

**KOROZIJSKA OŠTEĆENJA KOTLOVSKIH POSTROJENJA I  
IZMJENJIVAČA TOPLINE KAO POSLJEDICA KVALITETE  
PRIPREME VODE**

**CORROSION DAMAGES OF BOILER PLANTS AND HEAT  
EXCHANGERS CAUSED WITH QUALITY OF PREPARED WATER**

**Doc.dr.sc. Vlatko Marušić  
Prof.dr.sc. Ivan Vitez  
Prof.dr.sc. Dragomir Krumes  
Strojarski fakultet Slavonski Brod,  
Sveučilište Osijek  
HR-35000 Slav.Brod, Hrvatska**

**Ključne riječi:** energetska i procesna postrojenja, održavanje, pouzdanost rada, korozija

**REZIME**

*Za održavanje pune pogonske sigurnosti kotlovskih postrojenja i izmjenjivača topline nužno je održavati propisanu kvalitetu napojne i kotlovske vode. U radu su obrađeni i sistematizirani rezultati dugogodišnjih laboratorijskih ispitivanja i praćenja uzroka oštećivanja dijelova postrojenja s vodene strane. Konstatirano je da su daleko češća lokalna oštećenja nastala na graničnoj plohi odijeljenih faza vodenog medija. Zaključeno je da je, u cilju ispravne procjene pouzdanosti rada i ponašanja objekta u daljnjoj eksploataciji, od posebnog značaja suradnja Laboratorija i službe održavanja koja treba raspolagati podacima o ugrađenom stanju i uvjetima uporabe (parametri i promjene).*

**Key words:** Thermo-power and petrochemical plant operation, Maintenance, Safer service, Corrosion

**SUMMARY**

*For maintenance of full safety of boiler plants and heat exchangers it's necessary had continuous quality of proposed water and boiler water. This paper deals and sistematizes results of many years of laboratory testings and control of cases of damages boiler plants elements on water side. The conclusion was reached that local damages spread over the boundary surface of the separated phases of media. It was found out that cooperation of Laboratory with Maintenance Service Department play key role if we want to reach correct assesment of the situation, forecast behaviour of the plant during exploitation period and full reliability. This cooperastion is very important and Maintenance Service Department must had all relevant data relating as built condition and also relating to operational parameters during exploitation period.*

## 1. UVOD

I danas je prisutna pojava da glavni akteri gradnje, poklanjajući maksimalnu pažnju financijama i rokovima, podrazumijevajući pouzdan rad opreme u eksploataciji, prilikom ugovaranja i prijema opreme propuštaju uobziriti i troškove normalnog održavanja. Naročito energetska, petrokemijska i prehrambeno-procesna postrojenja, zbog visine osnovne investicije, trebaju prilikom isporuke inzistirati i na potpunoj pratećoj tehničkoj dokumentaciji. Kod toga troškovi nadzora u cilju veće pouzdanosti, a pogotovo snižavanja troškova uporabe kroz smanjenje zastoja, imaju izniman utjecaj. Radne temperature, tlakovi i često korozivni mediji, parametri su koji u kotlovima, izmjenjivačima topline i dijelovima energetskih i procesnih postrojenja (ne samo) u uvjetima dugotrajne eksploatacije, često uzrokuju oštećenja koja smanjuju pouzdanost uporabe.

Ovlašteni Laboratorij, u pravilu tek kada dođe do havarije, biva angažiran da utvrdi uzroke i obim oštećenja, te eventualno predloži način sanacije. Prije toga se, u iz uočavanje odstupanja od deklariranih parametara, pod zahtjevom hitnosti, jer "proizvodnja ne smije stati", eksploatacija postrojenja i dalje odvijala. Stvarnost je i dugogodišnja praksa da u završnom izvještaju predložene mjere, opet pod pritiskom "hitnosti" uglavnom ne rezultiraju povratnom informacijom o prihvaćanju predloženih mjera, načinu sanacije i kontroli provedenih zahvata, pa se uporaba nastavlja do sljedeće havarije. Veličina problema do izražaja dolazi tek kada dođe do neplaniranih zastoja.

