

TEROTEHNOLOŠKI ASPEKTI U EKSPLOATACIJI I ODRŽAVANJU VRELOVODNOG KOTLA TIP ERK- RHW 30

Dr Sanja Markovi

Visoka poslovna škola strukovnih studija „Prof. dr Radomir Bojkovi “ Kruševac
e-mail: teodorasanja@gmail.com

Dr Spomenka Gligorijevi

Visoka poslovna škola strukovnih studija „Prof. dr Radomir Bojkovi “ Kruševac
e-mail: glispom@gmail.com

Sažetak

Tokom eksploatacije vrelovodnog membranskog strmog kotla ERK–RH30 kapaciteta 30 MW, koji se nalazi u okviru termoeneretskog postrojenja JKP "Toplana Valjevo", izvršen je vizuelni pregled i napravljen fotografski zapis postrojenja na kojem su zapažene povećane naslage (depoziti) kao i povećano prisustvo kondenzacije, ovlaženih zona i korozije. Da bi kotlovsko postrojenje radilo prema zadatom režimu neophodno je primeniti sve raspoložive, propisane i zadate mere održavanja. U radu su prikazane terotehnoške aktivnosti grupisane prema izvoru finansiranja i prema vremenu u odnosu na nastalu neispravnost kotlovskog postrojenja.

Abstract

During the operation of hot water boiler membrane steep ERK-RH30 with capacity of 30 MW, located in the thermo energy plant PC "Heating plant Valjevo", a visual examination and photographic record of facility were made, in which significantly more deposits were perceived, as well as the increased presence of condensation, wetted zone and corrosion. It was necessary to apply all available, correct and required

maintenance measures, so that power station would be in regime. The paper presents terotechnological activities grouped by source of funding and the time in relation to the resulting failure of the boiler plant

Ključne riječi: *vrelovodni kotao, depozit, oštećenje, korozija, održavanje*

Keywords: *hot water boiler, deposit, damage, corrosion, maintenance*

1. Uvod

Parni kotao je deo kompleksnog energetskog, procesnog ili toplotnog sistema u kom se hemijska energija goriva transformiše u energiju vodene pare. Kotlovi mogu biti:

- parni.
- toplovodni
- vrelovodni

Prema konstrukciji, vrelovodni kotlovi se mogu podeliti na:

- Kotlove sa plamenom cevi i dimnim cevima
- Kotlove sa voduogrejnim cevima, a oni na:
 - a) kotlove sa voduogrejnim cevima bez doboša
 - b) kotlove sa voduogrejnim cevima sa dobošem

Osnovna prednost kotlova sa plamenom cevi i dimnim cevima je da im je temperatura vode ujedna ena i da mogu da budu završeni potpuno u fabrici i isporu eni kao tzv. "blok kotlovi". Blok kotlovi se proizvode kao: generatori zasi ene ili pregrejane pare, generatori toplote i vrele vode za zatvorene i otvorene sisteme, potpuno automatski za sagorevanje lakog ili teškog ložnog ulja, raznih gasova, kao i raznih otpadaka, kotlovi sa ekranisanom zadnjom komorom, kotlovi sa dve plamene cevi. U pogledu cirkulacionih tokova i mešanja vode može se usvojiti da u kotlu vlada srednja temperatura koja je približno jednaka aritmeti koj sredini temperature vode na ulazu i izlazu. Osnovni nedostaci kotlova ovog tipa su:

- relativno ograni eni kapacitet i pritisak
- zaprljanost sa vodene strane može da dovede do ozbiljnih havarija, jer u slu aju stvaranja kamenca ili taloženja ulja, bitno raste temperatura plamene cevi i dimnih cevi u odnosu na temperaturu cilindri nog omota a, pa nastala razlika u dilatacijama može da dovede do pucanja ravnih cevni h zidova. [4]

