

## Procedura i tok generalnog servisa razmenjivača toplote

Poznato je da razmenjivači toplote (RT) prenose toplotnu energiju od jednog (toplijeg) ka drugom (hladnijem) fluidu. U samom RT nema pokretnih delova, ali kroz njega struje fluidi različitih pritisaka, međusobno i u odnosu na okolinu (najčešće atmosfera). Tokom rada RT može doći do raznih odstupanja od projektovanih parametara, fluida (protoci, temperature ulaza, fizička i termička svojstva), zaprljanja površine razmene ili mehaničkih grešaka delova pod opterećenjem. Posledice su, pad toplotne snage razmene, promena parametara fluida na izlazu i propuštanje fluida međusobno ili u okolinu, koje može biti bezazleno curenje ili eksplozija. Step en opasnosti zavisi od karakteristika fluida i od energetskog nivoa na kome se razmena toplote odvija (pre svega temperature i pritiska). Otklanjanje grešaka u radu RT može se vršiti kontrolom i regulacijom parametara fluida (postupak izvan razmenjivača) ili servisom uključujući reparaciju, (intervencija na opremi). Dijagnoza i mesto greške ponekad nije jednostavna, pa se mora pristupiti metodi eliminacije tipa korak po korak, naročito ako su u pitanju „opasni“ fluidi za ljude i okolinu.

### 1. Uvod i tehnički podaci ispitivanog razmenjivača toplote

U ovom radu se daje procedura i tok ispitivanja RT u postupku otkrivanja mesta i uzroka prisustva vode u termo ulju u kotlarnici Tarket Bačka Palanka. Prisustvo vode, vlage ili vazduha u termo ulju može biti jako štetno naročito na povišenim temperaturama (iznad 100 °C), jer utiče na oksidaciju i razgradnju ulja, a mogu nastati i parni čepovi, koji izazivaju vibracije, kavitaciju i lokalni porast pritiska. Logično mesto sumnje za prodor vode u termo ulje su mesta kontakta vode i ulja, a jedno od njih je RT. Treba napomenuti da termouljni sistemi najčešće rade kao otvoreni i da pritisak cirkulacije ne prelazi 1 bar, a da vodeni sistemi uglavnom rade kao zatvoreni (pritisci iznad 1 bar), pa voda prodire u ulje a ne obrnuto. Mala curenja vode na RT ne mogu se lako utvrditi hidrostatičkim ispitnim pritiskom opreme u pogonu, jer pri velikim zapreminama to ne izaziva uočljivi pad pritiska ni posle dugog ispitivanja. Zato je pravilna odluka pri opravdanoj sumnji da postoji propuštanje, servisno ispitivanje RT u radioničkim uslovima, što se inače treba planirati u periodu zastoja proizvodnje ili posle određenog vremena rada od ugradnje (pet do šest godina).

Podaci iz tehničke dokumentacije razmenjivača toplote kojeg treba ispitati:

Identifikacija: Razmenjivač toplote Tarket doo Bačka Palanka, fabrički broj 0519, godina izrade 2009, proizvođač PROTEUS

doo iz Loznice, puna oznaka VITUS RT2Sp-450v4m-Fe18U/2.6, A=33,85 m<sup>2</sup>.

Tip razmenjivača: Dobošasti RT sa poprečnim strujanjem, broj prolaza u cevima  $n_c=2$ , u omotaču  $n_o=2$ . Projektni parametri: Toplotna snaga razmene:  $Q = 2$  MW (2000 kW), topliji fluid - primar (u cevima): Termo ulje 260/200 °C (u kontrolnom režimu ulaz je 200 °C), hladniji fluid - sekundar: Topla voda 90/110 °C.

Radni pritisci: Primar – 1 bar (otvoren sistem), sekundar – 4 bar (zatvoren sistem). Maksimalni proračunski parametri na strani primara (cevi), temperatura 260 °C, pritisak 6 bar. Maksimalni proračunski parametri na strani sekundara (oko cevi), temperatura 110 °C, pritisak 6 bar.

Spoljna površina cevnog registra:  $A = 33,85$  m<sup>2</sup>. Dužina pravog dela cevnog registra  $L = 2,6$  m.

Zapremina prostora: Primarni fluid (u cevi) - 0,153 m<sup>3</sup>, sekundarni fluid (oko cevi) - 0,342 m<sup>3</sup>.

Materijal izrade: Cevi St 35.8/1, DIN 17715, po novom P235GH, EN 10216-2, lim Č.0361 (S235JRG2). Zaptivni materijal na cevnoj ploči je azbestni klingerit. Spoj cevi i cevne ploče je izveden zavarivanjem.

Karakteristike termo ulja, prema INA TERMANOL VT32.