## 2. PRIMJERI OŠTEĆENJA I ANALIZA NJIHOVIH UZROKA

Ispitivanja oštećenih cijevi provođena su u laboratoriju, ali je ne mala pažnja poklanjana prikupljanju podataka kroz razgovor s djelatnicima na objektu i, jasno, podacima iz tehničke dokumentacije (ako je postojala !?).

Teoretski gledano, havarija može nastupiti uslijed:

- - pogrešnog projekta i/ili konstrukcije,
- - neodgovarajućeg ili defektnog osnovnog materijala,
- - nepropisno vođenog pogona (eksploatacije).

Ispitivanja su vršena na mnogobrojnim kotlovima (ekranski, blok kotlovi ...) i izmjenjivačima topline [1] i može se uočiti da su pogrešni projekti i/ili konstrukcija vrlo rijetki, odnosno nisu niti zamijećeni tamo gdje je oprema upotrebljavana prema uputama definiranim od strane proizvođača. Slično se (i prema literaturnim podacima) može reći i za osnovni materijal cijevi-dijelova postrojenja, ali ipak treba napomenuti da su ponekad prilikom analiza utvrđena odstupanja prije svega u dimenzionalnim karakteristikama (debljina stjenke).

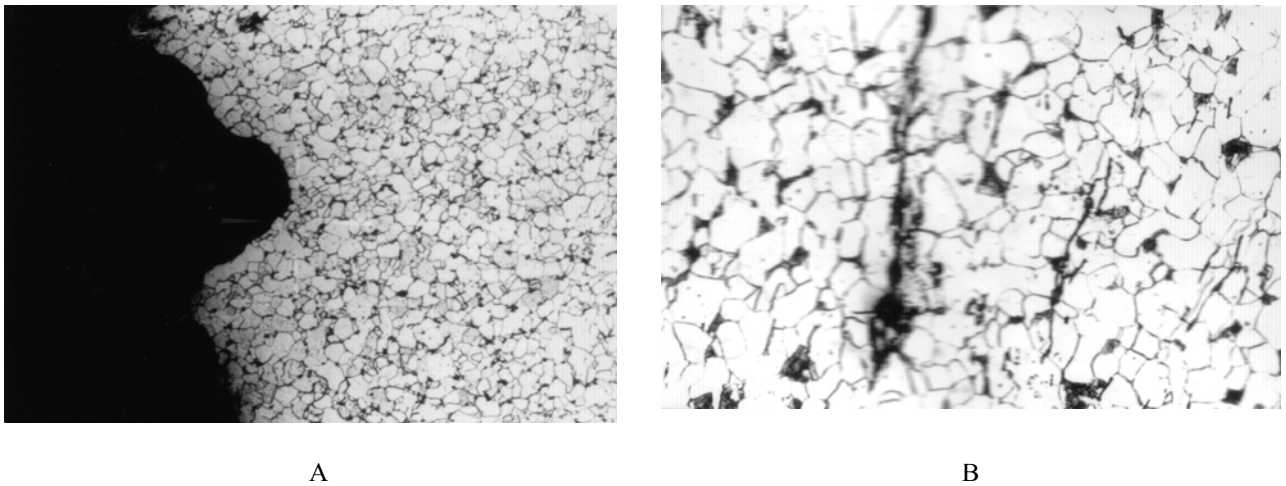
Najčešći razlog oštećenja dijelova postrojenja s vodene strane je odstupanje od preporučenih parametara vođenja pogona.

U Laboratoriju su na uzorcima oštećenih cijevi (dijelova postrojenja) provođena ispitivanja kemijskog sastava osnovnog materijala, taloga i tehnoloških voda, mehaničkih svojstava na sobnoj i radnoj temperaturi te metalografske pretrage i dimenzionalna kontrola, a na terenu nerazornim metodama uzimanjem otisaka strukture i kontrolom dimenzija. Odgovarajući zaključci i preporuke donošeni su i uz korištenje literature u kojoj je analizirana korozija materijala [2,3,4].

U nastavku ovoga rada analizirani su neki karakteristični primjeri havarije koji su poslužili za stvaranje baze podataka o najčešćim uzrocima oštećenja.

