

OPTIMIZACIJA MERA ODRŽAVANJA CEVNOG SISTEMA KOTLOVA SNAGE 600MW U CILJU PODIZANJA NJIHOVE RASPOLOŽIVOSTI

MAINTENANCE PROGRAM OPTIMIZATION FOR 600MW UNITS BOILER TUBING SYSTEM IN THE AIM OF RELIABILITY IMPROVEMENT

Predrag Šekeljić¹, Gordana Bakić²

¹ PD TENT – Centrala B, 11500 Obrenovac, Beograd,

² Mašinski fakultet, Beograd, Kraljice Marije 16



REZIME

Cevni sistem kotla predstavlja posebno kritično mesto sa aspekta održavanja termoenergetskih postrojenja, s obzirom da je broj zastoja izazvanih otkazom cevnog sistema značajan. Poboljšanjem sistema održavanja u pravcu razrade i definisanja obima kontrole u eksploataciji, moguće je optimizovati i na ispravan način definisati trajanje svakog remonta postrojenja, ali i smanjiti obim neophodnih ispitivanja uvođenjem periodičnih praćenja samo određenih delova opreme koji su se izdvojili kao kritični. U ovom radu su prikazane aktivnosti iz domena održavanja koje se sprovode na TE Nikola Tesla B sa ciljem podizanja raspoloživosti postrojenja a najvećim delom zasnovane na oceni trenutnog i predviđanju daljeg tehničkog stanja opreme.

Ključne reči: Termoelektrane na fosilna goriva, unapređenje održavanja

ABSTRACT

Boiler tubing system presents particularly critical system having in mind power plant maintenance due to pronounced number of boiler tubes failure provoked forced outages. Maintenance improvement programs should provide exact size of operational control, defined outage duration and reduced number of inspection by implementation of periodical investigation of particularly critical components. The aim of this paper is to present current state of the art in domain of Nikola Tesla B thermal power plant maintenance program practice which is mainly directed to plant reliability and based on estimation of current and future technical state of equipment.

Key words: Fossil fuel power plant, maintenance program improvement

UVOD

Otkazi cevnog sistema kotla termoenergetskih postrojenja predstavljaju značajan parametar u definisanju pouzdanosti, raspoloživosti i ekonomičnosti rada postrojenja. Kao ilustrativni podatak mogu se navesti rezultati istraživanja koje je sproveo North American Electric Reliability Council koji su pokazali da se otkazima cevnog sistema kotla prouzrokuje prosečan pad raspoloživosti postrojenja od preko 6% [1]. Ako se ima na umu činjenica da otkazi cevnog sistema kotla predstavljaju primarni uzrok zastoja termoenergetskih postrojenja, da više od 80% takvih otkaza rezultuje neplaniranim zastojima i da

prosečan zastoj traje tri dana i izaziva troškove od reda veličine 350.000 EUR [2], jasno je da se u sistem održavanja moraju uvrstiti saznanja o uzrocima tih otkaza da bi se sprovele odgovarajuće mere za njihovo sprečavanje.

1. Istorijat i statistika rada blokova TENT-B

Javno preduzeće “Termoelektrane Nikola Tesla” Obrenovac sa 14 blokova ukupne instalisane snage 3.288MW, čini trećinu proizvodnog kapaciteta EPSa [3]. Svojom snagom, i još više, proizvodnim rezultatima, koji dosežu i do polovine ukupne godišnje

proizvodnje električne energije u Srbiji, ono je steklo atribut energetskog jezgra naše zemlje i predstavlja jedan od najsigurnijih oslonaca srpske elektroenergetike.

Dva bloka TE "Nikola Tesla B", izgrađena 50 km uzvodno od Beograda, na obali Save, pojedinačne snage 620 MW, najveće su termoenergetske jedinice na Balkanu, pa i u Evropi na niskokalorični lignit. U pogonu su od 1983. odnosno 1985. godine i vlasnici su gotovo svih srpskih rekorda u pogledu proizvodnje, dužine neprekidnog rada, satnog iskorišćenja i osnovnih pokazatelja efikasnosti i ekonomičnosti eksploatacije:

- Najduži rad na mreži godišnje – 8.404 h, blok B1, 1990. godine.
- Najduži neprekidan rad – 206 dana, blok B1, od 15. 10. 2001. do 23. 04. 2002. godine.
- Učešće u ukupnoj proizvodnji termoenergetskih postrojenja u okviru EPSa u periodu od 1983. do 2002. godine od $\approx 25\%$.
- Učešće u ukupnoj proizvodnji EPSa u periodu od 1983. do 2002. godine od $\approx 15\%$.
- Za 22 godine rada 620-megavatni blokovi na TENT-B su u proseku uvek radili sa oko 6.500h sati pune snage na mreži godišnje i ostvarili sledeće rezultate:
 - ❖ Blok B1 je ostvario preko 150.000 h na mreži, sa godišnjim prosekom od preko 7.300 h rada.
 - ❖ Blok B2 je ostvario oko 140.000 h na mreži, sa godišnjim prosekom od preko 7.100 h rada.