Ostalo: Oprema nije posuda pod pritiskom (Pravilnik o tehničkim normativima za stabilne posude pod pritiskom, Sl. list SFRJ br. 16/83), ugradnja – horizontalna. Tablica proizvoda prikazana je na slici br.1.

| Ev.broj |                     | God.                | Tip                |                      |   |                    |       |
|---------|---------------------|---------------------|--------------------|----------------------|---|--------------------|-------|
| 0519    |                     | 2009                | RTS2p-450v4m-Fe18U |                      |   |                    |       |
| Klasa   | F (m <sup>3</sup> ) | Q (kW)              |                    |                      |   |                    |       |
| IV      | 33,85               | 2046,5              | -                  |                      |   |                    |       |
| PRIMAR  | termo ulje          | t <sub>u</sub> (°C) | 260                | p (bar)              | 6 | V(m <sup>3</sup> ) | 0,153 |
|         | Registar            | t <sub>l</sub> (°C) | 200                | p <sub>l</sub> (bar) | 9 | pV                 | 0,918 |
| SEKUND  | topla voda          | t <sub>u</sub> (°C) | 90                 | p (bar)              | 6 | V(m <sup>3</sup> ) | 0,342 |
|         | Plošt               | t <sub>l</sub> (°C) | 110                | p <sub>l</sub> (bar) | 9 | pV                 | 2,052 |

Slika 1: Natpisna tablica ispitivanog razmenjivača

Elementi naloga za ispitivanje RT: RT 0519 primljen u radionicu u celini, bez izolacije, neotvaran, bez deformacija. Proizvod

je van garantnog roka.

**Zadatak ispitivanja:** RT ispitati pouzdanom metodom na bilo kakva propuštanja na površinama koje razdvajaju termo ulje i vodu. Otkloniti eventualne greške i zameniti zaptivače. Ostale radove preduzimati u zavisnosti od stanja posle otvaranja i ispitivanja.

## 2. Tehnička regulativa i procedura ispitivanja

Prema godini proizvodnje (2009) i tehničkoj dokumentaciji, može se zaključiti da predmetni RT nije posuda pod pritiskom u skladu sa odredbama starog Pravilnika [5], u prostoru toplijeg i hladnijeg fluida. Prema članu 2. navedenog Pravilnika, da bi posuda bila pod pritiskom moraju biti ispunjeni uslovi:

$p \geq 1$  i  $p \cdot V \geq 0,3$ ; dodatno za opremu kotlovskeg postrojenja,  $p \geq 0,5$  bar i  $t > 110^\circ\text{C}$ . gde je  $p$  najveći radni pritisak [bar],  $V$  radna zapremina [m<sup>3</sup>], a  $t$  radna temperatura.

Radi povećanja bezbednosti posude u toku rada i održavanja usvojeni su proračunski nadpritisaci od 6 bar sa obe strane fluida. Prvo ispitivanje je obavljeno hladnim vodenim pritiskom od 9 bar (SRPS M.E2.200).

U periodu rada predmetnog razmenjivača toplote, došlo je do promena propisa i standarda važećih u periodu izrade opreme, i donošenja novih u skladu sa evropskim normativima. Usaglašavanje postojeće opreme u pogledu bezbednosti je obaveza vlasnika u skladu sa Zakonom o tehničkim zahtevima za proizvode i ocenjivanju usaglašenosti (Službeni glasnik RS br. 36/09). Ispitivanjem postojeće opreme se ne menja ništa u vezi konstrukcije i funkcije opreme, ali su posle pregleda mogući radovi na sanaciji pojedinih delova ili sklopova. U tom smislu je neophodno razmotriti poziciju postojeće opreme u odnosu na nove propise, kao: kategorija posude u pogledu ocene usaglašenosti, pregled i ispitivanje opreme pod pritiskom tokom eksploatacije i proceduru toka ispitivanja opreme.

Za analizu postupka ispitivanja, pored propisa iz domena PED (pressure equipment directive), standard EN 13445-5:2009: Unfired pressure vessels - Part 5: Inspection and testing i direktive 97/23/EC:2013 [7 i 8], korišćena je i domaća regulativa iz odlične knjige „Propisi o opremi pod pritiskom“ [2], kao i neki delovi iz američkih standarda [10,11 i 12].

### a) Kategorizacija RT u smislu opreme pod pritiskom (OPP)

Prema Pravilniku o tehničkim zahtevima za projektovanje, izradu i ocenjivanje usaglašenosti opreme pod pritiskom [4], sva oprema kod koje je najveći dozvoljeni pritisak PS veći od 0,5 bar se deklariše kao oprema pod pritiskom. Predmetni RT je dakle OPP i to posuda, jer sadrži zatvoreni prostor za smeštaj fluida pod pritiskom, termo ulja (PS=1 bar) i vode (PS=4 bar). Kategorizacija opreme pod pritiskom se vrši na bazi stepena opasnosti (I do IV – viši stepen, viša opasnost), pri čemu OPP sa nižom kategorijom od I se svrstava u posebnu kategoriju, sa kojom se postupa prema SEP (engl. sound engineering practice) – „dobra inženjerska praksa“. Za kategorizaciju OPP potrebno je prethodno odrediti grupu fluida prema opasnosti i fizičke uslove fluida (temperatura, pritisak, zapremina, proizvod pritiska i zapremine).

Termo ulje, pripada grupi 1 – opasni fluidi, jer je zapaljivo

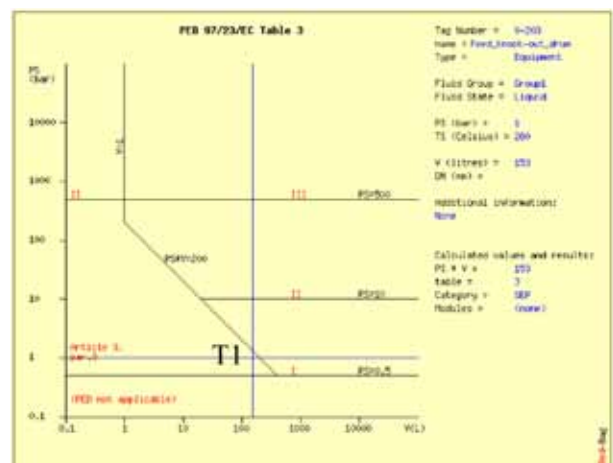
(tačka paljenja 225 °C), a najveća dozvoljena temperatura termo ulja u posudi (TS=260°C) je viša od tačke paljenja. Ostali parametri: PS=1 bar (nadpritisak), TS=260 °C, V=153 lit, PSV=153 bar · lit.

