

## PRORAČUN VARIJABILNIH TROŠKOVA TERMOELEKTRANA I SIGURNOST RADA EES-a

### ESTIMATION OF VARIABLE COSTS FOR THERMAL POWER PLANTS AND SECURITY OF POWER SYSTEM OPERATION

Marko Grbešić dipl.ing.el.  
JP „EP HZHB“ Mostar d.o.o.

Mostar-BiH

Dr.sc.Ranko Goić dipl.ing.el.  
FESB Split

Split-R.Hrvatska

**Sažetak:** Rad opisuje problematiku ekonomičnosti rada EES-a, odnosno dugoročnog planiranja, te sigurnost opskrbe potrošača u tržišnim uvjetima poslovanja, uz primjenu matematičkih metoda, te izvedbu proračuna uz pomoć odgovarajućeg računalnog programa.

**Ključne riječi:** Elektroenergetski sustav, varijabilni troškovi, konvolucija, LOLP, program

**Abstract:** This document describes the issues of cost effectiveness of power system operation, i.e. long term planning, as security of supply for consumers in the open market conditions, with the application of mathematical methods and design of calculation with the help of responsive software.

**Key words:** Power system, variable costs, convolution, LOLP, software

#### 1. UVOD

Problematika ekonomičnosti rada elektroenergetskog sustava (EES-a) i sigurnost opskrbe potrošača električnom energijom, uvek su aktualne teme, bez obzira na uvjete rada EES-a (organizacijske, tehničke, eksterne i sl.). Pri tome je posebno za istaknuti srednjoročno i dugoročno planiranje pogona/eksploatacije EES-a što uključuje određivanje potrebne i moguće proizvodnje pojedinih jedinica (elektrana), potreba za gorivom, potreba snage i energije

razmjene, promjenjivih troškova itd. Napredak u razvoju računalne tehnologije omogućava da se ovakvi proračuni brzo i efikasno izvode. Osim napretka u računalnoj industriji došlo je i do napretka u razvoju odgovarajućih matematičkog modela, što također omogućava bolje i efikasnije korištenje i primjenu ovih modela.

#### 2. TEORETSKE OSNOVE PROBABILISTIČKOG PRORAČUNA VARIJABILNIH TROŠKOVA RADA I SIGURNOSTI RADA EES-A

Probabilistički modeli za planiranje rada EES-a razvijeni su prvenstveno za potrebe proračuna troškova i sigurnosti rada EES-a, a koriste se u vrlo širokom dijapazonu, od operativnog srednjoročnog i dugoročnog planiranja rada EES-a, do planiranja razvoja i izgradnje novih elektrana. Iako su razvijeni u vremenu kad su elektroenergetski sustavi u cijelini upravljeni isključivo od strane jedne vertikalno organizirane elektroprivredne tvrtke koja je imala monopol nad proizvodnjom i prijenosom električne energije, vrlo bitnu primjenu su našli i u razvijenim tržišnim sustavom proizvodnje i opskrbe električnom energijom. To se prvenstveno odnosi na varijante organizacije tržišta električne energije u tzv. «pool» sistemu i to u varijanti kad se posebno naplaćuje angažirani kapacitet svih elektrana u sustavu, a osnova za formiranje cijene je sigurnost rada EES-a izražena preko vjerojatnosti neisporuke snage.

Probabilistički modeli za proračun varijabilnih troškova rada i sigurnosti EES-a prvenstveno su namijenjeni za čiste termo sustave, ali se u različitim varijantama mogu primijeniti i za mješovite hidro-termo sustave. Dva su osnovna pristupa probabilističkom modelu planiranja rada EES-a: analitički i pristup baziran na metodi Monte Carlo simulacije.