Tehničke karakteristike bloka 620MW. Kotao je toranjskog tipa sa prinudnom cirkulacijom, nominalne snage od 620MW [4]. Normalno radno područje leži između 30 i 100% opterećenja. Kotlovsko postrojenje je zaptiveno u odnosu na dimne gasove membranskim zidom, i elastično je ovešen o noseću konstrukciju kotla i koja se može slobodno izduživati na dole.

Napojna voda protiče kroz zagrejač vode sa suprotno strujnim tokom u odnosu na dimne gasove i dovodi se u isparivač spušnim cevima. Isparivač je izveden kao membranski zid i do 72 metra se sastoji od spiralno zavijenih paralelnim cevi (\varnothing 38 mm i korakom 60 mm), odakle sledi prelaz u jedan vertikalni snop sa cevima prečnika 33,7 mm i korakom 66,7 mm. Iznad 83.5 m prelazi se na cevi \varnothing 38 mm i

korak 100 mm. Nakon toga mešavina vode i pare protiče kroz noseće cevi grejnih površina i dospeva do četiri ciklonska separatora. Odvodne cevi iz četiri separatora ulivaju se u donji deo boce (flaše) odakle se odvojena voda odvodi ka startnom ekspanderu ili glavnom kondenzatoru turbine. U normalnom protočnom radu je predviđen rad sa suvom bocom (voda se u njima pojavljuje samo prilikom starta i zaustavljanja kotla ili prilikom pojave smetnji u radu). Nakon separatora struja pare se deli na četiri grane, koje se u struji dimnog gasa više puta ukrštaju radi izjednačenja temperature pare. Za regulaciju temperature na strani pare visokog pritiska predviđena su 3 ubrizgavanja: između Pregrejača 1 i 2, između Pregrejača 2 i 3 i između Pregrejača 3 i 4. Pre ubrizgavanja 2 postavljen je još jedan izmenjivač toplote – bifluks, koji može da preda toplotu međupregrejaču i koji je sa parne strane visokog pritiska uvek protočan. Od pregrejača VP se kroz 4 izlaza para odvodi ka turbini ili preko redukcione stanice VP ka međupregrejaču. Međupregrejači se snabdevaju parom preko redukcione stanice VP ili u toku rada preko turbine VP. Struja međupregrejana pare je kao i strana VP, podeljena na 4 grane ukrštene u struji dimnog gasa. Sva tri stepena međupregrevanja predstavljaju suprotnosmerne izmenjivače toplote u odnosu na struju dimnih gasova, a protok pare je MP1 - Bifluks - MP2 - MP3. Međupregrejana para dospeva do dela srednjeg pritiska turbine ili pri startu do kondenzatora preko by-pass stanice NP.

Statistika ispada blokova. Zaključno sa 2004.godinom broj zastoja je bio za blok B1 ≈ 450 (prosečno 20 godišnje), a blok B2 ≈ 350 (prosečno 17 godišnje). Zastoji zbog defekata cevnog sistema bloka čine za blok B1 $\approx 22\%$ (oko 100 ispada), a bloka B2 $\approx 20\%$ (oko 70 ispada) zastoja u ukupnom broju zastoja. Prosečno trajanje zastoja bloka, prouzrokovano havarijom na cevnom sistemu je ≈ 40 h, što za 620MW blok daje samo u neproizvedenoj struji gubitak od $\approx 25.000.000$ KWh po ispadi. Ovaj problem je posebno izražen u zimskim mesecima kada naš elektroenergetski sistem radi na gornjoj granici mogućnosti. Tada se javljaju paradoksalne situacije u kojima se iz razloga očuvanja elektroenergetskog sistema blok ostavlja u radu i pored havarijskog stanja čime se sem bezbednosti i obim havarije drastično povećava u odnosu na stanje u trenutku uočavanja propuštanja pare. To kao prvu posledicu ima drastično povećanje potrebnog vremena za sanaciju (i do 3 puta) i vremena koje blok provodi van, a takođe i smanjenje preostalog veka

rada cevnog sistema kotla ili njenog dela do neophodne zamene.