Ošte enja koja se javljaju kod kotlovskih postrojenja mogu da budu posledica delovanja razli itih mehanizama, pri emu postoje i situacije kada više mehanizama deluje istovremeno. Da bi se dobila što realnija slika o stanju materijala kotlovskog postrojenja, odnosno da bi se što realnije procenio životni vek i pouzdanost postrojenja, neophodno je svako postrojenje i njegove komponente posmatrati nezavisno, obzirom da pojava ošte enja zavisi pre svega od faktora koji su karakteristi ni za dato postrojenje - konstrukcija, karakteristike postrojenja, vrsta goriva i njegove karakteristike, radni parametri (neujedna enost kvaliteta goriva, broj startovanja, vreme neprekidnog rada), itd. Zbog razli itog životnog veka i pouzdanosti, neke elemente postrojenja treba menjati ranije odnosno više puta u životnom veku, zavisno od odnosa trajanja životnog veka, pouzdanosti elemenata i uslova eksploatacije. Kada je re o kotlovskim postrojenjima, u najve em broju

slu ajeva razaranje komponenti se odvija postepeno. Obzirom da je veoma teško uo iti po etne stadijume ošte enja a samim tim i razaranja, nije mogu e sprovesti bilo kakvu akciju u okviru preventivnog održavanja, kojom bi se spre ilo širenje ošte enja. Posle izvesnog vremena kada je ošte enje ve vidljivo neophodno je primeniti mere održavanja pre nego što do e do loma.

2. Osnovni tehni ki podaci o kotlovskom postrojenju

U okviru termoeneretskog postrojenja JKP "Toplana Valjevo" nalazi se vrelovodni membranski strmi kotao ERK–RH30 kapaciteta 30 MW, koji se koristi za proizvodnju vrele vode zagrevanjem instalacija za grejanje objekata korisnika daljinskog grejanja, distribucijom fluida preko vrelovoda i podstanica. Proizvo a kotlovskog postrojenja je „REMMING“ d.o.o. - Srbobran. Kotao je u eksploataciji od 2007. godine.



Slika 1. Izgled vrelovodnog kotla ERK – RH30

Osnovni tehni ki podaci o kotlu dati su u tabeli 1. Rad vrelovodnog kotla ERK– RH30 omogu ava proizvodnju pregrejane, vrele vode, sagorevanjem mazuta preko gorionika "Saacke Bremen–GMGZ 300". Napajanje kotla demineralizovanom kotlovskom vodom vrši se preko napojnog rezervoara. Kao gorivo koristi se mazut uz dodatak aditiva (ISO PMDI 92140 1 A1 i Hydeo X). Vrelovodne i napojne instalacije su izolovane mineralnom vunom.

Tabela 1 - Tehni ki parametri vrelovodnog kotlovsog postrojenja ERK–RH30, JKP „Toplana Valjevo“

Godina proizvodnje	2007.
Radna zapremina	14,1 m ³
Maksimalno dozvoljena temperatura	130 C
Maksimalno dozvoljen nadpritisak	16 bar
Ispitni pritisak	33 bar
Zagrevna površina	656 m ²
Gorivo	Mazut
Gorionik	„Saacke Bremen – GMGZ 300“

3. Ispitivanja kotlovsog postrojenja metodama bez razaranja

Ispitivanja kotlovsog postrojenja metodama bez razaranja obuhvatila su standardne postupke:

- vizuelni pregled
- merenje debljine zida ekranskih cevi
- merenje tvrdo e metala na odabranim ekranskim cevima
- detekciju korozijskih ošte enja i taloga

Vizuelni pregled vrelovodnog strmog membranskog kotla obavljen je na licu mesta i sastojao se u sagledavanju stanja unutrašnjih površina sa otvorenim svim revizionim otvorima sa plameno-dimne strane, otvorenim gorionikom, otvorenim ekonomajzerskim delom kotla i otvorenim dimnim kanalom do ventilacionog otvora. Kotao se zagreva preko gorionika sagorevanjem mazuta kome su dodati aditivi (slika 2).



