

**DIJAGNOSTIKA TEHNIČKIH POKAZATELJA
ODRŽAVANJA TERMOELEKTRANE**
**DIAGNOSTICS OF MAINTENANCE TECHNICAL
INDICATORS OF THE THERMAL POWER PLANTS**

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

Deo III – Određivanje fizičkih uzroka pada pouzdanosti

Prof. dr Zdravko Milovanović¹
Prof. dr Vera Šijački-Žeravčić²
Mr Gordana Bakić²
Mr Miloš Đukić²

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

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

REZIME

Pouzdanost je osnovni tehnički pokazatelj koji utiče na konkurentnost termoelektrana u uslovima deregulisanog tržišta električnom energijom. Da bi se moglo upravljati ovim parametrom tokom eksploatacije, neophodno je odrediti fizičke uzroke promene pouzdanosti tokom radnog veka. U radu je analizirana eksploataciona istorija kondenzacione termoelektrane koja sagoreva mrki ugalj u prahu, na način pogodan za proračun pouzdanosti postrojenja, definisana je pouzdanost tokom eksploatacije i razmotreni su fizički uzroci njene promene tokom radnog veka.

Ključne reči: *termoenergetska postrojenja, pouzdanost, fizički uzroci promene*

ABSTRACT

Reliability is the basic technical indicator which affects on competitiveness of thermal power plants in the terms of deregulated electricity market. Physical causes of reliability changes are important for evaluation because of it's influence on reliable management during service life. Service history of condensation type thermal power plant with coal powder combustion was analyzed in this article in the manner convenient for reliability calculations. These calculations were made in the first approximation with taking into account the physical causes of reliability exchanges.

Key words: *Fossil Fuel Power Plant, Reliability, Physical causes of changes*

1. UVOD

Termoelektrana (TE) Ugljevik, instalisane snage 300 MW, je blokovskog tipa i kao gorivo koristi mrki ugalj. Najveća proizvodnja električne energije je iznosila 1744,80 GWh a najmanja u 2006. godini, 960.57 GWh. Osnovni razlog tako lošeg rezultata jeste veliki broj otkaza u termoelektrani.