## 2.1. Oštećenja Steambloc kotlova

Vrlo često susretan slučaj je alveolarna korozija koja u pravilu zahvaća čitavu površinu cijevi. Karakterističan su primjer dva Steambloc kotla S-1200 (oba instalirana u poduzeću koje grad snabdijeva toplom vodom) kod kojih su na cijevima II promaje  $\phi 70 \times 3,6$  mm, materijal Č1214/II, utvrđena oštećenja uslijed djelovanja  $O_2$ , slika 1a. Analiza je pokazala da su kotlovi napajani neadekvatno pripremljenom vodom (visok udjel  $O_2$ , slobodnog  $CO_2$  i niska pH-vrijednost). Također je utvrđena povećana tvrdoća vode što je dovelo do izlučivanja kamenca i njegovog taloženja po cijevima ( $\approx 8,5\%$   $SiO_2$  i  $11\%$   $Al_2O_3$  u talogu). To je rezultiralo pogoršanjem izmjene topline (gubitak energije) ali i pregrijanjem materijala cijevi, jer je prisustvo taloga karbonatnog tipa doprinijelo podizanju radne temperature do područja rekristalizacije materijala što je rezultiralo i padom mehaničkih svojstava. Konstatirano je da su zbog jako niskih temperatura prethodne zime često pucale armaturne cijevi u mreži, čime se gubilo dosta vode. Kapacitet pripreme vode nije mogao udovoljiti potrebama, a stajanja kotlova nije "smjelo" biti, pa je stoga u kotlove dolazila sirova voda.



SLIKA 1. KARAKTERISTIČNI PRIMJERI OŠTEĆENJA CIJEVI STEAMBLOC KOTLOVA  
A – ALVEOLARNA KOROZIJA, POVEĆANJE 100X, NAGRIZANJE 3% NITAL  
B – OŠTEĆENJE USLIJED ZAMORA, POVEĆANJE 200X, NAGRIZANJE 3% NITAL

Drugi primjer oštećenja cijevi,  $\phi 57 \times 3,2$  mm (Č1214/II), uočen je na cijevima II promaje kod kojih je pri krajevima (blizu uvaljivanja u cijevnu stijenu) došlo do propuštanja medija. Usmjerenost i utvrđena mala širina prskotine ukazuju na to da se uzrok havarije nalazi u koroziji uslijed zamora, slika 1b.

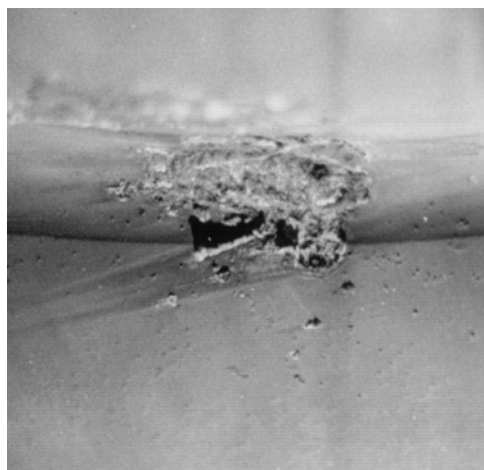
Sljedeći je primjer klasičnog odsustva pravilnog tretiranja vode. Analizom taloga s cijevi Č1214/II utvrđeno je prisustvo uglavnom soli koje uzrokuju povećanu tvrdoću vode. Međukristalne pukotine (slika 2a) ukazuju na to da su cijevi oštećene uslijed djelovanja mehanizma kaustične krhkosti.

Treba uočiti da se kod Steambloc kotlova osim korozijskih oštećenja cijevi uslijed neadekvatne pripreme vode javlja i problem djelovanja taloga. Manifestira se promjenom strukture osnovnog materijala, razugljičenjem rubne zone, izdvajanjem globularnog cementita po granicama feritnog zrna, a kod čelika legiranih karbodontvorcima – formiranjem karbidne mreže.

Iako kod plamenica (I promaja) Steambloc kotlova do oštećenja dolazi zbog pregrijanja kao posljedica prisustva taloga s vodene strane, i/ili (čak najčešće) uslijed ostajanja kotla bez vode, ne treba zanemariti niti utjecaj konzerviranja u vanpogonskim uvjetima. Tome kao pokazatelj može poslužiti primjer uočen na tri Steambloc kotla optimal S-2500, svaki kapaciteta 25 t pare/h (paralelno vezani).