Slika 2. Gorionik

Sagorevanje je prigušeno i ne odgovara zahtevanom režimu rada gorionika. Pri sagorevanju plamen nije u osi kotla. Napravljen je fotografski zapis ekranskog dela kotla i ekonomajzerskog dela

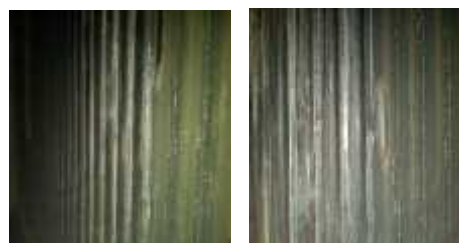
postrojenja u kome su prime ene pove ane naslage (depoziti) na cevima eko-paketa do zagušenja. Ekranski deo kotla optere en je izrazito velikom koli inom pepela na podu (slika 3.a) i sa razli itom debljinom i kvalitetom depozita nastalim taloženjem produkata sagorevanja na zidovima, podu i tavanici kotla (slika 3.b).



Slika 3. a) Nanosi pepela u ekranskom delu
b) Membranski cevni snop

Opis depozita (šljake) u ekranskom delu kotla:

- bo ni vertikalni zid sa desne strane ekranskog dela u predelu iza kolektora (gledano od gorionika) je zamašen nesagorelim mazutom i bruniran (slika 4.a).
- bo ni vertikalni zid sa desne strane ekranskog dela u predelu pre kolektora (gledano od gorionika) zaprljan je depozitom male debljine (slika 4.b).
- bo ni vertikalni zid sa desne strane ekranskog dela u predelu kolektora – etiri vertikalne cevi (gledano od gorionika) su potpuno iste i suve.



Slika 4. a) Depozit u vertikalnoj zoni ognjišta, (iza kolektora), b) Depozit u vertikalnoj zoni ognjišta, (ispred kolektora)

- bo ni vertikalni zid sa leve strane i eoni vertikalni zid (gledano od gorionika) ekranskog dela kotla optere eni su nanosom depozita debljine 1 mm.

- eoni vertikalni zid u zoni gorionika opterećen je depozitom debljine cca 2 mm (slika 5.a).
- tavanica u ravnom membranskom delu ekrana sadrži depozit debljine 4 mm (slika 5.b)



Slika 5. a) Depozit u eonoj vertikalnoj zoni ognjišta, b) Depozit na tavanici ekranskog dela

Usled korozije i drugih uticaja radne sredine došlo je do istanjenja i oštećenja zidova ekranskog sistema zadnje komore. Istovremena pojava visokotemperaturne i niskotemperaturne korozije mogu a je kod postrojenja koja rade neprekidno (idealni tehni ki kapacitet) i koja kao radni fluid koriste pregrejanu vodenu paru. Zbog temperatura koje vladaju na površinama metala kroz koje se ostvaruje razmena toplote izme u dimnih gasova i radnog fluida, kod postrojenja koja kao radni fluid koriste vrelu vodu, u normalnim uslovima rada, isklju ena je pojava visokotemperaturne korozije. Sa druge strane, u zavisnosti od režima rada (rad sa prekidima u radu ili bez prekida) u navedenim postrojenjima su mogu a dva vida niskotemperaturne korozije: tzv. *cold-end* i *dew point*. Iako je sli an mehanizam odvijanja oba vida korozije sli an, termin *dew point* se u literaturi esto odnosi na korozioni proces koji otpo inje nakon kondenzovanja vodene pare iz vazduha i reakcije depozita sa kondenzatom u periodu prekida rada postrojenja. Termin *cold-end* korozija odnosi se na koroziju hladnih delova postrojenja koja otpo inje nakon kondenzovanja para kiselina iz dimnih gasova i njihovog deponovanja na površine metala u toku rada postrojenja.[6] Prema istraživanjima *dew-point* korozija nastaje kao posledica sposobnosti depozita da u reakciji sa kondenzovanom vodenom parom stvori sredinu u kojoj e do i do odvijanja

samog procesa, dok su za nastanak *cold-end* korozije od zna aja temperatura površine metalne cevi kao i udeli vodene pare i SO_3 u dimnim gasovima. [8]

