minimalnim troškovima proizvodnje. Tradicionalni pristup rješavanju ovakvih problema sastoji se u korištenju težinskih faktora dok se korištenjem neizrazitih skupova dobivaju bolji rezultati i može se udovoljiti suprotstavljenim zahtjevima postavljenim u sustavu/problemu. Teorija neizrazitih skupova u odnosu na tradicionalne metode ima sljedeće prednosti:

- omogućava alternative za mnoge attribute odabranih ciljeva;
- ukida suprotstavljenost ciljeva pridajući željene težine svakom pojedinom cilju;
- može se koristiti dvosmislenošću dijagnostike koja uključuje i simptome i uzroke. [1]

Komponente elektroenergetskog sustava imaju svoja fizikalna i radna ograničenja koja su najčešće iskazana nejednakostima pri matematičkoj formulaciji problema. Mala narušavanja tih ograničenja (praktično još uvijek prihvatljiva) znatno opterećuju rad upravljačkog računala i smanjuju njegovu efikasnost pa čak mogu i spriječiti pronalaženje mogućeg rješenja. U praksi su takva mala odstupanja od zadanih ograničenja dozvo-

ljena. To znači, da ustvari nema čvrstih ograničenja i da te granice mogu biti mekane (neizrazite). Taj problem se tradicionalno rješava ili modificiranjem funkcije cilja ili provođenjem iterativnog postupka. Implementacija "fuzzy-a" olakšava taj problem zato što su u prirodi neizrazitih skupova mekane granice.

Nesigurnost i nepreciznost

U inženjerskim problemima postoje i nesigurnosti i nepreciznosti. Općenito, kompleksnost nastaje zbog nesigurnosti izražene dvosmislenostima. Primjeri nekih nesigurnosti i nepreciznosti u elektroenergetskom sustavu su sljedeći:

- promjena uvjeta rada sustava, poput promjene opterećenja ili promjene proizvodnje, te promjena topologije sustava;
- razne karakteristike komponenata sustava;
- različiti uvjeti poremećaja ili kvarova, određivanje početka kvara, lokaciju kvara, tip kvara;
- nepreciznosti uzrokovane naponskim i strujnim oscilacijama ili SCADA mjerenjima i procjenama stanja, te smetnje uzrokovane elektromagnetskim inferencijama;
- nesigurnost zbog tržišta električne energije ili de-regulacije;
- nepreciznost informacija koje daje inženjer koji se bavi planiranjem, upravljanjem ili kontrolom elektroenergetskog sustava.

Postoje mnogi pojmovi u elektroenergetskom sustavu povezani s navedenim nesigurnostima. Primjerice, stabilnost elektroenergetskog sustava je vrlo važno pitanje. Sustav ili je ili nije stabilan; tu ne postoji nikakva "fuzzy" podjela. Ako je sustav u stanju nestabilnosti, ona se može opisati kao mala (lagana), dinamička, tranzijentna ili naponska, iz čega slijedi da je pojam (ne)stabilnost prilično "fuzzy".

Područja primjene neizrazitih skupova u elektroenergetici

Planiranje razvoja

Vrlo važno mjesto pri donošenju odluka o razvoju sustava imaju odluke koje su bazirane na iskustvu i mišljenju eksperata. Vrlo je teško deterministički odrediti faktore koji imaju presudan utjecaj na takvu odluku, poput iznosa potrošnje potrošača, lokacije novih proizvodnih postrojenja, utjecaj na okolinu i sl.. Osim toga su i ciljevi i ograničenja planiranja razvoja elektroenergetskog sustava nesigurni ili su međusobno konkurentni. Proces razvoja elektroenergetskog sustava u velikoj mjeri je kvalitativan pa je korištenje koncepta neizrazitih skupova kod tog procesa intuitivno.

Dugoročno-srednjoročno planiranje

U grupu dugoročno-srednjoročnih planova spadaju godišnji raspored održavanja, sezonski raspored dobave goriva i srednjoročni raspored proizvodnje. Te

planove karakterizira mnoštvo nesigurnosti i mogućnost raznih komplikacija zbog čega je pri tome korištenje konvencionalnih metoda optimizacije neefikasno i komplicirano. Prisutna ograničenja lakše se prikazuju mekano nego kruto. Kombinacije konvencionalnih i neizrazitih metoda predstavljaju najbolji način rješavanja problema.

Procjena dinamičke sigurnosti

Procjena dinamičke sigurnosti jedna je od najvažnijih funkcija u radu elektroenergetskog sustava. Nivo sigurnosti sustava varira u skladu s inženjersko-ekonomskim razmatranjima, pouzdanosću zaštitnih releja i kvalitetom korištenih modela. Pri korištenju konvencionalne binarne logike, a zbog mogućnosti pojavljivanja različitih pogrešaka, ne može se sa sigurnošću reći je li sustav siguran ili ne. Današnja je praksa da se rade "off-line" razmatranja stanja sustava za njegova različita stanja i konfiguracije mreže. Kod analize u realnom vremenu (on-line) primijenjeni rezultati "off-line" proračuna nisu direktno raspoloživi, ali operateri se oslanjaju na svoje vlastite procjene i znanja prikupljena u "off-line" studijama i iskustvu prikupljenom tijekom dužeg vremenskog razdoblja. Teorija neizrazitih skupova može se koristiti pri izradi ekspertnog sustava za procjenu dinamičke sigurnosti baziranog na empiričkom znanju operatera.

Prognoza opterećenja

Na opterećenje u elektroenergetskom sustavu utječe mnogo faktora kao što su vrijeme, ekonomske i socijalne aktivnosti, te različite komponente opterećenja (kućanstvo, industrija, trgovina itd.). Vrlo je teško dobiti kvalitetnu prognozu samo iz analize povijesnih podataka o opterećenju. Relacije između opterećenja i nezavisnih varijabli su kompleksne te nije uvijek moguće podesiti krivulju opterećenja koristeći statističke modele. I tu je ekspertni pristup rješavanju problema dao bolje rezultate nego konvencionalne metode. Korištenje neizrazite metodologije pokazuje se prikladno zbog numeričkog aspekta i nesigurnosti prognoze opterećenja.

