

**POUZDANOST MATERIJALA KOTLOVSKIH  
KOMPONENTI U EKSPLOATACIJI**

**RELIABILITY OF BOILER COMPONENTS  
MATERIAL IN SERVICE**

**Doc.dr. Damir Hodžić, Dipl.ing.**  
**Univerzitet u Sarajevu, Mašinski fakultet**  
**Vilsonovo šetalište 9, 71000 Sarajevo, BiH**

**REZIME**

*Komponente kotlova termoenergetskih postrojenja i materijali od kojih su građeni podliježu periodičnim ispitivanjima da bi se ocijenila mogućnost njihove dalje upotrebe. Nakon obavljene procjene potrebno je donijeti validnu odluku da li ispitivana komponenta može i dalje biti u eksploataciji i za koji vremenski period, ili je datu komponentu potrebno zamijeniti novom. Krajnji izbor metode za procjenu preostalog vijeka materijala nije eksplicitno definisan nego je prepušten samom korisniku, odnosno odgovornoj osobi ili instituciji da na osnovu konkretne situacije donese konačnu odluku. U radu su predstavljene dostupne metode za predviđanje vijeka materijala kotlovskih komponenti izloženih puzanju.*

**Ključne riječi:** kotlovski materijali, procjena preostalog vijeka, puzanje

**ABSTRACT**

*Components of thermal power plant boilers and materials that are used for components are periodically exposed to inspections for estimation of its further exploitation possibility. After estimation it is necessary to make a valid decision about future component exploitation in service, time period of component further reliable exploitation or change with the new component. Selection of method for residual life estimation of components material is not explicitly defined. Power plant owners, responsible staff or institution are supposed to make final decision about it for particular situation. In this paper are presented available methods for material residual life estimation of creep exposed boiler components.*

**Key words:** boiler materials, residual life estimation, creep

**1. UVOD**

Za moderna termoenergetska postrojenja kao imperativ se nameću ekonomski i ekološki zahtjevi koji se u suštini rješavaju povećanjem stepena iskorištenja. Općenito, stepen iskorištenja se može povećati kroz više radne parametre - temperaturu i pritisak. Postizanje viših radnih parametara pare je značajno uslovljeno ugrađenim materijalom komponenti kotlovskih postrojenja u termoenergetskim sistemima. Takav trend dalje rezultuje potrebom za pouzdanim metodama predviđanja vijeka materijala komponenti izloženih puzanju, kao i ostalim vrstama opterećenja. Komponente kotla i materijali od kojih su građeni podliježu

periodičnim ispitivanjima da bi se ocijenila mogućnost njihove dalje upotrebe. Nakon obavljene procjene potrebno je donijeti validnu odluku da li ispitivana komponenta može i dalje biti u eksploataciji i za koji vremenski period, ili je datu komponentu potrebno zamijeniti novom, što u velikom broju slučajeva osim tehničkih ima i značajne ekonomske efekte. Međutim, postoji veliki broj različitih metoda i pristupa problematici procjene preostalog vijeka materijala. Krajnji izbor metode za procjenu preostalog vijeka materijala nije eksplicitno definisan nego je prepušten samom korisniku, odnosno odgovornoj osobi ili instituciji da na osnovu konkretne situacije donese konačnu odluku, [1].

Obzirom da se sama procjena preostalog vijeka materijala može vršiti sa različitim pristupima i metodama, od analitičkih metoda korištenjem proračuna i matematskog modeliranja, preko probabilističkih metoda korištenjem statističkih metoda i vjerovatnoće, pa do ispitivanja materijala metodama sa i bez razaranja, postavlja se pitanje koja od raspoloživih metoda je zapravo najprikladnija za primjenu u datim okolnostima. Jasno je takođe da svaka od raspoloživih metoda ima svoje prednosti i nedostatke, kako sa aspekta subjektivnosti izbora neke od metoda i same procjene vijeka materijala, tako i sa ekonomskog aspekta koji najčešće nije zanemarljiv u slučaju kotlovskih postrojenja.