A



B

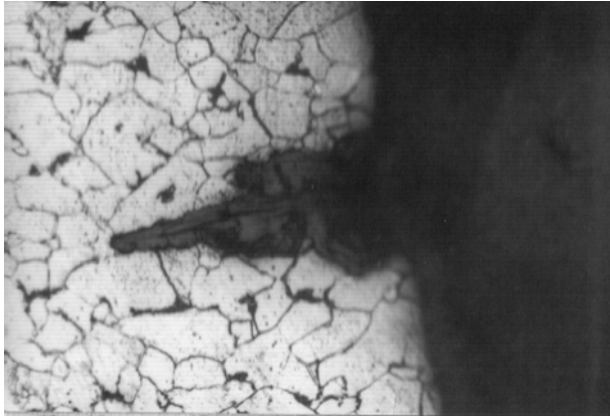
SLIKA 2. STEAMBLOC KOTLOVI OŠTEĆENI USLIJED KAUSTIČNE KRHKOSTI I NEPRAVILNOG KONZERVIRANJA  
 A – OŠTEĆENJA USLIJED KAUSTIČNE KRHKOSTI, POV. 100X, NAGRIZANJE 3% NITAL  
 B – "SIGE" NA MJESTU KOROZIJSKOG OŠTEĆENJA CIJEVI I PLAMENICE

Potrošnja pare u toj tvornici zahtijevala je stalni rad dvaju kotlova, dok je jedan tek povremeno radio – ovisno o potrebama za parom. Sva su tri kotla napajana iz napojnog rezervoara (zajednička priprema vode) ali su se periodički "izmjenjivala" u stanju "pogon-rezerva". Kotao koji je stajao u rezervi konzerviran je u periodu dužeg vanpogonskog stajanja, ali ne i kraćeg. Kod sva tri kotla uočeno je prisustvo korozivskih oštećenja plamenica, ZCS i PCZ i nešto manje dimnih cijevi uz oformljivanje karakterističnih siga, slika 2b. Nakon kemijske i rentgenske analize korozivskih produkata, kao i analize voda, uz praćenje rasporeda i oblika oštećenja, zaključeno je da su korozivska oštećenja nastajala u uvjetima relativno niske pH-vrijednosti kotlovske vode uz prisustvo  $O_2$  i  $CO_2$ , a dalje su napredovala uz povišeni udjel sulfita  $[Fe_2(SO_4)_3 \cdot H_2SO_4 \cdot 7H_2O]$ . Sige su najvjerojatnije nastajale u periodu vanpogonskog stajanja kotla zbog neadekvatne konzervacije – nasuprot dotoka vode i/ili doziranja kemikalija, u području viših temperatura kada je omogućena manja topivost plinova i brža reakcija. Metalografske pretrage uzetih otisaka strukture (replike) materijala plamenica i dostupnih cijevi ukazuju na dosta ujednačenu homogenu sitnozrnatu feritno-perlitnu strukturu uz lokalno izraženija korozivska oštećenja duž granica zrna.

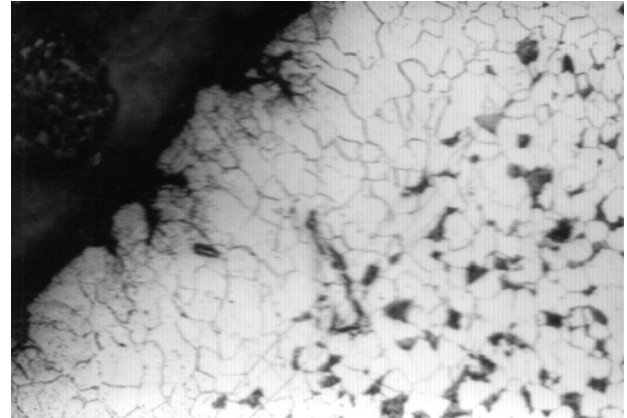
## 2.2. Oštećenja "ekranskih" kotlova

Prvi je primjer kotao kapaciteta 6,4/8 t/h pregrijane pare kod kojega su na cijevima predisparivača ( $\phi 31,8 \times 3,2$  mm, Č1214/I) nakon samo tri mjeseca uporabe uočene izrazite deformacije. Pregledom uzoraka cijevi uočena su uz unutrašnji rub vrlo intenzivna oštećenja u obliku "klina" koja u prvom dijelu idu interkristalno a kasnije napreduju kombinirano intertranskristalno ("noževa korozija"). Također je uočena pojava sferoidizacije cementita te njegova migracija u feritno zrno, slika 3a. Razlozi takovom oštećenju nalaze se u neadekvatnoj pripremi vode sa stajališta deaktivacije, ali je do daljnjeg propagiranja oštećenja došlo uslijed naprezanja prouzročenog odsustvom "rashladnog" medija.

