

Procjena pouzdanosti kondenzacionih termoelektrana

ZDRAVKO N. MILOVANOVIĆ, Univerzitet u Banjoj Luci,

Mašinski fakultet, Banja Luka, Bosna i Hercegovina

SVETLANA R. DUMONJIĆ-MILOVANOVIĆ, Partner inženjering,

Banja Luka, Bosna i Hercegovina

Stručni rad

UDC: 621.311.22:519.248

Razmatran je složeni sistem kondenzacione termoelektrane. Za dati sistem date su metode procjene pouzdanosti, kao i pokazatelji pouzdanosti. Izvršena je klasifikacija otkaza i oštećenja. Za pojedine pokazatelje pouzdanosti definisane su intervalne vrijednosti. One predstavljaju polaznu osnovu za davanje procjena pouzdanosti.

Ključne riječi: kondenzaciona termoelektrana (KO-TE), pouzdanost, parametri pouzdanosti, intervalna procjena

1. UVOD

Razvoj i korišćenje kondenzacionih termoelektrana (KO-TE) danas karakteriše velika složenost, bilo da se posmatra samo tehnološka šema ili pak ugrađena oprema. S druge strane, velike energetske objekte sa novim ili poboljšanim rješenjima moguće je graditi samo u slučaju kada imaju visok stepen sigurnosti i pouzdanosti i kada u potpunosti zadovoljavaju važeće ekološke kriterije. Svako narušavanje režima rada takvog postrojenja ili smanjenja njegove snage odražava se i na elektroenergetski sistem (povećanje rezervi proizvodnih kapaciteta u njemu, neravnomjernost u snabdjevanju potrošača električnom energijom i sl.). Metode procjene pouzdanosti uglavnom su zasnovane na rezultatima eksperimenata na bazi posmatranja parametara broja i/ili vremena otkaza na skupu komponenti sistema.

Da bi se odredila pouzdanost komponenti potrebno je obaviti dugotrajna i veoma skupa ispitivanja pod posebnim režimima rada na vrlo velikom broju uzoraka ili je neophodno prikupiti podatke iz eksploatacije. Pri tome, posebnu težinu ima izbor generalne matematičke metode, zbog različitih oblika krivulja koje kvantitativno definišu pouzdanost sa različitim funkcijama gustoće otkaza i velikom zavisnosti takvih krivulja od promjene režima rada komponenti i uslova okoline.

Adresa autora: Zdravko Milovanović, Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet, Banja Luka, Vojvode Stepe Stepanovića 71a

Rad primljen: 10.06.2014.

Rad prihvaćen: 21.10.2014.

Uvođenje aproksimativnih proračuna, radi prevazilaženja navedenih problema, daje uvid u osnovne karakteristike pouzdanosti posmatranog sistema u cjelini, ali i nedovoljno egzaktno krajnje parametre, usled čitavog niza većih ili manjih aproksimacija, kao i nemogućnosti uzimanja u obzir svih postojećih uticaja (razvoj novih tehnologija, specifičnosti novonastalih poremećaja i dr.). S druge strane, proračun pouzdanosti složenog sistema predstavlja samo prvu početnu fazu verifikacije kvantitativnih obilježja, odnosno samu formiranu hipotezu u koju imamo više ili manje povjerenja. Njihovo konačno prihvatanje ili odbijanje predstavlja verifikaciju pouzdanosti kroz kontrolu određenih kvantitativnih pokazatelja sistema za zadane tehničke uslove rada. Iz tih razloga se često za verifikaciju pouzdanosti u literaturi koriste i alternativni pojmovi, kao što su kontrola pouzdanosti ili testiranje hipoteze.

2. METODE PROCJENE POUZDANOSTI

Važan korak u okviru analize sigurnosti, a samim tim i pouzdanosti tehničkih sistema, predstavlja samo normiranje sigurnosti, odnosno formulisanje zahtjeva za sigurnošću sistema. Pri tome problem formiranja minimalno dovoljnog skupa pokazatelja, koji karakteriše razmatrano svojstvo konkretnog sistema, još uvijek nije u potpunosti riješen. U zavisnosti od razmatranog sistema, sigurnost, odnosno pouzdanost kao njena komponenta, predstavlja rezultat superpozicije drugih više "elementarnih svojstava", kao što su mehanička čvrstoća, stabilnost, vatrostalnost, elastičnost i dr. Postojanje potencijalnih izvora opasnosti i na taj način i gustine hipotetičkih havarija, može poslužiti kao univerzalna kvantitativna karakteristika sigurnosti,

odnosno pouzdanosti svih tehničkih sistema. Time se preko ovog pokazatelja omogućuje međusobno poređenje tehničkih pod sistema različite namjene i principa rada, tj. "mjerjenje" prema skali havarije različitih izvora opasnosti. Ovo predstavlja rizik, koji karakteriše učestanost pojave neželjenih događaja u jedinici vremena. U riječniku Evropske organizacije za kvalitet (EOQ), u sklopu termina koji se koriste za oblast opšteg upravljanja kvalitetom, rizik se definiše kao "zajednički faktor vjerovatnoće pojave neželjenog događaja i njihovih posledica", [1]. Do nedavno, osnovne metode analize pouzdanosti kao komponente šireg pojma sigurnosti, bile su zasnovane na konzervativnoj koncepciji "apsolutne sigurnosti", što nije adekvatno vjerovatnosnoj prirodi pojave otkaza i poremećaja eksploatacije, prouzrokovanih najčešće promjenom uslova eksploatacije.

