

# Idejno rešenje konzervacije parnih kotlova u termoelektrani

**P**rilikom stavljanja postojećeg postrojenja u stanje trajne konzervacije sa pogonskom spremnošću za dalji rad (kratak ili dug period zastoja) potrebno je sprovesti posebne mere da bi se termoelektrana zaštitila od korozije u zastoju kao i da bi se izbegla pojava posledičnih oštećenja. Mere zaštite (konzervacije) prvenstveno imaju za cilj da se suprotstave koroziji u zastoju. Glavni i odlučujući aspekt za uspešnu konzervaciju je kompletno razmatranje svih sistema i komponenata kao i interakcija između mera konzervacije određenih sekcija što iziskuje detaljno planiranje i monitoring ovih mera. U radu je dato idejno rešenje konzervacije kotla koje se zasniva na vlažnom postupku konzervacije vodeno – parne strane cevnog sistema pomoću hidrazina i suvom postupku konzervacije sa strane dimnih gasova, uz prethodno hemijsko čišćenje kotla, pasivizaciju razmenjivačkih površina, zatvaranje kotla i dodavanje adsorbenta sa gasne strane kako bi se relativna vlažnost vazduha dovela u prihvatljive granice za konzervaciju.

## 1 Uvod

Tokom vremena, predmet zaštite (konzervacije) postrojenja postalo je pitanje od velikog značaja za vlasnike/korisnike termoelektrana, kao i proizvođače komponenata.

Prevenција od oštećenja elemenata termoeenergetskog postrojenja je moguća samo u slučaju rane detekcije oštećenja, detaljnog planiranja praćenja, implementacije odgovarajućih mera i redovne kontrole. Prilikom izgradnje nove termoelektrane ili ako je postojeće postrojenje u zastoju (kratak ili dug period zastoja) potrebno je sprovesti posebne mere da bi se termoelektrana zaštitila od korozije u zastoju (offline corrosion) kao i da bi se izbegla pojava posledičnih oštećenja.

Ove mere i preporuke uglavnom se odnose na sve termoelektrane nezavisno od toplotne snage i konstrukcijskog rešenja.

Mere konzervacije prvenstveno imaju za cilj da se spreči ili svede na minimum korozija u zastoju, čiju pojavu pospešuju: vlažan vazduh, kondenzacija vlage, voda sa rastvorenim kiseonikom, voda koja sadrži soli, voda koja sadrži hloride, slojevi koji reaguju sa kiselinama, higroskopni slojevi.

U zavisnosti od perioda zastoja postrojenja, potrebno je sprovesti dodatne mere zaštite komponenata i sistema od oštećenja, koja se ne moraju obavezno pripisati koroziji (npr. mikrobiološko stvaranje naslaga u postrojenjima za pripremu vode, oštećenja na sedištima ventila ili na rotacionoj opremi i sl).

Glavni i odlučujući aspekt za uspešnu konzervaciju je kompletno razmatranje svih sistema i komponenata kao i interakcija između mera konzervacije određenih sekcija što iziskuje detaljno planiranje i monitoring ovih mera. Najkritičnije komponente u termoelektrani, sa aspekta otkaza usled delovanja korozije su: kotao sa pripadajućom opremom, turbine i sistemi za hlađenje.

Prilikom korišćenja odgovarajućih hemikalija i tretmana nusprodukata procesa konzervacije, potrebno je uzeti u obzir odgovarajuće nacionalne regulative zaštite životne sredine.

Da bi materijal bio u upotrebi potrebno je da bude optimizovan za rad, a ta optimizacija, između ostalog, podrazumeva i sprovođenje određenih mera da bi se materijal preventivno zaštitio od korozije u zastoju. Korozija u zastoju će biti inicirana i njeno pojavljivanje će biti olakšano istovremenim prisustvom kiseonika i vode (vlage) ili elektrolita i vode u radnoj sredini.

## 2 Pregled metoda konzervacije kotlova u termoelektranama

Preporuke za konzervaciju termoeenergetskih objekata date su u standardu VGB Standard – Preservation of Power Plants, VGB-S-116-00-2016-04-EN [1].

Korozija u zastoju komponenata termoeenergetskog postrojenja je uslovljena istovremenim kontaktom površine komponenata sa vodom i kiseonikom. Ukoliko je sprečen kontakt površine sa jednim ili oba od ova dva korozivna agensa, korozija u zastoju se neće javiti.