Regulatori temeljeni na neizrazitoj logici

Najpopularnije područje korištenja neizrazitih skupova je za rješavanje problema upravljanja elektroenergetskim sustavom. Pri tradicionalnom projektiranju regulatora prvo se konstruirao model sustava čijom se analizom potom dolazilo do zakona upravljanja. Zbog nelinearnog ponašanja karakteristika sustava potrebno je linearizirati njegov model; potom dobiveni linearni regulatori koriste se za upravljanje nelinearnim sustavom. Jedna od prednosti korištenja neizrazite logike u odnosu na ostale regulatore bazirane na znanju leži u činjenici da su pravila upotrebljena za "fuzzy" regulator interpolativne naravi. Najčešće korišteni neizraziti regulatori služe za

reguliranje uzbude. Pravilo preklapanja kod neizrazitih skupova osigurava prijelaz između upravljačkih akcija različitih pravila. Zbog te mogućnosti interpolacije, regulatori temeljeni na neizrazitoj logici zahtijevaju mnogo manje pravila nego drugi regulatori temeljeni na znanju. U posljednje vrijeme sve se više obraća pozornost na neizrazite regulatore jer su neovisni o modelu, pokazuju veliku robustnost i prilagodljivi su.

Dijagnoza

Eksperti igraju glavnu ulogu u rješavanju problema i analizi pogrešaka u radu sustava. U elektroenergetskim sustavim potrebno je dijagnosticirati krivi rad opreme jednako kao i poremećaje u radu sustava. Informacije potrebne za dijagnozu kvarova opreme su veći dio vremena nepotpune. Uvjeti koji uzrokuju pogreške mogu se mijenjati s vremenom. Pri otkrivanju i analizi kvarova ekspertni sustavi su se pokazali korisnima jer je tu nužno korištenje subjektivnih pretpostavki baziranih na iskustvu. Neizraziti skupovi se mogu koristiti pri prezentaciji znanja i pri gradnji ekspertnih sustava.

Neizrazita logika pri upravljanju sustavom

Neizrazito upravljanje sustavom naziva se upravljanje sustavom koje se temelji na uporabi neizrazitih skupova za modeliranje upravljačkih odluka. Neizraziti skupovi povezani su u pravila kako bi se predočilo znanje koje se treba koristiti pri procesu odlučivanja. Takav skup pravila poznat je pod imenom neizraziti ekspertni sustav. Osnovna ideja se sastoji u pronalaženju načina korištenja ljudskog znanja i iskustva pri projektiranju automatskog upravljanja sustavom. Iz skupa lingvističkih pravila koje opisuju operaterovu strategiju upravljanja konstruira se upravljački algoritam u kojem su riječi definirane kao neizraziti skupovi. Osnovna prednost ovakvog pristupa je mogućnost implementiranja praktičnih iskustava, intuicije i heuristike te činjenica da nije potreban stvarni model procesa.

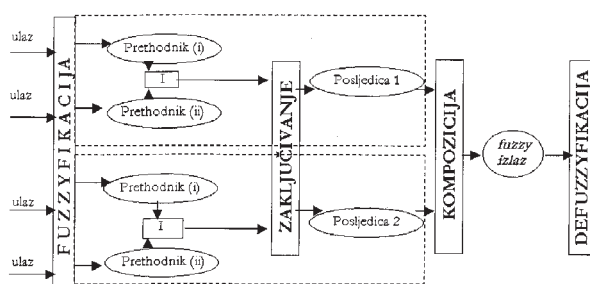
Prednosti neizrazitog ekspertnog sustava pred klasičnim ekspertnim sustavom su sljedeće:

- neizraziti skupovi vrlo dobro predstavljaju jezične pojmove koje koriste eksperti; kako znanje obuhvaćeno IF-THEN pravilima najčešće nije samo istina ili laž, neizraziti skupovi omogućavaju prezentaciju znanja pomoću manjeg broja pravila;
- neizrazita pravila mogu biti uključena ili isključena;
- moguće je dobiti glatku korespondenciju između ulaza i izlaza.

Neizraziti ekspertni sustav izvršava niz pravila ili kondicionalnih izjava u obliku

IF x je malo AND y je visoko THEN z je srednje

Kako su ulazi u neizraziti sustav upravljanja izrazite vrijednosti, a i na izlazu su tražene izrazite vrijednosti, takav sustav radi u četiri koraka prikazana na slici 2 [3]:



Slika 2.

- “fuzzyfikacija”: od vrijednosti varijable na ulazu (koja nije fuzzy) i njene funkcije pripadnosti dobiva se stupanj istinitosti premisa;
- zaključivanje: računa se istinita vrijednost za svaku premisu u pravilu i pridružuje se zaključnom dijelu pravila;
- kompozicija: svi neizraziti podskupovi (funkcije pripadnosti) pridružene svakoj izlaznoj varijabli združuju se kako bi stvorili jedinstven podskup ili funkciju pripadnosti za svaku izlaznu varijablu;
- “defuzzyfikacija”: konvertira neizraziti skup u izrazite vrijednosti.

Primjena u elektroenergetskim sustavima

Neizrazite metode mogu naći raznoliku i raznovrsnu primjenu u elektroenergetskim sustavima, ali do sada su zabilježeni sljedeći slučajevi njihovog korištenja u svrhe:

- modeliranja i upravljanja, te kontrole stabilnosti sustava;
- prepoznavanja uzoraka i predviđanja, procjene sigurnosti sustava, dijagnoze kvarova, prognoze opterećenja i zaštite sustava;
- optimiranja i planiranja sustava, te kod izbora termoagregata i ekonomične raspodjele opterećenja.

