



Mr. sc. Ranko Goić, dipl. ing.
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje – Split
Marko Lovrić, dipl. ing.
HEP - Dispečerski centar Split

37-04

PLANIRANJE RADA ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA HRVATSKE NA MJESEČNOM I GODIŠNJEM NIVOU SIMULACIJOM RADA NA DNEVNOM NIVOU POMOĆU PROGRAMSKOG SUSTAVA DPLAN

SAŽETAK

Standardna metodologija izrade elektroenergetskih bilanci na mjesečnom i godišnjem nivou zasniva se na popunjavanju aproksimirane krivulje trajanja opterećenja prema unaprijed definiranim prioritetima s obzirom na vrste elektrana. Jedan od glavnih nedostataka takve metodologije je objektivna nemogućnost realnog uvažavanja specifičnih dispečerskih zahtijeva koji diktiraju dnevni dijagrami opterećenja, hidrologija, dinamika korištenja kompenzacijskih bazena, upotreba reverzibilnih HE u crpnom režimu i sl. Za potrebe varijantne energetske-ekonomske analize rada novih elektrana u EES-u Hrvatske razvijena je metodologija koja mjesečne i godišnje elektroenergetske bilance i odgovarajuće parametre rada EES-a sintetizira na osnovu odgovarajućih proračuna na dnevnom nivou. Takva simulacija, budući da se zasniva na realnom modelu dispečiranja EES-a, daje preciznije i realnije rezultate.

Ključne riječi: elektroenergetska bilanca, simulacija, elektroenergetski sustav

MONTHLY AND YEARLY PLANNING OF THE CROATIAN POWER SYSTEM USING DAILY SIMULATION WITH DPLAN SOFTWARE

ABSTRACT

Standard methodology for monthly and yearly electric energy balance determination is based on filling of approximative load duration curve according to previously defined priorities in respect to types of power plants. One of the most important failures of such methodology is the objective impossibility of real including of specific dispatchers requests conditioned by daily demand curve, hidrology, dynamics of compensation basins, using of pumping hydro plants and so on. For purpose of the variant energetic-economic analysis of new power plants in the Croatian power system, a new methodology has been developed, which makes a synthesis of monthly and yearly power system balance using appropriate calculations on daily basis. Such simulation, based on real dispatching model, gives most precise and real results.

Key words: electric power system balance, simulation, power system

1. UVOD

Metodologija izrade godišnjih elektroenergetskih bilanci popunjavanjem pretpostavljenih krivulja trajanja opterećenja uobičajena je za namjene koje ne zahtijevaju preciznu analizu mogućnosti pokrivanja dnevnog dijagrama potrošnje raspoloživim elektranama. Primjer gdje je vrlo bitna realna simulacija na dnevnom nivou je analiza priključka novog proizvodnog objekta u elektroenergetski sustav (EES), a pogotovo termoelektrane velike jedinične snage. Naime, jedino se analizom kratkoročnog (dnevnog) dispečiranja elektrane može doći do odgovora na pitanje o optimalnoj količini i dinamici preuzimanja energije iz termoelektrane u EES. Također se može, na osnovu višestrukih varijantnih analiza, doći i do godišnje krivulje trajanja opterećenja promatrane termoelektrane. Takva analiza mora uzeti u obzir sve bitne odrednice koje uvjetuju rad termoelektrane u jednom EES-u: dnevni dijagram potrošnje, cijene goriva, krivulje specifičnog potroška topline za termoelektrane, raspoloživost elektrana, mogućnost rada crpno-akumulacijskih hidroelektrana, te hidrologiju kao vrlo bitan stohastički parametar koji uvjetuje režim rada svakog EES-a s velikim udjelom hidroelektrana. Osim toga, uklapanje nove termoelektrane u relativno mali EES Hrvatske dovodi i do bitnih promjena u režimu rada, te faktorima angažiranja postojećih elektrana kako na kratkoročnom nivou (dan, tjedan), tako i na godišnjem nivou.

U ovom radu opisana je metodologija izrade mjesečnih i godišnjih elektroenergetskih bilanci na osnovu varijantnih proračuna pokrivanja dnevnih dijagrama potrošnje pomoću programskog sustava DPLAN. Metodologija je prvi put iskorištena za studiju energetske-ekonomske analize uklapanja nove termoelektrane na ugljen snage 2x385 MW na pragu u EES Hrvatske, čime su definirani odgovarajući parametri rada nove termoelektrane i sustava u cjelini na mjesečnom i godišnjem nivou za pretpostavljene godine ulaska u pogon prvog i drugog bloka. Ovakva analiza, na osnovu pretpostavljene izgrađenosti EES-a, očekivanih dnevnih dijagrama potrošnje i cijena goriva, dala je očekivane energetske, tehničke i ekonomske parametre rada nove termoelektrane i ostalih elektrana za promatrane godine.