Topla voda, grupa 2 – svi ostali fluidi, PS=4 bar (nadpritisak), TS=110°C, V=342 lit, PSV=342 bar · lit.

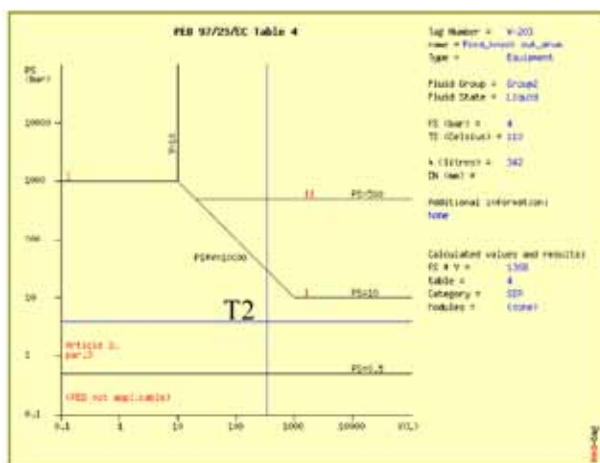
U prilogu II Pravilnika OPP [4], dato je 9 dijagrama (u 97/23/EC ih nazivaju i tabelama) za ocenu usaglašenosti u zavisnosti od vrste opreme i klasifikacije fluida, videti tabelu T.1, u kojoj je označeno da za OPP na strani termo ulja je merodavan dijagram 3 (tabela 3), a za OPP na strani vode dijagram 4 (tabela 4). Crtanjem aktuelnih vrednosti na određenom dijagramu utvrđuje se kategorija opreme OPP (I do IV), što je prikazano na slici br. 2, na bazi specijalizovanog softvera Red bag [14]. Sa dijagrama se može videti da za oba radna fluida tačka preseka pada ispod I kategorije, što znači da predmetni RT treba tretirati prema SEP kriterijumu, odnosno prema principima dobre inženjerske prakse.

Tabela 1. Tabela za određivanje kategorije OPP

| Oprema   | Klasifikacija   | Fluid grupe 1                        | Fluid grupe 2 |
|--|---|--------------------------------------|---------------|
| Posude   | Gas   | Tabela 1                             | Tabela 2      |
|  | Tečnost   | Tabela 3                             | Tabela 4      |
| Cevovodi   | Gas   | Tabela 6                             | Tabela 7      |
|  | Tečnost   | Tabela 8                             | Tabela 9      |
| Pribor pod pritiskom   | Zapremina   | Prema tabeli 1 do 4                  |               |
|  | DN  | Prema tabeli 6 do 9                  |               |
| Sigurnosni pribor  | Opšti   | Kategorija IV                        |               |
|  | Specifični  | Kategorija prema pripadajućoj opremi |               |
| Sklopovi više elemenata  | Prema najvišoj kategoriji elementa (izuzev sigurnosnog pribora) |                                      |               |
| Oprema pod pritiskom izložena plamenu i ostala oprema izložena riziku pregrevanja, namenjena proizvodnji pare ili vrele vode |   |                                      | Tabela 5      |



Slika 2a: Dijagrami za određivanje kategorije OPP - na strani termo ulja (tačka T1)



Slika 2b: Dijagrami za određivanje kategorije OPP - na strani tople vode (tačka T2)

Kriterijumi dobre inženjerske prakse [9] su sve opširniji (trenutno su na 255 strana) i podložni su dopunjavanju i reviziji. Navedena kategorizacija podrazumeva da pri proizvodnji ove opreme ne mora biti angažovano imenovano telo, već da odgovarajuću dokumentaciju i ispitivanja može obavljati proizvođač.

#### b) Pregled opreme pod pritiskom tokom veka upotrebe

Drugo pitanje koje treba razmotriti je bezbednost OPP tokom eksploatacije, koja se kontroliše pregledom i ispitivanjem opreme u skladu sa Pravilnikom o pregledima opreme pod pritiskom tokom veka upotrebe [5]. Obaveza je vlasnika (odnosno korisnika) OPP da se stara ili angažuje ovlašćenu organizaciju za sprovođenje periodičnog ispitivanja. Postoje dva nivoa opasnosti OPP: nizak i visok, što se utvrđuje evidencionim listom od strane imenovanog tela. Evidencioni listovi visokog nivoa opasnosti obavezno se prijavljuju nadležnom ministarstvu Energetike. Pregled i ispitivanje OPP niskog nivoa opasnosti sprovodi sam vlasnik u rokovima propisanim od proizvođača, a za OPP visokog nivoa opasnosti angažuje se imenovano telo u rokovima utvrđenim Pravilnikom. U slučaju predmetnog RT nije formiran evidencioni list na osnovu kojeg se može utvrditi nivo opasnosti proizvoda, a imajući u vidu kategoriju posude smatraće se da je nizak nivo opasnosti, pa se periodično ispitivanje može obavljati od strane proizvođača izabranog od strane vlasnika predmetne opreme, a prema postupku koji je utvrdio sam proizvođač.