S druge strane, radi izbjegavanja nastanka uobičajnih razlika između postavljenih zahtjeva za pouzdanošću i njihove zavisnosti od ispunjenja operativnih zahtjeva, posebnu pažnju treba posvetiti definisanju analitičkih izraza i numeričkih vrijednosti parametara pouzdanosti. Za realizaciju ovog zadatka neophodno je formirati odgovarajuću bazu podataka, vezanu ne samo za sistem kao cjelinu, nego i za komponente sistema, kao osnovnih karika u lancu pouzdanosti. Intenzitet otkaza neke od komponenti sistema zavise od mnogih faktora (mehaničko i termičko preopterećenje, uticaj okoline, uslovi eksploatacije, način popravke odnosno zamjene, uticaj ljudskog faktora i sl.).

Pri tome se procjena pouzdanosti, u zavisnosti od svrhe i faze životnog ciklusa termoelektrane, u principu realizuje na tri osnovna načina: procjena pouzdanosti na principu sličnosti opreme, na bazi njene tipizacije ili retrospektivne analogne informacije, uz korekciju za nove prognozne projektne uslove, zatim procjena pouzdanosti metodom nabiranja komponenti, ili tzv. "grubi" proračun pouzdanosti, uz formiranje odgovarajućih statističkih metoda i logičko-vjerovatnosnih modela, kao i ocjene pri nepotpunoj određenosti informacije i procjene pouzdanosti metodom analize naprezanja, ili tzv. "fini" proračun pouzdanosti (karakteristike mogućih odnosa radnih parametara i opterećenja), kao i procjena vjerovatnoće parametara izdržljivosti i mogućih odstupanja konstruktivnih elemenata, ekspertne korekcije karakteristika trajnosti i resursa detalja uz učešće štetnih uticaja.

Intenzivan razvoj vjerovatnosnih metoda analize sigurnosti rezultovali su formulisanjem skupa vjerovatnosnih metoda analize sigurnosti tehničkih sistema. Dalji napredak u poboljšanju procjene pouzdanosti, osim u prilagođavanjima klasičnih metoda specifičnima kompleksa termoelektrane, leži u potrebi skraćivanja vremena ispitivanja jednog ili više faktora kroz

izbor optimalnog plana skraćenih ispitivanja automatizacijom "on line" postupaka ocjene pouzdanosti i njeno optimiziranje na bazi izabranih kriterijuma (najčešće ekonomskog kriterijuma).

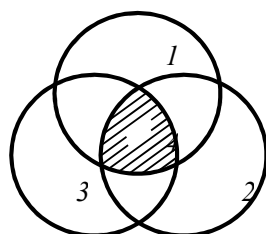
Takođe je potrebno, uzimajući u obzir samu strukturu tehnološkog sistema termoelektrane i karakteristike pouzdanosti pojedinih elemenata, dati mjeru važnosti i rangiranje po njoj elemenata sa aspekta racionalne raspodjele resursa pri povišenju same pouzdanosti svakog od njih. Kao rezultat rješavanja problema utvrđuje se lista kritičnosti krajnjih posledica (efekata) otkaza. Uslovi koje je neophodno posjedovati, da bi se do liste došlo, su: poznavanje uslova rada sistema termoelektrane, njegove strukture i posjedovanje baze podataka o otkazima elemenata. Postavljanje metodologije i kriterija na bazi kojih bi se određivale liste prioriteta za zamjene i rekonstrukcije pojedinih jedinica u okviru složenog tehničkog sistema TE, kao rezultat ima održavanja zadovoljavajuće sigurnosti pogona čitavog sistema TE u cjelini i smanjenja operativnih troškova rada EES, kao višeg hijerarhijskog sistema, [2].

"Slaba mjesta" u složenom sistemu termoelektrane značajno utiču na pouzdanost i sigurnost njihovog rada i nose sa sobom odgovarajuće rizike. Povećanje stepena sigurnosti i pouzdanosti bilo kojeg elementa u sistemu direktno se odražava na sistem kao cjelinu. Sve ovo zahtjeva da se pitanjima pouzdanosti i raspoloživosti pojedinih komponenti i samog sistema u cjelini mora posvetiti značajna pažnja. Polazeći od pretpostavke da se načini obezbjeđenja pouzdanosti na različitim etapama životnog vijeka mogu obezbijediti kroz uzimanje određenih oblika rezervi, uz uklanjanje svih ostalih suvišnih parametara, kako za osnovni, tako i za produženi radni vijek, kao najčešći njihovi predstavnici navode se: funkcionalni oblik rezerve, rezerva u opterećenju, vremenska rezerva, ocjena zavisnosti pouzdanosti postrojenja od usvojenih remontnih programa i sadržaja remonata i ocjena pouzdanosti, sigurnosti i trajnosti termoelektrane uz učešće tehnološkog i informacionog oblika rezerve.

3. POKAZATELJI POUZDANOSTI KO-TE

Pitanje pouzdanosti rada TEP je od posebnog interesa, s obzirom da se oko 70% ukupne proizvodnje električne energije realizuje na ovim postrojenjima. Kako nije moguće imati zalihu električne energije na skladištu, pri radu TEP u okviru EES neophodno je imati odgovarajuću rezervu instalisane snage, a svaka promjena zahtjeva potrošača za električnom energijom determiniše i proizvodnju električne energije u okviru EES, [3]. Rad bilo kakvog energetskog objekta strogo je definisan zakonskom legislativom, pravilima i instrukcijama, na bazi kojih se definišu uslovi rada i sigurnost njihove eksploatacije. Posebno bitni za rad

energetskih objekata su kvalitet, pouzdanost, bezbjednost, ekonomičnost i ekološkičnost. Pouzdanost kao vjerovatnoća realizacije zahtijevane funkcije cilja energetskog sistema (proizvodnja električne i toplotne energije i/ili tehnološke pare) u zadanom obimu i konkretnim uslovima eksploatacije, slika 1.