Nedostaci metodologije su u prvom redu veća zahtijevnost s obzirom na ulazne parametre, te vrijeme potrebno za proračun, što se djelomično može riješiti unapređenjem i većom automatizacijom korištenog softvera, ali i neki objektivni nedostaci vezani prvenstveno za simulaciju neraspoloživosti elektrana.

2. METODOLOGIJA PRORAČUNA

Osnovni cilj proračuna je određivanje osnovnih energetske – ekonomskih pokazatelja rada EES-a na mjesečnom i godišnjem nivou, te posebno parametara rada konkretnih proizvodnih objekata. Računati parametri na godišnjem nivou su:

- elektroenergetska bilanca (proizvodnja svih elektrana)
- energetska vrijednost dotoka
- promjena stanja akumulacija
- stupanj angažiranja termoelektrana
- prosječni specifični troškovi rada termoelektrana
- ukupni troškovi za gorivo termoelektrana

Za odabrane termoelektrane na mjesečnom nivou računaju se:

- dnevni dijagrami opterećenja termoelektrane
- mjesečna proizvodnja
- potrošak goriva
- troškovi za gorivo
- specifični potrošak goriva
- faktor angažiranja (postotno u odnosu na maksimalnu snagu)
- ekvivalentni broj sati rada s maksimalnom snagom
- očekivana mjesečna krivulja trajanja opterećenja

Za svaki mjesec u godini radi se simulacija rada EES-a Hrvatske na dnevnoj razini za pet različitih varijanti dotoka (hidrologije). Za svaku varijantu dotoka simulira se raspodjela proizvodnje među elektranama posebno za dnevni dijagram potrošnje radnog odnosno neradnog dana. Množeći dobivene rezultate s brojem radnih i neradnih dana u mjesecu, dobiju se odgovarajući parametri rada za promatrani mjesec i hidrologiju. Na osnovu tako izračunatih varijanti na mjesečnom nivou (u ovisnosti o dotoku),

računaju se očekivane vrijednosti promatranih parametara na način da se rezultati za pojedinu varijantu dotoka množe odgovarajućim težinskim faktorima (vjerojatnostima pojave). Kompletni postupak može se napraviti u varijanti kad se RHE Velebit ne koristi odnosno kad se koristi u pumpnom režimu rada.

Za svođenje rezultata proračuna na godišnji nivo, koriste se izračunate očekivane vrijednosti po mjesecima, posebno za varijante bez i sa pumpanjem RHE Velebit. Iz očekivanih rezultata na godišnjem nivou proizlazi i ukupna vodna bilanca za koju je prije izvršenih proračuna predviđeno da ispuni tri osnovna uvjeta:

- godišnja proizvodnja hidroelektrana mora rezultirati proizvodnjom prosječne hidrološke godine,
- stanje u akumulacijama, računato s očekivanim mjesečnim rezultatima mora se približno poklapati s predviđenim poželjnim stanjima,
- ukupni energetska sadržaj na kraju godine mora biti jednak onome na početku.

Ovakvi zahtjevi traže dodatne iterativne proračune kako bi se simulirane varijante korištenja akumulacija što bolje približile realnoj situaciji.

Za angažiranje termoelektrana uvaženi su predviđeni termini remonta, dok eventualni neplanirani ispadi nisu uračunati. Ovakva pretpostavka nužna je za ovakvu metodologiju proračuna. Uvažavanje i utjecaj eventualnih neplaniranih ispada termoelektrana moguće je obuhvatiti odgovarajućom simulacijom ispada uz zadane faktore raspoloživosti.