Vizuelnim pregledom zapaženo je prisustvo kondenzacije i ovlaženih zona sa tragovima curenja na membranskim cevima br.14 koje su su eono zavarene. Ove cevi se nalaze vertikalno ispod gorionika u ekranskom delu kotla (slika 6.a). Vlaga u dimnim gasovima poti e od goriva (mazuta), procesa sagorevanja, propuštanja kotlovskih cevi, kao i od vlage nastale usled rada duva a gareži i gorionika. Obzirom da nisu predvi eni za transport pepela kroz eko-paket, duva i gareži ne vrše svoju funkciju samo iš enja, usled ega se njihovim radom intenzivira sabijanje vrstih produkata sagorevanja u dimne prolaze ekonomajzera (zagreva a vode), što dovodi do zagušenja i smanjenja razmene toplote.



Slika 6. a) Ošte enje zida memembranske cevi prednjeg ekranskog dela i b) Izgled ošte enog duva a gareži, c) Ošte enje cevi eko-paketa

Na slici 6.b, prikazan je desni donji duva a gareži koji je ošte en usled kompresije vazduha. Odre ena koli ina pepela koja pro e kroz eko-paket puni dimne kanale do zagušenja, što stvara uslove za pregrevanje cevi ekonomajzera i dovodi do ošte enja cevi i konstrukcije eko-paketa. Pored pojave makroskopske korozije (ta kasta korozija) sa spoljašnje strane zida cevi do dubine od 2,85 mm (slika 6c), uo ena je i pojava korozionog raslojavanja približne debljine 0,06 mm. Intenzivna korozija sa spoljašnje strane cevi, nastaje kao posledica: loše konstrukcije, nepodešenosti rada gorionika ili nepotpunog sagorevanja mazuta.

Debljina zida cevi. Ispitivanje debljine zida ekranskih cevi pomo u ovog ure aja vršeno je na ukupno 18 brušenih cevi u na kriti nim cevima u dve zone u skladu sa proverama potrebe za reparacijama i zamenama cevi. Za

otkrivanje korozivskih oštećenja i promene u dimenzijama do kojih je došlo usled dejstva korozije (pojava naslaga sa unutrašnje strane ekranske cevi) bez njenog isecanja, korišćenje ultrazvučne uređaje DM-2 sa sondama tipa DA 130/70. Navedena ispitivanja su rađena prema standardu DIN 54126. Izmerene vrednosti debljine zida cevi su u intervalu od 4,3 - 4,5mm. Sa unutrašnje strane cevi uo avaju se koroziona oštećenja i prisustvo naslaga debljine od 0,05 - 0,09mm. Međutim, sa makrosnimka vizuelne kontrole uoeno je da su naslage sa spoljašnje strane cevi mnogo veće debljine (izme u 10-15mm).

3.1. Rezultati ispitivanja uzoraka cevi

Hemijska analiza Ispitivane cevi su izrađene od vatroopronog elika 1214/1. Uporedni prikaz rezultata analize ispitivanja hemijskog sastava cevi M 1-3 i sadržaja hemijskih elemenata za elik 1214/1 propisanih standardom DIN 17175 dati su u tabeli 2, na osnovu čega se može zaključiti da je hemijski sastav uzoraka cevi M 1-3 zadovoljavajući. Sadržaj ugljenika u cevima je na donjoj prihvatljivoj granici.