U zavisnosti od konkretne primene na raspolaganju su sledeće metode konzervacije vodeno-parne strane koje su se pokazale u praksi kao adekvatne i efikasne:

- vlažna konzervacija,
- suva konzervacija,
- konzervacija sa inertnim gasovima – konzervacija pasivizacijom,
- konzervacija sa kontaktnim – isparljivim inhibitorima korozije,
- konzervacija sa filmobrazujućim aminima,
- konzervacija sa uljima, voskom i mastima,
- konzervacija sa privremenim prevlakama.

Za razliku od suve konzervacije, gde se iz sistema uklanja vlaga, kod metoda vlažne konzervacije iz sistema se uklanja kiseonik. Ukoliko su primenjene odgovarajuće mere za zaštitu od korozije, vlažna

konzervacija delova postrojenja obezbeđuje visoku raspoloživost postrojenja i pruža mogućnost brzog ponovnog startovanja. Takođe, pre ponovnog startovanja postrojenja nije potrebno sprovesti sušenje komponenata. Tokom vlažne konzervacije sistem ostaje u potpunosti napunjen fluidom a vazduh se mora ukloniti iz sistema da bi se sprečila korozija na graničnim površinama koje su u kontaktu sa tečnom i gasovitom fazom. Ukoliko kompletno zapunjavanje sistema sa tečnim fluidom nije moguće ili nije predviđeno, neophodno je zaštititi delove površina koje nisu u kontaktu sa tečnošću korišćenjem inertnih gasova ili parnih jastuka. Istovremeno ograničenje sadržaja rastvorenog kiseonika i rastvorene količine čestica – provodljivosti radnog fluida (elektrolita) je jedan od osnovnih postulata uspešne i efikasne vlažne konzervacije. Sadržaj kiseonika mora biti niži od 0,05 mg/kg, i ova vrednost ne sme biti prekoračena u dužem vremenskom periodu. Provodljivost medijuma mora biti manja od 5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , ukoliko se koristi hemijski pripremljena voda, odnosno 50  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ako se koristi radni fluid u koji je dodat hidrazin u cilju smanjenja koncentracije kiseonika. Putem održavanja pH vrednosti veće od 10, i temperature fluida od 25 °C, rastvorljivost železa i njegovih oksida je svedena na najmanju meru. Posebna pažnja mora da se posveti sprečavanju curenja fluida kojim je napunjen sistem tokom konzervacije. Curenje koje je manje od 1% ukupne zapremine fluida je prihvatljivo. Ukoliko je potrebno nadoknaditi veće količine fluida koji je iscurio iz sistema, važno je da se za dopunjavanje koristi isključivo voda sa sadržajem kiseonika nižim od 0,05 mg/kg. Tokom zimskog perioda, postupak vlažne konzervacije zahteva odgovarajuće zagrevanje postrojenja.

Suva konzervacija vazduhom se zasniva na snižavanju apsolutne vlažnosti vazduha u sistemu koji se konzervira. Pošto je sprečeno formiranje tankog sloja tečnosti (elektrolita) na površini opreme neće doći do pojave korozije čak i ako je u vazduhu prisutan kiseonik. Mogućnost nastajanja tankog tečnog filma na površini opreme zavisi od stepena čistoće površine koja se štiti. Prisustvo naslaga različitih soli, kao i čestica (produkata sagorevanja iz dimnih gasova) na površini opreme je nepoželjno jer su ove materije higroskopne. Da bi se sprečila korozija u zastoju, neophodno je prilikom suve konzervacije obezbediti da relativna vlažnost vazduha koji se koristi bude niža od 30%, kod postrojenja koja se nalaze u blizini morske vode, dok je za kontinentalne uslove dovoljno da relativna vlažnost vazduha bude niža od 40%. Osnovni zahtev koji mora biti zadovoljen da bi se uspešno sprovela suva konzervacija je da se ukloni sva tečnost iz sistema i spreči formiranje tečnog filma na površinama tokom konzervacije. Suva konzervacija parnih kotlova se može vršiti:

- inicijalnim sušenjem postrojenja – kompletno pražnjenje-dreniranje svih delova sistema voda/para koji su u kontaktu sa vodom/parom. Proces inicijalnog sušenja odnosno isparavanja zaostalog kondenzata se obavlja korišćenjem preostale toplotne energije nakon zaustavljanja postrojenja. Takođe inicijalno isušivanje sistema može biti ubrzano uvođenjem suvog komprimovanog vazduha,
- suvim vazduhom,
- pomoću čvrstih adsorpcionih sredstava (silika gel),
- toplim vazduhom.