Metode procjene preostalog vijeka materijala su obrađene kroz naučno-tehničku literaturu i djelimično pretočene u relevantne tehničke normative i standarde. Cilj ovog rada je da predstavi metode procjene preostalog vijeka kotlovskih materijala opterećenih na puzanje.

## **2. ŽIVOTNI VIJEK MATERIJALA KOTLOVSKIH KOMPONENTI**

Životni vijek mašinske konstrukcije može da se definiše kao period vremena u toku kojeg je konstrukcija u stanju da ispunjava sigurno, pouzdano i ekonomično svoju funkciju u opštim uslovima eksploatacije. Ova, na prvi pogled, jasno definisana karakteristika sakriva u sebi mnoge neodređenosti i nesigurnosti. Pojam otkaza ili izlaska iz pogona vezuje se za čitav niz kriterijuma kao što su: potrošeni vijek, potrošeni proračunati vijek zavisno od uslova eksploatacije, učestalost otkaza i opravki, nalazi raznih ispitivanja, deformacije, itd. Osim toga kriterijumi odluke su veoma različiti zavisno od rizika vezanog za lom i otkaz, konzervativizma u donošenju odluka i drugih uticaja. Osnovni parametri za proračun životnog vijeka termoenergetskih komponenti (geometrija, eksploatacioni uslovi, osobine materijala) mogu da imaju veliko rasipanje, a nekada nisu uopšte na raspolaganju. Mehanički i termički radni uslovi nisu uvijek potpuno definisani. Osim toga tzv. nominalni uslovi se često odnose na maksimalno opterećenje koje ne djeluje tokom cijelog životnog vijeka materijala komponenti. Sa druge strane, oštećenja koja nastaju kao posljedica promjene radnih uslova obično se zanemaruju, [1]. Ovome treba dodati i širok spektar metoda za procjenu preostalog vijeka materijala koje nisu sakupljene na jednom mjestu, nego su predstavljene u različitoj naučno-tehničkoj literaturi i djelimično u relevantnim standardima.

Pojam projektovanog radnog vijeka se obično koristi za predstavljanje radnog vijeka termoenergetskog sistema. Njegova metalurška definicija je ograničena na visokotemperaturne komponente izložene puzanju – progresivnoj i vremenski zavisnoj deformaciji koja može rezultirati lomom nakon dugotrajnog izlaganja visokoj temperaturi i naponu. Projektovanje takvih komponenti je obično zasnovano na očekivanju da će materijal premašiti dozvoljene deformacije ili eventualno doživjeti lom tek nakon 100.000 sati eksploatacije, a kod savremenih kotlovskih materijala nakon 200.000 sati eksploatacije.

Osobine materijala koje utiču na integritet i životni vijek komponenti u kotlovskim postrojenjima se vremenom degradiraju u eksploataciji, pa je potrebno sprovoditi periodične ocjene stanja materijala. Preostali vijek materijala se takođe ocjenjuje da bi se odredilo koje

aktivnosti je potrebno preduzeti da bi se osigurao kontinuiran i pouzdan rad određene komponente kotla.

Da bi se mogao predvidjeti preostali vijek materijala potrebno je poznavati eksploatacione uslove, makroskopsko ponašanje materijala komponenti u uslovima primjenjenog opterećenja i okruženja (napon, deformacija, temperatura, korozija, erozija, itd.), kao i mikrostrukturno ponašanje materijala u uslovima primjenjenog opterećenje i okruženja (strukturne promjene materijala). Modeli za procjenu preostalog vijeka materijala izloženog puzanju trebali bi uzimati u obzir fizičke mehanizme degradacije materijala koji vode ka konačnom lomu. Međutim, modeli kontinualne degradacije koji primjenjuju analitičke procedure za procjenu preostalog vijeka ne opisuju uvijek lom na fizički realističan način. Takođe, informacije o ponašanju materijala izloženog puzanju su obično izvedene iz jednostavnih ispitivanja i standardnih procedura pod kontrolisanim uslovima, [2].

