

DIJAGNOSTIKA TEHNIČKIH POKAZATELJA ODRŽAVANJA TERMOELEKTRANE

Deo II – Određivanje pouzdanosti postrojenja u prvom približenju

Prof. dr Zdravko Milovanović¹
Prof. dr Vera Šijački-Žeravčić²
Mr Dušan Milanović³
Mr Gordana Bakić²

¹Mašinski fakultet, Univerziteta u Banja Luci, Vojvode Stepe Stepanovića 75, Banja Luka,

²Mašinski fakultet, Univerziteta u Beogradu, Kraljice Marije 16, Beograd

³Vectram, Kapetan Mišina 26, Beograd

Rad je podržan od Ministarstva
Nauke i Tehnologije Republike
Srpske, projektom br. 06/6-020/961-
56/08

REZIME

Pouzdanost i raspoloživost su osnovni tehnički pokazatelji kvaliteta eksploatacije u najširem smislu, a time i konkurentnosti termoenergetskog postrojenja u uslovima deregulisanog tržišta električnom energijom. Eksploataciona istorija kondenzacione termoelektrane koja sagoreva ugalj u prahu, na način pogodan za proračun pouzdanosti postrojenja je analizirana u ovom radu. Proračun pouzdanosti je izveden u prvom približenju, bez analize fizičkih uzroka promene pouzdanosti tokom radnog veka.

Ključne reči: termoenergetska postrojenja, pouzdanost, analiza eksploatacije

ABSTRACT

Reliability and availability are the basic technical indicators of service quality in the broadest sense, and therefore the concurrency of thermal power plants in the terms of deregulated electricity market. Service history of the condensation type thermal power plant with coal powder combustion was analysed in this article in the manner convenient for reliability calculations. Reliability calculations was made in first approximation without analysing physical causation of reliability exchanges.

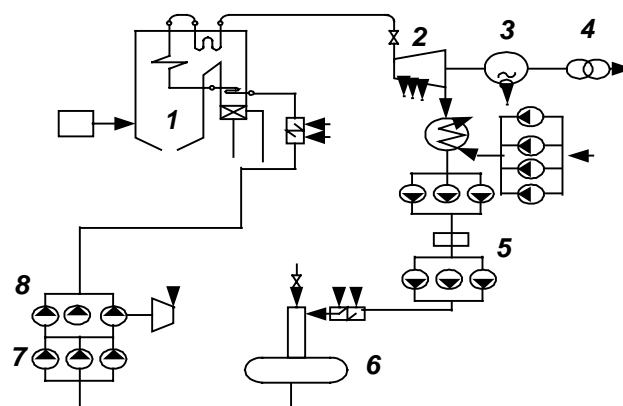
Key words: Fossil Fuel Power Plant, Reliability, Service Analysis

1. UVOD

Termoelektrana (TE) Ugljevik, instalisane snage 300 MW, je blokovskog tipa i kao gorivo koristi mrki ugalj iz PK "Bogutovo Selo" (godišnja potrošnja 1.800.000 t).

Šematski prikaz postrojenja koji je prilagođen proračunu pouzdanosti, u smislu da su prikazane samo komponente koje su otkazivale tokom rada, dat je na slici 1.

Zbog prekida proizvodnje usled više sile prosečna proizvodnja termoelektrane Ugljevik je znatno smanjena. Najveći nivo proizvodnje električne energije iznosi 1744,80 GWh, a najmanji 960,57 GWh. Kao što je istaknuto u I delu ovog rada, osnovni razlog tako lošeg rezultata jeste veliki broj otkaza u termoelektrani.



Slika 1. Šema kondenzacione termoelektrane
1. Kotao, 2. Turbina sa kondenzatorom, 3. Generator,
4. Transformator, 5. Kondenzacione pumpe,
6. Deaerator, 7. Buster pumpe, 8. Turbo i elektro napojne pumpe

2. ATRIBUTI SLOŽENOG SISTEMA TIPA TERMoeLEKTRANE SA ASPEKTA KONKURENTNOSTI

Pouzdanost postrojenja je pokazatelj koji ima dvostruki smisao jer određuje:

- *Sigurnost osoblja i okoline postrojenja.* Sva ispitivanja, remont i ostale aktivnosti održavanja usmerene su na održavanja pouzdanosti na sigurnom nivou. Sa ovog aspekta gledano, pouzdanost treba držati na maksimalnom nivou "po svaku cenu".
- *Tehnički aspekt konkurentnosti postrojenja.* U ovom smislu pouzdanost mora da se održava u optimalnim granicama sa aspekta konkurentnosti.

