

PRIMERI OTKAZA ZBOG KOROZIJE U JKP „BEOGRADSKE ELEKTRANE“ CORROSION FAILURE EXAMPLES IN JKP “BEOGRADSKE ELEKTRANE”

Stručni rad / Professional paper
UDK /UDC: 620.193.5: 621.18; 620.193.5: 621.643
Rad primljen / Paper received: 10.05.2006.

Adresa autora / Author's address:
¹) JKP „Beogradske elektrane“, Centar za ispitivanje, kvalitet i ekologiju
²) Viša tehnička škola, Novi Beograd, bul. Avnoja 152a

Ključne reči

- sistem daljinskog grejanja
- korozija
- kotlovi
- cevovodi

Izvod

U tekstu su ukratko opisani sistem centralnog grejanja i prikazani su primeri korozijskih oštećenja na pojedinim elementima sistema.

UVOD

Sistem daljinskog grejanja se pokazao kao efikasan i ekonomičan u gradovima. U funkcionisanju ovog sistema mogu se pojaviti tehnološki problemi, a najrizičniji od njih su oni koji izazivaju zastoje u radu, tj. snabdevanju grejnim fluidom. Najčešći uzrok otkaza je korozija. Dijagnostici i prevenciji otkaza daljinskog grejanja u pogledu korozije se posvećuje sve veća pažnja radi poboljšanja rada sistema.

Pojava korozije je u početku retka, dok je ugrađen sistem nov, i zbog toga je njen uticaj zanemarljiv. Sa vremenom eksploatacije procesi korozije napreduju, možda i više kada sistem ne radi, u toku leta. Kada razvoj korozije odmakne, problemi u radu sistema daljinskog grejanja postaju izraženi i često izazivaju otkaze, odnosno zastoje.

Najvažniji primeri otkaza zbog korozije se javljaju u toplovodnim izvorima i toplovodnom sistemu. Dominantne su kiseonična i vodonična korozija.

DALJINSKO GREJANJE

Daljinsko grejanje predstavlja snabdevanje toplotnom energijom gradova razvođenjem toplote od centralizovanog izvora toplote. Prvi sistem je počeo sa radom 1900. godine u Drezdenu. U odnosu na pojedinačno grejanje sa toplotnim izvorom u svakoj zgradi, uvođenjem daljinskog grejanja se postiže veća toplotna efikasnost i veći stepen sigurnosti, a bitno se smanjuje ekološko zagađenje. Primena sistema daljinskog grejanja u Srbiji datira od 1961. godine, kada su pušteni u rad sistemi u Beogradu i Novom Sadu. Nedostaci sistema daljinskog grejanja su veliko investiciono ulaganje i to što zastoji u radu pogađaju veći broj korisnika, /1/.

Sistem daljinskog grejanja sastoji se od toplotnog izvora, rezervoara goriva, uređaja za pripremu vode i održavanje pritiska, razvodne mreže, toplotno-predajne stanice i kućne grejne instalacije. Toplota proizvedena u toplotnom izvoru se cevovodima razvodi do predajnih stanica, vezanih sa cevnom mrežom i grejnim telima kućne grejne instalacije.

Nosioci toplote su topla ili vrela voda i vodena para.

Keywords

- district heating system
- corrosion
- boilers
- pipelines

Abstract

A district heating system is shortly presented together with the cases of corrosion damages of individual system elements.

Postrojenje za proizvodnju samo toplotne energije je toplana (TO). U termoelektranama – toplanama (TE-TO) se istovremeno proizvodi električna i toplotna energija. Javno komunalno preduzeće „Beogradske elektrane“ (JKP BE) je toplana, jedan od najvećih klasičnih sistema grejanja u Evropi, sa 88 toplotnih izvora kapaciteta 2600 MW (15 su toplane daljinskog grejanja, a 69 su individualne kućne blokovske kotlarnice), sa 550 kilometara toplovodne mreže i 5000 predajnih podstanica toplana. Površina veća od 18 000 000 m² se greje sistemom JKP BE, /2/. Za razvod vode za grejanje i sanitarnu toplu vodu najčešće se koristi dvocevni sistem grejanja, kakav je i u JKP BE.