2. Mehanizmi oštećivanja elemenata cevnog sistema kotla

Većina otkaza su događaji koji se ponavljaju na istim lokacijama, istim ugrađenim materijalima i istim zonama grejnih površina. Ukoliko se jasno ne utvrdi njihov uzrok, što je najčešći slučaj u praksi, nije moguće ni sprovesti odgovarajuće mere u cilju njihovog trajnog otklanjanja. Detaljnijim ispitivanjima i analizama moguće je utvrditi mehanizam oštećivanja koji izaziva otkaz (on nije uvek lako prepoznatljiv) i izbeći ponavljanje otkaza s obzirom da su mehanizmi oštećivanja koji mogu da nastupe na cevnom sistemu uglavnom poznati. U literaturi ne postoji jedinstvena podela mehanizama oštećivanja [5, 6], iako sve postojeće podele obuhvataju iste mehanizme. Razlog za to je multidisciplinarnost istraživanja mehanizama koja omogućuje različitim profilima stručnjaka da sa svog aspekta izvrše podelu (npr. sa metalurškog, mašinskog, elektrohemijskog...). Jedna od klasifikacija mogućih mehanizama oštećivanja, prikazana je u tabeli 1 [1].

Tabela 1: Mehanizmi oštećivanja cevnog sistema kotla

Mehanizam oštećivanja	Podkategorija
Naponski – statički napon	<ul style="list-style-type: none"> o kratkotrajno pregrevanje o puzanje o zavareni spoj raznorodnih materijala
Zamor – dinamički napon	<ul style="list-style-type: none"> o vibracioni zamor o termički zamor o korozioni zamor
Korozija sa unutrašnje strane	<ul style="list-style-type: none"> o korozija izazvana poremećajem u pH vrednosti o korozija pod naslagama o lokalizovana korozija (pitting) o vodonična oštećenja o naponska korozija
Korozija sa spoljašnje strane	<ul style="list-style-type: none"> o niskotemperaturska korozija o visokotemperaturska korozija o korozija izazvana pepelom
Abrazija/erozija	<ul style="list-style-type: none"> o abrazija letećim pepelom o abrazija česticama uglja o abrazija šljakom o erozija sa unutrašnje strane cevi
Neodgovarajući kvalitet	<ul style="list-style-type: none"> o greške u materijalu o greške u hemijskom čišćenju o greške u zavarenim spojevima o mehanička oštećenja

3. Mehanizmi oštećivanja elemenata cevnog sistema kotla TENT-B.

Na cevnom sistemu kotlova blokova TENT-B utvrđeno je delovanje više mehanizama oštećivanja koji se mogu podeliti na one koji deluju sa spoljašnje strane cevi, izazvana strujanjem dimnih gasova i ona koji deluju sa unutrašnje strane cevi. Ovakva podela je vrlo pogodna, s obzirom na specifičnosti ovog cevnog sistema na kome nije utvrđen veliki broj mehanizama oštećivanja.

Kao dominantni mehanizmi oštećivanja izazvani dejstvom dimnih gasova mogu se izdvojiti:

- Abrazija nastala kao posledica povećanja brzine struje dimnih gasova. Abrazija dimnim gasovima je posledica povećanog sadržaja kvarca u uglju (a samim tim i u pepelu) a njoj doprinose promene koraka u određenim grejnim površinama, posebno izražene kod zagrejača vode ili u oblastima uz ili na samim zidovima kotla. Ova pojava je izražena i u levkastom delu isparivača zbog smanjenja poprečnog preseka kotla. Kao posledica delovanja abrazije javlja se smanjivanje debljine zidova elemenata cevnog sistema, što je bio razlog odluke o zameni zagrejača vode kotla bloka B1.
- Hemijsko – mehaničko zašljakivanje grejnih površina iznad samog ložišta. Dodatni problem predstavlja stvaranje kompaktnih naslaga velike debljine i kohezivne čvrstoće (šljaka koja se teško uklanja), u čijem sastavu je i značajan udeo produkata habanja u mlinovima. Njihovim prisustvom otežan je prenos toplote što za posledicu daje smanjenje stepena korisnosti bloka, mehanički se oštećuju spoljašnje površine zida cevi, a kao posledica pothlađenja cevi omogućuje se delovanje korozije sa unutrašnje strane. Dodatni problem predstavljaju veliki troškovi i rizici za uklanjanje ovih naslaga (svakih otprilike 5 godina).
- Mehanička oštećenja na cevnom sistemu uzrokovana naglim ispadima bloka i poremećajima u radu mogu se razmatrati kao posebna kategorija oštećenja. Nagli ispadi kao posledicu često imaju pucanja cevi u najugroženijim zonama kotla, posebno u zonama u kojima delovi cevnog sistema imaju niža mehanička svojstva, izložena su vremenskim oštećenjima ili nepovoljnom naponskom stanju usled lošijih konstruktivnih rešenja ili pogrešne tehnologije

montaže. Posledice naglih ispada su i otpadanje antiabrazivnih zaštita, ispadanje cevni zmiya iz češljeva (dolazi do oštećenja i susednih redova cevi) i pucanje membranskog zida koje ponekad rezultuje i propagacijom prsline iz zaptivnog lima na cevi isparivača. Oštećivanjem membranskog zida osim nezaptivenosti kotla za posledicu ima i stvarnja naslaga pepela u kotlarnici i komornom prostoru.