#### c) Procedura ispitivanja predmetnog razmenjivača toplote

Ispitivanje OPP na mehaničku izdržljivost i nepropusnost površina i spojeva koji razdvajaju fluide, može se sprovesti prema najčešće korišćenim evropskim ili američkim propisima, na bazi utvrđenog hidrostatičkog ispitnog pritiska i dinamike podizanja pritiska. U predmetnom slučaju, potrebno je posebno obratiti pažnju na dostupnost vizuelnom pregledu naročito spojeva cevi i cevne ploče, kao najosetljivijem potencijalnom mestu propuštanja fluida.

Prema EN 13445-5:2009 [7] ispitni pritisak se definiše, veći od  $P_i = 1,25 \cdot P_d (f_a / f_{Td})$  i  $P_i = 1,43 \cdot PS$

gde je:  $P_i$  ispitni pritisak izmeren na najvišoj tački posude u ispitnom položaju,  $P_d$  i  $T_d$  su proračunski pritisak i temperatura pri maksimalnom pritisku opterećenja,  $PS$  je maksimalni dozvoljeni pritisak u posudi,  $f_a$  i  $f_{Td}$  su nominalni proračunski naponi za normalna radna opterećenja materijala dela na temperaturi ispitivanja, odnosno proračunskoj temperaturi  $T_d$ . Pritisak se lagano podiže do vrednosti 50% ispitnog pritiska, a zatim po fazama povećanja po 10% ispitnog pritiska do postizanja punog ispitnog pritiska. Svaka faza traje koliko je potrebno za vizuelni pregled na propuštanje i deformacije. Ispitni pritisak se mora održati minimalno 30 minuta, bez promena na ispitivanoj posudi.

Prema ASME code, sec. VIII div. 1 UG-99 i PCC-2 [7] ispitni pritisak je sličan kao kod EN 13445-5, samo što su koeficijenti umesto 1,25-1,3, a umesto 1,43-1,5. Pritisak se u prvoj fazi podiže do vrednosti 40% ispitnog pritiska i zadržava 5 min., a zatim podiže na 70% ispitnog pritiska i zadržava 5 min. Zadržavanja služe za vizuelni pregled propuštanja. Konačno se pritisak podiže na 100% ispitnog pritiska i zadržava 45 min, posle čega se pritisak obara na inspekcijски pritisak koji je jednak hidrostatičkom pritisku ispitivanja podeljenom sa 1,3 za ispitivanje spojeva cevi u cevnoj ploči. Ispitivanje vodom je obavezno, a inspekcijски pregled ispitnim pritiskom podeljenim sa 1,3 se može zameniti pneumatskim testom, ukoliko je pogodniji, prema dogovoru proizvođača i nadležnog inspektora. Kao mera opreznosti pri produženom ispitivanju, pri kome tokom vremena može doći do porasta temperature vode, ugrađuje se mali ventil sigurnosti na liniji ispitivanja podešen da otvara na pritisku za 1/3 većem od ispitnog pritiska. Treba napomenuti da ASME code u delu PCC-2:2011 detaljno razmatra reparaciju, kao rekonstrukciju sa promenom projektom predviđene konstrukcije posude ili sanaciju bez promene konstrukcije ali zamenom ili popravkom dela posude.

TEMA standard ed. IX:2007, postupak ispitivanja OPP predviđa po ASME code, ali dodaje postupke za otkrivanje propuštanja na strani cevi, procedurom da pri ispitivanju spoj cevi i cevne ploče mora biti vizuelno dostupan. Preporučeni postupci čišćenja površine razmene toplote prema TEMA standardu su:

- Cirkulacija toplog sredstva za pranje kroz cevi pri velikim brzinama, pogodna za efikasno uklanjanje mulja ili slične meke naslage.
- Pranje, cirkulacijom vruće čiste vode, pogodno za neke depozite soli.
- Pranje visokim pritiskom hladnog vodenog mlaza.
- Mehaničko čišćenje, struganjem pomoću rotirajuće žičane četke, i ostalih mehaničkih pomoćnih alata, pogodno za uklanjanje tvrdih naslaga, koksa i ostalih depozita.
- Angažovanje specijalnih organizacija za čišćenje RT, kada je potrebna provera prirode depozita za određivanje odgovarajućih hemijskih sredstava i inhibitora. Pri upotrebi „opasnih hemikalija“, obavezne su propisane mere zaštite angažovanog osoblja i okoline.

TEMA standard predviđa obaveznu zamenu zaptivača prilikom svake demontaže, što značajno sprečava curenja na prirubničkim

spojevima u budućnosti, pri čemu treba imati u vidu da su vijčani spojevi i prirubnice prethodno proračunati za određeni materijal i dimenzije zaptivača.

Analizom postupka ispitivanja površina razdvajanja fluida u RT prema TEMA standardu, mora se obratiti pažnja posebno na odredbu, da pri hidrostatičkom ispitivanju spoj cevi i cevne ploče mora biti vizuelno dostupan da bi se mogli utvrditi vlaženje ili oplakivanje spojeva koji propuštaju, a koji se ne mogu otkriti padom pritiska na manometru ni u produženom vremenu ispitivanja. Na ovu pojavu posebno ukazuje Yokell [3], naročito ako je pritisak ispitivanja oko cevi znatno veći u odnosu na pritisak u cevi RT. Yokell ta mala vlaženja kvantifikuje kao curenja do 20 kapi na sat ili oko 1 cm<sup>3</sup>, koje postaje vidljivo u periodu od pola sata kao minimalnom periodu održavanja pritiska ispitivanja. Imajući to u vidu Rikalović [1] preporučuje da u slučajevima opasnih fluida omotač i spoj cevne ploče sa prirubnicom omotača, proračun izvrši na ispitni pritisak fluida u cevima, kako bi bilo moguće ispitati spoj cevi i cevne ploče pri pritisku ispitivanja u cevi bez glave razmenjivača, tj. da bi cevna ploča bila vidljiva sa jedne strane. Pored toga iskustvo pokazuje da ovakva ispitivanja zahtevaju produženo vreme uz organizaciju neprekidnog vizuelnog nadzora.