**2. FIZIČKI FAKTORI KOJI UPRAVLJAJU
POUZDANOŠĆU KOMPONENATA
TERMOENERGETSKIH POSTROJENJA
TOKOM EKSPLOATACIJE**

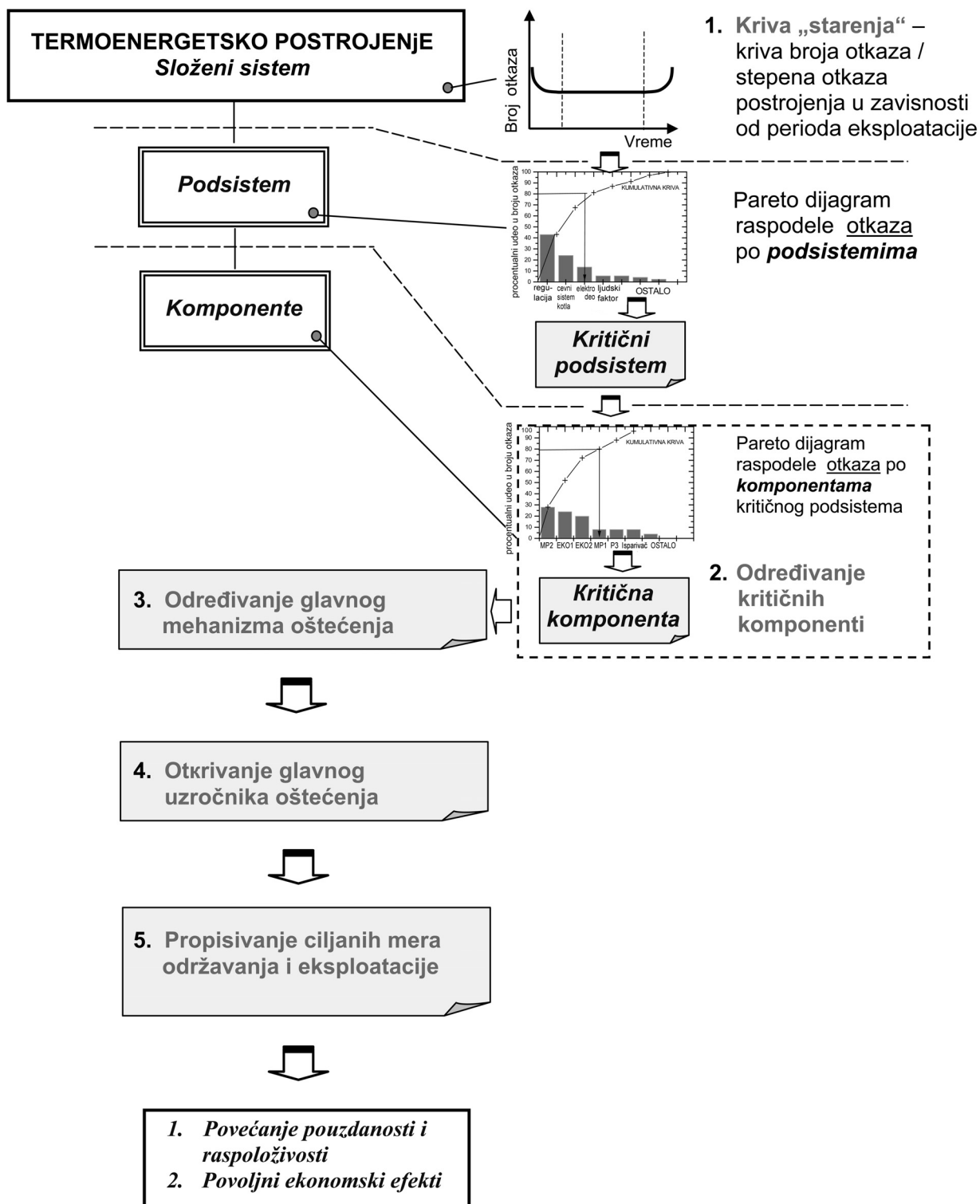
Termoenergetska oprema "stari" tokom eksploatacionog veka u smislu gubitka svojih radnih sposobnosti po određenom zakonu, tako da regularna

radna opterećenja, u jednom trenutku, postaju dovoljna da izazovu njeno razaranje. To je fizički uzrok pada pouzdanosti termoenergetske opreme tokom radnog veka.

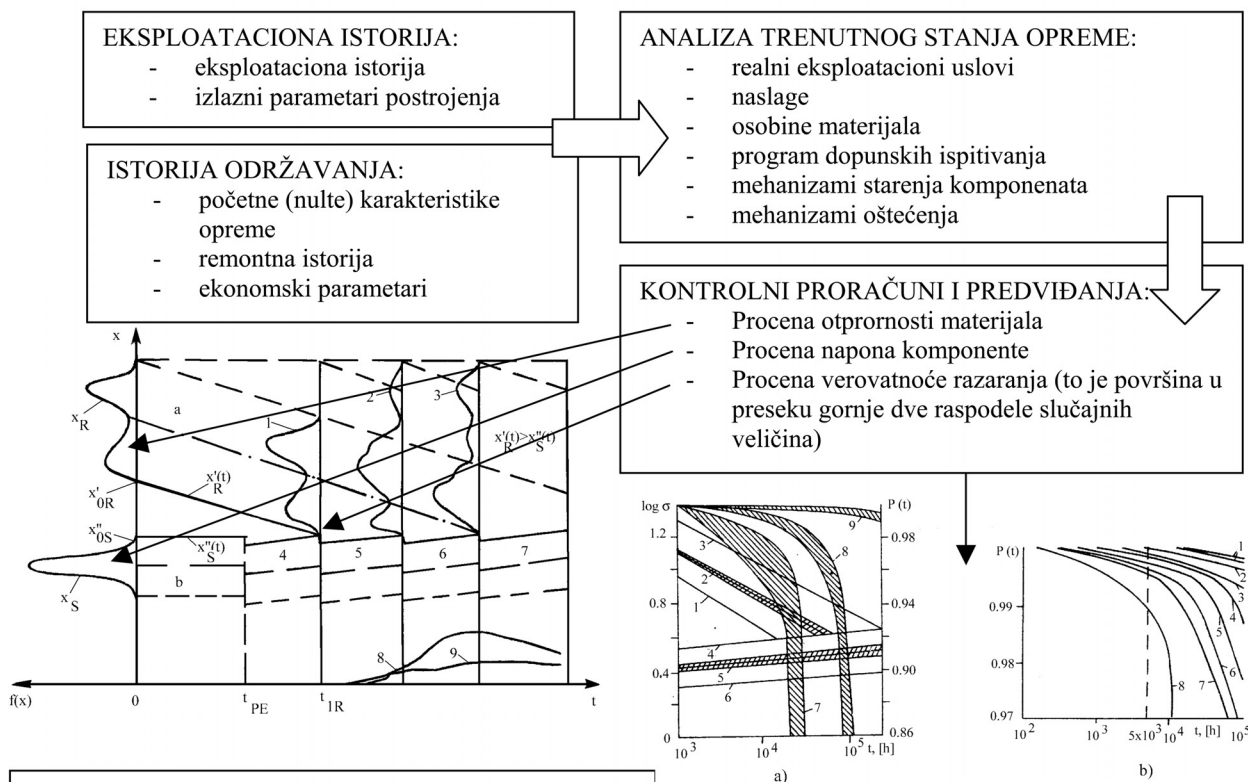
Na slici 1 prikazan je algoritam aktivnosti kojima se identifikuju uzroci pada pouzdanosti opreme, usled starenja, tokom radnog veka [1].