Tabela 2 – Hemijski sastav materijala cevi 1214/1

Oznaka hem. elementa	DIN 17 175	Cevi M 1-3
C (%)	0,17	0,100
Si (%)	0,10-0,35	0,139
Mn (%)	0,40-0,80	0,456
P (%)	0,040	0,005
S (%)	0,040	0,003
Cr (%)		0,122
Ni (%)		0,070
Mo (%)		0,027
V (%)		0,038

Mehanička svojstva materijala Od mehaničkih svojstava ispitivana je tvrdoća cevnog sistema po Brinelu. Tvrdoća je merena na spoljnoj površini cevi iz ložišta, u okolini zavarenog spoja cevi sa membranom. Rezultati navedenog merenja i standardom propisane vrednosti tvrdoće za elik 1214/1 prikazani su u tabeli 3. [7]

Tabela 3 – Rezultati ispitivanja tvrdoće cevi po Brinelu HB

	Uzorak (cev br.)	Merno mesto		Interval tvrdoće za 1214/1 (P235 GH): 113 – 150 HB
		1	2	
	1	131	124	
	5	136	144	
	9	139	139	
	13	142	139	
	17	140	150	
	21	140	137	
	25	137	145	
	29	135	145	
	33	142	140	
	37	135	139	
	41	135	140	
	45	133	133	
	49	136	132	
	53	135	130	
	57	142	132	
	61	117	142	
	65	142	126	
	69	119	128	

Na osnovu izmerenih tvrdoća spoljašnjih površina cevi po Brinelu i vrednosti tvrdoće materijala cevi 1214/1 koje su propisane standardom prikazanih u tabeli 3, može se zaključiti da su tvrdoće cevi na nivou propisanih vrednosti.

Tabela 4 – Hemijski sastav depozita i pepela

Izabrani element	Izmerene vrednosti depozita i pepela (mg/kg)			
	Pepeo iz ložišta	Depozit sa tavanice ekrana	Depozit sa poda ekrana	Depozit ispod gorionika
Fe	2881,8	10155	4862	7858
Cu	102,3	145,8	113,2	83,65
Mn	155,8	434,3	325,6	754,1
Ni	740,3	135,2	2175	122,9
Al	272,5	201,9	3.879	4,804
Na	249,6	258,7	7.539	261,1
Ca	820,6	725,3	1.149	894,3
V	1855	126,6	6048	229,1
Rh	172,7	340,9	353,4	82,39
Sadržaj karbonata [10 ⁻³]	0,98	0,97	0	0

Analizom depozita iz kotla (tabela 4), zapaženo je da koli ina pojedinih hemijskih elemenata varira u zavisnosti od mesta uzorkovanja, što ukazuje na nepotpuno sagorevanje mazuta i nepodešenost gorionika. Ošte enja cevi su najverovatnije bila posledica niskotemperaturnih korozionih procesa u toku rada i u periodima prekida rada postrojenja.

4. Terotehnologija kotlovsog postrojenja

Terotehnološki poslovi i aktivnosti se mogu grupisati na osnovu etiri kriterijuma:

- prema izvoru finansiranja
- prema tehnološkoj nameni
- prema vremenu u odnosu na nastalu neispravnost
- prema na inu (karakteru) delovanja u odnosu na tehni ko sredstvo.

Prema izvoru finansiranja (knjigovodstveni prilaz), vrši se podela održavanja na:

- teku e
- investiciono (režimsko) održavanje

Rad kotlovsog postrojenja uslovljen je kvazi - rednom vezom gde otkaz jednog (ili više elemenata) ne uzrokuje otkaz sistema ve nastavlja rad sa pogoršanim karakteristikama. Da bi kotlovsog postrojenje radilo prema zadatom režimu neophodno je primeniti sve raspoložive, propisane i zadate mere održavanja. Prema vremenu u odnosu na nastalu neispravnost, razlikuje se:

- program korektivnog održavanja
- program plansko-preventivnog održavanja.