Zaštita inertnim gasovima podrazumeva zapunjavanje postrojenja

koje je van pogona inertnim gasovima u cilju zamene postojećeg gasa u sistemu ili smanjenja sadržaja kiseonika. Prilikom ispuštanja sistema sa inertnim gasom, količina zaostale vlage u sistemu se takođe smanjuje. Za ovaj metod konzervacije uglavnom se koristi azot visoke čistoće (minimalno 99,95%). Ovaj postupak konzervacije je posebno pogodan za komponente zatvorenih sistema kao što su rezervoari, ali se može koristiti i za kompletnu opremu postrojenja. Da se ne bi pojavila korozija u zastoju treba sprečiti porast sadržaja kiseonika u sistemu, a ovo se postiže tako što se u sistemu koji se štiti održava mali nadpritisak čime se sprečava prodiranje kiseonika u sistem.

U slučajevima kada nije moguće sprovesti postupke mokre i suve konzervacije, npr. tokom proizvodnje, transporta i skladištenja, moguće je primeniti konzervaciju korišćenjem isparljivih inhibitora korozije. Prednosti ove metode su njena visoka efikasnost i jednostavnost. Međutim pored vizuelne kontrole, ovaj metod zaštite ne pruža druge mogućnosti za ispitivanje efikasnosti konzervacije putem merenja drugih kontrolnih parametara. Isparljivi inhibitori korozije su polarne organske supstancije koje sporo isparavaju i na taj način vrše zasićenje zatvorenih prostora svojim parama. Molekuli se vezuju za površinu materijala opreme procesima adsorpcije, stvarajući pri tome tanak film. Slojevi na površini su samoobnovljivi i takođe lako penetrišu kroz sloj kondenzata na površini do čiste površine metala.

Kontaktne inhibitori imaju osobinu da formiraju zaštitni film na površini metala i time spreče njegov kontakt sa vlagom i kiseonikom. U tu svrhu se najčešće koriste amini. Filmooobrazujućim aminima, koji se često nazivaju poliaminima ili zasićeni amini, su hemijske supstancije iz klase oligoalkilamino zasićenih amina. Amini koji formiraju zaštitni film se predstavljaju formulom  $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{NH}_2$ , gde n može da bude u rasponu od 8 do 22. Najčešće se upotrebljavaju oleilpropilendiamin i oktadecilamin (ODA). Za razliku od konvencionalnih hemijskih metoda zaštite, filmooobrazujućim aminima ne reaguju sa sastojcima rastvorenim u vodi, već formiraju fizičku barijeru između površine metala i tečne faze tako što formiraju higrofobni zaštitni sloj. Debljina sloja zaštitnog filma zavisi od primenjene koncentracije filmooobrazujućeg amina i obično iznosi do 1  $\mu\text{m}$ . Zaštitni filmovi se mogu formirati kako na površini čelika, tako i na površini opreme koja je izrađena od bakra ili legura bakra. Filmooobrazujućim aminima su parno isparljive materije. Njihova distribucija u parno vodenim ciklusima je jedino moguća kod postrojenja koja su u pogonu. Doziranje se vrši prema preporukama proizvođača, a ako je to zahtevano, doziranje se vrši na povišenim temperaturama. Zaštita opreme tokom zastoja postrojenja korišćenjem filmooobrazujućih amina je moguća samo na delovima opreme koji su u kontaktu sa vodom. Zaštitni sloj sačinjen od filmooobrazujućeg amina ostaje očuvan na površini čak i nakon kompletnog dreniranja sistema. Ne postoje potvrđena istraživanja i podaci o efikasnosti i trajanju same zaštite opreme. Iskustva su pokazala da se, po pravilu, efikasnost zaštite obezbeđuje u trajanju od nekoliko meseci.

Konzervacija sa niskom i visokom viskoznom uljima i voskom se uglavnom koristi kao zaštita prilikom transporta i dugotrajnog skladištenja komponenata i rezervnih delova. Efekat korozione zaštite uljnih premaza se zasniva na obrazovanju vodonepropusnog sloja na površini materijala čime se sprečava direktan kontakt između

površine materijala i tečnosti. Konzervaciju sa odgovarajućim premazima je jednostavno sprovesti. Premaz za konzervaciju se nanosi četkama, uranjanjem dela, koji je potrebno konzervirati, u ulje ili raspršivanjem ulja po komponenti koju je potrebno zaštititi. U mnogim slučajevima nema potrebe uklanjati premaz sa površina komponenata pre njihovog puštanja u eksploataciju, usled toga efekat zaštite od korozije biće prisutan i tokom perioda eksploatacije. Međutim, ovo nije slučaj kod komponenata i sistema u ciklusu voda/para, kod kojih je neophodno ulje za konzervaciju ukloniti sa površina koje su u kontaktu sa vodenom ili parnom fazom pre njihove instalacije i puštanja u pogon. U slučaju da se ne obavi kompletno uklanjanje premaza sa metalnih površina pre puštanja u eksploataciju mogu se pojaviti problemi i rizici tokom eksploatacije.