TOPLOTNI IZVORI I TOPLOVODI

Korozija najviše ugrožava toplotne izvore i toplovode u sistemu daljinskog grejanja. Prikaz ovih komponenti sistema treba da pomogne analizi otkaza zbog korozije. U kotlovima se hemijska energija goriva pretvara u gasovite produkte sagorevanja koji predaju toplotu radnom fluidu, vreloj ili toploj vodi, ređe pari. U JKP BE se kao toplotni izvori koriste strmocevni kotlovi ili blok kotlovi, a sistem je direktni (zagrejana voda iz kotla ide direktno u razvodnu mrežu) ili indirektni (zagrejana voda iz kotla ide u razmenjivač toplote i predaje toplotu razvodnoj vodi). Gorivo je prirodni gas (80% instalisane snage), a koriste se mazut (17%) i ugalj (3%). Najviši radni pritisak sistema je 25 bar, najviša izlazna temperatura 160°C, /2/.

Radni medijum, topla ili vrela voda, je temperature 70°C do 150°C, a cevovod radi pod pritiskom do 16 bar. Temperatura razvodne vode je obično 130°C do 150°C, a povratne vode 70°C. Prema najnovijim podacima za Beograd spoljnja projektna temperatura je povećana sa –18°C na –12°C, pa temperatura razvodne vode treba da bude 110°C, a povratne vode 60°C, /1/.

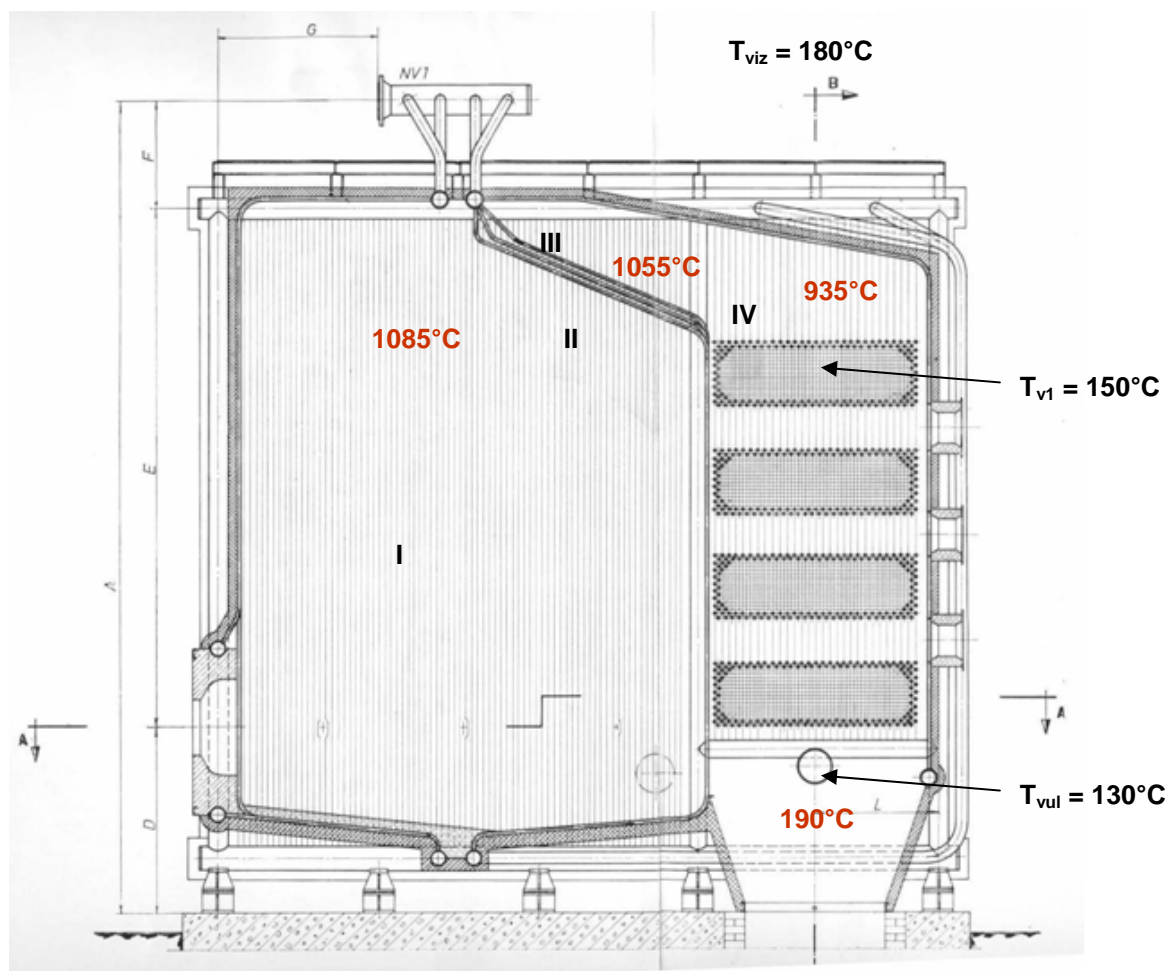
Na sl. 1 je prikazan strmocevni kotao sa ekranizovanim ložištem, ugrađen u sistemu JKP BE. Radni fluid je vrela voda, pritiska 25 bar, gorivo je gas ili mazut, temperatura