Legenda:

- 1- skup zadanih funkcija cilja;
- 2- skup zadatih uslova funkcionisanja;
- 3- skup vremenskih intervala;
- 4- skup podataka, koji karakterišu pouzdanost

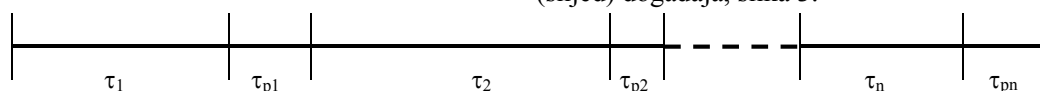
Slika 1 - Ilustracija pojma pouzdanosti energetskog sistema za proizvodnju električne i toplotne energije i/ili tehnološke pare

Energetski blok u okviru elektroenergetskog sistema radi sa odgovarajućom instalisanom snagom N (skup 1) po određenom grafiku opterećenja. Vjerovatnoća takvog režima rada u konkretnim uslovima je data sa P_N (skup 2) u vremenskom trajanju τ_{rad} (skup 3). Pouzdanost energetskog bloka određena je njegovom radnom sposobnošću za proizvodnju (skup 4) u obliku

$$E = N \cdot P_N \cdot \tau_{rad}, \quad (1)$$

a koja predstavlja stanje energetskog objekta pri kojem je on sposoban ispuniti svu ili dio zadane funkcije (rad sa smanjenom snagom ili proizvodnjom jednog oblika korisnog oblika energije) u zahtjevanom obimu.

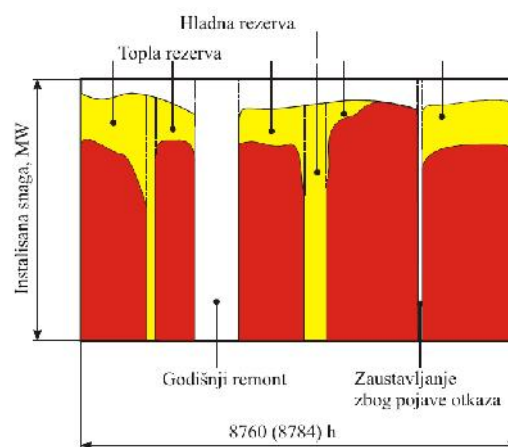
Gubitak radne sposobnosti predstavlja otkaz sistema. U procesu eksploatacije javljaju se slučajevi kada se dešava potpuno ili djelimično gubljenje funkcionalnih svojstava. Događaj koji ima kao rezultat obustavu rada energetskog sistema naziva se *otkaz*.



Slika 3 - Tok otkaza i njegovo otklanjanje s ciljem vraćanja radne sposobnosti ($\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ - vrijeme rada do otkaza (vrijeme od početka rada do pojave otkaza); $\tau_{p1}, \tau_{p2}, \dots, \tau_{pn}$ - vrijeme popravke)

Sigurnost funkcionisanja energetskog sistema i njegove prateće energetske opreme određena je brojem različitih (po svojoj prirodi) faktora, kao što su: konstrukcija, kvalitet korišćenih materijala,

Otkaz može biti potpun (havarijski prekid ili obustava rada) ili djelimičan (sniženje radne sposobnosti), slika 2.



Slika 2 - Prikaz rada energetskog postrojenja u okviru EES, [2]

Pri tome, otkazi koji nastaju mogu biti trenutni ili postepeni. Trenutni otkaz karakteriše najčešće lom i havarija pojedinih elemenata ili dijelova energetskog sistema, koji po svojoj funkciji automatski znače i potpunu njegovu obustavu rada, dok postepeni otkaz ima vremensku promjenu stanja jednog ili više elemenata postrojenja. Najčešće su to otkazi nastali slabljenjem materijala zbog rada u termički nepovoljnim uslovima ili nastali odnošenjem materijala i smanjenjem stjenki usljed korozije, erozije i abrazije.

Pored kriterijuma za ocjenu pokazatelja pouzdanosti, neophodno je definisati i osnovne i dopunske pokazatelje pouzdanosti. Izbor osnovnih i dopunskih pokazatelja pouzdanosti u direktnoj je vezi sa uslovima konkretnih zadataka, [1]. Razlikuju se pokazatelji pouzdanosti na etapi razrade i projektovanja postrojenja, pri rješavanju zadataka optimizacije elektroenergetskog sistema i njegovih komponenti, na etapi proizvodnje serijske energetske opreme i detalja, na etapi montiranja i puštanja u probni pogon, kao i na etapi eksploatacije. Otkaz i etape obnavljanja radne sposobnosti predstavljaju suprotne događaje koji čine tok (slijed) događaja, slika 3.

tehnologija izrade, kvalitet montaže, uslovi opsluživanja i eksploatacije, kvalitet pare i sl. Tok (slijed) događaja se može opisati pomoću nizova raspodjela slučajnih veličina, koji karakterišu vjerovatnoću

pojave tih događaja $P(k)$, gdje k predstavlja broj otkaza (slučajnih događaja). Tako, vjerovatnoća događaja X jednaka je

$$P(X) = \frac{m}{n}, \quad (2)$$

gdje je sa m dat broj slučajnih događaja, a sa n broj svih događaja.

Vjerovatnoća bezotkaznog rada za popravljene (novooobnovljene) do planiranog vremena rada T_0 određuje se kao

$$P(\tau) = e^{-\frac{\lambda}{\tau}}, \quad (3)$$

gdje je sa τ dat razmatrani interval vremena, a sa $\lambda = 1/T_0$ intenzitet otkaza, slika 4.