Drugi je primjer oštećenja ekranskih cijevi  $\phi 32 \times 4$  mm, materijal Ct20 (GOST 1050-74), u čijem je talogu osim  $SiO_2$  i  $Al_2O_3$  utvrđeno i prisustvo  $CuO$  ( $\approx 15\%$ ). Prisustvo mnogobrojnih oštećenja slika 3b, pokrivenih korozivskim produktima koji sadrže  $Cu$ , ukazuju na djelovanje elektrokemijske korozije kao posljedice vode uslijed sniženog pH.



A



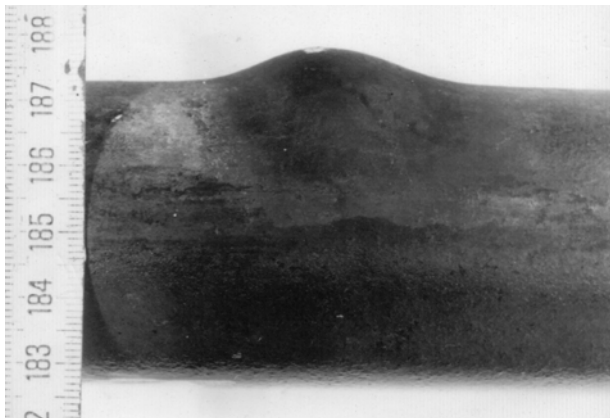
B

SLIKA 3. KARAKTERISTIČNA OŠTEĆENJA "EKRAANSKIH" KOTLOVA

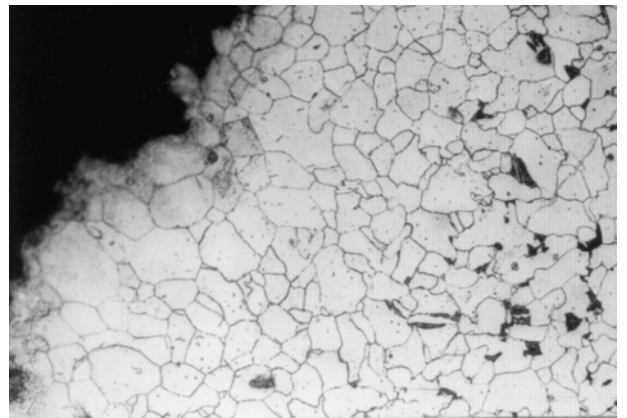
A – "NOŽEVA" KOROZIJA, POVEĆANJE 200X, NAGRIZANJE 2%, PIKRAL

B – "ELEKTROKEMIJSKA" KOROZIJA, POVEĆANJE 200X, NAGRIZANJE 3% NITAL

Sljedeći analizirani primjer odnosi se na parni kotao u kojemu sirovi sintezni plin temperature  $\approx 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  proizvodi paru tlaka 120 bara i temperature  $\approx 330\text{ }^{\circ}\text{C}$  pri čemu je došlo do pucanja ili napuhavanja (slika 4a) dijelova cijevi deklariranih dimenzija  $\phi 50,8 \times 3,6\text{ mm}$ , materijal A219 T11 ( $\approx 0,15\% \text{ C}$ ;  $1,25\% \text{ Cr}$  i  $0,55\% \text{ Mo}$ ).