Stvarni vijek materijala visokotemperaturnih komponenti može biti veoma različit od njihovog projektovanog vijeka. Obzirom na brojna i složena opterećenja koja se mogu pojaviti na kotlovskim postrojenjima u termoenergetici vijek materijala komponenti može biti kraći od projektovanog. Sa druge strane nekoliko faktora, kao što su visoki stepeni sigurnosti pri projektovanju, relaksacija napona, dobre osobine materijala i pravilna eksploatacija mogu doprinijeti da vijek materijala bude i duži od predviđenog. Uzimajući u obzir ove činjenice, osnovni problem u procjeni vijeka visokotemperaturnih komponenti je kako da se odredi njihovo trenutno stanje, koliko dugo mogu pouzdano da se eksploatišu u datom stanju i konačno da se donese sud o njihovoj eventualnoj sanaciji ili zamjeni.

### **3. METODE PROCJENE PREOSTALOG VIJEKA**

Za procjenu preostalog vijeka kotlovskih materijala izloženih puzanju postoji više metoda koje se principijelno mogu podijeliti u sljedeće osnovne grupe:

- Analitičke metode, koje su zasnovane na proračunima preostalog vijeka,
- Metode ispitivanja sa razaranjem materijala, koje imaju za cilj utvrđivanje stvarnih osobina materijala na puzanje,
- Metode ispitivanja bez razaranja materijala, koje obično podrazumijevaju ispitivanja na mjestu eksploatacije, i
- Probabilističke metode, koje se zasnivaju na praćenju havarija na komponentama u funkciji vremena ili složenim proračunima vjerovatnoće.

#### **3.1. Analitičke metode**

Analitičke metode su zasnovane na proračunima preostalog vijeka na osnovu informacija iz projektne dokumentacije i podataka dobivenih u eksploataciji razmatrane komponente kotlovskog postrojenja. Općenito, ovaj pristup procjeni preostalog vijeka karakteriše određena nesigurnost usljed dostupnosti i relevantnosti informacija o materijalu u eksploataciji, kao i samih eksploatacionih uslova. Kao posljedica, analitička metoda ne daje realnu procjenu preostalog vijeka na kojoj bi se mogla zasnivati strategija produženja vijeka ili plan zamjeni komponenti postrojenja. Za primjenu analitičkih metoda proračuna preostalog vijeka neophodni su podaci o eksploatacionoj historiji kotlovskog postrojenja, zajedno sa standardnim podacima o osobinama materijala komponente, da bi se proračun mogao korektno obaviti, [3]. Međutim, podaci o historiji eksploatacije (temperatura, deformacija, vrijeme) najčešće nisu korektno ažurirani u bazama podataka kotlovskih postrojenja, obzirom na dug životni vijek postrojenja.

Analitičke metode proračuna preostalog vijeka se uglavnom svode na predstavljanje iscrpljenosti ili degradacije materijala  $C$  usljed puzanja primjenom odgovarajućeg parametra

$\omega$ , koji je normaliziran sa svojom vrijednošću u trenutku loma  $\omega_r$ . Vrijednost parametra  $\omega_r$  zavisi o preciznim vrijednostima napona, temperature i drugih varijabli koje utiču na proces puzanja. Pošto te varijable nisu uvijek konstantne, učešće degradacije materijala se onda može u opštem slučaju predstaviti sljedećim izrazom, [4, 5]:

$$C = \sum_i \frac{\omega_i}{(\omega_r)_i}, \quad \dots(1)$$

pri čemu je parametar  $\omega$  obično vrijeme ili deformacija puzanja, a lom se dešava kada vrijednost  $C$  poprimi vrijednost 1. Općenito je za parametar  $\omega$  povoljnije uzimati deformaciju puzanja nego vrijeme, jer se vrijeme ne može uzeti kao “varijabla stanja”. U kontekstu termodinamike, stanje sistema se u principu može potpuno opisati brojem varijabli stanja (temperatura, pritisak i sl.), tako da njegove osobine ne zavise o “načinu” na koje su ove varijable postignute, [4].