Parametar koji karakteriše učestanost otkaza za određeni period je parametar toka otkaza, a predstavlja gustine vjerovatnoće pojave otkaza objekta koji se popravljaju, odnosno srednji broj otkaza opreme koja se remontuje u jedinici vremena.

Pouzdanost postrojenja energetskog sistema prema njegovoj funkciji, odnosno odavanju mehaničkog rada preko spojnice generatoru i proizvodnja električne, kao i toplotne (i tehnološke) energije po unaprijed strogo definisanom režimu sa regulisanih i neregulisanih oduzimanja, može se okarakterisati odgovarajućim složenim pokazateljima, od kojih je najznačajniji tzv. koeficijent osiguranja produkcije (snage, energije).

U okviru tabele 1 dat je prikaz planiranog vremena rada do otkaza T_0 i vremena popravke T_{pop} za 200, 300 i 800 MW-tne energetske blokove i njihove

najvažnije elemente (kotlovsko i turbinsko postrojenje).

Kao posebni izvedeni slučajevi koeficijenta π , često se u literaturi sreću još i koeficijent tehničkog iskorištenja K_{ti} i koeficijent gotovosti K_g .

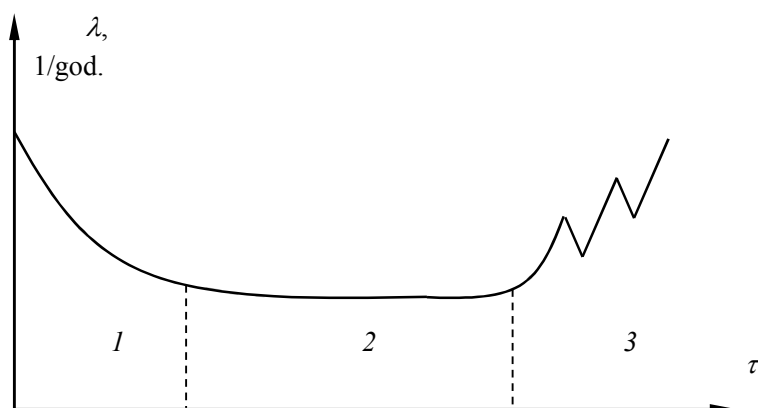
Koeficijent gotovosti K_g karakteriše vjerovatnoća stanja radne sposobnosti u proizvoljno izabranom trenutku vremena za element koga karakteriše alternativna stanja "rad (eksploatacija) - popravka (obnavljanje)", izračunat na bazi sljedeće jednačine

$$K_g = \frac{T_0}{T_0 + T_{pop}} = \frac{\mu}{\lambda + \mu}, \quad (4)$$

gdje su $\lambda = 1/T_0$ i $\mu = 1/T_{pop}$ odgovarajući intenziteti otkaza i popravke.

Tabela 1. Prikaz planskog vremena rada do otkaza T_0 i vremena popravke T_{pop} , h

Energetsko postrojenje	Planirano vrijeme rada do otkaza T_0 , h	Vrijeme popravke ili obnavljanja T_{pop} , h
Blok K-200-130 Kotlovski agregat	800-1000	45
	900-1100	55
Turbina	5000-6000	30
Blok K-300-240 Kotlovski agregat	800-1000	43
	300-500	60
	4000-5000	90
Turbina	4000-5000	90
Blok K-800-240 Kotlovski agregat	600-800	80
	900-1100	90
	3000-4000	60
Turbina	3000-4000	60



Legenda:

- 1- oblast učestalih otkaza (rani otkazi);
- 2- oblast normalne eksploatacije (slučajni otkazi);
- 3- oblast otkaza zbog starenja opreme (pozni ili kasni otkazi)

Slika 4 - Intenzitet otkaza u toku životnog vijeka elementa [1]

Učestalost otkaza elemenata ocjenjuje se brojem oštećenja koja su imala za posljedicu izlazak iz pogona u jedinici vremena i određuje se kao odnos broja elemenata sa otkazom za period $\Delta\tau$ prema ukupnom broju jednotipne opreme n , odnosno vrijedi

$$\omega = \frac{n_o}{n \cdot \Delta\tau} = \frac{8760(8784)}{T_0} = 8760(8784) \cdot \lambda \quad (5)$$

Vrijeme popravke elementa određuje se kao vrijeme remonta uvećano za vrijeme trajanja dijagnostike radi pronalazjenja defekta.

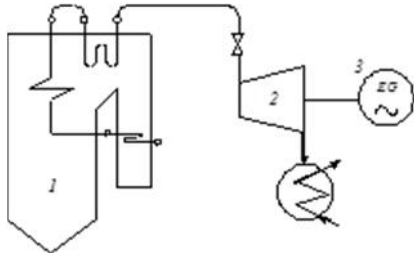
Koeficijent tehničkog iskorištenja predstavlja odnos očekivane vrijednosti vremena u toku koga je objekt bio u radnom stanju za neki period eksploatacije i očekivanih vrijednosti ukupnog vremena radnog stanja opreme parne turbine, tehničkog održavanja i vremena remonta. Treba istaći i činjenicu da koeficijent gotovosti predstavlja vjerovatnoću da će pojedina oprema i turbina u cjelini biti spremna za rad u bilo kom momentu, osim planiranih perioda za izvođenje planskih remonta i poslova vezanih za tehničko održavanje.

Elementi mogu u okviru energetskeg sistema biti povezani serijski ili paralelno ili pak kombinovano vezani serijski i paralelno. Kao primjer serijske veze daje se povezanost elemenata u okviru glavnog pogonskog objekta (GPO) termoenergetskog postrojenja (TEP), gdje otkaz bilo kog od tri elementa znači i otkaz sistema u cjelini, slika 5. Kod ove veze vrijede sljedeće jednačine:

$$\omega = \sum \omega_i; \quad (6)$$

$$t_{pop} = \frac{\sum_i \omega_i \cdot T_{pop,i}}{\sum_i \omega_i} \quad (7)$$

Paralelna povezanost elemenata karakteristična je za kotlovska postrojenja koja su povezana na zjednički kolektor, iz koga se svježom parom snabdijevaju turbinska postrojenja ili za postrojenja koja su rezervna u okviru višeg hijerarhijskog EES.