## 2.1. Konvolucija

Analitički pristup općenito je prihvacen i najviše korišten pristup stohastičkog modeliranja rada EES-a. Metode konvolucije, kao najčešće korištenog analitičkog pristupa stohastičke simulacije rada EES-ima osnovne ulazne parametre:

- Prepostavljena krivulja trajanja opterećenja za promatrani vremenski period. Krivulja trajanja opterećenja definirana je odgovarajućom kronološkom krivuljom opterećenja elektroenergetskog sustava koja prikazuje iznos ukupnog opterećenja u sustavu kronološkim redoslijedom (dnevni ili tjedni dijagram potrošnje).
- Snaga na pragu svake elektrane –  $P_{max}$  (MW)
- Faktor neraspoloživosti (engl. Forced outage rate – FOR) svake termoelektrane kojim je definirana vjerojatnost njena neplaniranog ispada.

$$FOR = \frac{\text{broj sati u kvaru}}{8760 - \text{broj sati u planiranom remontu}} \cdot 100 (\%) \quad (1)$$

- Specifični varijabilni troškovi rada termoelektrana, tj. specifični troškovi za gorivo (\$/MWh) koji određuju redoslijed angažiranja termoelektrana.

Traženu snagu i energiju koju definira krivulja trajanja opterećenja moraju zadovoljiti raspoložive elektrane. Ako se radi o elektroenergetskom sustavu u kojem dominiraju termoelektrane, redoslijed popunjavanja krivulje trajanja opterećenja određuje se na osnovu specifičnih troškova za gorivo, na način da jeftinije termoelektrane imaju prioritet, tj. površinu ispod krivulje s lijeva na desno popunjavaju redom termoelektrane poredane u rastućem nizu s obzirom na specifične troškove za gorivo (tzv. "merit order" princip). Moguće su i odredene iznimke u ovom pravilu, npr. za termoelektrane za koje se dugoročno ugovara dinamika potrošnje goriva, pa se njihov rad mora forsirati bez obzira na trenutnu ekonomičnost ili termoelektrane-toplane čiji je rad definiran potrebama toplinskog konzuma.

Ako bi termoelektrane bile uvijek 100% raspoložive, tj. ako se zanemare prinudni ispadi, situacija bi bila vrlo jednostavna, te bi se jednostavnim zbrajanjem snaga elektrana ustanovilo da li elektrane mogu pokriti vršno opterećenje, te prema gore navedenom principu popunila krivulja trajanja opterećenja, čime je definirana i proizvodnja svake elektrane. Budući da svaka elektrana može biti neraspoloživa sa faktorom neraspoloživosti  $q$  (koji odgovara prethodno

definiranom faktoru FOR, izraženom u jediničnim vrijednostima), proračun mora na određeni način uvažiti tu činjenicu. Faktorom  $q$  definiran je i faktor  $p$  koji definira raspoloživost elektrane i vrijedi  $p=1-q$ . Raspoloživost termoelektrane je dakle modelirana kao slučajna varijabla sa dvije diskretne moguće vrijednosti (0 odnosno 1), sa odgovarajućim vjerojatnostima ( $q$  odnosno  $p$ ). Funkcija gustoće vjerojatnosti raspololoživosti termoelektrane definirana je sa:

$$F_{TE}(x) = \begin{cases} q & \text{za } x = P_{max} \\ p & \text{za } x = 0 \end{cases} \quad (2)$$

odnosno

$$F_{TE}(x) = q \cdot \delta(x) + p \cdot \delta(x - P_{max}) \quad (3)$$

Odgovarajuća funkcija distribucije vjerojatnosti raspoloživosti termoelektrane je:

$$f_{TE}(x) = q \cdot u(x) + p \cdot u(x - P_{max}) \quad (4)$$

gdje su:

$\delta(x)$  – Diracova funkcija,

$u(x)$  – step funkcija

Gornji izraz je ekvivalentan izrazu za proizvodnju prve termoelektrane, samo što se umjesto originalne krivulje trajanja opterećenja  $F_0$  koristi ekvivalentna krivulja opterećenja  $EF_1$ , izvedena na osnovu mogućih stanja raspoloživosti prve termoelektrane. Grafički, krivulja  $EF_1$  predstavlja translaciju u desno originalne krivulje trajanja opterećenja  $F_0$ , i to ovisno o vjerojatnostiispada prve termoelektrane i njezine ukupne snage.