### 3.2. Metode ispitivanja sa razaranjem materijala

Metode ispitivanja sa razaranjem materijala imaju za cilj određivanje stvarnih osobina materijala na puzanje. Pošto ispitivanja sa razaranjem općenito zahtijevaju isjecanje određenog broja uzoraka sa opreme koja je u eksploataciji, ona su relativno skupa i primjenjuju se samo kada ostale metode ne daju dovoljno pouzdanih informacija. Uzimanje uzoraka sa komponenti takođe zahtijeva i sanaciju mjesta na komponenti sa kojeg je uzorak uzet. Pošto je uzimanje uzorka ograničeno sa lokacijom na kojoj je uzorak moguće uzeti, prethodno je potrebno izvršiti naponsku analizu komponente ili sistema da bi se odredio broj lokacija za uzimanje uzoraka. Međutim, ispitivanja sa razaranjem materijala koji je bio u eksploataciji daju direktnu ocjenu nastale degradacije materijala usljed stvarnog izlaganja eksploataciji. Vrsta ispitivanja je zavisna o samoj komponenti, pa tako ako je komponenta izložena puzanju i postoji rizik nastanka loma usljed puzanja, onda se ispitivanje obavlja u cilju ocjene vremenske čvrstoće i duktilnosti prema puzanju. Ukoliko je npr. komponenta sklona nastanku pukotina izazvanih zamorom, ispitivanjem se moraju dobiti podaci o lomnoj žilavosti materijala kroz ispitivanja mehanike loma.

Postoje dva konceptualno različita načina uzimanja uzoraka materijala sa komponenti koje su bile u eksploataciji radi obavljanja ispitivanja na puzanje. Prvi način je uzimanje uzoraka materijala sa komponente koja više neće biti u eksploataciji. U tom slučaju uzorci koji se isjecaju sa reprezentativnih dijelova komponente (u smislu eksploatacionih uslova – napon i temperatura) mogu se slobodno izabrati. Takođe, količina materijala je obično dovoljna za izradu potrebnog broja epruveta za ispitivanje. Rezultati ispitivanja koji se dobiju na ovaj način obično se koriste za ocjenu drugih “uporedljivih” komponenti. Drugi način je uzimanje uzoraka materijala sa komponenti koje su bile u eksploataciji i koje će i dalje biti u eksploataciji, što podrazumijeva sanaciju mjesta sa kojeg se uzima uzorak. U tom slučaju rezultati ispitivanja na puzanje se koriste direktno za ocjenu stanja materijala komponente, [1]. Postoje brojne metode koje obuvataju relativno kratkotrajna ispitivanja na puzanje iz kojih se ekstrapoliraju podaci da bi se predvidjele dugotrajne osobine na puzanje.

Međutim, većina ovih metoda ne uzima u obzir strukturne promjene koje se mogu dogoditi u toku eksploatacije i promjeniti osobine materijala.

Iz tog razloga je bolje koristiti metode koje interpoliraju postojeće podatke, nego metode sa ekstrapolacijom izvan opsega vremena i temperatura, [6]. Sa druge strane, za sigurnu ekstrapolaciju podataka za predviđanje vijeka od 100.000 h trebalo bi provoditi ispitivanje u trajanju od 33.000 h, [7], mada se današnja laboratorijska ispitivanja obavljaju obično u intervalu 100-10.000 h. Dakle, u slučaju životnog vijeka materijala od 100.000 sati ili više,

potrebne su ekstrapolacione procedure kojima se dugotrajno ponašanje materijala može ocijeniti pomoću podataka koji se dobivaju u relativno kratkom vremenu.