Na slici 2 dat je algoritam određivanja fizičkih uzroka koji dovode do pada pouzdanosti opreme ispod granice neophodnih eksploatacionih osobina. Ovaj skup aktivnosti odnosi sa na tačke 3–5 algoritma sa slike 1.

U radu su pokazani rezultati analize istorije eksploatacije i održavanja TE Ugljevik I koji se odnose na aktivnosti 1 i 2 sa slike 1 i plan aktivnosti koje se odnose na tačke 3–5, takođe sa slike 1 u cilju identifikacije relevantnih pokazatelja koji čine algoritam dat na slici 2.



Slika 1. Redosled aktivnosti koje čine program određivanja pouzdanosti na makro i mikro nivou



Proces starenja komponente tokom eksploatacije: x_S i x_R - raspodele stvarnog i dopuštenog napona za materijal komponente, x'_{0R} - minimalna vrednost dozvoljenog opterećenja pre početka eksploatacije, x''_{0S} - maksimalna vrednost statističke raspodele eksploatacionog opterećenja na početku eksploatacije, x'_R i x''_S - promena istih veličina tokom eksploatacije, 1-3 - promena oblika krivih raspodele dozvoljenog napona usled održavanja i eksploatacije, 4-7 - krive promene eksploatacionog napona u komponenti iz istih razloga, 8 i 9 - raspodele proračunskog resursa komponente i realnog resursa promenjenog usled eksploatacije i remonta, t_{PE} i t_{IR} - vreme početka eksploatacije i početka prvog remonta.

Alati za procenu otpornosti:

- Linearna zavisnost trajne čvrstoće na povišenoj temperaturi od zapreminskog udela karbida:
 $\sigma_v = k \cdot N$.

Alati za procenu preostalog veka:

- Linearna zavisnost trajne čvrstoće na povišenoj temperaturi od radnog veka $\log \sigma_v = a + b \cdot \log \tau$
- Linearna zavisnost trajne čvrstoće na povišenoj temperaturi od radnog veka $\log \sigma_v = a + b \cdot \log \tau$
- Linearna zavisnost radnog veka od rastojanja između karbida R, veličine subzrna D, udela legirajućih elemenata u osnovi L, zapreminskog udela karbida, radne temperature T i napona σ
 $\tau = f(R, D, L, N, T, \sigma)$

Smisao verovatnoće rada bez otkaza na primeru pregrejača pare kao podsistema koji se sastoji od komponenata čije se osobine procenjuju:

- Krive 1-3 predstavljaju dozvoljeni napon sa granicama rasipanja, 4-6 radni napon u samom cevnom luku sa granicama rasipanja, 7-9 izračunati intervali verovatnoće rada bez otkaza: 7 je interval početne verovatnoće rada bez otkaza cevnog luka, 8 je interval verovatnoće rada bez otkaza cevnog luka kome je povećana debljina zida i 9 je interval verovatnoće rada bez otkaza cevnog luka kome je snižena temperatura spoljne radne sredine, na strani dimnih gasova.
- Krive verovatnoće rada bez otkaza elemenata pregrejača pare: 1 - danca kolektora, 2 i 3 - kompletni ulazni i izlazni kolektori, 4 - ravne deonice cevovoda, 5 - zavareni spojevi, 6 - cevni lukovi cevovoda, 7 - cevni nastavci zavareni za kolektore (štucne), 8 - ceo jedan stupanj pregrejača pare.