Slika 5 - Prikaz serijske povezanosti elemenata GPO na TEP (1-parni kotao; 2-parna turbina; 3-električni generator - EG)

Za količinsku ocjenu pouzdanosti u energetici koristi se veći broj kompleksnih pokazatelja, od kojih treba istaći faktor snage bloka, faktor iskorišćenja kapaciteta bloka, faktor eksploatacije, faktor zastoja i sl. Faktor snage bloka K_R se definiše kao količnik ostvarene i nominalne (računske) snage, a računa se po formuli $K_R = R_o/R_N$, gdje je R_o ostvarena srednja snaga u eksploataciji, a R_N računski nominalna snaga (za nove blokove faktor snage je 1, a za starije 0,95-0,98, gdje su dozvoljena odstupanja do 5%).

Faktor iskorištenja kapaciteta bloka K_{ik} , koji se određuje na osnovu proizvedene električne energije, a definiše se kao količnik između količina ostvarene proizvodnje električne energije i maksimalno teoretski moguće proizvodnje pri 100% iskorištenim kapacitetima postrojenja bloka termoelektrane, računa se po formuli $K_{ik} = E_o/E_m$, gdje je ostvarena proizvodnja električne energije bloka termoelektrane $E_o = R_o \cdot T_e$, odnosno $E_m = R_N \cdot T_k$ teoretski maksimalno moguća proizvodnja bloka termoelektrane. Pri tome vrijede sljedeće oznake: R_o - ostvarena srednja snaga u eksploataciji u MW, T_e - ostvareno vrijeme eksploatacije u h, R_N - računski nominalna snaga u MW i T_k - kalendarsko vrijeme u h.

Dalje, vrijedi:

$$K_{IK} = (R_o \cdot T_e) / (R_N \cdot T_k) \quad (8)$$

Kako je faktor snage $K_R = R_o/R_N$ i faktor eksploatacije $K_E = T_e/T_k$ dobija se faktor iskorištenja kapaciteta bloka:

$$K_{IK} = K_R \cdot K_E \quad (9)$$

Ovaj koeficijent se kreće u dijapazonu 0,40 do 0,80 zavisno od starosti bloka, njegovih performansi i pogonske spremnosti.

Faktor eksploatacije je jedan od pokazatelja vremenskog iskorišćenja bloka termoelektrane i može da se definiše na dva načina. Prvi način i najčešće korišćen u literaturi je definicija faktora eksploatacije bloka preko vremena eksploatacije – rada bloka na mreži (T_e) i kalendarskog vremena (T_k) za posmatrani period (mjesečni, godišnji i dr.), tj. vrijedi $K_E = T_e/T_k$. Za nove blokove faktor eksploatacije na godišnjem nivou je 0,8, dok kod starih blokova se kreće od 0,6 do 0,75. Na ovaj način određen koeficijent eksploatacije se koristi u analizama, pošto vrijeme remonata nije izuzeto iz kalendarskog vremena što je bitno u uporednim analizama. Drugi način određivanja koeficijenta eksploatacije na godišnjem nivou je preko vremena eksploatacije i razlike kalendarskog vremena i vremena određenog za godišnji remont tj. $K_E^1 = T_e/(T_k - T_r)$. Ovaj način računanja se više koristi na lokalnom nivou i pri izradi godišnjih planova. U većini termoelektrana trajanje remonata nije standardizovano pa za detaljne

analize drugi način određivanja nije pouzdan za ocjenu i upoređivanje kvaliteta rada termoelektrane.

Zastoji termoelektrane nastaju usled poremećaja tehnološkog procesa koji je posljedica nestacionarnih režima rada izazvani otkazima na postrojenjima i vitalnim dijelovima postrojenja. Otkazi koji uslove zastoj narušavaju bezbjedan i siguran rad postrojenja nemogućnošću održavanja tehnoloških parametara prema tehnološkim upustvima i tehničkim propisima eksploatacije. Neki otkazi, koji iziskuju hitne obustave bloka termoelektrane mogu da ugroze i bezbjednost osoblja u eksploataciji i održavanju. Zato postoje zaštite i blokade za trenutačna isključenja sa pojavom takvih slučajeva. Otkaze na postrojenjima i opremi bloka termoelektrane koji uslovljavaju obustavu i zastoje zbog sanacije možemo grupisati u dvije osnovne grupe: havarijske, zbog kojih automatski djeluju zaštite i isključuju blok i nehavarijske, zbog kojih se može i produžiti rad za neko izvesno vrijeme a neće doći do ugrožavanja tehničkih propisa eksploatacije i bezbjednosti i sigurnosti okoline. Zato i zastoje grupišemo u dvije osnovne grupe - neplanirani i planski zastoji. Neplanirani zastoji nastaju kao posljedica otkaza pri radu bloka koji su izazvani abrazijom materijala, starenjem i gubljenjem funkcionalnih osobina, toplotnim preopterećenjem, nepravilnom eksploatacijom i greškom pri održavanju, nepridržavanja tehničkih upustava i propisa, neadekvatnih remonata, pohanost, pogoršan kvalitet osnovnih goriva i sl. Kako su blokovi termoelektrana kompleksna cjelina i sastavljeni od velikog broja zavisnih tehnoloških cjelina i kompleksnih postrojenja, to su i mogućnosti za neplanirane zastoje veće a pogotovu ako se radi o blokovima starije izvedbe. Planski zastoji obuhvataju godišnje remonte i zastoje za njegu postrojenja. Analize kvaliteta eksploatacije i održavanja se mogu vršiti preko faktora zastoja termoelektrane. Faktori zastoja obuhvataju: faktor otkaza, faktor planskih zastoja (njege), faktor remonta i faktor potiskivanja sa mreže.