Analogno se, uvažavajući moguća stanja raspoloživosti prve i druge termoelektrane, dolazi do izraza za proizvodnju treće termoelektrane koja će se računati preko slijedeće ekvivalentne krivulje  $EF_2$ , izvedene iz  $EF_1$ :

$$W_3 = p_3 \cdot T \cdot \int_{P_{max\_2}}^{P_{max\_1} + P_{max\_2} + P_{max\_3}} EF_2(P) dP \quad (5)$$

$$EF_2(P) = p_2 \cdot EF_1(P) + q_2 \cdot EF_1(P - P_{max\_2}) \quad (6)$$

Općenito se, dakle, mogu definirati slijedeći rekurzivni izrazi za računanje i-te ekvivalentne krivulje trajanja opterećenja i proizvodnje i-te termoelektrane:

$$EF_i(P) = p_i \cdot EF_{i-1}(P) + q_i \cdot EF_{i-1}(P - P_{max\_i}) \quad (7)$$

$$W_i = p_i \cdot T \cdot \int_{\sum_{k=1}^{i-1} P_{max\_k}}^{\sum_{k=1}^i P_{max\_k}} EF_{i-1}(P) dP \quad (8)$$

Ukupna proizvodnja zadnje (n-te) termoelektrane, računa se preko ekvivalentne krivulje  $EF_{n-1}$ . Pod pretpostavkom postojanja još jedne fiktivne termoelektrane sa beskonačnom snagom i 100%-tom raspoloživošću, može se izračunati energija koja u stvari predstavlja manjak energije, odnosno energiju koje dane termoelektrane neće moći pokriti:

$$W_- = T \cdot \int_{\sum_{k=1}^n P_{max\_k}}^{\infty} EF_n(P) dP \quad (9)$$

Osim toga, vrijednost ekvivalentne krivulje  $EF_n$  u točki

$$P = \sum_{k=1}^n P_{\max\_k} \quad (10)$$

$$EF_n \left( P = \sum_{k=1}^n P_{\max\_k} \right) \quad (11)$$

predstavlja odgovarajuću vjerojatnost neisporuke snage (Loss of Load Probability - LOLP) u sistemu unutar promatranog vremenskog razdoblja T. Množeći tako dobivenu vjerojatnost s 365, dobiva se iznos vjerojatnosti nezadovoljenja potreba (Loss of Load Expectation – LOLE) izražen u jedinici dan/godina.

## 2.2. Dekonvolucija

Ako se za termoelektrane uzme u obzir ograničenje tehničkog minimuma, tj. da angažirane termoelektrane moraju raditi barem s minimalnom snagom koje odgovara tehničkom minimumu, opisani model se mora prilagoditi na način da se ekvivalentne krivulje trajanja opterećena prvo popunjavaju s tehničkim minimumima svih angažiranih termoelektrana, a nakon toga sa potrebnom snagom iznad tehničkog minimuma prema listi prioriteta. U tom slučaju potrebno je osigurati da se ne dogodi angažiranje varijabilnog dijela proizvodnje termoelektrane ukoliko konstantni dio (tehnički minimum) nije angažiran zbog neraspoloživosti. Dakle, prvi dio proračuna angažiranja termoelektrana (konstantni dio – tehnički minimum) izvodi se sa odgovarajućim snagama tehničkog minimuma ( $P_{T\min}$ ) umjesto sa maksimalnim snagama ( $P_{\max}$ ), a drugi dio preko varijabilnog dijela ( $P_{\text{var}} = P_{\max} - P_{T\min}$ ). Prije angažiranja varijabilnog dijela svake termoelektrane, potrebno je iz tekuće ekvivalentne krivulje trajanja opterećenja "oduzeti" dio koji se odnosi na prinudne ispade konstantnog dijela proizvodnje termoelektrane. Formira se privremena ekvivalentna krivulja trajanja opterećenja (dekonvolucija) pomoću rekursivne jednadžbe:

$$EF'_{i-1}(P) = \frac{EF_i(P) - q_i \cdot EF'_{i-1}(P - P_{T\min\_i})}{p_i} \quad (12)$$