To podrazumeva optimizaciju aktivnosti koje se tiču održavanja pouzdanosti u zadatim okvirima.

Pouzdanost kao tehnički aspekt postrojenja podrazumeva kvalitativnu analizu postrojenja koja omogućava da se odredi njen uticaj na konkurentnost. Kvalitativna analiza polazi od atributa postrojenja kao složenog sistema na osnovu kojih se modelira pouzdanost postrojenja u eksploataciji.

U tabelama 1 i 2 navedeni su svi pokazatelji takve analize za termoelektanu – kvalitativni u tabeli 1 a kvantitativni atributi termoelektane u tabeli 2. Na osnovu ovih atributa matematički se modelira operativnost postrojenja u najširem smislu [2].

Tabela 1. Atributi postrojenja tipa termoelektane sa aspekta procene pouzdanosti u eksploataciji

Režim primene	Složen
Mogućnost uspostavljanja radne sposobnosti objekta posle otkaza	Moguće je uspostaviti
Mogućnost primene tehničkog održavanja	Moguće je primeniti
Karakteristika dohodovnosti u funkciji eksploatacione sposobnosti	Dohodovnost postoji pri eksploataciji bez otkaza tokom zadatog vremenskog perioda
Faktori za ocenu funkcionalnih posledica otkaza	Prinudni zastoj i finansijski gubici zbog remonta
Događaji koji definišu završetak eksploatacije	Dostizanje graničnog stanja
Mogućnost sprovođenja kontrole pre početka eksploatacije	Moguće je izvesti

Tabela 2. Nomenklatura pokazatelja pouzdanosti

$P(t_r)$	Verovatnoća eksploatacije bez otkaza za zadati vremenski period t_r	Eksploatacioni period u kome sistem neće doživeti otkaz sa unapred zadatom verovatnoćom γ izraženom u [%].
$P(t_c)$	Verovatnoća rada bez otkaza za period zadatog ciklusa	Ciklus eksploatacije u kome sistem neće doživeti otkaz sa unapred zadatom verovatnoćom γ izraženom u [%].
$t_{\gamma t.o}$	Gama-procentno vreme dovođenja u radnu sposobnost pri tehničkom održavanju (redovni remont)	Vreme tehničkog opsluživanja koje će se u praksi ostvariti sa unapred zadatom verovatnoćom γ izraženom u [%].
$T_{\gamma sl}$	Gama-procentni eksploatacioni resurs	Eksploatacioni period koji će biti dostignut bez otkaza, zadovoljavajući unapred zadatu verovatnoću γ izraženu u [%].
$t_{\gamma g.o}$	Gama-procentno vreme dovođenja u eksploatacionu sposobnost kada je sistem u režimu čekanja (rezerva)	Vreme dovođenja u eksploatacionu sposobnost kada je sistem u režimu čekanja, koje će se u praksi ostvariti sa unapred zadatom verovatnoćom γ izraženom u [%].
$K_{o.g}$	Koeficijent operativne spremnosti	
N_γ	Gama-procentna količina ciklusa eksploatacije bez otkaza	Količina ciklusa eksploatacije koji će biti dostignut bez otkaza, zadovoljavajući unapred zadatu verovatnoću γ izraženu u [%].