2.1 Princip proračuna na dnevnom nivou

Proračuni na dnevnom nivou, napravljeni su pomoću programski sustav DPLAN (lit 3). Postupak je slijedeći:

- Dnevni dijagram potrošnje uzima se iz pretpostavljenih ulaznih parametara, tj. iz predviđenog dijagrama potrošnje za radni/neradni dan promatranog mjeseca
- Pretpostavlja se da nema uvoza odnosno izvoza energije
- Dotoci svih vodotoka uzimaju se iz pretpostavljenih ulaznih podataka, za konkretno promatranu hidrologiju
- Na osnovu dnevnog dijagrama potrošnje za radni dan, energetske vrijednosti dotoka, plana punjenja odnosno pražnjenja akumulacija, raspoloživosti termoelektrana i planiranog režima rada svih TE-TO, prvo se pomoću potrebnog broja inicijalnih proračuna određuje skup termoelektrana koje moraju biti angažirane za pokrivanje potrošnje i siguran rad sustava (topla i hladna rezerva)
- Za odabrani skup angažiranih termoelektrana, moguće proizvodnje hidroelektrana, uz odgovarajuće punjenje/pražnjenje akumulacija, određuje se inicijalna potrebna proizvodnja termoelektrana po satima i inicijalna raspodjela opterećenja
- Raspodjela proizvodnje protočnih hidroelektrana koje nisu povezane s uzvodnim akumulacijama računa se po principu maksimalnog iskorištenja predviđenog dotoka, te forsiranja proizvodnje u dnevnom dijelu dijagrama opterećenja
- Preostali dio potrebne proizvodnje raspodjeljuje se na akumulacijske hidroelektrane koje se nastoji iskoristiti što je više moguće u vršnom dijelu dijagrama opterećenja
- Ukoliko rezultirajuća bilanca pokaže manjak ili višak energije odnosno ili ako punjenje/pražnjenje akumulacija dosta odstupa od planiranog, vraća se na korekciju potrebne proizvodnje termoelektrana
- Kontroliraju se i nastoje eliminirati eventualni preljevi
- Kad je definiran odnos proizvodnje iz hidro i termoelektrana, računa se optimalna raspodjela opterećenja po satima među angažiranim termoelektranama koje su uključene u ekonomski dispečing
- Za neradni dan, uz promijenjeni dnevni dijagram opterećenja, proračun je isti, tj. radi se s istim skupom angažiranih termoelektrana, uz korekciju punjenja/pražnjenja akumulacija s obzirom na smanjene potrebe za energijom
- U svakoj varijanti računaju se i odgovarajući satni granični troškovi za nabavu/prodaju električne energije

Varijante proračuna u kojoj se RHE Velebit koristi u dnevnom ciklusu pumpanja/turbiniranja izvode se na osnovu izvršenih proračuna bez pumpanja na slijedeći način:

- Definira se iznos pumpanja RHE Velebit u noćnim satima forsirajući pumpanje s maksimalno mogućom snagom s obzirom na promatranu hidrologiju (prirodni dotok u gornji bazen)
- Potrebne snage za pumpanje dodaju se dnevnom dijagramu potrošnje

- Računa se nova raspodjela snaga termoelektrana i hidroelektrana; ukupna proizvodnja svih hidroelektrana mora ostati nepromijenjena u odnosu na varijantu bez pumpanja osim za RHE Velebit
- Količina vode prebačena u gornji bazen RHE Velebit koristi se za proizvodnju tijekom dana, smanjujući dnevni angažman termoelektrana
- Ukoliko je rezultirajuća ekonomska bilanca (ukupni troškovi za gorivo u sustavu) povoljnija u odnosu na varijantu bez pumpanja, proračun je završen, ukoliko nije, ponavlja se sa smanjenim iznosima i satnicom pumpanja

Na opisani način za svaki mjesec i hidrološku varijantu dobiju se odgovarajući rezultati rada na dnevnom nivou za radni i neradni dan, bez i sa pumpanjem RHE Velebit.

2.2 Redosljed angažiranja i raspodjela snaga među angažiranim termoelektranama

Specifični trošak za gorivo osnovni je parametar koja se koristi pri određivanju redosljeda angažiranja termoelektrana (Unit Commitment). Redosljed angažiranja radi se na način da se, na osnovu nekoliko probnih pokušaja izrade voznog reda za radni i neradni dan promatranog mjeseca pri zadanoj hidrologiji, odredi skup termoelektrana koji moraju biti angažirane, prema redosljedu kojeg definiraju specifični troškovi goriva. Dakle, na taj način se za svaku varijantu hidrologije određuje skup termoelektrana koje moraju biti angažirane. Prilikom odabira skupa angažiranih termoelektrana uzet je u obzir i iznos rotirajuće rezerve, te faktor sigurnosti sustava. Ovakva metodologija, iako postoje i dosta složenije varijante, odabrana je s obzirom na veličinu EES-a Hrvatske, trenutni način dispečiranja, te karaktera proračuna.