Proizvodnja varijabilne energije i-te termoelektrane računa se preko privremene ekvivalentne krivulje trajanja opterećenja. Donja granica integracije je suma svih tehničkih minimuma uvećana za sumu varijabilnih snaga prethodno angažiranih termoelektrana:

$$W_i^{\text{var}} = p_i \cdot T \cdot \int_{\sum_{k=1}^n P_{T\min\_k} + \sum_{k=1}^{i-1} P_{\text{var}\_k}}^{\sum_{k=1}^n P_{\max\_k} + \sum_{k=1}^i P_{\text{var}\_k}} EF'_{i-1}(P) dP \quad (13)$$

Slijedeća ekvivalentna krivulja trajanja opterećenja računa se iz prethodno izračunate privremene krivulje, konvolucijom preko ukupne snage i-te termoelektrane (konstantni + varijabilni dio snage), budući da je u prethodno izračunatoj privremenoj krivulji uklonjen

utjecaj konstantnog dijela, nakon čega je izvršeno angažiranje varijabilnog dijela:

$$EF_i(P) = p_i \cdot EF'_{i-1}(P) + q_i \cdot EF'_{i-1}(P - P_{\max\_i}) \quad (14)$$

U proračun je moguće uključiti i prethodno navedenu djelomičnu raspoloživost termoelektrane, npr. na način da se ne ide sa maksimalnom snagom na pragu termoelektrane, već se ista umanjuje za iznos  $\Delta P_{\max}$  kojim je definirana djelomična raspoloživost.

## 2.3. Primjena

Opisana probabilistička metoda najpogodnija je za primjenu u čistim termo sustavima, dok se u mješovitim hidro-termo sustavima također može iskoristiti i to na dva osnovna načina:

- Kombiniranjem s nekom drugom metodom kojom će se odrediti proizvodnja hidroelektrana, tako da se opisani probabilistički model primjeni samo na termoelektrane, korištenjem osnovne krivulje trajanja opterećenja umanjene za izračunatu proizvodnju hidroelektrana.
- Uključivanjem hidroelektrana u opisani model, što se može izvesti na način da se prepostavljeni konstantni dio proizvodnje hidroelektrana računa na osnovu ekvivalentne krivulje trajanja opterećenja dobivene nakon proračuna konstantnog dijela proizvodnje angažiranih termoelektrana, dok se za varijabilni dio traži pozicija u ekvivalentnoj krivulji trajanja opterećenja koja odgovara varijabilnom dijelu proizvodnje hidroelektrana, prije angažiranja varijabilnog dijela proizvodnje termoelektrana.

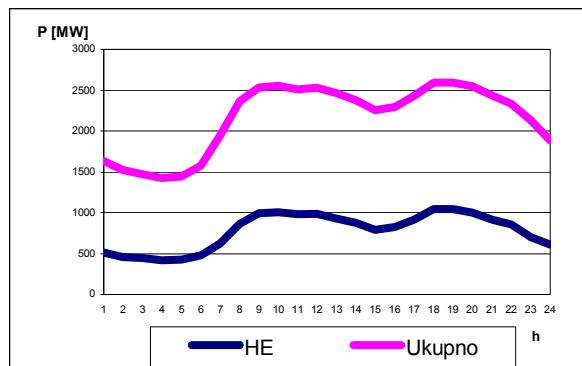
Razmjena električne energije također se može uključiti u model, na isti način kao i termoelektrane. U slučaju garantirana snage i energije iz uvoza, početna krivulja trajanja opterećenja se umanjuje za odgovarajući ugovoreni iznos, dok je u slučaju negarantirane razmjene potrebno prepostaviti odgovarajuću vjerojatnost realizacije koja odgovara vjerojatnosti angažiranja termoelektrana (p), a primjenjuje se isti postupak kao i za termoelektrane.