Konzervacija sa privremenim prevlakama u svojoj osnovi je vrlo slična kao i konzervacija sa uljnim premazima. Po pravilu takve zaštitne prevlake se mogu nanositi samo na spoljašnje površine, zatim unutar vazдушnih i dimnih kanala, dok se ne mogu primeniti na okvašene površine. Privremene prevlake na površinama komponenata stvaraju barijeru koja sprečava direktan kontakt između elektrolita (tečna faza, voda ili vlaga iz vazduha) i površine materijala. Ovaj metod konzervacije se uglavnom koristi kao zaštita prilikom transporta i dugotrajnog skladištenja komponenata i rezervnih delova. Privremene prevlake se obično nanose putem raspršivanja, valjanja – kotrljanja dela, farbanja ili uranjanja delova u posudu sa prevlakom. Ukoliko se koriste prevlake za zaštitu od korozije, po pravilu prevlaka treba da bude uklonjena pre montaže komponente. U zavisnosti od tipa prevlake njeno uklanjanje se može obaviti pomoću rastvarača ili mehaničkim putem (npr. brušenje ili peskarenje).

Pored mera konzervacije parnih kotlova sa strane voda/para, od velikog značaja je njihova zaštita od korozije i sa strane dimnih gasova. Deo sumpornih oksida ( $\text{SO}_2$  i  $\text{SO}_3$ ) nastalih tokom sagorevanja goriva reaguje sa produktima sagorevanja i grade jedinjenja sumpora. Pri normalnom radu kotla jedinjenja sumpora se nalaze iznad tačke rose kao suvi depozit na grejnim površinama. Neka hemijska jedinjenja ovih naslaga su u velikoj meri higroskopna što znači da, u slučaju visoke relativna vlažnosti naslage mogu da apsorbuju velike količine vlage iz okolne sredine i formiraju sumpornu kiselinu putem hidrolize mokrih naslaga. Postoje sledeće mogućnosti da se izbegne korozija u zastoju i da se naslage oslobode vlage:

- nakon prestanka rada, grejne površine kotla se održavaju u toplom stanju, na temperaturama iznad temperature tačke rose okolne sredine (topla metoda),
- sušenje atmosfere trakta dimnih gasova (metoda suvog vazduha),
- u radu, a posebno pre startovanja bloka, dodaju se alkalni aditivi u velikim količinama da bi se smanjio rizik od uticaja kiseline, njenim neutralizovanjem (hemijska metoda).

Održavajući grejne površine toplim, naslage, koje sadrže sumpornu kiselinu, su zaštićene od adsorpcije vlage iz vazduha. Temperatura zagrevanja treba da se odabere tako da koncentracija sumporne kiseline ne bude ispod 70% u odnosu na relativnu vlažnost

hladnog vazduha. Uvek se preporučuje ugradnja tzv. „prepreke dimnih gasova“ koja se ugrađuje posle ušća dimnog kanala u dimnjak, tako da je rasipanje toplote iz gasnog trakta, svedeno na minimum. Upotrebom sušača vazduha, atmosfera u traktu dimnih gasova može se isušiti (osloboditi vlage) tako da higroskopne naslage ostaju suve a preostala sumporna kiselina je praktično zanemarljiva.

Kada se zahteva čišćenje grejnih površina usled zaprljanja (naslage koje u prisustvu vode mogu dovesti do formiranja kiselih jedinjenja i kiselinske korozije), postoji mogućnost zaštite od korozije putem pranja sa alkalizovanim vodom pod pritiskom sa naknadnim sušenjem. Kada je potrebno, dodatna upotreba hemikalija (npr. magnezijum oksid, dolomit) može pružiti dodatnu zaštitu grejnih površina od korozije.

Pored alkalizacije tokom vlažnog čišćenja kotlova i naknadnog sušenja, hemijska konzervacija se može sprovesti bez čišćenja grejnih površina. Pre prestanka rada kotla, ili tokom zastoja, u kotao se mogu dodati alkalni aditivi ili hemikalije da bi se izbegao uticaj kiselih jedinjenja koji se može desiti tokom zastoja. Cilj je da se dodavanjem dovoljne količine aditiva neutrališu naslage na bilo kojoj lokaciji u traktu dimnih gasova. Ova metoda konzervacije se prvenstveno koristi za kotlove na mazut.