3. PRISTUP U ODREĐIVANJU POUZDANOSTI TERMOELEKTRANE UGLJEVIK

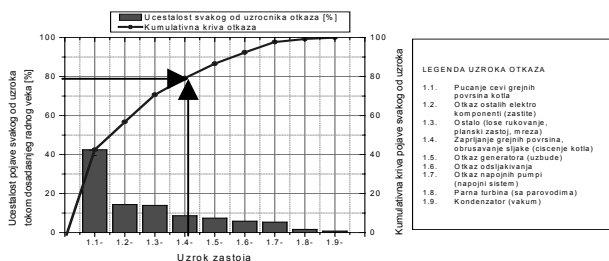
3.1. Prvo približenje u određivanju pouzdanosti na osnovu analize eksploatacione istorije

U prvom približenju, pouzdanost postrojenja određuje se na bazi individualne procene pouzdanosti komponenata modelom drveta otkaza [2] na osnovu podataka iz literature [3]. Metoda drveta otkaza proračunava pouzdanost složenog sistema kao zbir pojedinačnih verovatnoća otkaza jednoznačnih komponenti i proizvoda verovatnoća otkaza komponenata sa rezervom.

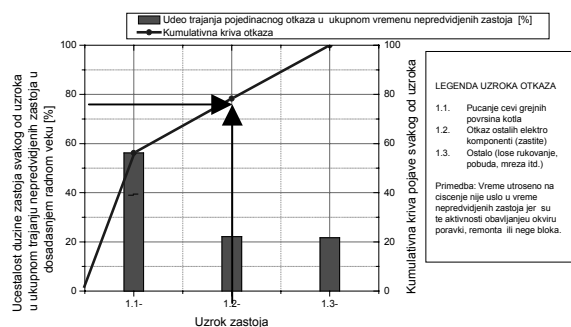
Trend pouzdanosti termoelektrane Ugljevik tokom radnog veka, kao što je pokazano u Delu II ovoga rada, pokazuje potrebu za upravljanjem ovim pokazateljem, zbog čestih i naglih promena, bez obzira što je 2008. godine dostignuta optimalna vrednost uz trend poboljšanja.

3.2. Drugo približenje u određivanju pouzdanosti na osnovu analize eksploatacione istorije

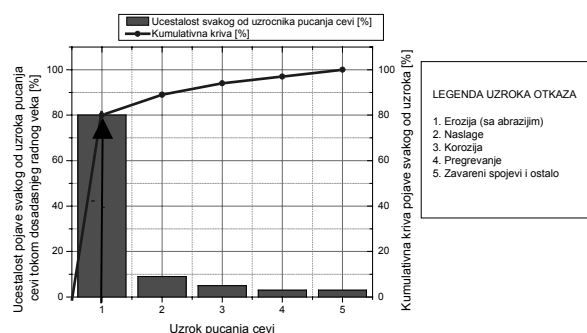
Drugo približenje podrazumeva rangiranje uzročnika promene pouzdanosti, odnosno otkaza, tokom eksploatacionog veka i fizičkih razloga njihove pojave. Na slikama 4 – 6 pokazana je Pareto analiza podsistema TE Ugljevik koje sa 80% i više procenata učestvuju u otkazima i rangiranje fizičkih uzroka ovih otkaza na isti način.



Slika 4. Rangiranje uzročnika otkaza prema broju pojava (br. pojava uzročnika / ukupan br. pojava [%]) za TE Ugljevik



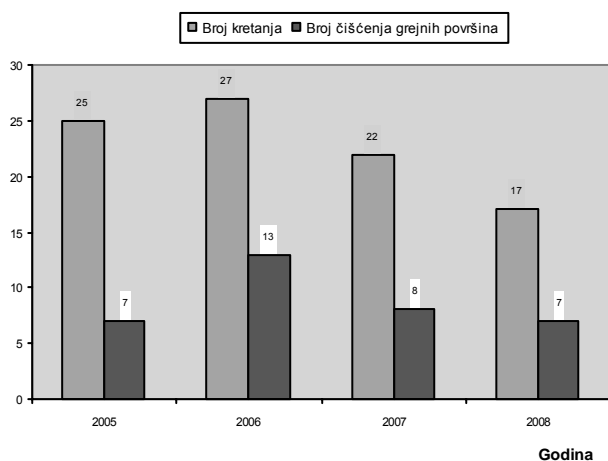
Slika 5. Rangiranje uzročnika otkaza prema trajanju (trajanje uzročnika / ukupno trajanje [%]) za TE Ugljevik