vode na ulazu u kotao 130°C, na izlazu iz kotla 180°C.

Temperatura dimnih gasova pri punom opterećenju je na kraju ložišta 1085°C, iza cevne zavese 1055°C, ispred konvektivnog snopa 935°C, na izlazu iz kotla 190°C.

Voda dolazi na konvektivnu grejnu površinu, a zatim u gornji sabirnik, koji je pomoću padnih (spusnih) cevi povezan sa donjim razvodnim kolektorima cevnih zidova. Kolektor pregradnog zida ložišta napaja se iz bočnih razvodnika. Bočne ekranske cevi ložišta dobijaju vodu direktno iz svojih razvodnika. Prolazeći kroz cevi ekrana

voda se zagreva direktnim zračenjem plamena iz ložišta. Preostala voda se odvodi kroz prednje ugaone cevi i razvodni kolektor u cevi prednjeg ekrana, a zatim u izlazni kolektor kotla. Voda od ulazne temperature do izlazne temperature zagreva na već opisanom putu vode kroz kotao. Cirkulacija vode kroz kotao je prinudna, odnosno, pod dejstvom cirkulacijskih i recirkulacijskih pumpi koje savlađuju sve otpore. Cevni zidovi kotla izvedeni su kao membranski, cevi Ø57 mm, sa korakom 75 mm. Kvalitet cevi je JUS Č.1214, a lima JUS Č.1204.



Slika 1. Izgled strmocevnog kotla sa rasporedom temperatura gasova i vode pri punom opterećenju, /3/

Plameno-dimni cevni blok kotao (sl. 2) sa tri promaje sastoji se od bubnja sa ravnim dancima i talasaste plamene cevi, koja je zavarena za danca. Iznad plamene cevi se nalaze dimne cevi druge i treće promaje, uvaljane („uvalcovane“) u danca, a zatim i zavarene. Zadnja skretna komora je ekranizovana cevima Ø57×3,6(4) od čelika Č.1214 i membranama od lima, čelik Č.1204. U plamenoj cevi sagoreva gorivo gas ili mazut. Dimni gasovi posle sagorevanja odaju toplotu plamenici (I promaja) i struje do zadnje skretne dimne komore, a zatim kroz srednji snop dimnih cevi (II promaja) prelaze u prednju komoru, gde se snop deli i kroz bočne snopove dimnih cevi (III promaja) gasovi odlaze u zadnju dimnu komoru koja je i pregradni zid između II i III promaje. Iz zadnje komore (III promaja) dimni gasovi

preko dimnih kanala i dimnjaka odlaze u atmosferu. Ulazna voda se uvodi u donji deo kotla sa obe bočne strane. Radni fluid je vrela voda, pritiska 18 bar.