Za proračun raspodjele opterećenja među angažiranim termoelektranama (bez toplana) na dnevnom nivou korištena je metoda ekonomske dispečinga, tj. raspodjela opterećenja računata je na način da se optimira ukupni trošak za gorivo za zadani skup angažiranih termoelektrana.

Osnovna krivulja za termoelektranu iz koje se izvode potrebne krivulje za proračun optimalne raspodjele opterećenja među termoelektranama je krivulja specifičnog potroška topline. Ona definira količinu topline potrebnu za proizvodnju 1 kWh električne energije za zadanu snagu TE. Krivulja se za postojeće TE može dobiti mjerenjem, dok se za nove TE uzimaju odgovarajući normativi ili podaci iz tenderske odnosno ponudbene dokumentacije. Krivulja specifičnog potroška topline obično se aproksimira funkcijom:

$$H(P) = \frac{a}{P} + b + c \cdot P \quad [\text{kJ/kWh}], \quad (1)$$

gdje su

a, b, c – konstante za određenu termoelektranu
P – angažirana snaga termoelektrane [MW]

Na osnovu krivulje specifičnog potroška dobiju se slijedeće krivulje:

- krivulja potroška topline

$$F(P) = P \cdot H(P) = a + b \cdot P + c \cdot P^2 \quad [\text{MJ/h}] \quad (2)$$

- krivulja troškova goriva

$$C(P) = K \cdot F(P) = a' + b' \cdot P + c' \cdot P^2 \quad [$/h], \quad (3)$$

gdje je

K [\$/MJ] – kvocijent cijene goriva [\$/t] i toplinske vrijednosti goriva [MJ/t]

- krivulja inkrementalnog troška

$$IC(P) = \frac{dC(P)}{dP} = b' + 2 \cdot c' \cdot P \quad [$/MWh] \quad (4)$$

Proračun ekonomične raspodjele opterećenja među angažiranim termoelektranama napravljen je prema osnovnom modelu koji uzima u obzir samo troškove za gorivo u termoelektranama, dok su faktori penalizacije s obzirom na gubitke u mreži zanemareni. Prema osnovnom modelu, najmanji troškovi za gorivo u sustavu se dobiju kada termoelektrane rade s onom snagom koja rezultira istim inkrementalnim troškovima za sve termoelektrane, tj.

$$\frac{dC_1(P)_1}{dP_1} = \frac{dC_2(P)_2}{dP_2} = \dots = \frac{dC_n(P)_n}{dP_n} = \lambda, \quad (5)$$

gdje λ predstavlja zajedničku vrijednost inkrementalnog troška, tj. sistemski inkrementalni trošak. Parametar λ inače definira porast troškova za gorivo pri jediničnom porastu proizvodnje jedne ili skupa termoelektrana.

Po istom principu računaju se i granični satni troškovi za uvoz/izvoz električne energije. U slučaju uvoza određenog iznosa snage računa se maksimalna cijena po kojoj se isplati uvoziti, smanjujući angažiranu snagu najskuplje (ili više njih) angažirane termoelektrane. Za izvoz određenog iznosa snage računa se minimalna cijena po kojoj se isplati izvoziti, povećavajući angažiranu snagu najjeftinije (ili više njih) angažirane termoelektrane.