A



B

SLIKA 4. PRIMJER OŠTEĆENJA CIJEVI DUGOTRAJNIM DJELOVANJEM TEMPERATURE IZNAD REKRISTALIZACIJSKE

A – MAKRO IZGLED

B – MIKRO, POVEĆANJE 200X, NAGRIZANJE 3% NITAL

Dimenzionalnom je kontrolom, na objektu a i na izvađenim uzorcima, utvrđeno da su u kotao ugrađene cijevi debljine stjenke od 4,1 do 4,15 mm, što je, obzirom na kontrolom utvrđeni vanjski promjer od 50,8 mm predstavljalo smanjenje unutarnjeg promjera te tako utjecalo, ne samo na prijenos topline, nego i na protok i brzinu strujanja "rashladnog" medija. Utvrđene strukturne promjene pokazale su da su cijevi u dužem vremenskom periodu bile izložene temperaturi iznad dozvoljene za ugrađeni materijal. Struktura je nehomogena, rubna zona je razugljčena, uočen je raspad perlitne faze, te formiranje nakupina sferodiziranog cementita kao i karbidne mreže po granici zrna, sl. 4b.

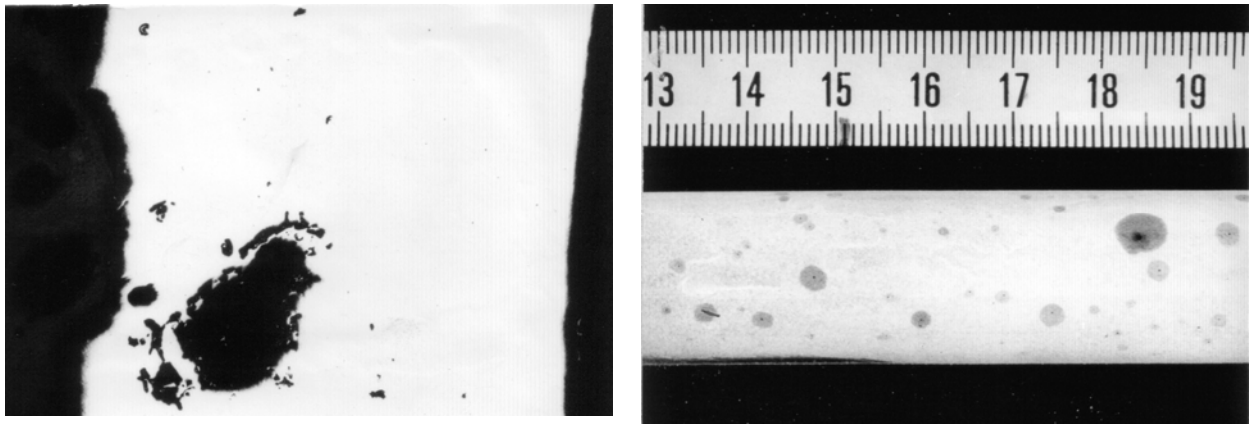
### 2.3. Oštećenja izmjenjivača topline

U prvom je primjeru analiziran slučaj oštećenja cijevi vakuum izmjenjivača, deklariranih dimenzija  $\phi 19,05 \times 1,65$  mm, kemijskom analizom potvrđene deklarirane kvalitete A249 TP304 ( $\approx 19\%$  Cr i  $9,5\%$  Ni). U taj izmjenjivač promjera vanjskog plašta  $\phi 914$  i dužine 4880 mm (materijal  $\approx \text{Č1204}$ ) ugrađene su 1182 cijevi kroz koje struje heksanske pare. Primjena nepripremljene (sirove) vode kao rashladnog medija (struji oko cijevi) vremenom je dovela do stvaranja taloga na cijevima što je rezultiralo slabijom izmjenom topline. Stoga je korisnik organizirao kemijsko čišćenje. Kako prvo čišćenje rastvorom NaOH nije bitno popravilo stanje (otrovne i eksplozivne heksanske pare nisu se u potpunosti kondenzirale u izmjenjivaču), u ponovljenom čišćenju NaOH je dodavan određeni udjel HCl. Izmjena topline se potom normalizirala, međutim je nakon kraćeg perioda eksploatacije uočeno prisustvo vode u kondenzatu heksana. Čepovanjem oštećenih cijevi udjel vode u kondenzatu se smanjivao, da bi nakon kraćeg perioda uporabe rastao, sve dok nije čepovano  $\approx 150$  cijevi, pa je "konačno" naručena defektaža ovlaštenog Laboratorija. Analizom taloga debljine 2-3 mm s (vanjske) vodene strane cijevi potvrđeno je odsustvo pripreme vode ( $\approx 7\%$   $\text{SiO}_2$ ;  $17,5\%$   $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $16,5\%$   $\text{CaO}$  itd.). Analiza mikro oblika oštećenja (slika 5a) i njihovog makro rasporeda (slika 5b), te primjenjivanog sredstva za čišćenje ukazuje na to da je do oštećivanja cijevi došlo uslijed djelovanja HCl tijekom i nakon čišćenja (zbog neodgovarajućeg naknadnog ispiranja). Ovdje treba napomenuti da su točkasta oštećenja (vidljiva na slici 5b nakon djelovanja penetranta) uočena još tijekom endoskopske kontrole s unutarnje strane cijevi na objektu.