Nakon zaustavljanja postrojenja neophodno je proveriti i očistiti kanale vazduha. Ukoliko zaptivanje sistema u cilju sprečavanja prodora spoljašnjeg vazduha nije moguće sprovesti, neophodno je proveriti stanje zaštitnih prevlaka i ukoliko je potrebno obnoviti ih. U slučaju suve konzervacije, uz korišćenje sredstava za adsorpciju vlage, preporuka je da se postave lako vidljivi ili dostupni uređaji za indikaciju vlage. Klapne za vazduh potrebno je provetravati jednom mesečno. Takođe treba proveriti i ispravnost mehanizma (otvoreno/zatvoreno). U slučaju da na spoljnim deonicama kanala za vazduh, postoje merni i regulacioni uređaji treba ih demontirati i skladištiti na suvom mestu.

Usled prisustva higroskopnih naslaga koje sadrže u sebi sumpor, kod regenerativnih zagrejača vazduha, iste je neophodno odstraniti sa opremom za čišćenje niskog ili visokog pritiska u zavisnosti od stepena zaprljanja. Proceduru čišćenja treba sprovesti prema preporukama proizvođača. Smatra se da je postupak čišćenja završen kada voda za čišćenje postane pH neutralna.

Cevovodi za transport tečnog goriva treba da budu drenirani. U zavisnosti od vrste goriva koje se koristi neophodno je ispiranje cevovoda sa odgovarajućim fluidom. Potrebno je izvršiti čišćenje filtra goriva, koji nakon toga ne treba demontirati sa linije za transport goriva.

Prilikom konzervacije linija za snabdevanje gasom (od glavne merno regulacione stanice) nadpritisk u sistemu se mora smanjiti tako da bi se moglo izvesti zapunjavanje sistema sa azotom. Uvođenje azota na ulazu u sistem se obavlja sve dok koncentracija gasa na izlazu iz sistema ne dostigne nivo manji od 0,5%. Gde je to moguće, liniju za snabdevanje gasom treba konzervirati azotom čiji je nadpritisk približno 0,2 bar. Preporuka je da se, iz bezbednosnih razloga, linija za snabdevanje gasovitim gorivima odvoji od ostatka postrojenja.

### 3 Predlog idejnog rešenja sistema za konzervaciju kotlova

Osnovni cilj dugotrajne konzervacije termoenergetskih postrojenja je želja da se sačuvaju proizvodni kapaciteti i energetska lokacija, u situaciji kada je proizvodnja električne energije iz datog termoenergetskog bloka, zbog visoke cene primarnog energenta ili iz bilo kog drugog razloga, ekonomski neisplativa.

Principijelno, jednostavniji slučaj je kada se konzervira jedan od blokova a više drugih termoenergetskih blokova ostaje u radu. U tom slučaju, dostupni su svi potrebni pomoćni fluidi za konzervaciju i prostor u kome se nalaze kotlovi je zagrejan tako da u zimskim mesecima nema opasnosti od zamrzavanja. Neki tipični slučajevi kada se javlja potreba za konzervacijom samo pojedinih blokova u termoenergetskom objektu su slučajevi kada se konzerviraju manji blokovi, blokovi koji rade sa niskim stepenom korisnosti ili blokovi koji koriste manje isplativo gorivo u odnosu na druge blokove.

Sa druge strane, prilikom konzervacije vlažnim postupkom svih kotlova u termoenergetskom objektu, osim izbora optimalnog postupka konzervacije, treba voditi računa o opasnosti da dođe do zamrzavanja u zimskim mesecima i stim u vezi raspoloživosti grejnih fluida za postupak konzervacije.

Moguće varijante grejanja u toku zimskih meseci su:

- zagrevanje GPO na sobnu temperaturu od 25 °C bi zahtevalo angažovanje velike količine toplotne energije za grejanje najčešće slabo termički izolovanog prostora što je ekonomski neopravdano ako se posmatra samo konzervacija kotlova,
- recirkulacija vode preko napojnog rezervoara i napojne pumpe koji bi se grejao direktnim mešanjem sa vodenom parom iz postojećeg parovoda nije optimalno rešenje jer se time remeti zahtevana zaptivenost cevnog sistema pri konzervaciji i unosi stalno nova količina kiseonika koja može biti uzrok pojačane korozije tokom konzervacije,
- recirkulacija vode kroz kotao u zatvorenom krugu preko novih razmenjivača toplote (za njeno dogrevanje je ovde predloženo rešenje).

U našoj zemlji, zbog trenutno visoke cene prirodnog gasa u odnosu na domaći lignit, rad termoelektrana koje kao pogonsko gorivo koriste prirodni gas nije ekonomski opravdan. Zato ove termoelektrane beleže mali broj radnih sati. Potreba da se očuvaju proizvodni kapaciteti na nivou pogonske spremnosti u dužem vremenskom periodu kada termoelektrane ne rade otvara pitanje dugotrajne konzervacije postrojenja.