Na bazi navedene analize i iskustva proizvođača usvojena je sledeća procedura:

- Spoljašnji vizuelni pregled,
- Unutrašnji pregled sa strane termo ulja,
- Ispitivanje dugim hidrostatičkim pritiskom kontaktnih površina termo ulja i vode sa vodene strane,
- Unutrašnji pregled sa strane vode,
- Kontrolno, standardno ispitivanje hidrostatičkim pritiskom sa vodene strane,
- Završna montaža.

Tokom svih proceduralnih faza u zavisnosti od utvrđenih grešaka i nedostataka, vrši se sanacija u skladu sa proizvodnom tehničkom dokumentacijom i izvedbenim mogućnostima. Oprema za ispitivanje hidrostatičkim pritiskom sastoji se od priključka za punjenje čistom hladnom vodom, klipne ručne pumpe za postupno podizanje pritiska i mernih instrumenata (manometri). Merni instrumenti moraju imati područje merenja minimalno 20% veće od najvišeg pritiska merenja, a sva upotrebljena armatura, creva i sva spojna mesta moraju besprekorno zaptivati u svakoj fazi ispitivanja. Bilo kakva curenja na ispitnoj aparaturi moraju odmah biti sanirana. Besprekorno zaptivanje mora se ostvariti i na svim spojevima opreme (prirubnice i sl.). Nedostaci ispitnog postrojenja, pored neozbiljnosti u proceduri utiču i na rezultate merenja.

Prikaz tipiziranog ispitnog postrojenja [1] sa strane omotača RT prikazano je na slici br. 3. i čini ga: 1. Ispitivani razmenjivač toplote, 2. Postolje razmenjivača, 3. Klipna ispitna pumpa (50 bar), 4. Manometar pumpe (nije obavezan), 5. Crevo visokog pritiska (50 bar), 6. Zaporni ventil – slavina pumpe, 7. Zaporni ventil manometarske grupe, 8. Manometarska slavina – igličasti ventil, 9. Radni manometar Ø100, opsega 1,2 · p<sub>max</sub>, KT 1,6, 10. Kontrolna manometarska grupa KT 1,0, pisac ili drugi pribor, 11. Odzračno crevo, 12. Vodovodno crevo za dovod vode pri punjenju

i odvod vode pri pražnjenju postrojenja.



Slika 3: Tipično ispitno postrojenje

### 3. Tok i rezultati generalnog servisa predmetnog RT

Pod generalnim servisom podrazumevamo proceduru ispitivanja OPP u radioničkim uslovima, sa pratećim intervencijama (sanacija) u skladu sa postojećom tehničkom dokumentacijom, čišćenjem površina razmene i zamenom zaptivača i drugog potrošnog materijala, sa ciljem dovođenja opreme u pogonsko stanje.

#### a) Spoljašnji vizuelni pregledu pri prijemu RT u radionicu

Spoljašnjim vizuelnim pregledom, identifikuje se RT i utvrđuje stanje na prijemu. Konstatuje se da je dostavljen RT 0519 proizveden 2009 godine, sa očuvanom tablicom, bez izolacije, u celini, bez spoljašnjih oštećenja i bez vidljivih tragova curenja na omotaču ili prirubnicama. Na delu komore glave toplijeg fluida na ulazu oštećena zaštitna farba. Osnovni zadatak je kontrola propustljivosti kontaktne površine između fluida.

#### b) Unutrašnji pregled sa strane termo ulja

Parcijalni unutrašnji pregled sa unutrašnje strane termo ulja, posle demontaže glave RT je neophodan da se ispitivanjem utvrdila propustljivost U cevi. Uvid u stanje U cevi, omogućuje donošenje odluke o intervenciji kasnije pri demontaži cevnog registra. Vizuelno stanje komora glave i cevne ploče je sledeće:

- Zaptivač sa strane termoulja se raspao i neupotrebljiv je.
- U komorama glave prisutni metalni opiljci, špan i koagulirani ugrušci termo ulja.
- Spoj cevi i cevne ploče, vizuelno dobro očuvan, bez deformacija, osim delimičnog dejstva abrazije.
- U cevi prohodne, bez čvrstih naslaga ili korozije, ali sa



prisutnim zaostalim uljem, prljavštinom i u manjem obimu koagulantima termo ulja.

- Zaostalo termo ulje u cevima curi i otežava osmatranje i ispitivanje.