Naročito su interesantna dva primjera korozijskih oštećenja "na granici faza" uočena u izmjenjivačima topline instaliranim u pogonima prehrambene industrije.

Prvi primjer ukazuje na prisustvo granice kapljevite i parne faze, a uočen je na vertikalnom izmjenjivaču s duplim plaštem, unutarnjeg promjera  $\phi 2500$  mm, ukupne visine  $\approx 4500$  mm. Vodena para struji kroz dupli plašt, a "curenje" je uočeno na koti  $\approx 650$  mm od donje podnice. Ultrazvučnom kontrolom je utvrđeno postojanje "vijenca" korozijskog oštećenja, kako unutarnjeg tako i vanjskog plašta (materijal  $\approx \text{Č1204}$ ), od kote  $\approx 600$  mm do kote  $\approx 700$  mm od donje podnice.

Slična su oštećenja utvrđena i kod horizontalnih isparivača (sušara), dužine  $\approx 5000$  mm, promjera unutarnjeg plašta  $\approx 1200$  mm (između unutarnjeg i vanjskog plašta struji para a kroz sušaru je pužnicom transportiran kruti medij s relativno visokim udjelom rastvorenog benzina). Ovdje je kontrolom debljine stjenke unutarnjeg plašta utvrđeno drastično smanjenje debljine stjenke oba plašta, gotovo cijelom dužinom sušara, na rastojanju od donje izvodnice  $\approx 350$  mm na svaku stranu. Propuštanje stjenke plašta rezultiralo bi isparavanjem izuzetno eksplozivnih heksanskih para koje bi, osim što su otrovne, uz pojavu i najmanje iskre mogle dovesti do eksplozije čija bi se razornost odrazila ne samo na tvornicu nego i na dobar dio grada u kojemu je postrojenje instalirano. I kod vertikalnog izmjenjivača i kod "sušara" granica između vodene i parne faze razlog je pojavi ("vijenca") korozijskog oštećenja. Treba napomenuti da je kod sušara do oštećenja došlo i zbog nakupljanja taloga u području donje izvodnice (količina toga taloga unutar duplog plašta je kroz godine eksploatacije rasla sve do  $2 \times 350$  mm na svaku stranu, a posljedica je neadekvatne pripreme vode, odnosno odsustva "odmuljivanja"). Kod vertikalnog izmjenjivača očito je problem bio u nedovoljno visokoj temperaturi pare koja se kondenzirala na 600-700 mm od podnice.



A

B

SLIKA 5. PRIMJER OŠTEĆENJA NEHRĐAJUĆIH CIJEVI USLIJED DJELOVANJA HCl  
 A – MIKRO, POVEĆANJE 32X, BEZ NAGRIZANJA  
 B – MAKRO RASPORED TOČKASTIH OŠTEĆENJA

Može se istaknuti da je stanovita nevjerica korisnika u postojanje oku nevidljivih oštećenja u obliku vijenca (jer se nalaze između unutarnjeg i vanjskog plašta) a i zbog veličine i troškova potrebnog sanacijskog zahvata, otklonjena vađenjem uzoraka iz graničnog područja "vijenca" unutarnjih plašteva oba izmjenjivača. Izgled poprečnog presjeka izvađenog uzorka prikazan je na slici 6a. Uzorkovanje materijala unutarnjeg plašta izvršeno je odgovarajućim alatom, postupkom skidanja strugotine uz odvođenje topline, kako to propisuje standard za ispitivanje materijala kotlovskih bubnjeva u eksploataciji (HRN M.E2.052/90) [5]. Na slici 6b prikazan je položaj pristroja i alata ("krunsko glodalo") pri izrezivanju uzorka iz unutarnjeg plašta. Ovakav postupak vađenja uzoraka (i kod kotlovskih bubnjeva), osim što omogućava provjeru svojstava osnovnog materijala ( $R_m$ ,  $K_v$ , mikrostruktura, tvrdoća HV10, kemijski sastav i zavarivost), ujedno pruža mogućnost jednostavne sanacije (odnosno nastavak rada postrojenja vrlo brzo nakon uzorkovanja) zavarivanjem slijepog priključka (izrađuje se od atestirane cijevi  $\phi 76,1$  mm; dužina=debljina stjenke plašta + 50 mm; podnice debljine izračunate prema navedenom standardu). Brza sanacija je posebno interesantna ako se uporaba postrojenja mora nastaviti do pripreme i izvedbe kompletnog sanacijskog zahvata.