Pločasti izmenjivači u sistemu imaju radnu temperaturu od najviše 150°C i rade na pritisku do 25 bar. Ploče su izrađene hladnim presovanjem od nerđajućeg čelika Č.4580 ili Č.4573, debljine 0,7 mm (sl. 3).

Do pre 20 godina je osnovni način izrade toplovoda bio polaganje u betonske kanale čeličnih cevi (Č.1212), izolovanih mineralnom vunom i zaštićenih bitumeniziranim hartijom i nerđajućom trakom, ponekad limenim omotačem od Al i pocinkovanog čeličnog lima (sl. 4). Problem ovih toplovoda je korozija zbog prodora vode pomešane sa solju kroz betonske poklopce i natapanja izolacije, /1/.

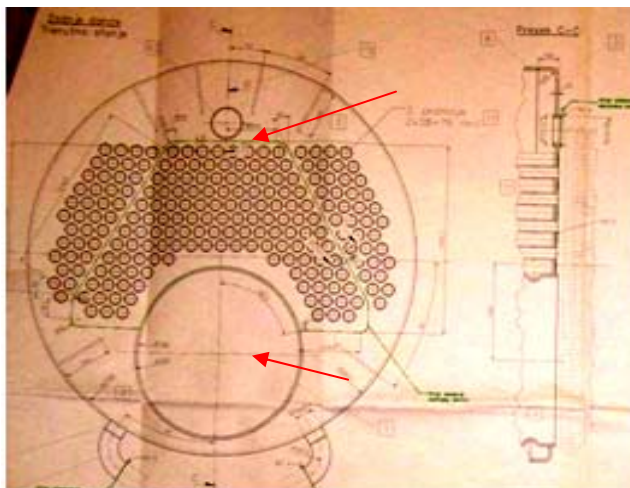
Sada se uglavnom izrađuju toplovođi od predizolovanih cevi, koje se sastoje od radne cevi, izolacijskog materijala i obložnog sloja (sl. 5), koji se direktno ukopavaju u zemlju, /4/. Radna cev se izrađuje od čelika St 37.0 (P235GH), kao bešavna (EN 10216-2) ili šavna cev sa podužno zavarenim šavom visokog kvaliteta (elektrotopno zavarene visoko frekventnim postupkom, EN 10217-2, ili elektrolučno zavarene pod zaštitnim slojem, EN 10217-5). Izolacijski sloj je od poliuretanske (PUR) tvrde pene. Obložni sloj je od tvrdog polietilena visoke gustine (PEHD) u vidu bešavno ekstrudirane cevi.

KOROZIJA U TOPLANAMA

Biće prikazana najčešća korozijska oštećenja daljinskog sistema grejanja, uočena u eksploataciji u Beogradu.

Dimne i ekranske cevi

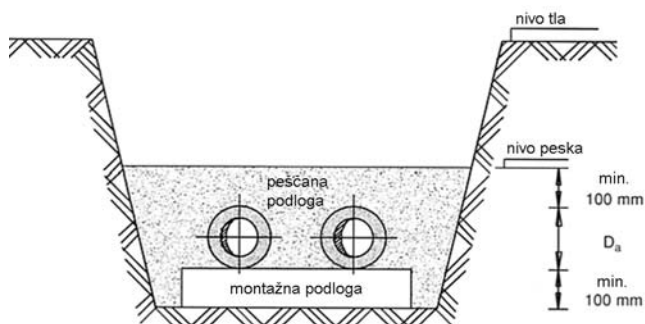
Na koroziju dimnih i ekranskih cevi kotla znatno utiče temperatura. Raspored temperatura u strmocevnom kotlu je prikazan na sl. 1. Maksimalne temperature u blok kotlu su istog nivoa ka u strmocevnom kotlu.