Slika 6. Rangiranje broja pojava uzročnika pucanja cevi prema broju pojava (br. pojava uzročnika / ukupan br. pojava [%]) za TE Ugljevik

Analizom rada kotlovskog postrojenja, jer je kotao limitirajući element nepostizanja nominalne snage, kvantifikovani su određeni problemi koji se javljaju u radu kotlovskog postrojenja, koja su detaljno obrađena u Delu I ovog rada. Još jednom treba istaći da je da je koeficijent toplotne efikasnosti ekrana dosta nizak i da za ogrevnu površinu u zoni gorionika iznosi $\psi = 0,38 - 0,50$.

Iz ovih razloga, postrojenje je često zaustavljano da bi se čistile naslage, kako je pokazano na slici 7, što je uticalo na raspoloživost bloka. Naslage, koje ostaju i pored čišćenja, menjaju uslove razmene toplote što dovodi do stvaranja prvo mikro oštećenja a potom i erozije na makronivou cevnog sistema kotla (slika 6).



Slika 7. Grafički prikaz broja kretanja i broja čišćenja grejnih površina kotla na bloku TE Ugljevik I od 2005. do 01.01.2009. godine [3]

Tokom eksploatacije neminovno dolazi do degradacije svojstava materijala cevnog sistema kotla, međutim kvalitet vođenja procesa u kotlu, kako sa gasne strane, tako i sa strane radnog fluida, uslovljava stepen ove degradacije [5]. Tako se može desiti, kao u ovom slučaju, da, usled odvijanja nepovoljnih procesa tokom eksploatacije, materijal pretrpi oštećenja, misli se pre svega na pad određenih svojstava, koja nastaju tokom mnogo dužeg vremena provedenog u eksploataciji, što rezultira smanjenjem radnog veka u odnosu na predviđeni. U ovakvom slučaju neophodno je utvrditi fizičke uzroke ubrzane degradacije svojstava materijala a u cilju korekcije i optimizacije odvijanja procesa u postrojenju.

Pošto je, često, neminovna upotreba ugljeva vrlo različitih sastava tokom eksploatacije, koji ne odgovaraju sastavu goriva za koje je projektovan kotao, mora se obratiti posebna pažnja na pripremu goriva kao i na vođenje procesa sagorevanja u ložištu a u cilju prevencije pojave naslaga na metalu cevnog sistema kotla.

3.3. Dalji koraci u dobijanju relevantnih rezultata za određivanje pouzdanosti

Na osnovu preliminarnog sagledavanja problema vezanih za cevni sistem kotla kao i pregleda raspoložive dokumentacije, sagledan je obim ispitivanja cevnog sistema kotla koji je koncipiran na način da da takve rezultate, čijom analizom i implementacijom će moći da se utiče na smanjenje broja otkaza, a u konačnom na podizanje raspoloživosti postrojenja.

Stanje, dalja upotrebljivost i procena preostalog radnog veka cevnog sistema kotla može da se uradi tek na osnovu rezultata ispitivanja metodama sa razaranjem uzoraka sa svih grejnih površina. U daljem koraku, neophodno je izraditi detaljan plan i program uzorkovanja i kontrole koji treba da bude osmišljen tako da se sve ugrožene lokacije u kotlu, prepoznate iz analize eksploatacione istorije, opsežno ispitaju. Primer pregleda i vođenja uzoraka sa pozicijama uzorkovanja dat je u tabeli 1.

Tabela 1: Primer pregleda uzoraka po grejnim površinama

Naziv površine	Ulazni deo grejne površine			Izlazni deo grejne površine		
	pozicija uzorkovanja red/cev	materijal i dimenzije uzoraka	dužina uzorka, mm	pozicija uzorkovanja red/cev	materijal i dimenzije uzoraka	dužina uzorka, mm
EKO 1	100/3	K18 - Ø38x4	300	-	-	-
...
P1	45/5	16M - Ø51x5,6	300	95/5	15HM - Ø51x5	300
...
MP1	44/9	K18 - Ø63,5x4*	300	5/9	K18 - Ø63,5x4	300
...