A



B

SLIKA 6. UZORKOVANJE MATERIJALA PLAŠTA  
 A – POPREČNI PRESJEK UZORKA UNUTARNJEG PLAŠTA  
 B – PRISTROJ ZA UZORKOVANJE

### 3. ZAKLJUČAK

U radu su analizirani najčešći slučajevi oštećenja kotlova i izmjenjivača (s unutarnje ili vanjske strane cijevi), prikupljenih na temelju naručenih defekata – nakon što je korisnik uočio da je došlo do oštećenja (havarije). Te su defekataže kao cjelovit pristup, osim uzroka oštećenja, obuhvaćale i prijedlog obima i načina sanacije te preporuke s uputama za nastavak rada saniranog objekta. Donošenje konačnog zaključka bilo je moguće tek nakon sagledavanja rezultata kemijske analize, provjere mehaničkih svojstava, defektoskopskih i metalografskih ispitivanja. Osim toga analizirani su podaci prikupljeni anketom i intervjuom kod korisnika, pri čemu je njihov utjecaj, zbog moguće subjektivnosti, bio tim manji što je korisnik raspolagao potpunijom dokumentacijom o ugrađenom stanju i podacima o parametrima rada (deklarirani i uočena odstupanja) te o uvjetima primjene prije i u trenutku zastoja.

Prihvaćajući postojeće stanje i uobzirujući dužinu eksploatacije objekata, pri čemu je kod većine projektirani vijek istekao ili je pri kraju, moguće je korisnicima opreme preporučiti sljedeće:

- - čuvanje dokumentacije o ugrađenim materijalima, primjenjenim postupcima i uputama za rukovanje,
- - kad god je to moguće, inzistirati na ugradnji "repera" na kojima bi se (bez utjecaja na nastavak redovite uporabe opreme-postrojenja) pratilo stanje ugrađenih materijala (na nekim od u ovom radu analiziranih objekata reperi su ugrađeni tijekom sanacijskih zahvata te je prikupljanje podataka – analiza u tijeku),
- - redovito praćenje uvjeta uporabe s opisima uzroka zastoja i, ako je moguće, podacima o uočenim odstupanjima od tehničkom dokumentacijom propisanih parametara,
- - ako je već došlo do oštećenja (havarije) tražiti od ovlaštenog Laboratorija ne samo da definira uzroke nego i da predloži obim sanacije te način uporabe kojim bi se slična oštećenja u nastavku eksploatacije izbjegla.

U procesnoj industriji, gdje indirektni troškovi (npr. zbog zastoja) često višestruko nadmašuju direktne (izrada novih dijelova i rad pri zamjeni) do posebnog izražaja dolazi pristup koji će pomoći podizanju efikasnosti i brzine rješavanja problema (od uočavanja do puštanja u ponovni pogon).

### 4. LITERATURA

- [1] Interni izvještaji o defektaži materijala i ponašanja objekata u uporabi – Institut za Strojstvo – Strojarski fakultet Đuro Đaković Slavonski Brod, 1986-1992.,
- [2] H. Klaus, H. Steinroth: Die Korrosion des Eisens und ihre Verhütung, Verlag Stahleisen M.B.H., Düsseldorf, 1974.,
- [3] O.I. Steklov: Strojnost materialov i konstrukcij k korroziji pod naprjaženiem, Mašinstroenie, Moskva, 1990.
- [4] F.F. Himušin: Neržavejušćie stali, Metallurgija, Moskva, 1967.,
- [5] ... HRN M.E2.052/90.