Slika 4: Izgled cevne ploče posle ceđenja termo ulja



Slika 5: Zaostali metalni opiljci u komori RT

Na slikama br. 4. i 5., prikazano je stanje cevne ploče, posle ceđenja zaostalog ulja i unutrašnjost komore glave sa vidljivim metalnim opiljcima. Glavno pitanje u ovoj fazi je odluka o postupku čišćenja cevi sa unutrašnje strane i pitanje porekla metalnih opiljaka. Pošto nema fiksiranih ili čvrstih naslaga termo ulja, delimično prisustvo koagulanta u ulju nije posledica rada RT već stanja ulja u sistemu, pa zbog toga nema potrebe za čišćenjem i pranjem U cevi, osim ceđenja zaostalog termo ulja i pranja vidljivog dela cevne ploče, radi omogućavanja pregleda spoja cevi i cevne ploče pri hidrostatičkom ispitivanju. Prisustvo metalnih opiljaka u glavi može biti posledica brušenja metalnih delova pri izradi instalacije, koja nije pohvatana u filterima na strani termo ulja (ili filtera uopšte nema) ili posledica dejstva ulja na čelik bilo hemijskim putem ili abrazijom. Prisustvo opiljaka je koncentrisano u komorama, što govori da nema tendenciju povećanja već da se tu našlo taloženjem zbog najmanjih brzina cirkulacije ulja u komorama.

Radi utvrđivanja porekla metalnih opiljaka, potrebno je ispitati obim njegovog prisustvo i tendenciju porasta, pri analizi termo ulja.

Čišćenje cevne ploče i spojeva cevi i cevne ploče izvršeno je pranjem naftom i benzinom, posle čega je izvršen vizuelni pregled. Pri pregledu je naročito obraćena pažnja na koroziju zavora, promeni izgleda ili abraziju kao eventualnu posledicu dejstva nastale pare usled prodora vode na stranu termo ulja. Može se konstatovati da nema vidljivih tragova koji bi ukazivali na rupturu spoja cevi i cevne ploče. Na slikama br. 6. i 7., prikazan je izgled cevne ploče pri vizuelnom pregledu.

### c) Ispitivanje hidrostatičkim pritiskom u produženom trajanju sa vodene strane

Osnovni zadatak ovog ispitivanja je utvrđivanje propustljivosti površine razdvajanja između fluida. To su cevi, cevna ploča i naročito zavareni spoj cevi i cevne ploče. Imajući u vidu vidljivost cevne ploče, jasno je da ispitivanje treba sprovesti pritiskom sa strane fluida u omotaču. Glavna pitanja procedure su: ispitni fluid, gradacija pritiska ispitivanja i dinamika ispitivanja.

Standardno ispitivanje izdržljivosti i nepropusnosti sklopova OPP je hidrostatičkim pritiskom vode. Voda je i inače fluid



Slika 6: Izgled cevne ploče posle pranja



Slika 7: Detalj cevne ploče pri vizuelnom pregledu

koji struji kroz omotač RT. Dejstvo pritiska sa strane omotača pri otvorenoj glavi RT daje idealnu mogućnost kontrole sva tri dela površine razdvajanja (cev, cevna ploča, spoj cevi i ploče). Radni pritisak sa strane fluida u omotaču je 4 bar, a proizvođač je opravdano usvojio proračunski pritisak sa obe strane fluida od 6 bar, kako bi povećao bezbednost u radu i izdržljivost opreme u fazi montaže i održavanja. Proverom mehaničkog proračuna izvedene konstrukcije, utvrđeno je da ista može izdržati pritisak ispitivanja od 10 bar. Usvojen je pritisak ispitivanja od 9 bar, videti sliku br. 8., pri čemu postoji rizik od deformacija usled zamora materijala (rad u toku 5 god. na temperaturi od 260 °C) ili od aktiviranja neaktivnih inicijalnih pukotina. Upravo zbog tog rizika je usvojen proizvođački ispitni pritisak, da ukoliko postoji rizik od propuštanja, on se i dogodi u uslovima ispitivanja. Iz istog razloga se usvaja i dinamika produženog trajanja ispitivanja, s tim da se podizanje pritiska obavlja postepeno i u više koraka. Prvi korak pritisak od 3 bar u trajanju od 2 sata, drugi korak od 6 bar u trajanju od 2 sata i završni korak od 9 bar u trajanju od 12 sati.

Omotač razmenjivača se puni vodom iz vodovoda, odzračuje i priključuje na aparatauru za podizanje i merenje pritiska sa manometrom WIKA 0-16 bar, klase 1.6, EN 837-1. Postupak ispitivanja, prema navedenoj proceduri prikazan je na slikama br. 8., 9. i 10.

Na prolaznom pritisku od 3 bar, posle stabilizacije i pregleda steznih površina (prirubnice i navojni spojevi) i vizuelnog pregleda cevne ploče utvrđen je rezultat - nema curenja, pritisak stabilan.

Na prolaznom pritisku od 6 bar, posle stabilizacije i pregleda steznih površina (prirubnice i navojni spojevi) i vizuelnog pregleda cevne ploče utvrđen je rezultat - nema curenja, pritisak stabilan.

Na konačnom pritisku ispitivanja od 9 bar, posle stabilizacije i pregleda steznih površina (prirubnice i navojni spojevi) utvrđeno je curenje na zaptivaču cevne ploče i omotača, pritisak je oboren i izvršeno je umereno dotezanje zavrtneja na cevnoj ploči i ponovo lagano podignut pritisak na 9 bar. Posle pola sata, uočena je pojava vlaženja na jednom spoju u trećem donjem redu cevi na cevnoj ploči, pri čemu na manometru nije bilo nikakvog uočljivog pada pritiska. Posle pregleda spoja lupom procenjeno je da spoj curi intezitetom nekoliko kapi na 10 minuta. Ispitivanje je prekinuto, voda ispražnjena i pristupljeno sanaciji spoja. Deo spoja je delimično obrušen, a zatim zavaren istim postupkom kao pri izradi razmenjivača.