Iako je većina do sada objavljenih radova u fazi istraživanja i razvoja, testiranja na stvarnim sustavima pokazuju obećavajuće rezultate. U tablici 1 prikazane su primjene neizrazite logike u elektroenergetskom sustavu [3].

Tablica 1

| Područje | Problemi |
|---------------------|--|
| Planiranje | planiranje, pouzdanost |
| Proizvodnja | procjena stabilnosti, prognoza opterećenja, upravljanje opterećenjem, izbor termoagregata, ekonomična raspodjela opterećenja, procjena stanja, kontrola napona |
| Upravljanje | stabilizatori sustava, upravljanje generatorima, upravljanje frekvencijom |
| Zaštita i dijagnoza | mreža, strojevi, zaštita prijenosnih linija, lociranje kvara |

LITERATURA

- [1] "Electric Power Application in Power Systems" edited by Tharam S. Dillon, Dagmar Neibur, CRL Publishing
- [2] "Understanding Neural Networks and Fuzzy Logic", Stamatios V. Kartalopoulos, IEEE Press
- [3] "Artificial Intelligence Technique in Power Systems" edited by Kevin Warwick, Arthur Ekwe and Raj Aggarwal IEE Power Engineering Series 22

FUZZY LOGIC AND ITS APPLICATION IN ELECTRIC POWER SECTOR OR SYSTEM

Electric power systems are one of the most complex in our civilisation. Aside from many factors describing the operation of the system there are different external influences that more or less influence the behaviour of the observed system. Laws describing these systems are often neither linear nor finally defined. Because of its complexity, sometimes even non-defined as well as for the need of expert knowledge in a certain field fuzzy logic has found application in solving problems of an electric power sector. Fuzzy logic with its application of fuzzy variables can catch different non-determination and be an auxiliary tool to engineers in many parts of an electric power company.

VERWICKELTE (FUZZY) LOGIK UND IHRE ANWENDUNG IN DER ELEKTROTECHNIK

Elektroenergetische Systeme gehören den am meisten zusammengesetzten Systemen unserer Zivilisation. Zu den zahlreichen Einflussgrößen, mit deren Hilfe das Wirken dieses Systems beschrieben werden kann, bestehen auch verschiedene äussere Einflüsse, welche mehr oder weniger

das Verhalten des betrachteten Systems mitbestimmen. Die in diesen Systemen herrschenden Gesetzmässigkeiten sind oft nicht linear und nicht ausführlich bestimmt. Der Verwickeltheit, manchmal auch der Unbestimmtheit wegen, sowohl auch wegen der Notwendigkeit der Spezialkenntnisse von Sachkundigen eines Gebietes, hat diese Art der Logik (engl. Termin "Fuzzy") beim Lösen der Fragen in der Elektroenergetik Anwendung gefunden. Durch ihre Eigenart der Nutzung verwickelter Abhängigkeiten kann diese Logik verschiedene Unbestimmtheiten erfassen und als Hilfswerkzeug den Ingenieuren in vielen Zweigen der Elektrizitätswirtschaft dienen.

Naslov pisca:

Mr. sc. Sonja Tomašić-Škevin
Hrvatska elektroprivreda d.d.
Ulica grada Vukovara 37
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukopis:
2000-11-23.

ENERGETSKE (NE)PRILIKE NA KOSOVU

Mr. sc. Mladen Zeljković, Zagreb

UDK 620.9:621.31
PREGLEDNI ČLANAK

Za vrijeme bivše Jugoslavije Kosovo je bila najnerazvijenija regija u državi. Unatoč toj činjenici, infrastruktura elektroenergetskog sektora, prije svega proizvodnog dijela, je bila dovoljna za potrebe Kosova kao regije. Ne samo da je bilo moguće podmiriti lokalne potrebe, nego je veći dio proizvedene električne energije izvožen u ostale dijelove države. Glavnina tog "regionalnog viška" proizvodnje pokrivala je elektroenergetsku bilancu Srbije.

Današnja energetska, a time i elektroenergetska slika Kosova je bitno izmjenjena, zbog političkih, gospodarskih a i tehničkih razloga. Kao što će se vidjeti, Kosovo danas, ne samo što nema električne energije za izvoz, nego ne može podmiriti ni svoje potrebe. Ograničenija potrošnja (redukcije) električne energije su njihova svakodnevna stvarnost. Ovaj članak daje vrlo kratki prikaz elektroenergetskih okolnosti u prošlosti te ono što se može očekivati u razdoblju do 2015. godine. Naime, Svjetska banka je pokrenula jedan projekt tehničke pomoći u rješavanju energetske problema na Kosovu. Cilj projekta je izraditi optimalni plan izgradnje energetske infrastrukture koja bi osigurala pouzdanu opskrbu potrošača na Kosovu različitim oblicima energije, uz što nižu moguću cijenu.

Ključne riječi: elektroenergetski sustav, energetske sektor, Kosovo, PUD, UNMIK.

1. RAZDOBLJE DO 1990. GODINE

Iako je Kosovo bilo najnerazvijenija regija bivše države, svi proizvodni elektroenergetski objekti su izgrađeni do 1990. godine. Proizvodnja električne energije, zasnovana na jeftinom domaćem lignitu, bila je praktično glavna gospodarska djelatnost. Dvije su termoelektrane, Kosovo A i Kosovo B, te jedna hidroelektrana, HE Gazivode, proizvodni "park" Elektroprivrede Kosova (KEK). Termoelektrana Kosovo A ima pet jedinica koje su u trenutku izgradnje imale slijedeće instalirane snage: 65 MW (oznaka A1 - ušla u pogon 1962. godine), 125 MW (oznaka A2 - ušla u pogon 1964.), 2x 200 MW (oznake A3 i A4 s ulascima u pogon 1970. i 1971.) i 210 MW (oznaka A5 - ušla u pogon 1975.). Termoelektrana Kosovo B ima dvije jednake jedinice instalirane snage 339 MW (oznake B1 i B2 - ušle u pogon 1983. i 1984.). Hidroelektrana Gazivode je snage 35 MW (dva agregata po 17.5 MW). Dakle, ukupna instalirana snaga elektrana na Kosovu je nominalno 1513 MW.