Korektivni sistem održavanja karakterišu intervencije održavanja prema nastalom kvaru, odnosno poreme aju kotlovsog postrojenja. Intenzitet korektivnog održavanja direktno zavisi od otkaza elemenata svih nivoa složenosti. Intenzitet otkaza se može predvideti na osnovu pra enja ponašanja kotlovsog postrojenja u eksploataciji, na osnovu podataka o sli nim termoenergetskim postrojenjima, primenom neke od metoda za alokaciju pouzdanosti i podataka proizvo a a. Plansko – preventivni sistem održavanja predstavlja skup

sistematskih mera za otklanjanje uzro nika poreme aja normalnog rada postrojenja. Interpretacija ove vrste održavanja prilago ena je uslovima i potrebama kotlovsog postrojenja i obuhvata:

- proveru sigurnosne, signalne i zaporne opreme
- iš enje i zaštitu od korozije: ekranskog dela i eko-paketa
- pregled i kontrolu parametara sagorevanja i elemenata bitnih za rad kotlovsog postrojenja
- pregled i kontrolu kolone za pripremu kotlovske vode i otprašiva a
- zamenu potrebnih delova
- male opravke
- srednje opravke
- generalne opravke

Pove an sadržaj sumpora u gorivu direktno uti e na intenziviranje korozije. Izdvojena vlaga u kontaktu sa naslagama na spoljnoj površini cevi, koje su oboga ene sumporom (SO_3) formira elektrolit – sumporastu (sulfitnu) H_2SO_3 i sumpornu (sulfatnu) H_2SO_4 kiselinu vrlo niske pH vrednosti što rezultira vrlo intenzivnom korozijom metala ispod naslaga. U cilju spre avanja nastanka korozionih procesa u kotlovsim postrojenjima, neophodno je smanjenje sadržaja štetnih primesa u gorivima ili njihovim prevo enjem u manje štetne oblike i/ili pove anjem pH vrednosti sredine. [6] Osim navedenog treba obezbediti potpuno uklanjanje naslaga sa cevi eko-paketa. Nakon iš enja neophodno je utvrditi stepen zahva enosti korozijom i stepen ošte enja svih eko zona. Obzirom na postojanje korozije na unutrašnjim stranama cevi neophodna je kontrola pripreme vode, da bi se spre ilo intenziviranje korozivnih procesa. Poseban slu aj preventivnog održavanja predstavlja održavanje prema stanju. Konceptija ovog vida se bazira na razradi metoda, tehnika i opreme za sistematsko pra enje i uvod u stanje ispravnost elemenata postrojenja (tehni ka dijagnostika) i preduzimanje adekvatnih mera radi spre avanja nastanka njihove neispravnosti.

4.1. Investiciono i teku e održavanje kotlovsog postrojenja

Teku e održavanje odnosi se na sve poslove koji se finansiraju iz ostvarenih finansijskih sredstava postrojenja u toku teku e godine. Teku e održavanje karakteriše: manja složenost i obim radova, viša u estanost izvo enja radova, mogu nost izvo enja u vaneksploataciono vreme, neizmeštanje tehni kog sredstva sa mesta upotrebe, manji ukupni iznos troškova. [1] Teku e održavanje izvode korisnici ili radnici službe održavanja. Pove avanje koli ina a i i pepela u ekranskom delu kotla nastaje kao posledica: sagorevanja goriva (mazuta) razli itog kvaliteta i nižeg stepena optere enja gorionika. ak i male koli ine depozita smanjuju stepen iskoriš enja i skra enje životnog veka kotla. Usled navedenog u letnjem periodu - kada kotao ne radi - treba izvršiti eliminaciju nataložene a i i pepela. Automatsku regulaciju gorionika treba podesiti na optimalan režim rada kotlovsog postrojenja. Osim navedenog, gorionik treba podesiti u pravcu horizontalne ose ložišta da bi se obezbedilo ravnomerno zagrevanje membranskih zidova ložišta. Ventile sigurnosti treba baždariiti prema radnom pritisku, zapornu i signalnu armaturu pregledati i ispitati propusnost i funkcionalnost, a merne ure aje (termometre i manometre) treba etalonirati i etiketirati markicama o ispravnosti i ta nosti opsega merenja. Sva ispitivanja podležu zakonskoj regulativi.