Faktor otkaza odnosno isključenja se definiše kao količnik vremenskog trajanja otklanjanja otkaza zbog koga je došlo do ispada ili isključenja bloka sa mreže odmah po njegovoj pojavi i kalendarskog vremena za posmatrani vremenski interval. Najčešće se računa na godišnjem nivou, a može i za drugi zahtijevani vremenski period eksploatacije termoelektrane. Računa se po formuli $K_{KV}=T_{KV}/T_K$, gdje je T_{KV} - vrijeme trajanja zastoja zbog otkaza u h, odnosno isključenja u posmatranom vremenskom intervalu. Faktički, to je vremenski period od

isključenja bloka sa mreže do ponovnog uključenja odnosno sinhronizacije na mrežu. Ukoliko ima više zastoja onda se ta vremena sabiraju zavisno od perioda za koji se analize rade tj. vrijedi

$$T_{KV} = T_{KV1} + T_{KV2} + \dots + T_{KVn}. \quad (10)$$

Vrijednost ovog faktora je u dijapazonu 0,1–0,15, računato na godišnjem nivou. Niže vrijednosti su za nove blokove a veće za stare blokove. Planski zastoji su uvedeni kao preventivne mjere u cilju postizanja veće pogonske spremnosti i smanjenja rizika, te sprečavanja havarijskih slučajeva u radu blokova termoelektrana. Važna je veličina pri planiranju investicija kod starih blokova ili razrešenju problematičnih slučajeva u eksploataciji koji ne ugrožavaju bezbjedan rad, a potrebno ih je anulirati u nekom vremenskom razdoblju.

Za planiranje planskih zastoja kod starih blokova, koji su pri kraju radnog vijeka, najčešće se koristi faktor planskih zastoja, čije vrijednosti su najčešće definisane na bazi praćenja eksploatacionih podataka termoelektrane i sličnih termoelektrana. Definiše se kao količnik vremenskog trajanja planskog zastoja i kalendarskog vremena za posmatrani vremenski interval. Računa se po formuli $K_{PZ}=T_{PZ}/T_K$, gdje je sa T_{PZ} dato vrijeme trajanja u h planskih zastoja u posmatranom vremenskom intervalu, a definisano je od isključenja sa mreže do ponovne sinhronizacije. Faktički, to je vremenski period za koji je otklonjen otkaz zbog koga je blok obustavljen ili izvršena planirana investicija na bloku termoelektrane ili zbir više takvih perioda ukoliko ih ima u toku godine. Najčešće se određuje na nivou godine i rijetko se primjenjuje u planiranju. Koristi se u posebnim slučajevima kod blokova starijih izvedbi i većih investicionih ulaganja, a pri kraju radnog vijeka termoelektrana.

Faktor remonata definiše tekuće i kapitalne godišnje remonte. Definiše se kao količnik vremena trajanja remonta i kalendarskog vremena na nivou godine. Računa se po formuli $K_R=T_R/T_K$, gdje je T_R vrijeme trajanja remonta u h, odnosno zastoj bloka za izvršenje planiranih remontnih radova, a definisano je od isključenja sa mreže do ponovne sinhronizacije. Faktor remonata se određuje na nivou godine i ima različite vrijednosti zavisno dali su blokovi termoelektrane starijih izvedbi, većih snaga i obima planiranih radova u remontu (da li su u pitanju tekući ili kapitalni godišnji remont). Vrijednosti ovog faktora za starije blokove se kreće od 0,08–0,16. Veće vrijednosti se odnose na kapitalne, a manje na tekuće remonte.

U praksi eksploatacije blokova termoelektrane se pojavljuju slučajevi kada se u mreži elektroenergetskog sistema zbog smanjene potrošnje ili iz nekih razloga povećane proizvodnje koja nije pokrivena potrošnjom. U tom slučaju dispečerska služba mora da održava sistem u ravnoteži i isključuje pojedine blokove iz pogona odnosno vrši potiskivanje bloka termoelektrane sa mreže. Ove pojave se najčešće javljaju kada su dotoci vode u hidroelektranama nekontrolisano veliki ili u slučajevima kada se neplanski smanji potrošnja, odnosno nema poznatog kupca električne energije. Ovi slučajevi su rijetki, ali se susreću u praksi. Ove pojave se definišu preko faktora potiskivanja i nisu planske veličine. Faktor potiskivanja se definiše kao količnik vremena trajanja potiskivanja i kalendarskog vremena. Određuje se na nivou godine po formuli $K_P = T_P / T_K$, gdje je T_P vrijeme trajanja potiskivanja u h, odnosno zastoj bloka od isključenja sa mreže do ponovne sinhronizacije, a T_K (h) – kalendarsko vrijeme na godišnjem nivou.