Tablica 1. prikazuje godišnju elektroenergetsku bilancu Kosova za razdoblje 1985-1990. godine.

Kao što pokazuje tablica 1, Kosovo je napr. u 1985. godini više izvezilo električne energije nego što je bila lokalna potrošnja. Izvoz se u tom vremenu kretao od 52 posto raspoložive energije u 1985. do 26 posto u 1990. godini. Već 1989. godine se počinje uočavati negativni trend, kako u ukupnoj proizvodnji, tako i u potrošnji električne energije. To je rezultat početka i političke i gospodarske krize u bivšoj državi.

Tablica 1. Elektroenergetska bilanca Kosova 1985-1990.

| | 1985. | 1986. | 1987. | 1988. | 1989. | 1990. |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | | | |
| Ukupna proizvodnja | 5277 | 5297 | 5974 | 6091 | 5533 | 4302 |
| Vlastita potrošnja | 494 | 485 | 540 | 592 | 536 | 450 |
| Raspoloživa energija | 4783 | 4812 | 5434 | 5499 | 4997 | 3852 |
| | | | | | | |
| Uvoz | | | | | 390 | |
| Izvoz | 2486 | 2368 | 2604 | 2340 | 2242 | 1008 |
| | | | | | | |
| Ukupna potrošnja | 2297 | 2444 | 2830 | 3159 | 3145 | 2844 |
| Gubici prijenosa | 126 | 118 | 202 | 210 | 208 | 135 |
| Potrošnja na VN mreži | 561 | 595 | 784 | 1053 | 973 | 760 |
| Predano distribuciji | 1610 | 1731 | 1844 | 1896 | 1964 | 1949 |
| Gubici u distribuciji | 301 | 355 | 375 | 407 | 450 | 513 |
| Predano potrošačima NN | 1309 | 1376 | 1469 | 1489 | 1514 | 1436 |
| Predano potrošačima - ukupno | 1870 | 1971 | 2253 | 2542 | 2487 | 2196 |

2. RAZDOBLJE OD 1991. DO 1998.

Nakon 1990. godine na Kosovu, kao i u drugim državama nastalim raspadom bivše države, gospodarstvo je zahvaćeno krizom, industrijska proizvodnja se smanjuje, što dovodi i do smanjenja potrošnje električne energije. Kompletno upravljanje na Kosovu u političkom smislu, a najvećim dijelom i u gospodarskom smislu, vođeno je bez značajnijeg udjela većinskog albanskog stanovništva. Tablica 2 sadrži podatke o godišnjoj elektroenergetskoj bilanci za razdoblje 1991 – 1998. U usporedbi s prethodnim razdobljem zamjetan je pad i proizvodnje i potrošnje električne energije. Negativni trend u potrošnji električne energije je zaustavljen 1993. godine, i sve do pred sam ratni sukob (koji je počeo 1999. godine) ostvaren je postupni porast potrošnje.

Dok su gubici u prijenosnoj mreži bili prilično stabilni (do 5 posto), gubici u distribucijskoj mreži su dostizali razinu i preko 33 posto. Značajan dio tih gubitaka se pripisuje ilegalnim priključcima, odnosno krađi električne energije.

Ratni sukob je krenuo početkom 1999. godine a završio negdje sredinom godine, nakon NATO akcije. U tom razdoblju sukoba najveći dio kosovskih Albanaca je napustio regiju, ali se velika većina nakon završetka rata vratila. Kao posljedica svakog rata, tako se i ovdje dogodilo relativno veliko preseljavanje stanovništva. Najčešći smjer je bio od ruralnih ka urbanim područjima. To je i razlog znatnog porasta broja stanovnika u većim gradovima, posebice u Prištini.

Još od početka 90-ih godina održavanje elektroenergetskih objekata je bilo nedovoljno stručno, a stalni problem je bio i pomanjkanje novca za održavanje. Time su postojeće termoelektrane dovedene na vrlo

nisku razinu raspoloživosti. Često se događaju kvarovi, i kao posljedica toga ispadi iz pogona. S druge strane, tehničke karakteristike termoelektrana (snaga na pragu i specifični potrošak) su značajno lošije od projektiranih.

3. TRENUTNO STANJE

Iako u kosovskim elektranama nije bilo izravnih posljedica ratnih razaranja tijekom ratnog sukoba na Kosovu, stanje postrojenja je vrlo loše, a proizvodne mogućnosti su bitno smanjene u odnosu na razdoblje prije 1990. godine. Jedinice A2 i A5 uopće nisu pokrenute nakon rata na Kosovu. O revitalizaciji bloka A2 se više i ne razmišlja. S obzirom na godinu ulaska u pogon (1964.), nema ni opravdanja ulagati u tako stari objekt, u okolnostima gdje nema financijskih mogućnosti obnove ni novijih objekata, a koji su također u stanju koje zahtijeva određena ulaganja. Što se tiče bloka A5, o njegovoj revitalizaciji se razmišlja.