## 3. PROGRAM ZA PRORAČUN TROŠKOVA I SIGURNOSTI RADA EES-A

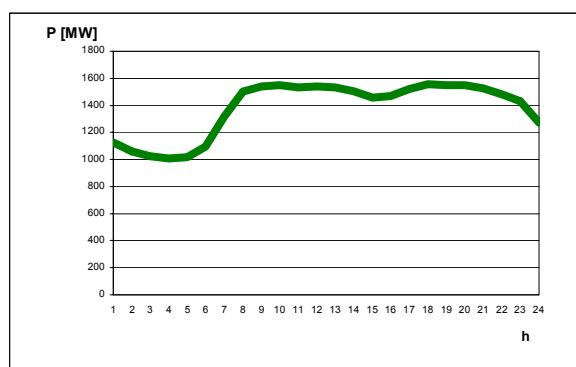
Složenost prethodno opisanog proračuna zahtjeva izradu odgovarajućeg računalnog programa koji će brzo i lako dati točne rezultate. Prema modelima opisanim u prethodnim poglavljima, napravljen je program za proračun troškova i sigurnosti rada EES-a koji se može primjeniti za mjesečno, srednjoročno, godišnje i višegodišnje planiranje rada EES-a. Program u svojoj prvoj varijanti vrši proračun samo za termoelektrane, tj. prepostavljeni su poznati ulazni podaci proizvodnje hidroelektrana za svaku promatranu hidrološku varijantu. Jasno, takav ulaz prepostavlja zaseban proračun proizvodnje hidroelektrana u nekom drugom

programu, što je rađeno u programskom paketu D-PLAN za dnevno planiranje rada EES-a, na osnovu kojeg su izračunati dnevni dijagrami proizvodnje hidroelektrana, i to u različitim varijantama ovisno o prepostavljenim hidrološkim okolnostima i načinom korištenja akumulacijskih bazena.. Program je sastavljen iz četiri međusobno povezane cjeline u kojima je jednostavno unijeti ulazne podatke (opterećenje, razmjeru, podatke o elektranama), te jednostavno odabirati jedan od mogućih načina i varijanti provedbe proračuna i cjeline u kojoj je moguće vidjeti tablični i grafički prikaz rezultata proračuna. Prikaz rada programa dat je kroz realan primjer rada EES-a Hrvatske kod srednjoročnog (mjesečnog) planiranja rada, prepostavljenom novom elektranom i bez uključivanja razmjene električne energije i sa linearizacijom krivulje trajanja opterećenja sa konstantnim korakom od 5 MW.

Podaci o mjesečnom opterećenju termoelektrana dobiveni su nakon oduzimanja mjesečnog dijagrama proizvodnje hidroelektrana, dobivenih u programskom paketu D-PLAN, od mjesečnog dijagrama potrošnje električne energije, za razne hidrološke varijante. Prepostavljeni su planirani dnevni dijagrami potrošnje za 2004. godinu, s ukupnom godišnjom potrošnjom od 15000 GWh. Na slikama 3.1 i 3.2 prikazan je način dobivanja, te sam dijagram planirane proizvodnje termoelektrana za jednu hidrološku varijantu i za jedan mjesec (siječanj).



Slika 3.1 Ukupna potrošnja i opterećenje termoelektrana



Slika 3.2 Dijagram proizvodnje TE

Ovaj postupak je potrebno ponoviti za sve hidrološke varijante, te sve mjeseca, a rezultati tog postupka prikazani su za mjesec siječanj i za sedam hidroloških varijanti u tablici 3.1.

Osnovni podaci o termoelektranama navedeni su u tablicama 3.2 i 3.3: u tablici 3.2 navedeni su podaci o termoelektranama sa zadanim režimom rada (fiksno prepostavljenom mjesečnom proizvodnjom), a u tablici 3.3 o ostalim termoelektranama hrvatskog EES-a (zajedno s prepostavljenom novom termoelektranom TE Plin)

Dio rezultata proračuna dan je u tablicama i slikama koje slijede, a odnose se na:

- izračunata vjerojatnost nezadovoljenja snage (LOLP) i teoretski manjak električne energije za svaku pojedinu hidrološku varijantu, te očekivana vrijednost tj. vagana aritmetička sredina s obzirom na vjerojatnost pojave pojedine varijante (tablica 3.4),
- očekivana mjesečna energetska i troškovna bilanca za sve termoelektrane, te sumarne vrijednosti (tablica 3.5),
- grafički prikaz popunjavanja efektivnih krivulja trajanja potrošnje za normalnu hidrologiju (slika 3.3),

grafički prikaz očekivane mjesečne energetske bilance (slika 3.4).