- Korozija sa spoljašnje strane ima zanemarljive efekte na integritet cevnog sistema TENT B.

Kada su u pitanju oštećenja cevi sa unutrašnje strane na ovom cevnom sistemu dominantna su ona izazvana erozijom i korozionim procesima pod naslagama.

- Erozijska cevi predstavlja posledicu poremećaja strujanja fluida koja se javlja usled postavljanja blendi iza ulaznog kolektora zagrevača vode.
- Dejstvo korozije sa unutrašnje strane cevi je prisutno u malom stepenu na većini grejnih površina izuzev na ulaznom delu međupregrejača 2 bloka B2, koji je zbog prevelikog stepena korozionih oštećenja zamenjen. Za cevne sisteme oba kotla se može reći, s obzirom na broj provedenih sati u eksploataciji, da su radili u uslovima zadovoljavajućeg kvaliteta radnog medijuma, s tim što je kod međupregrejača 2 kvalitet ugrađenog materijala bio znatno lošiji i sa aspekta delovanja korozije manje otporan [7].
- Vremenska oštećenja izazvana dugotrajnim izlaganjem povišenim temperaturama i statičkom opterećenju izražena su na delovima cevnog sistema koji su izloženi najvišim radnim parametrima, međutim ove grejne površine imaju još uvek radnog resursa [7].

4. Planiranje i značaj mera na održavanju cevnog sistema kotla TENT-B.

Planiranje mera održavanja je izuzeto važan segment koga obavljaju inženjeri i majstori specijalisti u održavanju TENT-B, svako u svojoj oblasti. Nakon stratejskih odluka donešenih od strane posloводства EPSa i TENTa (vreme i sredstva) održavanje ima obavezu da se uklopi u zadate parametre i da planiranim radovima poveća pouzdanost, raspoloživost, stepen korisnosti postrojenja, a takođe da poslovodstvu da povratnu informaciju o stanju

postrojenja kako bi se u ovoj povratnoj sprezi postigli najpovoljniji tehno – ekonomski rezultati. Od strane održavanja ovaj sistem planiranja teče u nekoliko faza.

5. Statistička obrada podataka i analiza ispada

Kada je u pitanju statistička obrada podataka vezana za cevni sistem kotlova, bez obzira što ona nije potpuna, nameću se sledeći kriterijumi za njeno formiranje:

- ❖ Statistika ispada blokova i
- ❖ Statistika troškova raspodeljena na delove cevnog sistema.

Statistika ispada blokova na TENT B je u velikoj meri precizno vođena, međutim, problem predstavlja nepostojanje jedinstvene baze podataka koja obuhvata sve relevantne podatke. Zbog toga je radi sticanja celovite slike o nekom ispadu potrebno izuzetno mnogo vremena da bi se formirao jedinstveni izveštaj. Potrebno je pretražiti više zvanično propisanih dokumenata koji se nalaze u različitim službama: knjizi zastoja, radnim nalogima, izveštajima šefa smene, inženjera održavanja i vodećeg inženjera proizvodnje, kao i podacima koje vodi analiza procesa. Bez obzira na sve ove probleme takav pregled je moguće formirati i obično se koristi prilikom pravljenja remontnih planova, planova nabavki materijala i planiranja ljudstva kako za remontne radove tako i za tekuće održavanje. Formiranjem planova na bazi statistike ispada blokova moguće je direktno uticati na pouzdanost i raspoloživost rada blokova, jer se na osnovu rezultata statistike mogu definisati kritične komponente. To opet ukazuje na značaj ove statističke kategorije i mogućnosti njenog šireg korišćenja.

Statistika troškova je daleko komplikovanija za analizu, kako iz razloga nepostojanja jedinstvene baze podataka, tako i iz razloga nemogućnosti da se troškovi detaljno rasčlane prema potrebama tehno – ekonomske analize. Ova analiza se bazira na nekoj vrsti iskustvene analize podataka vezanih za troškove ostvarene u prethodnim remonatima (približno 4–5 poslednjih godina što je dovoljno za dobijanje dobre slike o trendovima). Ekonomska analiza obuhvata i analizu neformalno vodene statistike u sektoru održavanja o utrošku norma sati, obimu i komplek-

vanosti radova i utrošku materijala po delovima kotla. Na osnovu njenih pokazatelja direktno se utiče na planiranje troškova održavanja i zajedno sa analizom statistike ispada (tj. ekonomskim aspektom zastoja u radu bloka) dobija se mogućnost optimizacije troškova održavanja blokova (uklapanje u odobrena sredstva za održavanje celog bloka i njenu raspodelu po postrojenjima).