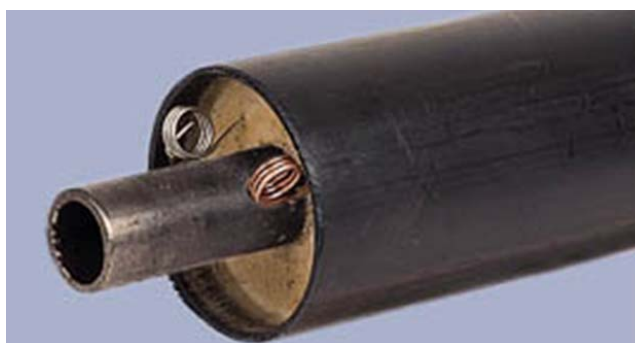
Slika 2. Blok kotao



Slika 3. Ploče izmenjivača toplote



Slika 4. Toplovod od čeličnih cevi, položen u betonski kanal



Slika 5. Predizolovana cev

Pregrevanje

Pregrevanje je čest uzrok korozije, posebno na plamenoj strani kotla, ekranskim cevima. Glavni uzrok pregrevanja, pripisano prekomernom i nekontrolisanom dodavanju goriva, je nepoštovanje uputstva za rukovanje, /5/.

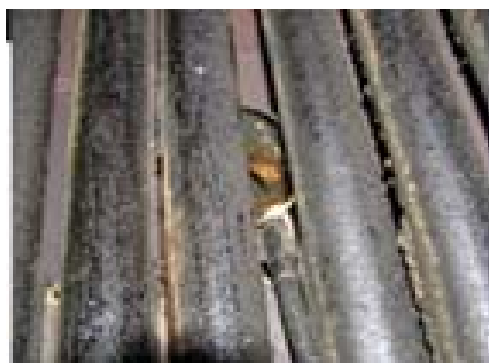
Vrlo visoke temperature, više od projektnih dovode do brzog oštećenja kotla. Na visokoj temperaturi je čvrstoća materijala cevi manja, a korozijski procesi su intenzivniji. Razvoj korozijskih procesa i njihovo ubrzavanje se pri pregrevanju ne mogu kontrolisati ni analitički opisivati.

Dato je nekoliko tipičnih primera korozijskog razaranja zbog pregrevanja. Često dolazi do oštećenja cevi u ložištu u zoni kontakta sa češljevima (sl. 6). Gorivo je mazut, a radni fluid vrela voda. Cevi ložišta su od čelika Č.1214, a nosači cevi u ložištu su od austenitnog čelika.

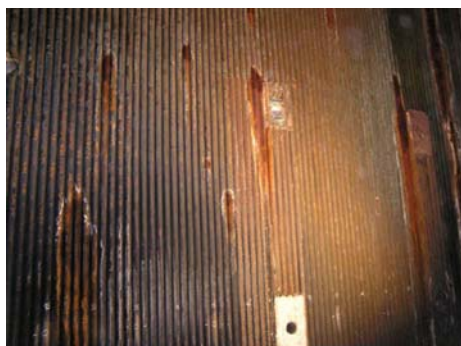
Kada se otkrije vlaženje ekranskih cevi (sl. 7) dalji rad nije dopušten. Slika dobijena posle ispitivanja penetrantima pokazuje da je prslina probila debljinu zida. Oštećenje cevi gornjeg reda ekonomajzera je prikazano na sl. 8, oštećenje plafonskih cevi na sl. 9.

Formiranje taloga na cevima kotla

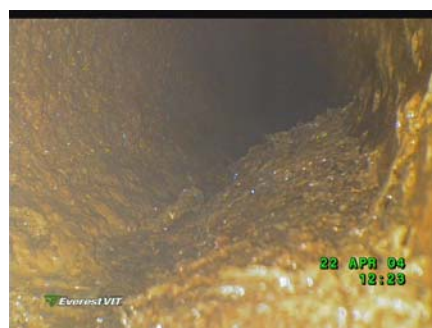
Voda se zagreva u kotlu i dalje transportuje do korisnika. U cevima za transport i razvod vrele vode se formira talog u cevovodu koji ugrožava hidrodinamička osobine protoka. Istaložene supstance smanjuju toplotnu provodljivost, bez obzira na hemijski sastav i poreklo, što praktično znači da se povećava potrošnja goriva za zagrevanje vode u kotlu. Problemi se ne javljaju samo zbog smanjenja protoka već i zbog korozijskih procesa u kontaktu talog – materijal cevi.