## ZAKLJUČAK

Programsko rješenje opisano u ovome radu, razvijeno na osnovu probabilističke metode, daje točne i zadovoljavajuće rezultate proračuna rada EES-a, te lakoćom uporabe i brzinom rada predstavlja dosta dobro podlogu prvenstveno za:

- dugoročno planiranje rada EES s naglaskom na izračun specifičnih troškova i proizvodnje snage termoelektrana,
- različite vrste energetsko-ekonomskih proračuna u perspektivnim studijama razvoja odnosno izgradnje novih elektrana.

Nedostatak ovakvog rješenja vidljiv je prilikom uporabe unutar mješovitih EES (primjer hrvatskog EES-a), gdje je nužna kooperacija sa drugim programskim paketima (npr. D-PLAN), prilikom izračuna proizvodnje i troškova rada hidroelektrana na osnovu odgovarajuće vrijednosti vode. Rješenje je dakako moguće i nadogradnjom oписанog programa, što bi predstavljalo cijelovito rješenje problema planiranja rada bilo kojeg EES-a, ali čime bi se zanemarila ograničenja rada elektrana na dnevnoj razini uvjetovana dnevnim dijogramima opterećenja i ostalim utjecajnim faktorima koji se gube u prebacivanju kronoloških dijagrama opterećenja u krivulje trajanja.

Tablica 3.1 Podaci o planiranoj proizvodnji termoelektrana za mjesec siječanj ovisno o hidrološkim varijantama (MW)

Sat	Varijanta [MW]							
	Ex.Vlažna	Vrlo Vlažna	Vlažna	Normalna	Suha	Vrlo Suha	Ex.Suha	
1	825	899	924	1128	1269	1358	1439	
2	782	877	882	1060	1193	1269	1336	
3	767	872	867	1024	1169	1238	1305	
4	760	870	860	1008	1142	1202	1263	
5	761	871	861	1018	1158	1223	1284	
6	799	888	903	1096	1229	1311	1388	
7	940	964	1102	1316	1421	1600	1633	
8	1023	1025	1238	1502	1525	1721	1724	
9	1042	1045	1288	1542	1545	1740	1743	
10	1047	1051	1299	1548	1551	1746	1749	
11	1032	1035	1273	1532	1535	1731	1733	
12	1042	1045	1283	1542	1545	1741	1743	
13	1031	1034	1262	1531	1534	1730	1732	
14	1024	1026	1239	1503	1526	1722	1725	
15	1010	1012	1206	1459	1508	1704	1711	
16	1011	1013	1212	1470	1514	1709	1712	
17	1025	1027	1250	1519	1527	1723	1726	
18	1053	1057	1310	1554	1557	1752	1755	
19	1048	1052	1305	1549	1552	1747	1750	
20	1048	1051	1294	1548	1551	1746	1749	
21	1031	1033	1256	1525	1533	1729	1732	
22	1013	1015	1218	1482	1515	1711	1714	
23	989	1009	1183	1431	1476	1671	1693	
24	929	948	1065	1274	1399	1553	1596	

Tablica 3.2 Podaci o termoelektranama unaprijed zadanim režimom rada

naziv	FOR	P max	P min	Cijena goriva	Sp. Potr. Topline	Ogr. Moć	Sp. Troškovi
jedinice	p.u.	MW	MW	\$/t, \$/10³m³	MJ/MWh	MJ/t	Usc/kWh
NE Krško	0,08	316	250	1	15	1	1,5
PTE-TO Zagreb	0,05	190	30	134	7200	33338	2,894
EL-TO Zagreb TA	0,05	32	3	139	8500	39774	2,971
TE-TO Zagreb	0,1	140	50	139	8900	39774	3,11
EL-TO Zagreb PT	0,05	90	3	134	8000	33338	3,216
TE-TO Osijek	0,1	42	23	139	9500	39774	3,32
PE-TE Osijek	0,1	47	2	134	14300	33338	5,748