Posle sanacije zavarenog spoja, izvršeno je ponovno punjenje vodom, odzračivanje i lagano podizanje pritiska odmah na 9 bar. Pošto u narednih sat vremena vizuelno nije uočeno nikakvo curenje, ispod mogućih mesta curenja postavljen je novinski papir i sistem ostavljen pod pritiskom preko noći u produženom trajanju od 12 sati. Sledeći dan prilikom provere pritiska, uočen je porast pritiska na 9,3 bar, što je posledica porasta temperature vode prema temperaturi okoline. Pristupljeno je završnom pregledu spojeva lupom i dodatnim osvetljenjem svih spojeva od strane dva različita izvršioca. Rezultat je nema - curenja, pritisak stabilan.



Slika 8: Ispitivanje na 9 bar



Slika 9: Pregled spojeva lupom



Slika 10: Mesto popravka vara



**d) Unutrašnji pregled sa vodene strane**

Demontaža cevnog registra nije potrebna zbog ispitivanja propustljivosti, ali je neophodna zbog zamene zaptivača na cevnoj ploči i pregleda stanja cevi i zaprljanosti sa vodene strane. Zaptivač se mora zameniti zbog starosti i zbog nemogućnosti kasnije zamene u pogonskim uslovima.

Vađenje cevnog registra iz omotača kod dobrog dobošastog razmenjivača je uvek skopčano sa teškoćama, jer su tolerancije segmentnih pregrada i omotača male zbog eliminisanja lekažnog strujanja, pa u zavisnosti od vrste i temperatura fluida dolazi do dilatacija cevnog snopa i „zapečenja“ na mestima uske tolerancije dijafragme i segmentnih pregrada sa omotačem. Postupak demontaže je obavljen uz upotrebu specifičnih alata i povećanu pažnju da ne dođe do plastičnih deformacija cevnog registra. Posle potpunog vađenja registra iz omotača, izvršen je detaljni pregled stanja površina razmene cevnog snopa i zaprljanosti na vodenoj strani, videti slike br. 11., 12. i 13.



**Slika 11:** Potpuno demontiran RT 0519: omotač, cevni registar i glava



**Slika 12:** Talog mulja u omotaču RT

**e) Kontrolno, standardno ispitivanje hidrostatičkim pritiskom sa vodene strane**

Posle čišćenja površina razmene sa vodene strane, može se pristupiti montaži cevnog registra, pri čemu se obavezno menjaju oba zaptivača na cevnoj ploči. U periodu izrade razmenjivača koristili su se klingerit azbestni materijali za zaptivanje, koji su sada zabranjeni, Pravilnik o ograničenju i zabrani proizvodnje, stavljanja u promet i korišćenja hemikalija (Službeni glasnik RS br 90/2013 – EU direktiva 1999/77/EC od 1.1.2005) pa se mora koristiti neazbestni materijal zaptivača. Prema vrsti, temperaturi i radnom pritisku fluida, izvršen je izbor sledećih materijala za zaptivače.



**Slika 13:** Detalj taloga mulja na cevnom registru

Na strani termo ulja: TEADIT GE 1520 grafit, impregniran metalnom mrežom, sledećih podataka:

- Raspon temperatura: - 240 °C do 450 °C, para do 650 °C, u neoksidirajućoj atmosferi do 800 °C
- Dozvoljeni pritisak: do 140 bar
- Sadržaj ugljenika: > 98 %.

Na vodenoj strani: GAMBIT AF-300, na bazi kevlar materijala nemenjen za paru i vodu:

- Maksimalna temperatura: do 320 °C, trajna temperatura: do 280 °C, pod dejstvom pare: do 220 °C
- Pritisak: do 100 bar.

Zaptivači su isečeni na meru prema originalnim dimenzijama po crtežu i ugrađeni pri ponovnoj montaži i sklapanju razmenjivača toplote. Debljina zaptivača je 3 mm. Na slikama br. 14 i 15 su prikazani zaptivači na vodenoj i termouljnoj strani.

Ponovno stezanje spoja omotača i registra je izvršeno bez glave radi kontrolne provere izdržljivosti i nepropusnosti spoja cevi i ploče, kao i nepropusnosti novog zaptivača. Kontrolno ispitivanje je neophodno, zbog rizika propuštanja spojeva na cevnoj ploči, jer je cevni registar izložen velikim silama pri demontaži.



Slika 14: Ploča zaptivača Gambit AF-300



Slika 15: Isečen grafitni zaptivač Teadit GE 1520



Slika 16: Detaljno kontrolno ispitivanje cevne ploče

Kontrolno ispitivanje spoja cevi i cevne ploče vrši se standardnim postupkom na 9 bar (jer je već izdržao taj pritisak). Kontrolom uz pomoć lupe nije uočeno nikakvo curenje. Radi mogućih skrivenih grešaka i stabilizacije napona, dejstvo pritiska je produženo u naredna 2 sata, pod kontrolisanim vizuelnim nad-

zorom, pri čemu nisu uočene nikakve promene. Rezultat je - nema curenja, pritisak stabilan.