Povezivanje tehničkih, tabela 1 i poslovno-ekonomskih pokazatelja se izražava pomoću K_0 – kvali-

tativnog koeficijenta operativnosti postrojenja koji se određuje pomoću matematičkog izraza, jed. 1:

$$K_0 = \frac{\rho_1 P(t_p) P(T_{sl\gamma}) N_\gamma P(N_\gamma) P(t_{\gamma g.o}) \int_0^{T_{sl}} \exp(-\chi t) dt}{C + \int_0^{T_{sl}} Z(t) \exp(-\chi t) dt + \delta \sum_{i=1}^{T_{sl}} t_{i\gamma} \exp(-\chi t_i)} \quad (1)$$

gde su: ρ_1 – dohodak u jedinici vremena ili po ciklusu; $P(t_p)$ – verovatnoća rada bez otkaza postrojenja u vremenskom intervalu t_p ; $P(T_{sl\gamma})$ – verovatnoća dostizanja perioda eksploatacije $T_{sl\gamma}$ sa verovatnoćom γ , izraženom u procentima; $N_\gamma P(N_\gamma)$ – broj radnih ciklusa N_γ koji može biti dostignut sa verovatnoćom P i γ – verovatnoća dostizanja tog broja ciklusa (γ – broj eksploatacionih ciklusa izražen u %); $P(t_{\gamma g.o})$ – ako je postrojenje u rezervi, to je verovatnoća da će za period $t_{\gamma g.o}$ (treba obezbediti da ovaj interval bude dostignut sa verovatnoćom γ) objekat biti spreman da startuje iz rezerve; χ – koeficijent koji uzima u obzir diskontiranje; C – cene komponenata i materijala utrošenih tokom eksploatacije i održavanja; $Z(t)$ – troškovi.

Pomoću izraza (1) može da se modelira ponašanje postrojenja sa aspekta konkurentnosti, što znači da se i pokazatelji mogu optimizirati.

Iz navedenog izraza proizilazi da je pouzdanost osnovni tehnički pokazatelj konkurentnosti postrojenja, kao verovatnoća rada bez otkaza u zadanom vremenskom intervalu.

3. ODREĐIVANJE POUZDANOSTI SLOŽENOG SISTEMA TIPA TERMOELEKTRANE PO MODELU DRVETA DOGAĐAJA

Za potrebe procene pokazatelja pouzdanosti, toplotna šema postrojenja, slika 1, predstavljena je sa svim elementima povezanim na način koji oslikava uticaj na pouzdanost postrojenja u celosti (redne i paralelne veze).

Model drveta događaja (otkaza) predstavlja se u sledećem obliku, jed. 2, [3]:

$$(\omega T) = \sum_{i=1}^n \omega_i \text{MTTR}_i + \sum_{j=1}^m \prod_{i=1}^2 \omega_j \text{MTTR}_j + \sum_{y=1}^k \prod_{i=1}^3 \omega_y \text{MTTR}_y + \sum_{i=1}^l \prod_{i=1}^4 \omega_i \text{MTTR}_i \quad (2)$$

gde su: n – broj redno spregnutih elemenata; m, k, l – broj paralelno spregnutih elemenata sa jednostrukom, dvostrukom ili trostrukom rezervom; ω – učestalost otkaza; MTTR – vreme uspostavljanja radne sposobnosti; P – pouzdanost kao verovatnoća otkaza.

Otkaz predstavlja nepredviđeni događaj koji ima najveći uticaj na pad konkurentnosti postrojenja, sa tehno – ekonomskog aspekta poslovanja.

Verovatnoća pojave otkaza postrojenja definiše se kao zbir verovatnoća pojedinačnih otkaza komponenata na sledeći način, jed. 3:

$$P = \left(\frac{\omega \text{MTTR}}{8760} \right) = \sum_{i=1}^n P_i + \sum_{j=1}^m \prod_{i=1}^2 P_j + \sum_{y=1}^k \prod_{i=1}^3 P_y + \sum_{i=1}^l \prod_{i=1}^4 P_i \quad (3)$$

pri čemu je 8760 – teorijski maksimalan broj radnih sati godišnje.