Tablica 3.3 Podaci o termoelektranama sa slobodnim dispečiranjem

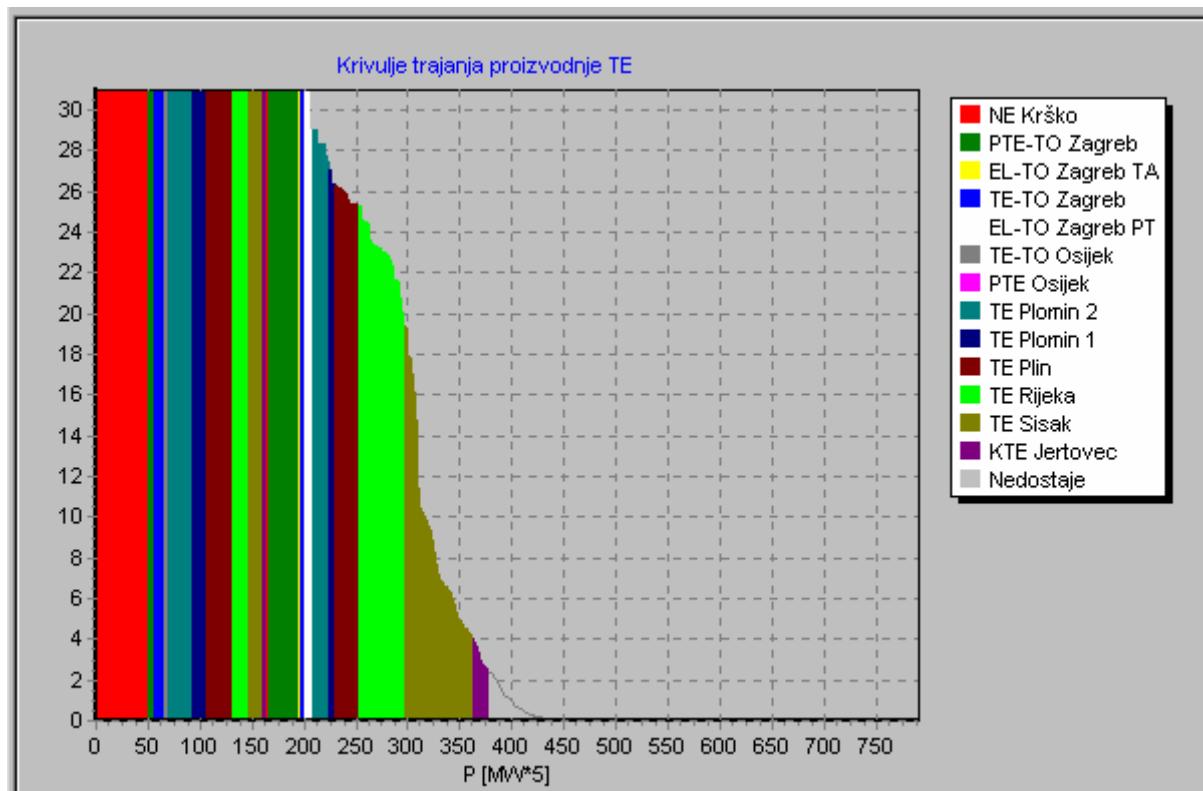
naziv	FOR	P max	P min	Cijena goriva	Sp. Potr. Topline	Ogr. Moć	Sp. Troškovi
jedinice	p.u.	MW	MW	\$/t, \$/10³m³	MJ/MWh	MJ/t	Usc/kWh
TE Plomin 2	0,12	190	115	42	9700	25500	1,598
TE Plomin 1	0,18	98	70	42	12400	25500	2,042
TE Plin	0,03	240	120	134	7200	33338	2,894
TE Rijeka	0,1	303	80	125	9800	39774	3,08
TE Sisak	0,1	396	70	139	10000	39774	3,495
KTE Jertovec	0,1	88	7	134	11000	33338	4,421