#### f) **Završna montaža**

Pregledom glave razmenjivača, nisu uočeni nikakvi nedostaci, pa nisu potrebne nikakve intervencije, osim čišćenja od metalnih opiljaka i mulja. Pritezanje zavrtnjeva posle montaže glave RT je izvršeno istom silom (momentom) kao pri ispitivanju. Hidrostatičko ispitivanje sa strane termo ulja je nepotrebno, jer na glavi razmenjivača nisu vršene nikakve intervencije koje bi trebalo ispitati, osim eventualnog curenja na zaptivaču. Potvrda stava da ne treba vršiti ispitivanje sa strane termo ulja je i opasnost da zaostala voda u cevima posle ispitivanja dođe u kontakt sa vrelim termo uljem prilikom puštanja u rad razmenjivača toplote. U slučaju curenja na prirubnici cevne ploče u eksploataciji, otklanjanje izvesti primerenim dotezanjem vijaka.

Servis je završen i razmenjivač spreman za isporuku, što se vidi na slici br. 17.



Slika 17: Kompletiran RT posle generalnog servisa

#### 4. Analiza rezultata ispitivanja

Posle sprovedene procedure ispitivanja RT i obavljenih servisnih radova, može se zaključiti da je aparat doveden u stanje isporuke novog razmenjivača i da je izdržao kompletnu proceduru ispitivanja novog razmenjivača. Ipak se predmetni razmenjivač ne može smatrati novim, niti može imati garancije kao nov, iz razloga što materijal nije nov i što je u pogonu izložen uticaju povišene temperature (do 260 °C) neprekidno 5 godina. Međutim, na bazi izgleda ugrađenog materijala, može se očekivati dalji rad bez operativnih problema.

Glavno pitanje posle izvedenih ispitivanja je da li je ispitno propuštanje na 9 bar jednog spoja cevi i ploče uzrok pojave vode u termo ulju. Na žalost, izvedena ispitivanja ne mogu dati pouzdani odgovor. Naime, upotrebljeni materijali mogu izdržati temperature minimalno do 300 °C i u proračunu čvrstoće delovi aparata su dimenzionisani prema čvrstoći materijala na 260 °C, a vizuelnim pregledom je utvrđeno da nijedan nosivi deo razmenjivača nema nikakvih oštećenja ni deformacija u radnim uslovima. Međutim,



to ne daje odgovor na pitanje, da li nepropustljivost spoja na pritisku ispitivanja u hladnom stanju na povišenim temperaturama i radnom pritisku postaje propustljiv sa vodene strane. Definitivan odgovor bi se mogao očekivati ispitivanjem na pritisak pri povišenim temperaturama za šta su potrebni posebni tehnički i uslovi bezbednosti.

Imajući u vidu prethodno iskustvo u periodu besprekornog rada RT, posle produženog hidrostatičkog ispitivanja jednakog projektnim uslovima, analogijom se može zaključiti da će aparat ponovo raditi besprekorno. Opravdano se može postaviti pitanje, da li se mikropropustljivost na 9 bar (nekoliko kapi na 10 minuta) uopšte manifestuje pri radnim uslovima, ili je prisustvo vode u termo ulju posledica propustljivosti nekog drugog kontakta vode i termo ulja, što treba utvrditi daljim ispitivanjem.

Povratna informacija posle ugradnje razmenjivača i podizanja pogonske uslove pre servisa je da više nema sumnje u njegovu propustljivost, a toplotna snaga razmene je povećana.

## Literatura

- [1] **Rikalović, R. M.**, *Dobošasti razmenjivači toplote Knjiga I – Klasifikacija i konstrukcija*, Novo izdanje, u pripremi, 2014.
- [2] **Isailović, M., A. Petrović, M. Bogner, N. Petrović**, *Propisi o opremi pod pritiskom, Tom 2. Tehnički propisi i primeri proračuna opreme pod pritiskom*, ETA, Beograd, 2013.
- [3] **Yokell, S.**, *Pressure testing feedwater heaters and power plant auxiliary heat exchangers*, Journal of Pressure Vessel Technology, vol. 133, issue 5, 2011, ASME.
- [4] *Pravilnik o tehničkim zahtevima za projektovanje, izradu i ocenjivanje usaglašenosti opreme pod pritiskom*, „Službeni glasnik RS“ br. 87/2011, Beograd (važi od 01. jula 2012 god.).

- [5] *Pravilnik o pregledima opreme pod pritiskom tokom veka upotrebe*, „Službeni glasnik RS“ br. 87/2011, Beograd
- [6] *Pravilnik o tehničkim normativima za stabilne posude pod pritiskom*, Službeni list SFRJ br. 16/83.
- [7] *EN 13445-5:2009: Unfired pressure vessels - Part 5: Inspection and testing*, 2009 CEN,
- [8] *Pressure Equipment Directive: PED Directive 97/23/EC*, EU, 2013.
- [9] *PED Guidelines EN v1.4 doc., Guidelines related to the Pressure Equipment Directive 97/23/EC (PED)* European Union, 2013.
- [10] Tubular exchanger manufacturers association, Inc: *Standards of the Tubular exchanger manufacturers association - TEMA*, IX ed., © 2007, New York,
- [11] *ANSI/API STANDARD 660: Shell-and-tube Heat Exchangers*, ISO 16812:2007 (Identical), American Petroleum Institute, 2007
- [12] *ASME PCC-2: Repair of Pressure Equipment and Piping*, 2011 ASME.
- [13] *Tehnička podrška: VITUS razmenjivači toplote*, www.vitus.co.rs
- [14] RED BAG: specializes software development for mechanical engineering, www.red-bag.com

## Autori

**Milan Rikalović,**  
**Proteus doo,**  
**Loznica,**  
**rikalović.milan@gmail.com**

## Novo u SMEITS-u