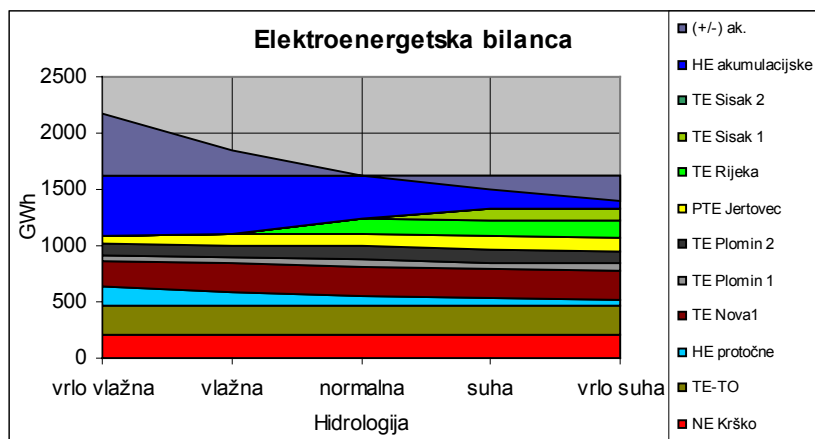
3. PRIMJER PRORAČUNA

Za ilustraciju metodologije dani su neki od rezultata proračuna simulacije rada EES-a Hrvatske u 2003. godini izvršeni za potrebe Studije energetsko-ekonomske isplativosti rada nove TE na ugljen u EES Hrvatske. Uz pretpostavljene tehno-ekonomske karakteristike nove TE na ugljen, pretpostavljeni su i ostali potrebni ulazni parametri (ulazak-izlazak novih proizvodnih objekata, dnevni dijagrami potrošnje, dotoci, poželjna stanja akumulacija, pretpostavljene cijene i ogrijevne moći goriva, krivulje specifičnog potroška topline za termoelektrane, termini remonta, plan proizvodnje toplana itd.).

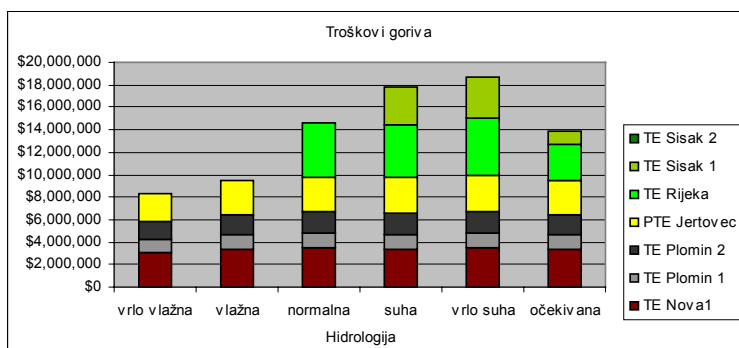
Slijede tabelarni i grafički primjeri nekih od rezultata na mjesečnom nivou, računati za različite hidrološke varijante, bez korištenja RHE Velebit u crpnom režimu (osim slike 3).

Tablica 1: Elektroenergetska bilanca za veljaču 2003. (GWh)

Hidrologija	vrlo vlažna	vlažna	normalna	suha	vrlo suha	očekivana
NE Krško	208	208	208	208	208	208
TE-TO	257	257	257	257	257	257
HE protočne	177	124	95	77	52	103
TE Nova1	218	247	253	249	257	246
TE Plomin 1	54	60	62	62	63	60
TE Plomin 2	95	110	116	115	120	112
PTE Jertovec	85	102	109	110	111	105
TE Rijeka	0	0	146	146	159	97
TE Sisak 1	0	0	0	95	106	35
TE Sisak 2	0	0	0	0	0	0
HE akumulacijske	524	509	372	300	286	395
(+/-) ak.	559	227	-6	-126	-229	68
Ukupna potrošnja	1619	1619	1619	1619	1619	1619
En.vr.dotoka	1260	860	460	251	109	566



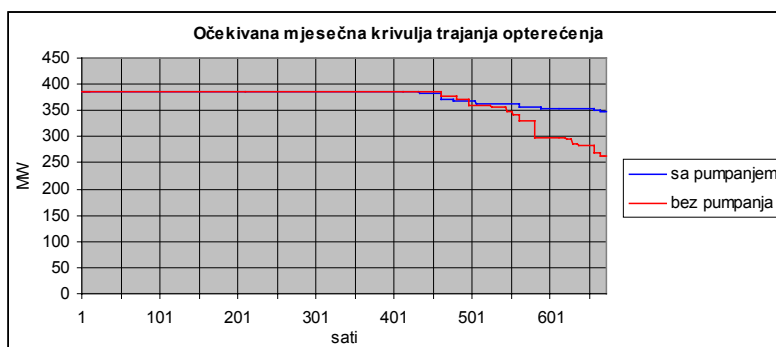
Slika 1: Elektroenergetska bilanca za veljaču 2003.