Primenom izraza (2) na komponente toplotne šeme postrojenja sa slike 1, dobija se:

$$P = (P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + P_9 + P_{10} + P_{11} + P_{12} + P_{13} + P_{14} + P_{15} + P_{16} + P_{17} + P_{18} + P_{19} + P_{20}) + (P_{5.1}P_{5.2}P_{5.3}) + (P_{5.4}P_{5.5}P_{5.6}) + (P_{7.1}P_{7.2}P_{7.3}) + (P_{8.1}P_{8.2}P_{8.3}) + (P_{16.1}P_{16.2}P_{16.3}) + (P_{16.4}P_{16.5}P_{16.6}P_{16.7}) + (P_{17.1}P_{17.2}P_{17.3}P_{17.4}) \quad (4)$$

Sada može da se definiše koeficijent zastoja usled otkaza postrojenja (za razliku od ukupnog broja zastoja koji tretiraju planske i neplanske zastoje) na sledeći način, jed. 5:

$$q = \frac{P}{1 + P} \quad (5)$$

Analogno koeficijentu određenom jed. 5 definiše se i koeficijent spremnosti postrojenja (u smislu verovatnoće rada bez otkaza na određenom vremenskom intervalu) na sledeći način, jed. 6:

$$K_{\Gamma} = 1 - q = \frac{1}{1 + P} \quad (6)$$

Model drveta otkaza realizuje se za svaki složeni element postrojenja (npr. kotao ili turbina) pa potom i za postrojenje u celini. Na osnovu ovog modela mogu da se predstavje različita stanja stepena gotovosti postrojenja:

- u stanju otkaza bilo kog elementa,
- u stanju parcijalnog opterećenja kada sve komponente nisu radno sposobne ali se funkcija postrojenja može delimično da odvija,
- u stanju remonta, itd.

4. PRVO Približenje u određivanju pouzdanosti termoelektrane ugljevik na osnovu analize eksploatacione istorije

U prvom približenju, pouzdanost postrojenja prikazanim modelom (jed. 4) određuje se na bazi

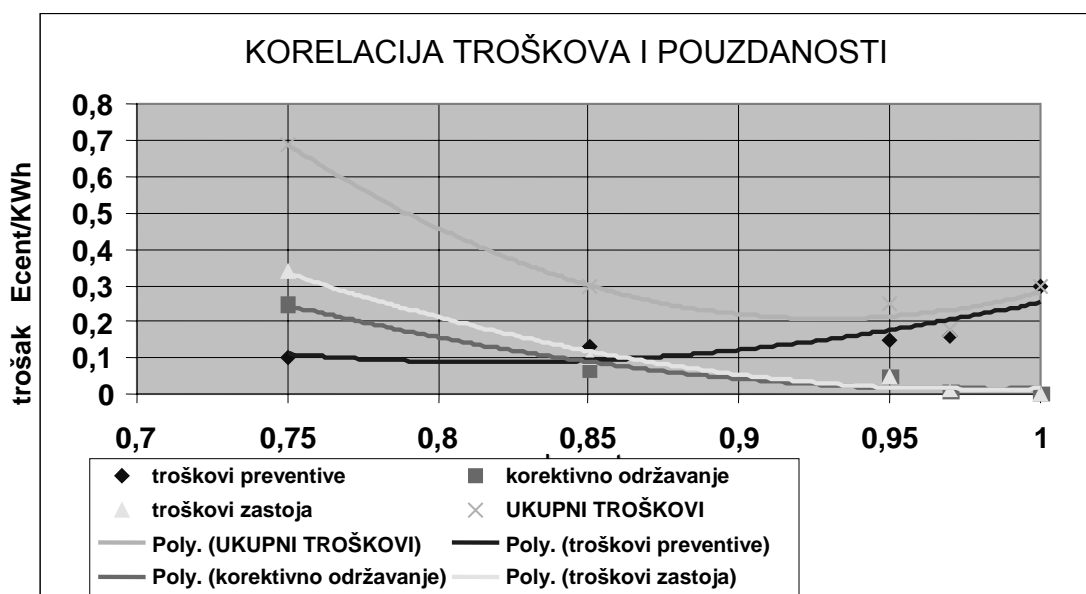
individualne procene pouzdanosti komponenata na osnovu parametara otkaza koje su prouzrokovale.

U tabeli 3 pokazani su parametri zastoja postrojenja usled otkaza postrojenja tokom ukupnog radnog veka [1] i rezultati proračuna pouzdanosti postrojenja na osnovu tih podataka.