5.1 Defektaža cevnog sistema u remontnom i periodu zastoja

Defektažu ili pregled cevnog sistema kotla je moguće obaviti u remontnom periodu, zastoju i tokom rada bloka. Bez obzira kada se vrši ona za rezultat mora da ima jasnu sliku potrebnih radova, bilo da su oni remontni (uobičajeni ili kapitalni remont) ili interventni (zastoj bloka bez obzira da li je uzročnik cevni sistem ili ne), saglasno raspoloživom vremenu i sredstvima, odnosno planiranim troškovima.

Remontni period podrazumeva planirani zastoj bloka u dužem vremenskom periodu koji iznosi najmanje nekoliko nedelja. Tako organizovan remont (izuzimajući kapitalne remonte koji podrazumevaju kapitalne zahvate) omogućuje uslove za detaljnija ispitivanja cevnog sistema kotla sa ciljem otklanjanja svih uočenih nedostataka. Metodologija pregleda podrazumeva sledeća metode ispitivanja:

1. Vizuelni pregled kotla
2. Pregled palpacijom
3. Ispitivanja bez razaranja (IBR metode)
4. Ispitivanja sa razaranjem

1. Nakon sticanja uslova (hlađenje i pranje grejnih površina), pre bilo kakvih radova potrebno je izvršiti defektažu. Zbog specifičnosti prostora (115 m visina kotla) poslu se pristupa sa najviše tačke. Odluka da se krene sa najviše tačke tj. od zagrejeća vode ima opravdanje u obimu posla i stepenu oštećenja koji je zbog abrazije najveći na ovoj grejnoj površini. Metodologija podrazumeva kao prvo vizuelni pregled koji kao rezultat daje uočavanje eventualnih krupnijih nedostataka (ispale cevne zmije, otpale antiabrazivne zaštite, oštećenje ovesnih štapova i cevi, otkaçeni anti – vibracioni limovi, itd.). Pošto se u remont ulazi sa određenim planom radova, koji je formiran na bazi statistike ispada u prethodnoj godini, dvadesetogodišnjeg iskustva u održavanju, kao i uočenih nedostataka tokom ulazaka u kotao u

vreme neplaniranih zastoja u toku godine, nakon obavljene vizuelne kontrole obim ispitivanja se proširuje u zoni uočenih defekata.

2. Nakon vizuelne na red dolazi kontrola palpacijom. Ona je sasvim sigurno najbitniji segment pregleda kako kompletnog cevnog sistema kotla tako i zagrejača vode posebno zbog nemogućnosti izvođenja vizuelnog pregleda zbog nepristupančnosti cevi, kao i nemogućnost detaljnog pregleda IBR metodama usled prevelikog obima. Ova metoda zahteva:

- ◆ Dobro obučene ekipe sa iskusnim bravarima. Zbog obima posla potrebno je formirati više ekipa, pojedinačno obučeni za pristupanje mestu za vršenje pregleda, pregledu palpacijom i sanaciju uočenih nedostataka.
- ◆ Visoku koncentraciju u dužem vremenskom periodu. Zbog povećanog sadržaja silicijuma u uglju i posledica abrazije, poslednjih godina remontni radovi na cevnom sistemu se odvijaju neprekidno tokom remonta u 24 h režimu rada.
- ◆ Odličnu organizaciju koja će predvideti za pregled sva kritična mesta, jer samo jedna propuštena cev tokom pregleda je dovoljna da nakon remonta prouzrokuje ispada bloka i zastoj.

3. Ispitivanje bez razaranja tokom remontnog perioda vrši se u dve faze, i to:

- ◆ Nakon pregleda palpacijom ultrazvukom se vrše merenja debljina zidova cevi u uočenim zonama izloženim abraziji. Važan segment u ovoj fazi predstavlja prethodno, na bazi iskustva, definisan kriterijum prihvatljivosti za debljinu zida cevi. Ovaj kriterijum takođe podleže reviziji zavisno od obima oštećenja cevi, a zbog vremenske ograničenosti remontnog perioda. Nakon tako izvršenog pregleda u ovoj fazi se prelazi na sanaciju oštećenih delova cevnog sistema i to na sledeća tri načina:
 - Sečenjem i zamenom cevi u zonama koje ne zadovoljavaju minimalno definisane debljine zidova.
 - Stavljanjem antiabrazivnih zaštita na delovima gde su debljine zidova cevi zadovoljavajuće, a zaštite prethodno nisu postojale ili su tokom remonta oštećene. Zbog povećanja broja radnih sati, svake godine se povećava broj antiabrazivnih zaštita po celom kotlu. Sem povećanja opterećenja noseće konstruk-