Iz tog razloga, postoje brojni pokušaji za razvijanje parametarskih procedura ili parametarskih relacija, tj. metoda grafičkog prikaza podataka o vremenskoj čvrstoći materijala primjenom korelacionih parametara koji dopuštaju da se rezultati dobiveni kroz širok opseg temperatura kondenzuju i prikažu na jednoj krivoj. Broj do danas razvijenih metoda za uspostavljanje parametarskih relacija je veći od 30, [7, 8].

Primjena ovih parametarskih relacija se može predstaviti izvođenjem tzv. temperaturno kompenziranih parametara kao što su Sherby-Dorn parametar i Larson-Miller parametar. Parametarske relacije su analitički izrazi koji sadrže vrijeme i temperaturu na takav način da bilo koja kombinacija ove dvije varijable daje istu brojčanu vrijednost parametra koji uzrokuje lom materijala pri istom naponu.

Potrebno je naglasiti da izbor odgovarajuće parametarske relacije, obzirom na njihov veliki broj (preko 30), je prilično diskutabilan, jer njihova tačnost može uveliko zavisiti o samom materijalu kao i o pretpostavkama na osnovu kojih su izvedeni. Na primjer, Sherby-Dorn i Larson-Miller parametri su zasnovani na činjenici da aktivaciona energija za puzanje nije u funkciji napona i temperature, što u fizikalnom smislu nije sasvim tačno, [8].

Takođe, prilikom procjene preostalog vijeka materijala koji je bio u eksploataciji neophodno je izvršiti ubrzana ispitivanja na puzanje sa razaranjem na eksploatisanom materijalu da bi se mogle uspostaviti parametarske relacije i dobiti pouzdani podaci o osobinama materijala. Podaci o ponašanju ne-eksploatisanog materijala pri istim uslovima puzanja se razlikuju od podataka koji se dobivaju za eksploatisani materijal.

### **3.3. Metode ispitivanja bez razaranja materijala**

Ispitivanja bez razaranja materijala obično podrazumijevaju ispitivanja materijala komponenti na mjestu eksploatacije. Ona obuhvataju konvencionalne tehnike ispitivanja kao što su ispitivanja penetrantima, radiografijom, vrtložnim strujama, magnetnim česticama i ultrazvukom ukoliko je potrebno locirati makroskopske defekte u vidu pukotina na površini komponenti, kao i u samom materijalu. U slučaju defekata izazvanih puzanjem, kao što su pojava mikronaprslina po granicama zrna i mikrostrukturne promjene, koriste se tehnike replike i metalografije.

U ispitivanja bez razaranja takođe se ubraja i mjerenje tvrdoće. Tvrdoća se može koristiti kao pokazatelj stanja materijala u njegovom životnom ciklusu, a za materijale koji se koriste za komponente kotlovskih postrojenja uobičajena je pojava monotonog smanjenje tvrdoće u toku eksploatacije. Procjena vijeka mjerenjem tvrdoće nije praktičan način za određivanje preostalog vijeka materijala izloženog puzanju, pa je treba primjenjivati isključivo u kombinaciji sa drugim metodama procjene vijeka. Najčešće se primjenjuje u kombinaciji sa metodom replike.

Primjena metode replike predstavlja kvalitativnu ocjenu stepena degradacije materijala i može se koristiti za praćenje strukturnih promjena materijala u eksploataciji, kao i za procjenu preostalog vijeka materijala komponenti. Ova metoda obuhvata poređenje uzoraka iz eksploatacije sa uzrocima koji se ispituju u ubrzanim uslovima sa naponom koji vlada u eksploataciji, ali sa povišenim temperaturama, [9].