Procenjena pouzdanost mora biti upoređena sa optimalnim novoom pouzdanosti koji je određen na opšte prihvaćen način i kao takav predstavlja »cilj« u smislu »najbolje prakse«. Na slici 2 pokazan je način određivanja optimalnog nivoa pouzdanosti termoelektrane. Uočava se da taj podatak ima tehno – ekonomsku dimenziju.

Navedeni dijagram se odnosi na termoelektranu koja samo u prvom približenju može da se poredi sa TE Ugljevik (kondenzaciona, na uglj koji sagoreva u prahu – ostali parametri su različiti npr. snaga, tip uglja, tehnološka rešenja kotla itd.) što je za ovaj nivo analize dovoljno. Sa slike 2 se uočava da je optimalan nivo pouzdanosti 0,95. Ovu vrednost treba porediti sa verovatnoćom rada bez otkaza postrojenja na zadatom vremenskom intervalu iz tabele 3.

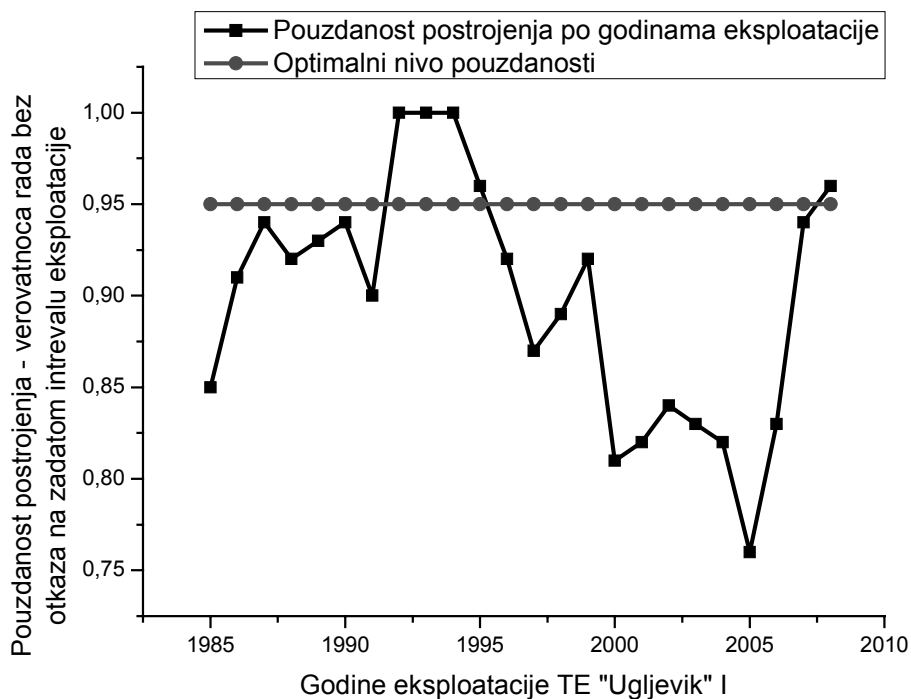
Na slici 3 su pokazani dijagrami realne pouzdanosti postrojenja tokom radnog veka i ciljne vrednosti.



Slika 2. Optimizacija odnosa pouzdanost postrojenja – troškovi eksploatacije i održavanja [4]

Tabela 3. Rezultati procene pouzdanosti postrojenja na osnovu jed. 4, šeme sa slike 1 (oznake verovatnoće otkaza elementa odnose se na poziciju elementa na toplotnoj šemi) i eksploatacione istorije postrojenja termoelektrane »Ugljevik« - od 1992. do 1995. godine elektrana nije radila