cije kotla (sada već nekoliko desetina tona) ovoliki broj zaštita ugrožava pouzdanost rada blokova. Naime, u ograničenom remontnom periodu potpuni pregled svih abrazijom napadnutih zona zahteva stalno povećanje broja ljudi i sati provedenih u kotlu, što opet ima neku svoju i fizičku i ekonomsku granicu i u kombinaciji sa nepovratnim smanjivanjem debljine zidova cevi iz godine u godinu povećava rizik usled pucanja abrazijom oštećenih cevi. Ovo je bio jedan od kriterijum za odluku o zameni delova cevnog sistema bloka B1 u kapitalnom remontu 2005. godine.

- Tehnologijom navarivanja koja je kada su remontni radovi na TENT-B gotovo u potpunosti izbačena i primenjuje se samo na teško pristupačnim i za zamenu cevi izuzetno komplikovanim pozicijama (na nepristupačnim mestima oko reci glava i gorionika i u delovima iznad rosta gde je komplikovana geometrija cevnih zmijsa)

- ◆ Nakon radova na sanaciji, IBR metodama se vrši kontrola izvršenih radova. Od IBR metoda uobičajeno se na cevnom sistemu kotla primenjuju radiografija, ultrazvučno merenje debljine, penetranti i merenje tvrdoće,

4. Ispitivanja sa razaranjem se rade u cilju provere stanja metala u redovnom održavanju, utvrđivanja uzroka razaranja u slučaju pucanju cevnog sistema i procene preostalog veka cevnog sistema kotla po precizno definisanom programu ispitivanja.

U periodu zastoja pregled se vrši u usko ograničenim okvirima:

- Vremenom, koje podrazumeva vraćanje bloka na mrežu u što je moguće kraćem vremenskom periodu.
- Uslovima rada, koji za razliku od remontnih podrazumevaju visoku temperaturu i veliku količinu pepela.

U ovakvim uslovima pregled podrazumeva koncentraciju radova u zoni uočenog defekta te se i detaljna defektaža (slična remontnoj) obavlja u toj zoni. Takođe paralelno sa radovima u zoni defekta određeni broj ekipa ima zadatak da izvrši vizuelni pregled u što većem obimu ostalih delova kotla i da otkloni krupnije nedostatke, obično mehaničke prirode. Defektaža u zoni havarije je izuzetno bitna

zbog velike verovatnoće oštećenja susednih redova cevi. Ovaj problem je posebno izražen nakon dužeg rada bloka sa curenjem na cevnom sistemu ili kod curenja – duvanja pregrejane pare (visoki pritisci i smanjena mehanička svojstva materijala na povišenim temperaturama). Da bi se sprečilo naknadno pojavljivanje curenja i višestruko startovanje i zaustavljanje bloka, koji znatno podižu troškove, izuzetno je bitno stvaranje povoljnih uslova za radove u toj zoni. Na TENT-B je opredeljenje da se na pranje te zone cevnog sistema, hlađenje kotla i pravljenje kvalitetne radne platforme odvoje i veći vremenski period kako bi se stvorili što bolji radni uslovi koji su više puta u praksi rezultirali pronalaženjem jedva vidljiv rupica i pronalaženjem netipičnih defekata koji potencijalno mogu izazvati nove zastoje. Praksa je pokazala da su najnezgodnija za defektažu mesta propuštanja pregrejane pare zbog nemogućnosti da se nakon zastoja vizuelno lociraju mesta milimetarskih rupica na cevima cevnog sistema, te su u praksi zabeleženi i slučajevi startovanja bloka i puštanja pare kroz pregrejače i međupregrejače samo radi vršenja defektaže, te obavljanja radova nakon ponovnog hlađenja kotla što oduzima ogromno vreme i sredstva.

Defektaža ili obilazak kotla u toku njegovog rada se obavlja u sledećim slučajevima:

- Preventivni svakodnevni obilazak ekipe održavanja i proizvodnje TENT-B sa ciljem blagovremenog otkrivanja eventualnih nedostataka na cevnom sistemu kotla. On podrazumeva obilazak celog kotla sa posebnim naglaskom na zone koje su analizom označene kao potencijalno najverovatnija mesta defekata. U ovoj preventivi je takođe izuzetno važno iskustvo ljudi koji obavljaju ove poslove iz razloga nemogućnosti bilo kakve druge kontrole osim kontrole sluhom postrojenja u toku rada. To opet nije nimalo lako obaviti i u onako bučnoj kotlarnici, a pravovremeno otkrivanje defekata uz adekvatnu korekciju radnih parametara bloka umnogome mogu da smanje štetu i skrate vreme zastoja, a u kritičnim zimskim periodima i produži vreme rada bloka do zastoja.
- Obilazak pre zastoja podrazumeva tačno lociranje mesta havarije u cilju smanjenja vremena zastoja (organizacija posla, efikasna defektaža nakon ulaska u kotao, početak radova i pre sticanja uslova za ulazak u kotao,...). Takođe se u zoni havarije u vreme rada bloka vrši otvaranje

vrata u cilju još tačnijeg lociranja mesta i obima havarije. Na TENT-B je uobičajeno da se nakon sticanja uslova za ulazak u kotao, koji su još uvek daleko od uslova pogodnih za obavljanje radova, u veoma nepovoljnim uslovima (temperatura, voda, vlaga, prašina) pride mestu havarije što je više moguće kako bi se i pre sticanja uslova za rad dobila jasna slika o havariji.

- Obilazak kotla pri startovanju bloka je obavezan i obavlja se u više faza: pre punjenja kotla, nakon punjenja kotla, nakon potpale i na punim parametrima. U prve dve faze obilazak podrazumeva i ulazak u kotao kako zbog konačnog pregleda obavljenih radova, vizuelne inspekcije celog kotla, tako i sa vizuelnom proverom mogućih curenja (sa rosta, oko reci glava, na kraju ložišta,...). Nakon potpale obilazak se podrazumeva istu proceduru kao i preventivni obilazak sa naglaskom na zonu otklonjene havarije.

5.2 Procena preostalog veka delova cevnog sistema

Duži niz godina na TENT-B se primenjuje metodologija Mašinskog Fakulteta Univerziteta u Beogradu po pitanju procene preostalog veka cevnog sistema bloka. Uz pomoć ove i gore već pomenutih analiza prave se planovi kako tekućeg tako i remontnog održavanja. Ova metodologija je posebno primenjiva kada je u pitanju strategijsko planiranje i izvođenje kapitalnih zahvata na cevnom sistemu.

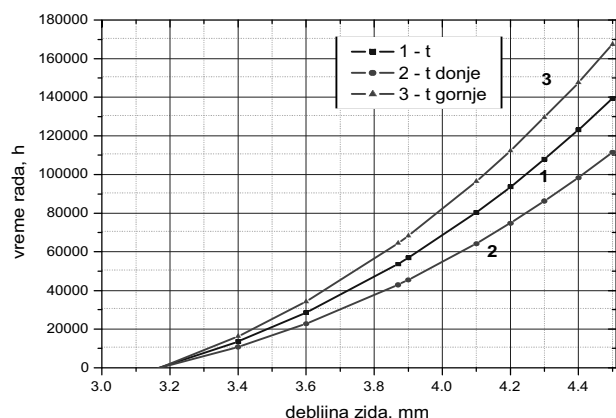
Metodologija određivanja trenutnog stanja i preostalog radnog veka komponenti/postrojenja se zasniva na kombinaciji analitičkih razmatranja dostupnih podataka, računskih metoda, relevantnih ispitivanja metodama sa i bez razaranja i određivanja mehanizama razaranja za datu komponentu prema uslovima kojima je izložena tokom rada. Pri tome se mora imati u vidu činjenica da komponenta može biti izložena prekoračenju u termičkim, statičkim i/ili dinamičkim opterećenjima u odnosu na ona koja se koriste kao osnova za proračune (projektni parametri), što je i najčešći uzrok neočekivanih otkaza koji se ne mogu predvideti.

Osnova za procenu preostalog radnog veka komponenti je predviđanje brzine degradacionih procesa izazvanih radnim uslovima, što podrazumeva jasno poznavanje vrste degradacionih procesa i njihove kinetike. Ovo predstavlja veliki problem s obzirom da se kinetika procesa degradacije materijala menja

sa vremenom i u funkciji je velikog broja promenljivih [5]. S druge strane, za dobijanje korektnih rezultata procene neophodno je poznavanje realnih radnih parametara (temperature, pritiska, broja startova, brzine startovanja, itd.), pogonskih zapisa i režima rada. Kompleksnost problema je verovatno i razlog postojanja velikog broja metoda za procenu preostalog radnog veka, međutim, samo neke od njih, one jednostavnije, su našle primenu u praksi.

Moderni koncepti održavanja sve više kao podlogu za odlučivanje imaju rezultate metode za procenu preostalog radnog veka i to u domenu: propisivanja perioda naredne kontrole kritičnih komponenti, računanja optimalnih međuremontnih perioda, optimizacije programa ispitivanja, proračuna pouzdanosti sistema i analize rizika.