Primenjivani metod vlažne konzervacije podrazumeva doziranje hemikalija (hidrazina i amonijaka) u količinama koje su veće od onih u normalnom radu za pripremu napojne vode. Kontrola procesa doziranja hemikalija se pri konzervaciji u kraćem vremenskom periodu prati uglavnom preko pH vrednosti vode, pri čemu ceo kotao, do vrha doboša, mora biti zapunjen vodom kako bi se zaštitile i pregrejačke površine. Uputstvom proizvođača kotla često je predviđeno da se pri punjenju kotla vodom a zbog eliminisanja pojave vazдушnih zona (prisustvo kiseonika iz vazduha tokom konzervacije

vlažnim postupkom pospešuje koroziju) ostvaruje porast pritiska pomoću azota koji se dovodi preko odgovarajućih odzraka, odnosno ventila za ispuštanje vazduha. U tu svrhu, vodovi za odvazdušenje se spoje sa baterijom boca azota, naravno preko reducira pritiska, da bi se povećao pritisak za oko 0,6 bar. Koristiti se azot čija je čistoća preko 99,5%. Takođe, prema uputstvu proizvođača kotla predviđeno je da se prvih dana nakon konzervacije kontrola parametara vode radi jednom dnevno, a posle toga svakih deset dana do jednom mesečno. Propisano je da se doziranje hemikalija radi ako pH vrednost padne ispod 9 ili ako koncentracija hidrazina padne ispod 1/2 od zahtevane (kao zahtevana vrednost za hidrazin navodi se pri zastojsima u dužem periodu vrednost od 700 ppm za kotlovsku vodu u dobošu).

Kao optimalno tehničko rešenje za dugotrajnu konzervaciju kotlova u situaciji kada ni jedan od blokova nije u radu usvojeno je tehničko rešenje koje podrazumeva:

- vlažan postupak konzervacije cevnog sistema kotla sa vodene strane,
- suvi postupak konzervacije dimne strane kotla (ložišta),
- suvi postupak konzervacije razvoda tečnog goriva od rezervoara do gorionika,
- suvi postupak konzervacije razvoda gasovitog goriva od glavne merno regulacione stanice (GMRS) do gorionika.

Za vlažni postupak dugotrajne konzervacije termoenergetskih kotlova, zbog problema zamrzavanja u zimskim mesecima, neophodna je raspoloživost nekog grejnog fluida. To može biti topla voda ili vodena para iz toplifikacionog sistema ili neki od kotlova iz pomoćne kotlarnice. U svakom slučaju izvor toplotne energije mora postojati. Naime, za dugotrajnu (trajnu) konzervaciju nije prihvatljivo da se u zimskim mesecima prazni cevni sistem kotlova i on na taj način ostaje nezaštićen i izložen koroziji.

U okviru predloženog tehničkog rešenja poboljšanja sadašnjeg sistema konzervacije uključeno je:

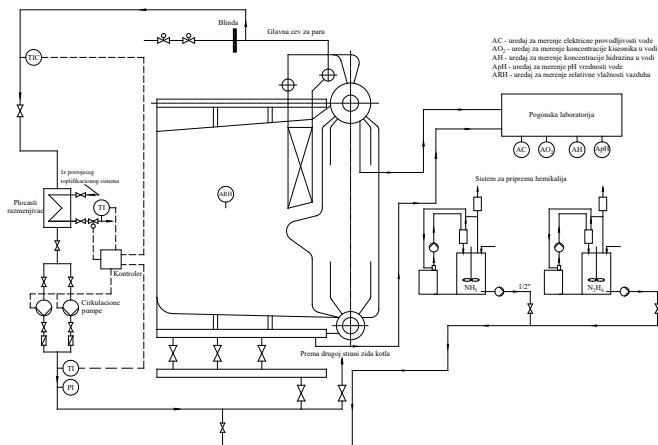
- razmatranje tehnički i ekonomski održivog rešenja dogrevanja kotlovske vode tokom zimskih meseci kako bi se otklonila mogućnost zamrzavanja vode u kotlu pri hladnom vremenu i na taj način otklonila potreba da se prazni cevni sistem kotla i kotao ostane zaštićen od korozije i
- poboljšanje postojećeg sistema monitoringa ključnih parametara kotlovske vode (pH vrednost, sadržaj kiseonika, sadržaj hidrazina, električna provodljivost vode) i monitoringa vlažnosti vazduha u ložištu kotla tokom konzervacije, u cilju ispravnog vođenja procesa konzervacije.