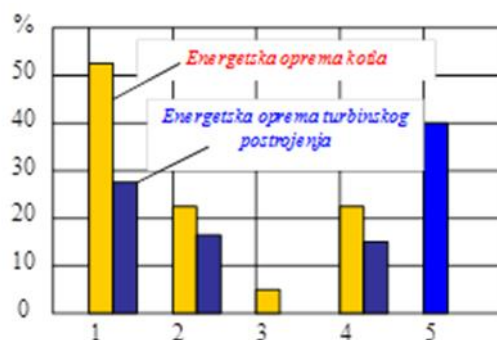
4. OTKAZI I OŠTEĆENJA PRI RADU KO-TE

Najčešća klasifikacija otkaza na TEP podrazumijeva njihovo grupisanje u otkaze nastale zbog nedostataka konstrukcije (nedostaci tehničke dokumentacije, greške u proračunima i matematskom modeliranju, pogrešno primijenjene metode proračuna i sl.) i niskog kvaliteta izrade, grešaka u eksploataciji (nepoštovanje režima rada EES, narušavanje proizvodnih uputstava i instrukcija, slučajne pogreške radnog osoblja), niskog kvaliteta montažnih radova i defekata remonata. Greške konstrukcije i montaže otkrivaju se u periodu do 30.000 h rada postrojenja.

Na slici 6 dat je prikaz raspodjele otkaza na TEP. Fizički i hemijski procesi u parnom kotlu tokom eksploatacije najsloženiji (parovodni trakt, dimni trakt, materijal iz koga su izrađeni pojedini elementi parnog kotla) i za rezultat imaju promjenu svojstava i karakteristika materijala. Proces sagorijevanja, razmjene toplote, korozije, stvaranja naslaga na površinama izmjenjivača toplote određuju u značajnoj mjeri pouzdanost kotlova.

Karakteristični otkazi kao posljedica grešaka u projektovanju na kotlovima javljaju se velike toplotne deformacije na površinama grijanja, nastale usljed velike brzine trošenja pepelom. Rasprostranjena su narušavanja karakteristika elastičnosti, lijevanja, uz termičku obradu toplotno otpornih dijelova od čelika, zavarenih dijelova i sl. Odstupanje stvarnih karakteristika uglja od proračunskih dovodi do odstupanja

od zadatih obima produkata sagorijevanja i temperature dimnih gasova na izlazu iz kotla, a kao posljedica je narušavanje rada konvektivnog dijela kotla, povećanje iznošenja pepela. Niska kvalitet pare i vode dovodi do naglog povećanja naslaga, uz rast temperatura čeličnih cijevi i njihovo pregrijavanje.



Slika. 6 - Raspodjela otkaza na TEP u cjelini (1 – greške tokom eksploatacije, 2 – defekti remonta, 3 – nizak kvalitet montaže, 4 – nedostaci konstrukcije i nizak kvalitet izrade, 5 – ostali (neobjašnjivi) razlozi)

Tabela 2. Raspodjela otkaza na parnom kotlu

Kapacitet kotla, t/h	Udio otkaza zbog oštećenja, %				
	EK	PI	PZ	MP	OE
2500-2650	40-45	18-21	24-28	6-10	1-5
1600-1800	3,7-4,3	8-11	35-40	45-50	0,5-1,0
950-1000	10-13	20-25	46-51	10-15	4-8
640-670	23-26	14-18	40-46	10-15	5-8
480-500	29-32	21-26	35-40	-	5-10
320-420	27-31	13-16	44-48	-	8-12
120-220	30-34	18-22	38-42	-	5-10

Oznake: EK - ekonomajzer; PI - površina isparivača; PZ - parni zagrijač; MP - međupregrijač pare; OE - ostali elementi kotla

U okviru tabele 2 dati su intervali za raspodjelu otkaza kotla, u zavisnosti od njihovog kapaciteta. Intenzitet otkaza energetske opreme postrojenja kotlova nije isti, tabela 3.

Cijevni ekrani tokom eksploatacije izloženi su dejstvu energije zračenja, koroziono aktivnoj sredini produkata sagorijevanja goriva, koji, na niskim brzinama cirkulacije i narušenja vodnog režima kotla, dovodi do njihovog oštećenja i pojave otkaza u radu kotla. Valja napomenuti da kvalitet vode i pare ima odlučujući utjecaj na oštećenja zagrijačkih površina parnog kotla.

Značajni uticaj na promjenu toplotnih deformacija ima neujednačeno polje temperatura po visini dimovoda, koju ima pregrijač pare (toplotno opterećenje gornjih i donjih dijelova zavojnica može se

razlikovati do 20%, a po širini kanala dimovoda i do 30%). Pregrijači pare oštećuju se i pri dužem radu pri temperaturama višim od 500 °C, pri čemu struktura metala trpi značajne promjene.

Na većini cjevovoda su oštećeni zavoji zbog koroziono-zamornih procesa, kao i zbog nedostatka kompenzacije predviđene za nesmetana toplotna širenja. Glavna oštećenja stop i regulacionih ventila su defekti u kućištima ventila i ventilima, narušavanje gustoće i sl. U poređenju sa kotlovima, otkazi pri radu turbina pojavljuju se znatno rjeđe.

Tabela 3. Udio otkaza energetske opreme kotlovske postrojenja

Oznaka dijela opreme	Udio otkaza, %
Zagrijačke površine	77-81
Pomoćna kotlovska oprema	2-5
Snabdijevanje gorivom	1-3
Armatura	3-6
Automatika	5-10
Ostali elementi kotla	2-4

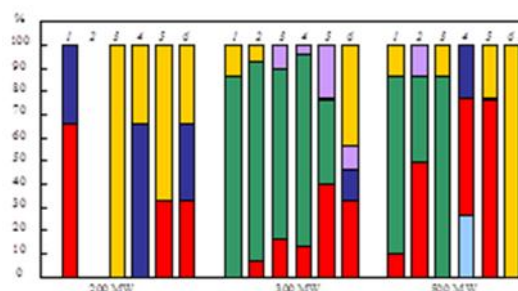
Međutim, fizički i hemijski procesi koji dovode do smanjenja nivoa pouzdanosti dijelova turbine, imaju mnogo toga zajedničkog s procesima koji se dešavaju na elementima kotlova (promjena svojstva metala pri dužem vijeku trajanja upotrebe, erozioni procesi i sl.). Havarijske situacije nastaju u slučaju loma lopatica, zatim otkaza u sistemu automatske kontrole, kao i oštećenja ležajeva (pojačane vibracije).