Na uzorcima cevi treba da budu sprovedena sledeća ispitivanja:

1. *Vizuelna kontrola sa makrosnimanjem* u cilju utvrđivanja stanja spoljašnjih i unutrašnjih površina cevi kao i eventualnog prisustva naslaga i korozionih i erozionih oštećenja.
2. *Ispitivanje hemijskog sastava* materijala grejnih površina.
3. *Ispitivanje mehaničkih karakteristika* materijala reprezentativnog uzorka na sobnoj i povišenoj temperaturi prema materijalu i grejnoj površini uzorkovanih sa strane direktnog dejstva dimnih gasova.
4. *Mikrostrukturalna ispitivanja* materijala koja prate ispitivanje mehaničkih karakteristika proširena za mikrostrukturalna ispitivanja u zoni korozionih i erozionih oštećenja.
5. *Ispitivanje tvrdoće* materijala na po spoljašnjoj površini (6 mernih mesta po cevi), a kod uzoraka kod kojih se ispituju mehaničke karakteristike i po poprečnom preseku (3 merna mesta po uzorku).
6. *Dimenziona kontrola (merenje prečnika i debljine cevi)* na svim dostavljenim uzorcima
7. *Kontrolni proračun minimalno potrebne debljine zida cevi* u cilju utvrđivanja eksploatacione upotrebljivosti cevi grejnih površina na osnovu obavljenih merenja debljina zida i prečnika dostavljenih uzoraka kao i eventualno prisutnih korozionih oštećenja cevi.

Rezultati ispitivanja nedvosmisleno treba da pruže sliku o stanju materijala cevi, prisutnim

oštećenjima, njihovoj veličini i distribuciji, kao i stepenu iscrpljenosti određene grejne površine.

Takođe, stanje materijala cevi različitih grejnih površina treba da ukaže i na moguće mehanizme oštećivanja, posebno one skrivene ili provocirane, koji ne mogu makroskopski da se uoče ili se ne očekuju.

Za procenu preostalog radnog veka kolektora treba predvideti poseban program ispitivanja i to metodama ispitivanja bez razaranja. Takođe, pored navedenih podataka, iz eksploatacione istorije i ispitivanja metodama sa i bez razaranja, neophodni su i podaci o temperaturama i pritiscima sa postojećih mernih mesta na kolektorima.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu programa ispitivanja i dobijenih rezultata treba da budu kvantifikovani mikromehanizmi koji upravljaju oštećenjima koja uzrokuju otkaze. Takođe, na osnovu svih podataka treba da bude stvorena platforma za identifikovanje svih pokazatelja koji upravljaju otkazima na osnovu kojih je moguće definisati aktivnosti za otklanjanje i upravljanje ovim procesima u budućnosti. Na taj način se vrši optimizacija i upravljanje pouzdanošću postrojenja u celini.

LITERATURA

- [1] Vera Šijački – Žeravčić, Gordana Bakić, Miloš Đukić, Dušan Milanović, Biljana Anđelić, *Pouzdanost u radu termoenergetskih postrojenja*, Energija, br. 1, VII, V 2005 g.
- [2] Г.В. Ноздренко, В.Г. Томилов, В.В. Зыков, Ю.Л. Пугач, *Надежность ТЭС*, Новосибирск, Изд-во НГТУ, 1999.
- [3] * * *, *Prethodna procjena preostalog životnog vijeka "Termoelektrane Ugljevik"*, Institut za

građevinarstvo "IG" Banja Luka, PC Trebinje, Trebinje, 2009.

- [4] Dragomir Marković, *Sistem održavanja termoelektrane orijentisan ka pouzdanosti*, Konferenca TENT B 2000, 23. 10. ÷ 27. 10. 2000, Obrenovac 2000g.
- [5] V. Šijački Žeravčić, M. Radović, Z. Stamenić, G. Bakić, M. Đukić: *Studija o stanju metala delova postrojenja TE Kostolac A, bloka 1, 100 MW, kotla 6, sa mišljenjem o daljoj upotrebljivosti komponenti*, Mašinski fakultet 1997.