Dakle, u sadašnjem trenutku se ne može računati na blokove A2 i A5. Preostali blokovi u Kosovu A mogu postići maksimalno opterećenje kako slijedi: A1 25 MW, A3 120 MW i A5 122 MW. To znači da je u Kosovu A maksimalno raspoloživo 267 MW. Jedinice u Kosovu B mogu postići slijedeće maksimalne snage : B1 277 MW i B2 226 MW, ukupno 503 MW. Kosovo A i Kosovo B mogu zajedno držati opterećenje od 770 MW, a uz hidroelektranu Gazivode 805 MW. Uz podatak da je maksimalno opterećenje u 2000. godini bilo oko 660 MW, to bi bilo dovoljno za sadašnju razinu potrošnje električne energije i maksimalnog opterećenja u EES-u Kosova, kada bi stanje postrojenja bilo u nekim uobičajenim okvirima za takav tip postrojenja.

Tablica 2. Godišnja elektroenergetska bilanca za razdoblje 1991-1998.

GWh

| | 1991. | 1992. | 1993. | 1994. | 1995. | 1996. | 1997. | 1998. |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ukupna proizvodnja | 4721 | 4437 | 3828 | 3823 | 4107 | 4378 | 4870 | 4726 |
| Vlastita potrošnja | 424 | 442 | 410 | 419 | 437 | 453 | 504 | 418 |
| Raspoloživa energija | 4297 | 3995 | 3418 | 3404 | 3670 | 3925 | 4366 | 4308 |
| Uvoz | | | | | | | | |
| Izvoz | 1102 | 1716 | 1026 | 899 | 918 | 775 | 984 | 1322 |
| Ukupna potrošnja | 3195 | 2279 | 2392 | 2505 | 2752 | 3150 | 3382 | 2986 |
| Gubici prijenosa | 130 | 109 | 114 | 119 | 131 | 147 | 158 | 147 |
| Potrošnja na VN mreži | 659 | 267 | 142 | 94 | 156 | 347 | 468 | 230 |
| Predano distribuciji | 2406 | 1903 | 2136 | 2292 | 2465 | 2656 | 2756 | 2609 |
| Gubici u distribuciji | 506 | 465 | 448 | 548 | 635 | 728 | 786 | 877 |
| Predano potrošačima NN | 1900 | 1438 | 1688 | 1744 | 1830 | 1928 | 1970 | 1732 |
| Predano potrošačima – ukupno | 2559 | 1705 | 1830 | 1838 | 1986 | 2275 | 2438 | 1962 |

Međutim, iz ranije navedenih razloga, raspoloživost, odnosno pouzdanost rada postrojenja je vrlo loša. Kad se uzme u obzir i potreba redovitog održavanja pojedinih blokova, dolazi se do onoga što i današnja praksa pokazuje, da Kosovo ne može podmiriti svoje potrebe za električnom energijom, pa mora uvoziti, ako ima čime platiti i ako ima od koga uvesti. Razlika koja se ne može podmiriti iz uvoza rješava se ograničenjima potrošnje. Problem za Kosovo je takav da čak i kad bi imali dovoljno novca, često nemaju od koga nabaviti energiju. Velik dio regije je deficitaran s električnom energijom (Srbija, Crna Gora, Makedonija, Albanija). Samo u iznimno povoljnim hidrološkim uvjetima navedene zemlje mogu podmiriti svoje trenutne potrebe. Interkonektivni vodovi ne dopuštaju u svakom trenutku uvoz dovoljnih količina energije za sve zemlje. Poznato je da je, nakon razaranja TS Ernestinovo, ovaj dio Balkana vrlo slabo povezan s UCTE sustavom (preko Mađarske), te je stvarna mogućnost uvoza energije dosta ograničena.

Distribucijska mreža, koja se kontrolira preko decentraliziranih kompanija, podijeljena je u sedam područja: Uroševac, Đakovica, Gnjilan, Mitrovica, Peć, Priština i Prizren. Ukupni broj potrošača je oko 360 000. Velik problem u poslovanju KEK-a predstavlja velik postotak potrošača koji ne plaćaju račune za potrošenu električnu energiju. Za razdoblje rujna 1999. do kolovoza 2000, samo 38 % računa izdatih za kućanstva i komercijalni sektor, je plaćeno do sredine listopada 2000. godine.

Ukupna duljina vodova visokog napona (110 kV i višeg) je 1162 km, a distributivnih vodova (napona 35 kV i nižeg) iznosi oko 29 000 km. Ukupna instalirana snaga transformatorskih stanica (prijenosnih i distributivnih) je oko 4600 MVA. «Kraljeznica» interkonektivnog prijenosnog sustava je 400 kV veza s Makedonijom, Srbijom i Crnom Gorom. Postoji također 220 kV veza s Albanijom, Makedonijom i Srbijom.

Sadašnji EES Kosova egzistira kao samostalan, dakle koordiniran je iz Prištine. Nema subordinacije s dispečerima iz Srbije. Jedina veća hidroelektrana na Kosovu, HE Gazivode, koja je u sastavu poduzeća Ibar-Lepenac, a koje se nalazi u sjevero-zapadnom dijelu Kosova, gdje su Srbi većinski narod, je također pod upravom dispečera iz Prištine. Kontrolu nad KEK-om ima Public Utility Department (PUD), koji djeluje u sklopu međunarodne uprave na Kosovu (The United Nations Interim Administration Mission in Kosovo –skraćeni naziv UNMIK). PUD je regulator cijelog javnog energetskeg sektora, postavlja Nadzorni odbor i izvršne menadžere u svim kompanijama energetskeg sektora. Sektor uključuje KEK, koji je i vlasnik dvaju ugljenokopa Mirash i Bardh, Ibar-Lepenac (imaju u vlasništvu HE Gazivode), Termakos (poduzeće koje je odgovorno za centralno grijanje u Prištini), Standard (poduzeće odgovorno za centralno grijanje u Mitrovici) i poduzeće odgovorno za centralno grijanje u Đakovici.