Slika 6. Oštećenja cevi u ložištu (gore) i u zoni nosača – kontakta sa češljevima (dole)



Slika 7. Vlaženje na ekranskim cevima: izgled (levo), orijentacija oštećenja (sredina), slika ispitivanja penetrantima (desno), /6/



Slika 8. Korozija gornjeg reda cevi ekonomajzera

Slika 9. Videoskopski snimak curenja i prevarivanja plafonskih cevi u donjoj zoni, na slici desno se vidi talog formiran sa vodene strane, /6/

Uočeno je da se talog u većem obimu formira u cevima koje su dalje od kotla. Objašnjenje za ovo treba tražiti u stepenu hemijske rastvorljivosti supstanci koje čine talog.

Štetne supstance su uvek prisutne u vodi, iako se ona tretira baš u cilju njihovog uklanjanja. Činjenica je da se u vodi uvek nalaze karbonati i bikarbonati, a u manjoj meri i druge

supstance. U talog ulaze i teško rastvorljive supstance, npr. $3\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot \text{H}_2\text{O}$, CaSO_4 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Rastvorljivost ovih supstanci u vodi je velika na visokim temperaturama koje vladaju u kotlu, a manja je na nižim temperaturama. To je osnovni razlog zašto taloga ima više u hladnijim cevima, dalje od kotla. Lokaciju intenzivne pojave taloga analitički je nemoguće odrediti, pa se utvrđuje direktnim snimanjem i merenjem na licu mesta.

Pod talogom se ne podrazumevaju slojevi sastavljeni isključivo od oksida železa (rđa). Takvi slojevi pripadaju opštoj koroziji, ali se javljaju i kada je prisutan oksidni tip korozije. Sa istaloženim supstancama reaguju i oksidi železa, gradeći još složenija jedinjenja.

Pregorevanje i formiranje taloga često idu zajedno, što je bio slučaj cevi u zoni zavese, prikazan na sl. 10. Kako su

oba procesa vremenski zavisna, jasno je da su se paralelno i odvijala. Međutim, lako je zaključiti da je talog na sl. 9. nastao pre pregorevanja cevi.

Do korozije vodene strane dimnih cevi dolazi pod uticajem visoke temperature, često i posle kraćeg radnog vremena, čemu doprinosi i stvoreni talog na cevi. Bubrežne segmenata cevi na mestu taloga konačno dovodi do prošupljivanja cevi. Primer na sl. 11 je otkriven posle tri godine eksploatacije, sa cevima koje su na mestima bubrežnja prošupljene. Materijal dimne cevi je čelik Č.1214. Sastav na njoj nađenog taloga je 96% Fe^{2+} u obliku Fe_2O_3 ; 2,11% Mg^{2+} u obliku MgCO_3 ; 1,23% nerastvorenih supstanci + SiO_2 , ali u talogu nije bilo Ca^{2+} u obliku CaCO_3 .

Sledeća mesta na kojima se formira talog su ekranske cevi (sl. 12) i plamenica (sl. 13).



Slika 10. Pregorevanje u zoni cevi zavese, desno se vide naslage sa vodene strane, /6/



Slika 11. Talog i bubrežnje na vodenoj strani dimne cevi (levo) i konačno prošupljivanje (desno)

Oštećenja elemenata kotla

Bubanj kotla i cevna ploča pri pregrevanju su izloženi visokoj temperaturi. Nastala oksidacija zadnjeg danca kotla prikazana na sl. 14. Prslina na cevnoj ploči su nastale zbog previsoke temperature i velike debljine lima (sl. 15). Spoj cevi i cevne ploče je podložan oštećenjima. Prslina na sl. 15 je lom razvijen kroz debljinu ligamenta između dva otvora za cevi (sl. 16).