Tačnost metoda za procenu veka je uslovljena obimom postojećih informacija, pa je neophodno matematičkim modelom što realnije opisati ponašanje materijala u datim radnim uslovima koji često odstupaju od nominalnih, projektnih. Na slici 1 prikazan je dijagram promene vremena preostalog radnog veka za jedan pregrejač izložen vremenskoj degradaciji (puzanju) dobijen modifikovanom Larsen Milerovom metodom. Dijagram je formiran na osnovu preseka trenutnog stanja metala, proračuna stvarne temperature zida na osnovu debljine naslaga, proračuna utvrđenih trendova degradacionih procesa i grešaka unetih u proračun zbog disperzije karakteristika materijala. Sa njega je moguće, na osnovu merenja debljine zida u okviru redovnih remontnih aktivnosti, direktno određivanje preostalog veka cevi (sa pripadajućim rasipanjem).



Slika 1. Preostali radni vek u funkciji debljine zida cevi jednog pregrejača [7]
(1 – srednja očekivana vrednost; 2 – donja granica rasipanja, 3 – gornja granica rasipanja)

Na osnovu očitane vrednosti moguće je predvideti: optimalni period naredne kontrole (očitano vreme treba podeliti sa koeficijentom sigurnosti reda veličine 10) i optimalni period njene zamene uz mogućnost pravovremenog planiranja nabavke. Međutim, treba istaći da u zavisnosti od variranja parametara procesa može da dođe do promene kinetike degradacionih procesa, zbog čega je neophodno u određenim vremenskim intervalima dijagram preostalog radnog veka korigovati dobijenim rezultatima.

6. Zaključna razmatranja

Generalno gledajući kategorizacija mera održavanja cevnog sistema kotla, u cilju povećanja raspoloživosti, pouzdanosti i stepena korisnosti bloka, kao i optimizacija troškova, u praksi se na TENT-B realizuje u tri vida održavanja:

- Havarijsko održavanje, koje se odvija u periodima zastoja bloka i pretpostavlja kratko vreme i otežane uslove rada. Iz tog razloga rezultat ovakvih intervencija ne izlazi iz okvira sanacije uzroka havarije i nemaju nikakav ili mali uticaj na povećanje raspoloživosti i pouzdanosti rada bloka.
- Remontno održavanje pretpostavlja investiciju većeg obima koja se praktično svodi na povećani obim radova i ne tako veliki trošak zamene materijala. Ovakvi radovi kada su dobro planirani i kada efikasno prepoznaju problem potencijalno slabih mesta cevnog sistema kotla direktno utiču na povećanje pouzdanosti rada bloka.
- Strategijsko održavanje podrazumeva planiranje i izvođenje kapitalnih remonata koji sem velikog obima radova podrazumevaju i zamenu materijala većeg obima. Dobro locirana slaba mesta i nova rešenja koja u obzir uzimaju nova

saznanja (materijali, uređaji, sredstva za rad,...) ugrađena u stratejske planove direktno mogu uticati na povećanja raspoloživosti, pouzdanosti i stepena korisnosti bloka.

Proces optimizacije troškova je moguće primeniti na sva tri vida održavanja. Zbog nerazvijene baze podataka i zbog neposedovanja standardnih metoda tehno – ekonomska analiza se radi kao neka vrsta neformalne i iskustvene aktivnosti. Ovo sasvim sigurno kao posledicu ima mnogo niži nivo optimizacije troškova. Da bi se i u ovom segmentu došlo do međunarodno relevantnih rezultata potrebno bi bilo razviti standardnu metodu, kroz neku vrstu softvera ili algoritma, koja bi davala nedvosmislene rezultate i u mnogome isključila subjektivni faktor.

LITERATURA

[1] Life Extension and Assessment of Fossil Power Plants, EPRI, Palo Alto, 1987

[2] Projekat Ministarstva za nauku i zaštitu životne sredine *Koncept održavanja termoenergetskih postrojenja usmeren ka pouzdanosti* – rukovodilac: prof.dr.V. Šijački

[3] Publikacija JP TENT, JP TENT, 2003

[4] Pogonsko uputstvo EVT 5 35 880/01 za kotao BB-1880

[5] Šijački Žeravčić V., Bakić G., Đukić M., Anđelić B., Milanović D., Marković D.: *Moderni pristupi u održavanju termoenergetskih postrojenja – metodologija, poređenja, unapređenja*, Preventivno inženjerstvo, No2, 10 (2002) 23-29

[6] J. P. Mersier: *The Maintenance Engineer Fundamentals Handvook*, EPRI Course, Nov. 1996

[7] V. Šijački i sarad.: *Procena preostalog veka cevnog sistema i kolektora bloka 1, TENT B, 2003*