4. PROGRAM MEĐUNARODNE POMOĆI ENERGETSKOM SEKTORU KOSOVA

Program za rekonstrukciju i obnovu Kosova su pripremili Europska komisija (EC) i Svjetska banka, i prezentirali na donatorskoj konferenciji u Briselu, u studenom 1999. godine. Za EES je najhitniji cilj bio proizvesti što više energije u postojećim elektranama u zimi 1999-2000, a razliku namiriti iz uvoza. Za ljeto 2000. plan je bio napraviti generalni remont obe jedinice u Kosovu B i jednoj jedinici Kosova A. Sredstva je donirao veći broj zemalja EU, Japan, SAD, EC i KFOR (međunarodne vojne snage na Kosovu).

U listopadu 2000. godine svi prijenosni vodovi naponske razine 400 kV su bili u pogonu. Sve 220 kV veze su bile također u pogonu osim veze između Kosova A i Skopja 2.

Od Svjetske banke je zatražena financijska i tehnička pomoć u izradi srednjoročne i dugoročne strategije razvitka energetskeg sektora Kosova. Krajem 2000. godine raspisan je i natječaj za izradu studije razvitka energetskeg sektora Kosova do 2015. godine. Vrijednost posla je nešto oko 2.5 milijuna USD. Studija se sastoji od 13 modula, čiji se ciljevi u najkraćem mogu definirati kako slijedi:

1. Modul A – Analiza potrošnje električne energije, uključujući procjenu mogućnosti i troškova korištenja drugih oblika energije za kuhanje, grijanje prostora i ostale potrebe, i projekcija potrošnje električne energije za razdoblje 2002-2015.
2. Modul B – Procjena mogućnosti proizvodnje i preostalog životnog vijeka postojećih elektrana (Sub-modul B1); definiranje mogućih opcija za buduću proizvodnju električne energije te definiranje njihovih tehničkih karakteristika i troškova (Sub-modul B2); izrada least-cost programa investiranja u proizvodne elektroenergetske objekte, kako bi se mogla podmiriti potrošnja do 2015. godine (Sub-modul B3).
3. Modul C – Priprema alternativnih programa obnove postojećih i izgradnje novih prijenosnih vodova i analiza tih vodova zajedno s pomoću least-cost plana investiranja izabranih proizvodnih objekata. Naći optimalnu kombinaciju vodova i elektrana.
4. Modul D – Analiza tehničkih gubitaka u prijenosnoj i distributivnoj mreži i prijedlog hitnih te dugoročnih mjera i realnog cilja smanjenja gubitaka do 2015. godine, uključujući i troškove ostvarenja takvog cilja.
5. Modul E – Procjena potrebe novog SCADA sustava i potrebnih telekomunikacijskih uređaja za dispečerski centar na Kosovu.
6. Module F – Odrediti, po redoslijedu prioriteta, buduće zahtjeve za rekonstrukcijom i investicijama u nove distribucijske kapacitete do 2015.
7. Modul G – Predložiti strategiju razvoja ugljenokopa do 2015. i procijeniti troškove buduće «proizvodnje» lignita.

8. Modul H – Procijeniti stvarno stanje postrojenja i mreže u sustavima centralnog grijanja Prištine, Đakovice i Mitrovice. Usporediti konkurentnost sustava centralnog grijanja s ostalim mogućim načinima grijanja. Istražiti mogućnosti poboljšanja učinkovitosti i prelaska na drugo gorivo u centraliziranim toplinskim sustavima. Procijeniti moguće varijante revitalizacije i proširenja postojećih sustava, uključujući i troškove svake od razmatranih varijanti.
9. Modul I – Istražiti tehničke i ekonomske mogućnosti dovođenja prirodnog plina (uvoz) na Kosovo, procjenjujući potencijalnu potrošnju plina i potrebnu transportnu te distributivnu infrastrukturu. Pri tome treba procijeniti troškove razvitka takve infrastrukture, kao i cijenu isporučеног m³ plina za različite kategorije potrošača. Također je potrebno predložiti najprimjereniju institucionalnu organizaciju plinskog sektora na Kosovu.
10. Modul J – Procijeniti potrošnju tekućih goriva, u skladu s potrošnjom svih ostalih energenata. Predložiti uspostavu regulatornog okvira koji će osigurati ispunjavanje svih standarda u pogledu kvalitete goriva te smanjiti na minimum izbjegavanje plaćanja poreza svih uvoznika nafte i naftnih derivata.
11. Modul K – Na osnovu svih naprijed navedenih modula, pripremiti detaljan prijedlog plana investiranja u elektroenergetski sektor, ugljenokope lignita, centraliziranog sustava grijanja, plinskog sektora, naftnog sektora. Naznačiti moguće načine financiranja takvog plana investicija.
12. Modul L – Na osnovu least – cost programa investiranja u proizvodne, prijenosne, distributivne objekte te programa investicija u modernizaciju dispečerskog centra, procijeniti troškove ukupne elektroenergetske djelatnosti i definirati tarifnu strukturu za pojedine kategorije potrošača. Te tarife trebaju odražavati stvarne troškove, kako bi se omogućilo zadovoljavajuće financijsko stanje KEK-a. Treba predložiti i strategiju tranzicije od sadašnjeg stanja ka novoj tarifnoj strukturi.
13. Modul M – Treba preispitati internu organizacijsku strukturu i funkcioniranje svake od energetskih kompanija te predložiti poboljšanje učinkovitosti. Nadalje, treba predložiti transformaciju strukture energetskog sektora prema većoj autonomnosti kompanija, korporatizaciji, komercijalizaciji, konkurenciji i privatizaciji, tamo gdje je to razumno i moguće.

Svaki od navedenih modula treba biti izveden na način da uvažava glavne smjernice EU direktiva i Pakta o stabilnosti.