Talog, razvijen zbog nepovoljnog hlađenja donje strane prednjeg danca sa unutrašnje (vodene) strane na 20 godina

starim velikim blok kotlovima (TE 111V) doveo je do učestane korozije u vidu brazdi (sl. 17), praćene prslinama i lomom (sl. 18). Sanacija prslina brušenjem i navarivanjem je bila kratkog veka i prsline su se ponovo javljale. Kao uspešno rešenje pokazalo se isecanje donjeg segmenta danca pod uglom od oko 120° , kojim su obuhvaćena oštećena područja sfernog, torusnog i cilindričnog dela) i zavarivanje novog segmenta (sl. 19), prema proverenoj specifikaciji tehnologije sanacije.



Slika 12. Talog na unutrašnjoj strani ekranskih cevi



Slika 13. Talog na plamenici



Slika 14. Oksidacija zadnjeg danca kotla zbog visoke temperature iznad plamene cevi



Slika 15. Prsline na cevnoj ploči nastale pod uticajem prekoračenja i promene temperature



Opšti izgled oštećenja



Prsline na zavarenom spoju cevi i ploče



Prslina kroz ligament (vidi sl. 15)

Slika 16. Oštećenje elemenata spoja cevi i cevne ploče

Korozija izmenjivača toplote

Voda za daljinsko grejanje se uzima iz vodovodne mreže Beograda, koja se tretira hlorom. Iako je sadržaj hlora mali, on lako stupa u hemijsku reakciju i njegovo prisustvo u vodi ubrzava koroziju. Posledice dejstva hlora se iskazuju na pločama izmenjivača toplote (sl. 3) pojavom proizvoda korozije i u konačnom vidu perforacijom zida (sl. 20). Na ispupčenjima, na kojima se dodiruju dve naspramne ploče izmenjivača, dolazi do korozije ubrzane hlorom.

Bele tačkice na sl. 3 potiču od refleksije svetlosti pri fotografisanju ovih elemenata od nerđajućeg čelika, to nisu eksploatacijska oštećenja. Perforacije su tačkaste, prečnika oko 0,5 mm, a ima i otvora prečnika 1 mm. Na sl. 3 je dat makroizgled, pa se sitni otvori ne vide, ali se vide pri većem

uvećanju na sl. 20. Dejstvo hlora na razvoj korozije je ovde izraženo, iako su ploče izrađene od nerđajućeg čelika Č.4580 (visoko legirani hrom-nikal čelik klase 18-8).

Korozija toplovoda položenih u kanale

Na sl. 21 je prikazana korozija sa perforacijom cevi posle 10 godina rada toplovoda položenog u kanal. Radni fluid je topla/vrela voda. Na sl. 22 su prikazane korozijske brazde na unutrašnjoj strani izvodnica kolena. Materijal kolena je Č.1212, radni vek 10 godina, topla/vrela voda. Atmosferska korozija zbog prodora spoljnje vode sa solju u kanale je uzrok korozije, prikazane na sl. 23, cevi položenih u kanale posle 10 godina eksploatacije. Sem opšte korozije vidljiv je i proboj kroz zid cevi, što je uslovalo curenje.



Slika 17. Korozija danca u vidu brazdi



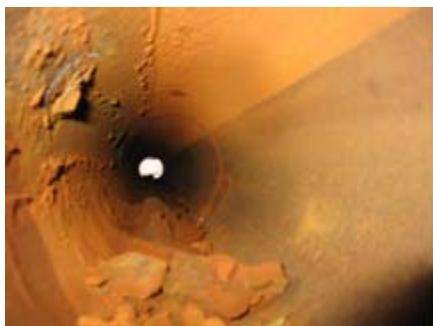
Slika 18. Prslina i lom posle korozije



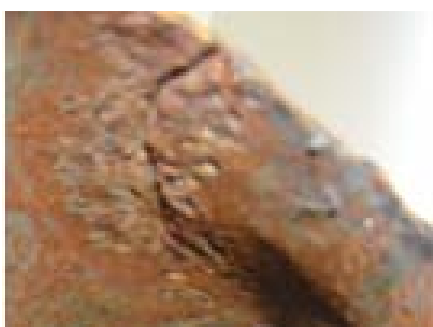
Slika 19. Segment zavaren za sanaciju danca