Sistem monitoringa se realizuje praktično kroz formiranje laboratorije, po jedna za svaki od kotlova koji se konzervira. Prilikom određivanja lokacije laboratorije treba voditi računa da cevovodi za uzorkovanje moraju biti što kraći, odnosno laboratorija se mora nalaziti što bliže kotlu a vodove za uzorkovanje po potrebi (ako postoji opasnost od zamrzavanja) treba grejati ili prazniti svaki put nakon uzimanja uzorka. Potrebno je da se prostor laboratorije građevinski zatvori i obezbedi njegovo adekvatno grejanje u zimskim mesecima.

Predloženim tehničkim rešenjem (slika 1) predviđeno je da se vrši recirkulacija demi vode kojom se kotao puni prilikom njegove

konzervacije. Na ovaj način se postiže:

- održavanje stalne i ujednačene temperature vode u kotlu na nivou 25 °C,
- mešanje i ravnomerna raspodela koncentracije hidrazina u demi vodi kojom se kotlovi konzerviraju,
- iz prethodnih razloga, smanjenje korozije kotlovskih površina, uključujući i površine pregrejača u kotlu.



Slika 1: Šema konzervacije vodene strane kotla

Za potrebe trajne konzervacije kotla potrebni su sledeći radovi:

- presecanje glavnog parovoda na mestu izlaska parovoda iz kotla i njegovo blindiranje ispred glavnog parnog ventila u cilju sprečavanja prodiranja vode u sistem parne turbine,
- izgradnja recirkulacionog cevovoda od mesta presecanja glavnog parovoda do ventila na svim kolektorima za odmuljivanje kotla,
- postavljanje pločastog razmenjivača toplote i dve cirkulacione pumpe (jedna radna i druga rezervna) u cevovodu za recirkulaciju vode u cilju dogrevanja vode u kotlu na projektovanih 25 °C i u cilju mešanja hemikalija koje se doziraju,
- zaptivanje ložišta, odnosno razdvajanje dimnih kanala i vazдушnih kanala na kotlu, najpovoljnije na mestu postojećih kompenzatora i njihovo blindiranje.

Konzervacija podrazumeva da se kotao napuni vodom u koju je dodata potrebna količina hidrazina. Pri punjenju kotla vodom zatvore se ispusti kotla, a otvore odzračni otvori kotla kao za vreme procedure normalnog punjenja. Radi sigurnosti od pojave vazдушnih čepova kotao se može staviti pod nadpritisak od 0,2 – 0,3 bar pomoću azota. Kotao se puni napojnom demi vodom sa rastvorom hidrazina. Pri konzervaciji treba koristiti postojeću opremu, na primer postojeće rezervoare demi vode i pripadajuće pumpe, tako da deo pomoćnih postrojenja u termoelektrani koja se trajno konzervira svakako ostaje u radu.

Doziranje hemikalija (hidrazina i amonijaka) je, takođe, moguće raditi iz postojećih rezervoara za hemikalije, kroz postojeće cevovode za doziranje hemikalija u napojni cevovod. Međutim,

ako lokacija posuda za hemikalije nije povoljna i cevovodi za doziranje hemikalija su veoma dugi onda postoji realna opasnost od zamrzavanja cevovoda za doziranje hemikalija i samih posuda sa hemikalijama. U tom slučaju, je potrebno predvideti nove dozirne posude i dozirne pumpe. Nove posude za hemikalije i pripadajuća oprema, uključujući dozirne pumpe se mogu instalirati za svaki od kotlova posebno, u prostoru pogonske laboratorije koja će svakako biti zagrevana u zimskim mesecima. Doziranje hemikalija se radi direktno u cevovod za recirkulaciju vode kroz kotao i pločasti razmenjivač toplote. To obezbeđuje najkraće deonice cevovoda za doziranje hemikalija, direktno doziranje u kotao umesto u napojne cevovode i smeštaj posuda za pripremu rastvora hemikalija u grejani prostor.

U startu se dozira količina Levoxin-a 15 (hidrazina) tako da se ostvari rezidualni hidrazin u količini od 250 mg/l. Vrednost pH vode mora biti iznad 10,0 (optimalno pH oko 10,5) što se postiže doziranjem potrebne količine amonijaka. Ovako potpuno napunjen kotao se zatvori da ne bi prodirao kiseonik iz vazduha. Kasnije dopunjavanje kotla koje je potrebno da bi se nadoknadila eventualna curenja vode iz kotla (prema [1] curenje mora biti manje od 1%) se radi iz rezervoara demi vode, kako je to prethodno opisano. Indikacija da je kotao u stanju konzervacije potrebno dopuniti vodom je pad pritiska. Naime, u stanju konzervacije pritisak vode u kotlu ostvaruju nove cirkulacione pumpe. Ukoliko postojeći merači pritiska na kotlu registruju radne pritiske niže od setovane minimalne vrednosti, to je signal rukovaocu postrojenjem da je potrebno kotao dopuniti vodom iz rezervoara demi vode. Pri svakoj dopuni kotla vodom obavezno je uključiti pumpe za recirkulaciju i promešati sadržaj kotla.