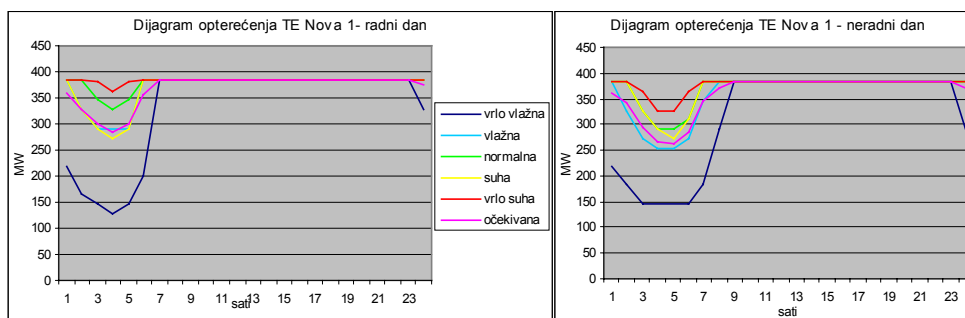
Slika 2: Troškovi goriva za termoelektrane (bez toplana)

Tabela 2: Osnovni parametri rada TE Nova 1

Hidrologija	vrla vlažna	vlažna	normalna	suha	vrla suha	očekivana
Bez pumpanja						
Proizvodnja (GWh)	218	247	253	249	257	246
Potrošak goriva (t)	72,672	81,155	82,921	81,608	83,923	80,918
Troškovi goriva (\$)	3,052,237	3,408,497	3,482,679	3,427,549	3,524,772	3,398,564
Specifični troškovi (Usc/kWh)	1.402	1.378	1.374	1.377	1.372	1.379
Specifični potrošak (kJ/kWh)	8511	8369	8344	8362	8331	8373
Stupanj korisnosti (%)	42.3	43.0	43.1	43.0	43.2	43.0
Faktor angažiranja (%)	84.2	95.6	97.9	96.2	99.3	95.3
Ekvivalentni broj sati rada s maksimalnom snagom (h)	566	642	658	646	667	640
Sa pumpanjem						
Proizvodnja (GWh)	223	258	259	259	259	253
Potrošak goriva (t)	74,209	84,253	84,452	84,452	84,452	82,876
Troškovi goriva (\$)	3,116,796	3,538,642	3,546,978	3,546,978	3,546,978	3,480,783
Specifični troškovi (Usc/kWh)	1.397	1.371	1.371	1.371	1.371	1.374
Specifični potrošak (kJ/kWh)	8482	8326	8324	8324	8324	8345
Stupanj korisnosti (%)	42.4	43.2	43.2	43.2	43.2	43.1
Faktor angažiranja (%)	86.2	99.7	100.0	100.0	100.0	97.9
Ekvivalentni broj sati rada s maksimalnom snagom (h)	580	670	672	672	672	658



Slika 3: Očekivana mjesečna krivulja trajanja opterećenja TE Nova 1

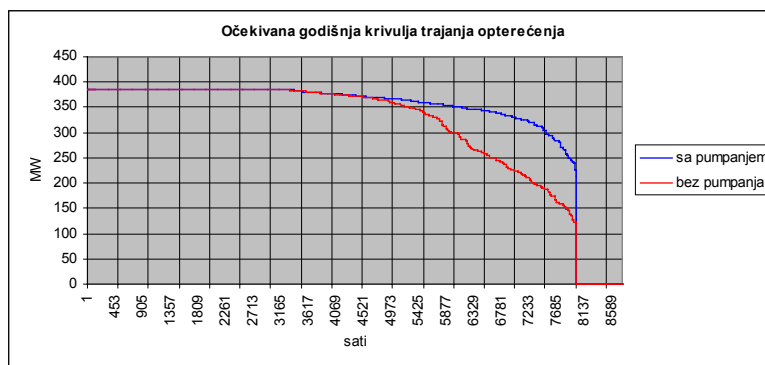


Slika 4: Dnevni dijagrami opterećenja za TE Nova 1 (bez pumpanja RHE Velebit)

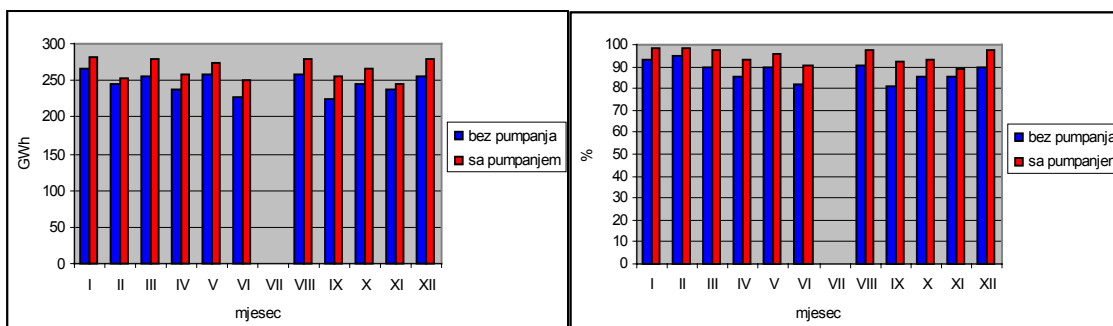
Od brojnih energetsko-ekonomskih pokazatelja i bilanci na godišnjem nivou, izdvojeni su neki rezultati za promatrane novu termoelektiranu na ugljen (TE Nova 1):