5. OPTIMALNI PROGRAM INVESTIRANJA U PROIZVODNE ELEKTROENERGETSKE OBJEKTE

Namjera je da članak naglasi sadašnje i buduće probleme u elektroenergetskom sektoru, posebice segment proizvodnje električne energije. Prema prvim rezultatima (Modul A) potrošnja električne energije na Kosovu bi, sa sadašnjih oko 3000 GWh, narasla na oko 5100 GWh u 2015. godini. Pri tome bi maksimalno opterećenje od 660 MW naraslo na oko 1200 MW u 2015. godini. To je u skladu s referentnim scenarijem potrošnje, koji je zasnovan na određenim pretpostavkama makroekonomskog razvitka Kosova.

Kako planirati izgradnju dovoljnih proizvodnih kapaciteta? Problem se može analizirati na dva osnovna načina, što je predloženo i od strane investitora. Jedan način je ako se EES Kosova promatra kao izolirani sustav, a drugi ako se EES Kosova promatra kao potpuno integrirani u regiju.

Budući da je EES Kosova gotovo čisti termo sustav, koji ima bazne elektrane (ložene lignitom) vrlo malih (gotovo nikakvih regulacijskih) mogućnosti, očito je da će mu trebati elektrane s većom fleksibilnošću u pogonu. To se, dakle, može izgraditi na Kosovu, ili koordinirati rad s nekim od susjednih sustava koji imaju značajan udjel hidroenergije.

Kao moguće opcije izgradnje do 2015. godine na Kosovu promatrani su slijedeći tipovi elektrana: rehabilitacija postojećih jedinica (A3, A4 i A5; na jedinicu A2 se više ne računa, a jedinica A1 bi izišla iz pogona 2005. godine) u elektrani Kosovo A (dvije jedinice u elektrani Kosovo B bi trebale ostati u pogonu barem do 2015. godine), nove jedinice na postojećim lokacijama koje bi koristile lignit, plinske elektrane (otvorenog i kombiniranog ciklusa), elektrane na tekuća goriva i jedna hidroelektrana, HE Žur, snage 145 ili 292 MW (postoje dvije moguće varijante izgradnje te elektrane).

Prema energetske ekonomskim karakteristikama analiziranih kandidata za izgradnju, kao najpovoljnije rješenje pokazuje se rehabilitacija postojećih blokova u elektrani Kosovo A. Tom rehabilitacijom bi se postigla nešto veća izlazna snaga nego što se sada iz njih može dobiti (jedinice A3, A4 i A5 bi nakon rehabilitacije mogle imati snagu na pragu oko 135 MW). Ono što je također bitno, a što se dobiva nakon rehabilitacije, je nešto bolja pouzdanost rada elektrana, a smanjio bi se i specifični potrošak, odnosno povećala učinkovitost tih jedinica. U kombinaciji s Kosovom B to je više nego dovoljno baznih elektrana. Minimalno opterećenje, čak i u 2015. godini je dosta niže od toga. Ono što je još potrebno to je do 400 MW vršnih elektrana, s prosječnim godišnjim iskorištenjem do 2000 sati, čak i manje. Jasno je da to ne mogu biti nove elektrane na lignit. Kao najbolje rješenje pokazuju se plinske elektrane kombi i otvorenog ciklusa. S obzirom na veličinu

sustava bolje se uklapaju manje jedinice (70 do 150 MW). To rješenje je praktično neosjetljivo na cijenu plina u rasponu od 13 USc/m³ do 20 USc/m³.

Zašto je rješenje neosjetljivo na prilično velik raspon cijene plina? Zato što je vrijeme iskorištenja bilo kojeg tipa elektrana – kandidata za izgradnju (osim rehabilitacije postojećih blokova na lignit) relativno malo, tako da se razlika u investiciji kod kapitalno skupljih elektrana ne može kompenzirati jeftinijim gorivom.

Ono što je problem je kada je moguće dovesti plin na Kosovo. Postoje dva potencijalna pravca i oba su zasnovana na transportu preko Bugarske. Do Skoplja već postoji plinovod i potrebno bi bilo izgraditi oko 30 km plinovoda od Skoplja do Uroševca na Kosovu. Drugi pravac je iz Niša gdje također postoji plinovod.

Druga varijanta izgradnje EES-a Kosova je koordinacija rada s nekim od susjednih elektroenergetskih sustava. U tom bi slučaju bila zanimljiva razmjena energije, Kosovo bi davalo baznu, a uzimalo vršnu. Pod takvom pretpostavkom bi onda i dio dodatnih kapaciteta na Kosovu trebao biti bazni. Vrijeme iskorištenja novih elektrana bi onda bilo 6000 sati godišnje, ili nešto više. Tada više nije nevažno kolika je cijena plina, i kombi blokovi su u prednosti pred otvorenim ciklusom. Elektrane na ugljen, radi visokih investicijskih troškova još uvijek nisu konkurentne plinskim. To su samo neke preliminarne postavke.

Oko ove druge varijante se u ovom trenutku ne može reći ponašanje, jer analize nisu gotove. Još uvijek je nejasno kakav status će imati Kosovo. Osim toga, za ozbiljnije proračune, odnosno zaključke, potrebno je imati detaljne informacije o EES-ima zemalja okruženja, koje su potencijalni partneri za koordinirani rad s EES-om Kosova.

6. ZAKLJUČNI KOMENTAR

Vjerojatno će se većina čitatelja (možda i s pravom) zapitati zašto časopis Energija objavljuje članak o energetskej situaciji na Kosovu. Zbog čega je to zanimljivo?