Osnovna prednost metode replike je u tome što je to metoda bez razaranja materijala i što se dobiva tačna slika stanja na površini materijala komponente. Takođe je moguće ustanoviti degradaciju materijala u ranom stadijumu i procijeniti postojeće mehanizme degradacije, te na takav način donijeti odluku o zamjeni ili sanaciji degradirane komponente. Međutim, nedostatak ove metode je u tome što je analiza ograničena samo na površinu komponente, i nije moguća analiza mikrostrukturnog sastava sa površinskim replikama, mada se ekstraktivna replika koristi u hemijskim analizama. Imajući ovo u vidu, preporučeno je da se

replika koristi u sprezi sa drugim metodama da bi se dobila kompletna predstava o stanju materijala za procjenu njegovog preostalog vijeka, [10].

Za industrijske relevantne uslove i komponente, dostupna objavljena literatura o korelaciji između evolucije mikrostrukture i preostalog vijeka materijala izloženih puzanju je uglavnom fokusirana na feritne čelike, [11, 12]. Metode ispitivanja bez razaranja zapravo predstavljaju kompromisno rješenje između ispitivanja sa razaranjem i analitičkih metoda sa proračunom procjene preostalog vijeka materijala.

### **3.4. Probabilističke metode**

Osnovne probabilističke metode procjene preostalog vijeka se zasnivaju na praćenju havarija na komponentama u funkciji vremena i određivanju kriterija kada brzina nastanka havarija postaje ekonomski neprihvatljiva. Da bi se ova metoda mogla primjeniti veoma je važno da statističke baze podataka obuhvataju isključivo slične materijale sa sličnim eksploatacionim historijama čiji su mehanizmi nastanka havarija identični. Takva dokumentacija koja prati havarije je općenito ne-egzistentna, a promjene u eksploataciono historiji između havarija koje se prate mogu u velikoj mjeri varirati.

Kompleksne probabilističke metoda procjene vijeka materijala su slične determinističkom pristupu u kojem se preostali vijek može izračunati na osnovu temperature, napona, vremena eksploatacije i osobina materijala komponenti. Osnovna razlika je u tome da deterministička procjena može biti obavljena na osnovu jednog proračuna, dok je za kompleksne probabilističke ocjene potrebno 1.000-10.000 proračuna da bi se obuhvatile sve moguće kombinacije temperatura i napona, [13]. Nakon što se izvrše kompleksni probabilistički proračuni, rezultati se predstavljaju u procentima vjerovatnoće, a ne u vremenu preostalog vijeka.

## **4. TEHNIČKI NORMATIVI I STANDARDI**

Životni vijek kotlovskih materijala koji je predviđen projektovanjem komponenti kotlovskih postrojenja nije neophodno jednak sa stvarnim radnim vijekom materijala. Iz tog razloga je potrebno obavljati analize u određenim periodima radnog vijeka kotlovskih postrojenja da bi se predvidio očekivani preostali vijek. Problematika procjene preostalog vijeka kotlovskih materijala je osim kroz stručnu literaturu obrađena i u relevantnim tehničkim normativima i standardima. Osnovni normativi i smjernice koji tretiraju problematiku procjene preostalog vijeka materijala su sljedeći, [1]:

- TRD 508 – „Technical rules for steam boilers, Additional tests on components, calculated with time dependent design strength values“;:
  - Annex 1: „Methods for the calculation of components having time – dependent design strength values“,
- EN 12952-4 – „Water-tube boilers and auxiliary installations“;:
  - Part 4: In-service boiler life expectancy calculations“; i
- VGB-TW 507 – „Guideline for the assessment of microstructure and damage development of creep exposed materials for pipes and boiler components“;.

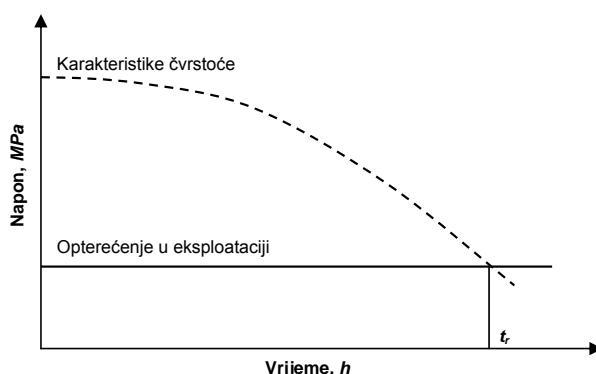
## **5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA**