Tablica 3: Osnovni parametri rada TE Nova 1 na godišnjem nivou

Mjesec	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ukupno	prosj.
Bez pumpanja RHE Velebit														
Proizvodnja (GWh)	267	246	257	236	258	226	0	259	224	244	238	256	2712	226
Potrošak goriva (t*1000)	87,9	80,9	84,9	78,8	85,3	75,9	0	85,5	75,3	81,3	79,1	84,9	899,7	75,0
Troškovi goriva (\$*1000)	3692	3399	3568	3308	3582	3186	0	3592	3162	3415	3322	3564	37789	3149
Specifični troškovi (Usc/kWh)	1,383	1,379	1,390	1,399	1,389	1,408	0,000	1,388	1,410	1,399	1,398	1,390		1,394
Specifični potrošak (kJ/kWh)	8396	8373	8438	8495	8433	8547	0	8429	8558	8496	8489	8440		8463
Stupanj korisnosti (%)	42,9	43,0	42,7	42,4	42,7	42,1	0,0	42,7	42,1	42,4	42,4	42,7		42,5
Faktor angažiranja (%)	93,2	95,3	89,6	85,3	90,0	81,6	0,0	90,3	80,9	85,2	85,7	89,5		80,6
Ekv. broj sati rada s max. snagom (h)	693	640	667	614	670	588	0	672	583	634	617	666	6977	581



Slika 5: Godišnja krivulja trajanja opterećenja TE Nova 1



Slika 6: a) Očekivana mjesečna proizvodnja b) mjesečni faktori angažiranja TE Nova

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu dan je kratki prikaz metodologije izrade mjesečnih i godišnjih elektroenergetskih bilanci sintezom iz varijantnih proračuna pokrivanja dnevnih dijagrama potrošnje. Metodologija je praktično primjenjena na simulaciju rada EES-a Hrvatske u pretpostavljenim godinama ulaska u pogon blokova nove termoelektrane na ugljen. Osim opisa metodologije, u radu su za ilustraciju dani i neki od rezultata na mjesečnom odnosno godišnjem nivou. Glavni nedostaci metodologije, prvenstveno su vezani za način simulacije neraspoloživosti elektrana. Gledano na mjesečnom nivou, navedeni problem je manje bitan, s obzirom da se za Hrvatski EES može lako riješiti varijantnim analizama, dok na godišnjem nivou ostaje kao predmet za daljnja istraživanja. Bez obzira na navedene probleme, opisana metodologija uz odgovarajuća softverska podrška se pokazala kao vrlo dobar alat za planiranje i analizu rada EES-a Hrvatske.

LITERATURA:

- [1] Studija energetske-ekonomske isplativosti rada nove TE na ugljen u EES Hrvatske, FRACTAL d.o.o., Split, studeni 1998.
- [2] A. Ćurković, R. Goić, M. Lovrić: Uklapanje nove termoelektrane 2x350 MW na ugljen u dnevni dijagram potrošnje EES Hrvatske, Međunarodno savjetovanje Energetika, ugljen, okoliš, Mošćenička Draga, svibanj 1998.
- [3] Programski sustav DPLAN - Upute za rad, Fractal d.o.o., Split, srpanj 1998.
- [4] R. Goić, M. Lovrić: Za unapređenje efikasnosti i racionalizaciju rada sustava, Vijesnik HEP-a, rujan 1998.

PITANJA ZA DISKUSIJU:

- Usporedba metodologija izrade mjesečnih i godišnjih elektroenergetskih bilanci
- Mogućnosti unapređenja procesa planiranja rada EES-a Hrvatske
- Mogućnosti proračuna sigurnosti rada EES-a Hrvatske na osnovu varijantnih proračuna pokrivanja dnevnog dijagrama potrošnje