Tablica 3.4 Teoretski manjak električne energije i LOLP

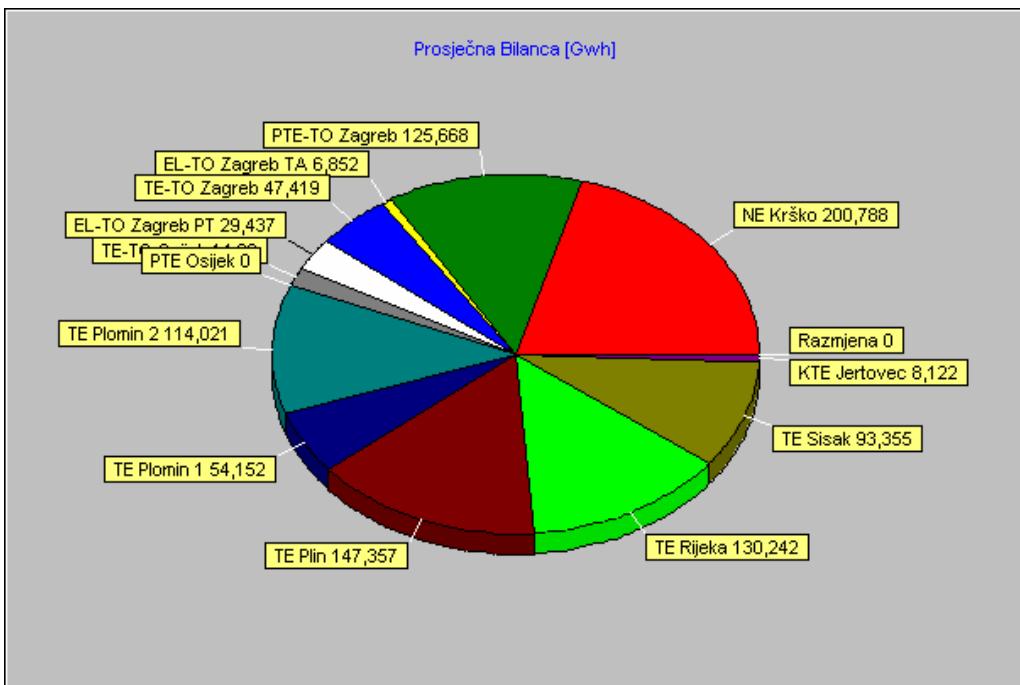
Varijanta	Nedostatak energije [GWh]	LoLP
Ex.Vlažna	0,05	0,0011
Vrlo Vlažna	0,06	0,0012
Vlažna	0,77	0,0102
Normalna	6,96	0,0807
Suha	8,13	0,0943
Vrlo Suha	29,85	0,2251
Ex.Suha	31,11	0,2337
Prosjek	8,42	0,0795

Tablica 3.5 Očekivana mjesecna bilanca

Elektrana	Proizvodnja [GWh]		Troškovi [1000\$]
NE Krško	200,8	...	3012
PTE-TO Zagreb	125,7	...	3637
EL-TO Zagreb TA	6,9	...	204
TE-TO Zagreb	47,4	...	1475
EL-TO Zagreb PT	29,4	...	947
TE-TO Osijek	14,9	...	494
PTE Osijek	0,0	...	0
TE Plomin 2	114,0	...	1822
TE Plomin 1	54,2	...	1106
TE Plin	147,4	...	4265
TE Rijeka	130,2	...	4011
TE Sisak	93,4	...	3263
KTE Jertovac	8,1	...	359
Ukupno TE	972,3	Ukupno TE	24593
Razmjena	0,0	Razmjena	0
Ukupno	972,3	Ukupno	24593
Nedostaje	8,4	Sp.Tr. TE	25,29
Lop	0,08	Uk.Sp.trosak	25,29
Lole	2		



Slika 3.3 Popunjavanje efektivnih krivulja trajanja potrošnje u „Normalnoj” hidrološkoj varijanti



Slika 3.4 Očekivana mjesecna bilanca

## LITERATURA

1. A.J. Wood, B.F. Wollenberg: Power Generation, Operation and Control, J. Wiley, 1984.
2. R.R. Booth: Power system simulation model based on probability analysis, IEEE TPAS, vol. PAS-91, Jan. 1972.
3. Boris Motik, Julijan Šribar: Demistificirani C++