Za veliki broj konstrukcija projektovane vrijednosti napona u materijalu su određene karakterističnim osobinama materijala uz odgovarajući faktor sigurnosti. Sve dok maksimalni očekivani napon u materijalu izazvan dejstvom opterećenja (uzimajući u obzir sve moguće

uslove okruženja) ostaje u vrijednostima koje su ispod minimalne očekivane čvrstoće materijala, vjerovatnoća da će nastati havarija ili lom konstrukcije je jednaka nuli. Nakon što uslovi vanjskog opterećenja premaše minimalnu očekivanu čvrstoću materijala, postoji određena vjerovatnoća da će se nastati lom materijala. Općenito, vjerovatnoća da će se desiti lom ili havarija materijala je rastuća funkcija zavisna od vremena eksploatacije, a vijek materijala komponenti konstrukcije zavisi o dopuštenoj vjerovatnoći da će lom nastati, pa je predviđeni vijek materijala konačan, kao i preostali vijek materijala koji je u eksploataciji.

Kada su okolnosti u kojima se materijal komponenti eksploatiše takve da se karakteristike čvrstoće smanjuju u vremenu, vjerovatnoća da će nastupiti lom se povećava, a preostali vijek materijala je zavisan o brzini degradacije strukture i osobina materijala.

Ako se opterećenje u eksploataciji i čvrstoća materijala iskažu kao determinističke veličine, kraj vijeka materijala se može okarakterisati vremenom do loma  $t_r$  u trenutku kada sa opadajuća čvrstoća materijala izjednači sa primjenjenim opterećenjem koje vlada u eksploataciji, Slika 1, [14].



Slika 1. Vrijeme do loma (vijek materijala)

Da bi se izbjegli neprihvatljivo kratki vijekovi materijala, u fazi projektovanja visokotemperaturnih komponenti kotlovskih postrojenja predefiniše se minimalni vijek materijala (najčešće 100.000 h), na osnovu čega se izvode dozvoljeni naponi.

U normativima i standardima koji se primjenjuju za projektovanje predstavljena su pravila i opisi za interpretaciju projektovanih napona i deformacija za date uslove eksploatacije (temperature, tip konstrukcije, očekivani vijek itd.). Većina projektnih proračuna uvodi faktor sigurnosti da bi se izbjegle brojne nesigurnosti vezano za varijacije naponsko-temperaturnih režima, složeno naponsko stanje i sl. Pretpostavljajući da je faktor sigurnosti dovoljno veliki da bi se izbjegle eventualne nesigurnosti, (činjenica da se u stvarnosti lom usljed puzanja veoma rijetko događa potvrđuje tačnost ove pretpostavke u opštem slučaju) ne bi bilo velike potrebe za sprovođenjem procjene preostalog vijeka materijala.

Evidentno, dok ne prođe projektovani vijek materijala, preostali vijek materijala bi se mogao definisati kao razlika projektovanog i potrošenog vijeka materijala.

Za eksploatacione uslove kada su sigurnosni zahtjevi veoma strogi postoji više razloga za sumnju u ispravnost ovakvog pojednostavljenja procjene preostalog vijeka. To je posebno slučaj kada se:

- Događaju devijantni eksploatacioni uslovi (pregrijavanje materijala i/ili pritisci iznad projektovanih),
- Eksploatacioni uslovi mijenjaju da bi se ispunili zahtjevi procesa (više temperature i više vrijednosti pritiska), i

- Kada se za vrijeme ispitivanja i pregleda ustanove posljedice korozije, zamora i drugih vrsta opterećenja materijala.