Godine eksploatacije	Kotao=Pucanje cevi+svi ostali uzročnici		Turbina=Turbina+Kondenzator		Generator=Generatori+svi ostali uzročnici		Napojne pumpe		Rezultati	
	Trajanje zastoja zbog kotla T1 [h]	Tkot P1=----- 8760 Verovatnoća otkaza	Zastoji zbog turbine T2 [h]	Tt P2=----- 8760 Verovatnoća otkaza	Zastoji zbog generatora, elektroopreme i pumpe T3 [h]	Tel P3=----- 8760 Verovatnoća otkaza	Zastoji zbog napojnih pumpe T8 [h]	Tnp P8=----- 8760 Verovatnoća otkaza	Verovatnoća otkaza na nivou postrojenja P	Verovatnoća rada BEZ otkaza na nivou postrojenja 1-P
1985	627	0.0716	0	0.0000	664	0.0758	0	0.0000	0.15	0.85
1986	759	0.0866	27	0.0031	41	0.0047	0	0.0000	0.09	0.91
1987	342	0.0390	0	0.0000	198	0.0226	0	0.0000	0.06	0.94
1988	443	0.0506	126	0.0144	130	0.0148	0	0.0000	0.08	0.92
1989	568	0.0648	0	0.0000	44	0.0050	0	0.0000	0.07	0.93
1990	480	0.0548	0	0.0000	13	0.0015	53	0.0061	0.06	0.94
1991	850	0.0970	0	0.0000	47	0.0054	3	0.0003	0.10	0.90
1995	161	0.0184	0	0.0000	166	0.0189	0	0.0000	0.04	0.96
1996	283	0.0323	67	0.0076	317	0.0362	0	0.0000	0.08	0.92
1997	406	0.0463	86	0.0098	626	0.0715	0	0.0000	0.13	0.87
1998	767	0.0876	0	0.0000	171	0.0195	0	0.0000	0.11	0.89
1999	443	0.0506	48	0.0055	173	0.0197	0	0.0000	0.08	0.92
2000	1393	0.1590	54	0.0062	237	0.0271	0	0.0000	0.19	0.81
2001	1389	0.1586	0	0.0000	213	0.0243	0	0.0000	0.18	0.82
2002	1275	0.1455	0	0.0000	112	0.0128	0	0.0000	0.16	0.84
2003	1075	0.1227	176	0.0201	280	0.0320	0	0.0000	0.17	0.83
2004	1165	0.1330	331	0.0378	66	0.0075	7	0.0008	0.18	0.82
2005	1026	0.1171	0	0.0000	1057	0.1207	0	0.0000	0.24	0.76
2006	1444	0.1648	0	0.0000	11	0.0013	0	0.0000	0.17	0.83
2007	456	0.0521	0	0.0000	28	0.0032	0	0.0000	0.06	0.94
2008	328	0.0374	0	0.0000	26	0.0030	0	0.0000	0.04	0.96



Slika 3. Poređenje izračunate pouzdanosti postrojenja po godinama eksploatacije sa optimalnom vrednošću, usvojenom na način pokazan na slici 2.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu izvršene analize, može se dijagnostikovati sledeće:

1. Trend pouzdanosti postrojenja, posle trenda naglog pada, 2006. godine je preokrenut. Optimalna vrednost pouzdanosti dostignuta je 2008. godine. Na ovaj način, podignut je osnovni tehnički pokazatelj koji utiče na konkurentnost i vrednost postrojenja uopšte.
2. U sledećem približenju, neophodno je tačno definisati fizičke uzroke otkaza, koji presudno utiču na pouzdanost postrojenja, da bi se definisao program ispitivanja i procedure kojim bi se pojednostavilo upravljanje pouzdanošću u budućnosti.
3. Podaci iz tabele 1 mogu biti korišćeni za poređenje sa postrojenjem koje je usvojeno kao "najbolja praksa" da bi se identifikovao potencijal za optimizaciju konkurentnosti postrojenja na osnovu čega se može krenuti u preinvesticionu studiju takvih aktivnosti.

LITERATURA

- [1] * * *, *Prethodna procjena preostalog životnog vijeka "Termoelektrane Ugljevik"*, Institut za građevinarstvo "IG" Banja Luka, PC Trebinje, Trebinje, 2009.
- [2] Ю. Ф. Буратаев, В. А. Острейковский, *Статистический анализ надежности объектов по ограниченной информации*, Энергоатомиздат, Москва 1995 г
- [3] Г.В. Ноздренко, В.Г. Томилов, В.В. Зыков, Ю.Л. Пугач, *Надежность ТЭС*, Новосибирск, Изд-во НГТУ, 1999.
- [4] Dragomir Marković, *Sistem održavanja termoelektrane orijentisan ka pouzdanosti*, Conference TENT B 2000, 23. 10.–27. 10. 2000, Obrenovac 2000g.