Investiciono održavanje odnosi se na ve e radove i zahvate, pa se sredstva obezbe uju na duži vremenski rok preko investicija. Investiciono održavanje karakteriše: ve i obim i složenost poslova u odnosu na teku e održavanje, relativno visoki troškovi, niska u estanost izvo enja, finansiranje iz troškova amortizacije. [1] Investiciono održavanje izvode isklju ivo radnici službe održavanja. Izrada i ugradnja novog eko-paketa (zadržana je konstrukcijska osnova ekonomajzera) doprinosi pove anju ventilacije u ekranskom delu kotla i boljem sagorevanju u ognjištu. Poboljšanja u izradi novog eko- paketa obuhvataju rastere enja

uz pove anu preciznost pri montaži, ime se oslobaaju kanali za protok dimnih gasova. Obzirom da duva i gareži ne vrše funkciju samo iš enja, pa samim tim nastaje taloženje a i, treba ih ukloniti. Konstrukcija i montaža novog eko-paketa bi omogu ila: minimalno taloženje depozita u ekonomajzeru i eko-paketu, maksimalnu prohodnost dimnih gasova kroz ekonomajzerski deo, pove anje životnog veka cevi eko-paketa, stabilnost u radu kotlovsog postrojenja, smanjenje potrošnje goriva i bolje sagorevanje, smanjenje zaga ivanja životne sredine, smanjenje koncentracije reziduala u dimnim gasovima.

5. Zaklju ak

U radu su prikazani uzroci nastajanja ošte enja na cevima vrelovodnog kotlovsog postrojenja kao posledica depozita i uslova pod kojima je postrojenje radilo. U cilju spre avanja korozije neophodno je obezbediti potpuno uklanjanje depozita sa cevi. Kao rezultat u estalog startovanja i zaustavljanja kotlovsog postrojenja, intenzivira se zagrevanje i hla enje metala, što podsti e širenje prsline, odnosno nastanak loma usled zamora materijala. Kombinovani gorionik treba podesiti prema parametrima goriva koje se koristi u eksploataciji, usled ega je neophodna u estala provera kvaliteta mazuta i odre ivanje ta ke paljenja.

Bibliografija:

1. Klarin M, Ivanovi G, Stanojevi P, Terotehnologija, ICIM –Izdava ki centar za industrijski menadžment, 1999, tom VI
2. Šija ki Žerav i V. i dr, Ocena integriteta cevnog sistema vrelovodnog kotla izloženog koroziji, Termotehnika br.1, godina XXXV, 2009, pp. 95-110
3. Šija ki Žerav i V. i dr, Analiza rezultata ispitivanja vrelovodnog kotla kao podloga za ocenu njegovog integriteta, Integritet i vek konstrukcija, 2007, vol.7, br.2, pp. 133-140

4. uri V, Parni kotlovi – posebna poglavlja, Beogradski izdava ko – grafi ki centar, 1973, pp.4.14
5. uri S, Mil i D, Smilkovi M, Saniranje cevi ekranskog sistema vrelovodnog blok kotla, IMK-14 Istraživanje i razvoj, 2010, br.36
6. Gligorijevi B, Jegdi B. i dr, Niskotemperaturna korozija u vrelovodnim kotlovskim postrojenjima, Termotecnika XXXV, 3-4, 2009, pp. 251-261
7. Izveštaj o ispitivanju kotla, Kontrolinženjering, 2010.

Istorija rada:

Rad primljen: 29.04.2013.

Prva revizija: 21.05.2013.

Prihvata en: 26.05.2013.