Dva su osnovna problema na koja je autor, kao sudionik međunarodnog konzorcija koji izvodi studiju, želio ukazati čitateljima. Prvi je vezan za sadašnju elektroenergetsku sliku Kosova, sa svakodnevnim redukcijama električne energije. Većini od nas je ostalo u sjećanju kako je Kosovo regija koja je (u odnosu na potrošnju na vlastitom području) bila relativno velik izvoznik električne energije, čija je proizvodnja zasnovana na jeftinom domaćem lignitu. Postavlja se pitanje kako to da sada ne može podmiriti niti svoje potrebe. Osnovni je problem bio u nedovoljno stručnom kadru za vođenje postojećih termoelektrana i nedovoljnom ulaganju u održavanje istih. Problem i ne bi bio tako bitan, jer proizvodnja i potrošnja električne energije na Kosovu su vrlo mali u europskim

razmjerima, da nije znakovit i za neke druge zemlje. Slični problemi s održavanjem objekata su u posljednjih petnaestak godina bili i u Srbiji, BiH, Rumunjskoj, Bugarskoj, Ukrajini, ... Dakle, u zemljama imaju dosta termoelektrana i koje su i mnogi stručnjaci u Hrvatskoj držali kao nepresušne izvore jeftine električne energije. Današnje stanje pokazuje da je cijela ova, nama prostorno bliža regija, deficitarna s električnom energijom. Znači, u normalnima posebice u sušnim hidrološkim okolnostima, osim Kosova koje praktično i nema bitnog udjela hidroenergije, u deficitu su Srbija, Crna Gora, Makedonija i Albanija. Grčka je približno u ravnoteži, s tim da ima povremene razmjene. Bugarska i Rumunjska imaju nešto viškova, ali s obzirom na stanje nekih objekata, ti viškovi nisu dugoročni, i relativno brzo će se istopiti. Da bi se stanje dovelo u ravnotežu u narednim godinama, potrebna su velika financijska sredstva, kojih objektivno nema. Zbog još uvijek nestabilnog političkog ustroja nekih dijelova regije (prije svega BiH i Kosova) strani kapital neće tek tako ući u to područje.

Ovo treba shvatiti kao ozbiljno upozorenje, iz kojeg bi hrvatski stručnjaci trebali izvući neke pouke. Nije preporučljivo oslanjati se dugoročno na velik udio uvoza u podmirivanju potreba za električnom energijom, ukoliko se želi osigurati pouzdana opskrba. Porast potrošnje električne energije je potrebno pratiti primjerenom izgradnjom proizvodnih kapaciteta na vlastitom području.

Drugi problem na koji se želi upozoriti u ovom članku je ponašanje međunarodne zajednice u zemljama u kojima ona ima protektorat, a to su BiH i Kosovo. Ono što se može dogoditi je to da elektroprivredne kompanije u tim zemljama postanu lagani (jeftini) plijen nekih većih kompanija sa zapada. I u BiH i na Kosovu, tijekom procesa promjena u energetskej sektoru upravlja međunarodna zajednica na način da se puno ne pita domaće političare, a još manje stručnjake, o ciljevima i načinu provedbe reforme u elektroenergetskom sektoru. Teško je argumentirano odbaciti sumnje da se kroz poteze međunarodne zajednice ne provodi politika u interesu nekih kompanija iz zapadnih zemalja koje sudjeluju u međunarodnim snagama u BiH i na Kosovu.

ENERGY SITUATION IN KOSOVO

In former Yugoslavia Kosovo was the most underdeveloped region in the country. Despite this, the electric power sector's infrastructure, within the production part, was able to meet the needs. Not only was the local consumption covered, but also a major part of electric energy production was exported to other parts of the country. Most of that regional surplus was used to cover Serbian electric power needs.

Today energy and electric power picture has drastically changed, because of political, economic and technical rea-

sons. As it could be seen Kosovo today can not meet own needs nor can it export energy. Reductions are everyday reality. The paper gives a short review on electric power circumstances in the past and the expectations until 2015. Namely, the World Bank has initiated a project of technical help for Kosovo in resolving energy problems. The scope of the project is to make optimal energy infrastructure construction plan that could ensure reliable supply of Kosovo consumers with different energy forms and low energy price.

ENERGETISCHE UMSTÄNDE (MISSTÄNDE) IN KOSSOWO

In den Zeiten des ehemaligen Jugoslawiens war Kossowo die unentwickeltste Region im Staate. Dieser Tatsache zum Trotz hat die Infrastruktur im energetischen Sektor, vor allem in seinem Erzeugungssegment, für den Bedarf von Kossowo gereicht. Es war nicht nur den lokalen Bedarf zu decken, sondern den grösseren Anteil des erzeugten Stromes in andere Regionen des Staates zu exportieren möglich. Der Hauptanteil dieses "regionalen Stromüberschusses" deckte die Strombilanz Serbiens.

Das energetische, als auch das elektroenergetische Gebilde von Kossowo von heute hat sich aus politischen, wirtschaftlichen, sogar auch technischen Gründen wesentlich geändert. Wie hier gezeigt wird, verfügt Kossowo

heutzutage nicht nur über keinen Stromüberschuss für den Export, sondern kann nicht einmal den eigenen Bedarf decken. Die Einschränkung des Stromverbrauchs ist eine tagtägliche Wirklichkeit. Dieses Artikel wiedergibt eine ganz kurze Darstellung elektroenergetischer Umstände in der Vergangenheit, sowie mögliche Erwartungen für die Zeitspanne bis zum Jahre 2015. Die Weltbank hat nämlich ein Projekt der technischen Hilfe für die Lösung energetischer Fragen in Kossowo in Gang gesetzt. Der Ziel des Projektes ist einen optimalen Plan des Ausbaues der energetischen Infastruktur zu entwerfen, welche eine zuverlässige Versorgung der Verbraucher in Kossowo mit verschiedenen Formen dre Energie, mit niedrigstmöglichem Preis, sichern sollte.

Naslov pisca:

**Mr. sc. Mladen Zeljko, dipl. ing.
Institut "Hrvoje Požar"
Savska cesta 163
10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2001-11-02.