One su uzrokovane zbog nesavršenosti tehnologije puštanja u pogon, isključenja iz pogona i rasterećenja. Oštećene lopatice zbog djelovanja toka vlažne pare karakteristične su za zadnje stupnjeve dijela niskog pritiska turbine.

Oštećenje rotora najčešće je posljedica nedovoljne kvalitete izrade i narušavanja režima rada puštanja u pogon i isključenja iz pogona, koji mogu dovesti do pojave zaostalog progiba (otklona). Slika 7 pokazuje karakterističnu raspodjelu otkaza turbina.

Broj otkaza može se spriječiti primjenom organizacijskih i tehničkih mjera (osiguranjem rada posmatranog postrojenja samo na projektnom gorivu, izborom optimalnih režima rada, sprovođenjem mjera i aktivnosti na održavanju i sl.).

Ostali otkazi se mogu spriječiti samo pravovremenom zamjenom opreme ili pojedinih njegovih elemenata (preventivno održavanje). Pravovremeni remont visokog tehničkog nivoa uz učešće normativno-tehničke dokumentacije i dijagnostičkih metoda obezbjeđuju pouzdan dugotrajan rad opreme, tabela 4.



Slika 7 - Prikaz osnovnih uzroka otkaza na turbinskim postrojenjima snage 200 do 500 MW po godinama (1, ..., 6 – godine)

Legenda:

- – oštećenje sistema raspodjele i regulisanja pare,
- – oštećenja sistema podmazivanja,
- – otkazi zbog povećanih vibracija,
- – oštećenja armature,
- – defekti ležajeva,
- – oštećenja protočnog dijela turbine

Tabela 4. Orjentacioni pokazatelji pouzdanosti energetskih blokova po godinama nakon 200.000 h rada

Snaga bloka, MW	God.	ω , 1/god	T_r , h	Koefic. gotovosti, %
200	1	6-8	40-42	97-98
	2	4,5-5,0	30-32	98-99
	3	9-10	37-39	95-97
	4	6-7	36-38	97-98
	5	4,5-5,0	93-97	94-96
	6	12-15	80-84	88-89
300	1	4-4,4	15-17	99-99,5
	2	7-7,4	16-20	98-98,5
	3	6,5-7,0	26-30	97,5-98
	4	6,7-7,2	24-26	97-99
	5	8,5-9,2	50-55	94,5-95
	6	9,0-10,0	55-60	94,-94,5
500	1	16-17	41-43	92-93
	2	20-21	39-41	91-92
	3	26-27	45-47	87-89
	4	20-21	116-120	78-79
	5	18-19	78-80	85-86
	6	14-15	120-125	83-84

5. ZAKLJUČAK

Baza ulaznih podataka, pored osnovnih podataka o postrojenju, mora sadržati relevantne podatke o procesu dosadašnje eksploatacije i održavanja. Najvažnija osobina ovih podataka je istinitost, jer se njihovom kasnijom statističkom obradom dolazi do osnovnih pokazatelja na osnovu kojih se određuje dalja strategija za rad na ovom postrojenju. Da bi mogli pratiti funkcioniranje referentnog sistema i definisati njegove pokazatelje pouzdanosti, prate se i bilježe pogonski

dogadaji u EES u određenom vremenskom razdoblju (obično prethodni period rada).

Na bazi podataka iz eksploatacije izračunavaju se ukupna trajanja izvanpogonskih stanja jedinica, te na nivou čitavog posmatranog vremenskog perioda sljedeći osnovni podaci: broj ispada i zastoja, prosječna vremena trajanja zastoja, uzroci ispada i zastoja, neraspoloživost sastavnih jedinica i RiTE u cjelini, ukupna neisporučena električna energija. Statističkom obradom zabilježenih podataka izračunavaju se pokazatelji pouzdanosti posmatrane TE, kao i njenih pojedinačnih jedinica. Skup podataka nastalih bilježenjem pogonskih događaja te rezultate statističke obrade istih nazivamo "statistikom pogonskih događaja". Statistike pogonskih događaja služe i za poređenje sa ostalim analognim sistemima i ocjenu uspješnosti poslovanja kompanije koja upravlja TE, te za studije planiranja i probabilističke simulacije rada sistema u cjelini. Zastoje jedinica i komponenta TEP možemo smatrati

slučajnim događajima kojima se pridružuje određena vjerovatnoća.

LITERATURA

- [1] Papić, Lj., Milovanović, Z., Održavanje i pouzdanost tehničkih sistema, Biblioteka DQM monografije „Kvalitet i pouzdanost u praksi, Knjiga 3, Prijedor, 501 s, 2007.
- [2] Milovanović, Z., Monografije: "Energetska i procesna postrojenja" Tom 1: Termoenergetska postrojenja - Teoretske osnove, Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet Banja Luka, Banja Luka, 431 s, 2011.
- [3] Milovanović, Z., Monografije: "Energetska i procesna postrojenja" Tom 2: Termoenergetska postrojenja - Tehnološki sistemi, projektovanje i izgradnja, eksploatacija i održavanje, Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet Banja Luka, Banja Luka, 842 s, 2011.

SUMMARY

RELIABILITY ASSESSMENT OF CONDENSING THERMAL POWER PLANTS

Considered a complex system of condensing power plants. For a given system are provided methods for estimating reliability and data reliability. The classification of failure and damage. For some indicia of reliability are defined interval values. They represent basis for the estimates of reliability.

Key words: *condensing thermal power plant, reliability, reliability parameters, interval estimates*