Još jedan od razlog za primjenu procjene preostalog vijeka materijala koji je bio u eksploataciji je i ustanovljavanje činjenica za eventualno produženje vijeka materijala izvan granica projektovanog vijeka. Takođe, uzimajući u obzir činjenicu velikih troškova zamjene kotlovske komponente termoelektričnog postrojenja, kao i visoke sigurnosne faktore u fazi projektovanja, postoji veliki interes za realan izbor metodologije procjene preostalog vijeka materijala komponenti.

Sve dok se ne poznaje dovoljan broj parametara koji određuju preostali vijek materijala visoko-temperaturnih komponenti kotlovske postrojenja, nije moguće dobiti jasnu sliku o preostalom vijeku materijala. Moguća nedostupnost informacija se ne odnosi samo na postojeću situaciju na najopterećenijim komponentama (koje su pod složenim naponskim stanjem), nego i na buduću eksploataciju jer je većina havarija kod visoko-temperaturnih komponenti uzrokovana nepredviđenim dešavanjima u eksploataciji, [14].

Razmatrajući poteškoće koje se javljaju prilikom procjene preostalog vijeka materijala visoko-temperaturnih komponenti, očigledno je da je potrebno uzeti u obzir veoma veliki broj faktora da bi se sprovela racionalna procjena preostalog vijeka. U tom smislu potrebno je ustanoviti odgovarajuće procedure za izbor metodologije procjene vijeka materijala, čija složenost zavisi o željenom stepenu sigurnosti i pouzdanosti.

## 6. REFERENCE

- [1] Hodžić D.: Procjena preostalog vijeka kotlovske materijala opterećenih na puzanje, Magistarski rad, Mašinski fakultet Sarajevo, 2008.,
- [2] D.J. Benac, V.P. Swaminathan: Elevated-Temperature Life Assessment for Turbine Components, Piping, and Tubing, ASM International, 2003., [www.asminternational.org](http://www.asminternational.org)
- [3] ASM Handbook, Vol 19 – Fatigue and Fracture, High-Temperature Life Assessment, ASM International, 2002.,
- [4] Part II Materials Science and Metallurgy, Power Plant Steels: Remanent Life Assessment, 2007., <http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/litsur/litsur.pdf>
- [5] H.K.D.H Bhadeshia, A.Strang, D.J.Gooch: Ferritic Power Plant Steels, Remanent Life Assessment and Approach to Equilibrium, International materials reviews, Vol 43 - No 2, The Institute of Materials and ASM International, 1998.,
- [6] N.A.Waterman, M.F.Ashby: Elsevier Materials Selector – Vol 1, The Significance of Materials Properties and Testing – Creep, Elsevier Applied Science, London, 1991.,
- [7] M.A.Meyers, K.K.Chawla: Mechanical Metallurgy – Principles and Application, Prentice Hall Inc., USA, 1984.,
- [8] R.W.Hertzberg: Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials, Second Edition, John Wiley & sons, USA, 1983.,
- [9] ASM Specialty Handbook – Heat Resistant Materials, ASM International, 1997.,
- [10] Metals Handbook, Vol 17 – Nondestructive Evaluation and Quality Control, Ninth Edition, Boilers and Pressure Vessels, ASM International, 1989.,
- [11] ECCC RECOMMENDATIONS – Volume 6: Residual Life Assessment and Microstructure, ECCC WG1.1, 2005
- [12] S.Concari, G.Mercling: Evaluation of Microstructure Evolution and Recommendations for Residual Life Assessment, Proceedings of ECCC Creep Conference: Creep and Fracture in High-temperature Components, 12-14 September, London, 2005.,
- [13] T.Hill, K.Refining, P.Bend: Heater Tube Life Management, National Petroleum Refiners Association Plant Maintenance Conference, 22-25 May, Houston, 2000.,
- [14] C.F.Etienne, H.C.Elst, P.Meijers: Procedure for the Estimation of Residual Life of High-temperature Installations, Proceedings of a Seminar Held at the Joint Research Centre of Commission of the European Communities: Creep of Engineering Materials and Structures, 6-10 November, Ispra (Varese), Italy, 1978.