Slika 20. Spoljnji pogled na ploču izmenjivača toplote i vidljive perforacije



Slika 21. Izgled cevi oštećenih korozijom sa unutrašnje strane (levo), izgled taloga (sredina) i perforacija (desno)



Slika 22. Izgled kolena oštećenog korozijom sa unutrašnje strane (levo), brazde na gornjoj (sredina) i donjoj izvodnici (desno)

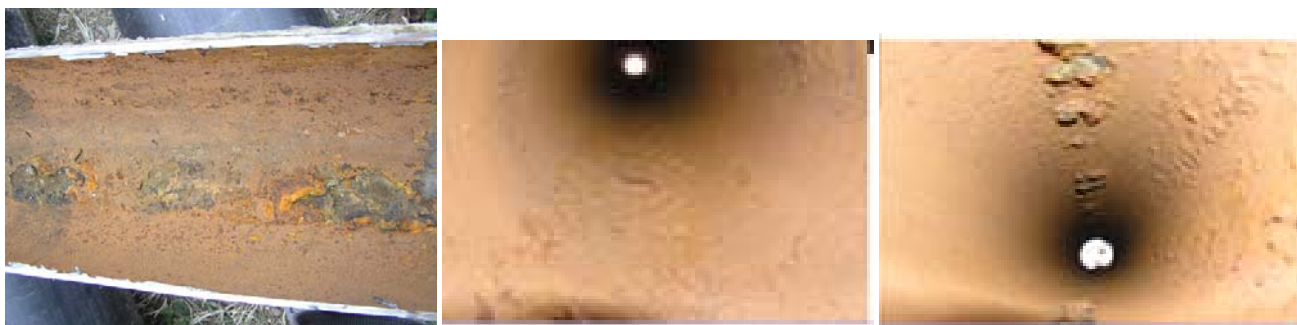


Slika 23. Izgled cevi oštećene atmosferskom korozijom sa spoljne strane (levo), proboj na cevi (sredina) i opšta korozija (desno)

Korozijska oštećenja cevi predizolovanih toplovođa

U grejnoj sezoni 2006/07 je došlo do čestih otkaza zbog curenja predizolovanih toplovođa ugrađenih u periodu posle 2002. Materijal cevi je St.37.0, cev predizolovana, fluid topla voda, tri godine eksploatacije. Razlog su kraterska korozijska oštećenja, uglavnom u donjoj zoni potisne cevi. U cevima je uočen talog sa pojavom „bubrenja“ u zoni

kratera. Na sl. 23 se vidi talog sa vodene strane predizolovane cevi, a na sl. 24 stanjenje zida zbog kratera sa unutrašnje strane zbog kiseonične korozije, pre prošupljivanja. Jače delovanje kiseonika je moguće zbog uklanjanja mineralnih materija. Talog se sastoji iz 86,20% Fe^{3+} u obliku Fe_2O_3 , 4,23% Mg^{2+} u obliku MgCO_3 i 8,57% nerastvorenih supstanci i SiO_2 .



Slika 23. Talog na predizolovanoj cevi sa vodene strane



Slika 12. Stanjenje zida cevi sa unutrašnje strane na mestu kratera zbog kiseonične korozije

ZAKLJUČAK

Korozija u sistemu daljinskog grejanja je osnovni razlog otkaza sistema. Prikazani primeri korozije zahtevaju da se korozija redovno prati i da se preduzimaju intervencije radi sanacije.

LITERATURA

1. Todorović, B., Vasiljević, P., Projektovanje postrojenja za daljinsko grejanje, Mašinski fakultet, Beograd, 2005.
2. www.beoelektrane.co.yu
3. Gorobinski, J., Bogner, M., Vrelvodni kotlovi, izd. Đuro Đaković
4. JUS EN 253:2005
5. Zbirka isprava za kotao Đuro Đaković
6. Izveštaji o termografskom ispitivanju objekata, Centar za ispitivanje, kvalitet i ekologiju, Beogradske elektrane, Beograd, 2003–2005.