Predviđeno je da se postojećim sistemom za uzorkovanje kontroliše koncentracija kiseonika i hidrazina u vodi. U početku je potrebno dnevno kontrolisati količinu kiseonika i hidrazina, kao i pH vrednost i provodljivost vode a kasnije se kontrole rade povremeno. Granične koncentracije kada je potrebno dozirati hidrazin su kada njegova koncentracija na bilo kom mestu uzorkovanja padne ispod 100 mg/l, odnosno kada se registruje količina kiseonika iznad 0,05 mg/l. Isto tako, kada pH rastvora padne ispod 9,5 potrebno je povećati alkalnost rastvora dodavanjem amonijaka. Mesta uzorkovanja rastvora su postojeća i ne menjaju se. U pogonskoj laboratoriji mora postojati automatska oprema za uzorkovanje i merenje pH vrednosti, koncentracije kiseonika i hidrazina i provodljivosti vode.

Indikacija da je potrebno raditi mešanje sadržaja kotla pomoću cirkulacione pumpe je pojava da uzorci uzeti iz raznih delova cevovodnog sistema kotla ispoljavaju velike razlike u sadržaju hidrazina, alkalnosti, pH vrednosti ili električne provodljivosti. Obavezno je promešati sadržaj kotla kod bilo kakvog dodavanja sredstva za konzervaciju.

Takođe, cirkulacione pumpe će uključiti automatika temperaturskog kontrolera uz pločasti razmenjivač toplote u slučaju kada temperaturna sonda registruje temperaturu vode u kotlu koja ne sme biti niža od podešene vrednosti (na primer, temperatura vode u parovodu na izlazu iz kotla min. 20 °C). Zagrevanje vode radi se

u pločastom razmenjivaču toplote, koji se zagreva toplom vodom iz postojeće toplifikacione mreže. Prelazni periodi van grejne sezone kada eventualno toplifikaciona mreža nije u funkciji a vremenske prilike budu takve da je temperatura niska mogu praviti problem sa stanovišta održavanja zahtevane temperature vode u kotlu od 25 °C i mogućnosti pojave kondenzata sa gasne strane kotla. Međutim, pretpostavka je da reaktivnost i povećan rezidual Levoxin-a 15, činjenica da nema opasnosti od zamrzavanja i znatno unapreden sistem merenja, kontrole i doziranja hemikalija obezbeđuju dovoljnu zaštitu vodene strane kotla i u tim prelaznim periodima koji ne traju dugo. Sa druge strane, gasna strana kotla je zaptivena a vlaga uklonjena adsorpcionim sredstvom tako da je očekivana tačka rošenja daleko ispod očekivane temperature u prelaznim periodima, kada se može desiti da temperatura vode u kotlu bude niža od projektovanih 25 °C.

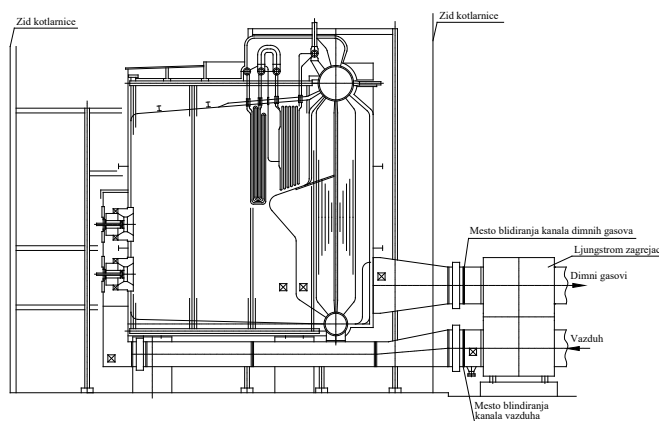
Regulacija grejanja u pločastom razmenjivaču toplote je uobičajena, pomoću temperaturskog kontrolera, temperaturske sonde koja se postavlja na ulaznom vodu sekundarnog kruga pločastog razmenjivača toplote i prolaznog ventila sa elektromotornim pogonom u potisnom vodu primarnog kruga pločastog razmenjivača toplote.

Na osnovu svega prethodno rečenog može se sumirati da će recirkulacija vode kroz kotao, preko pločastih razmenjivača toplote, i uključivanje cirkulacionih pumpi biti ostvareni iz nekog od sledećih razloga:

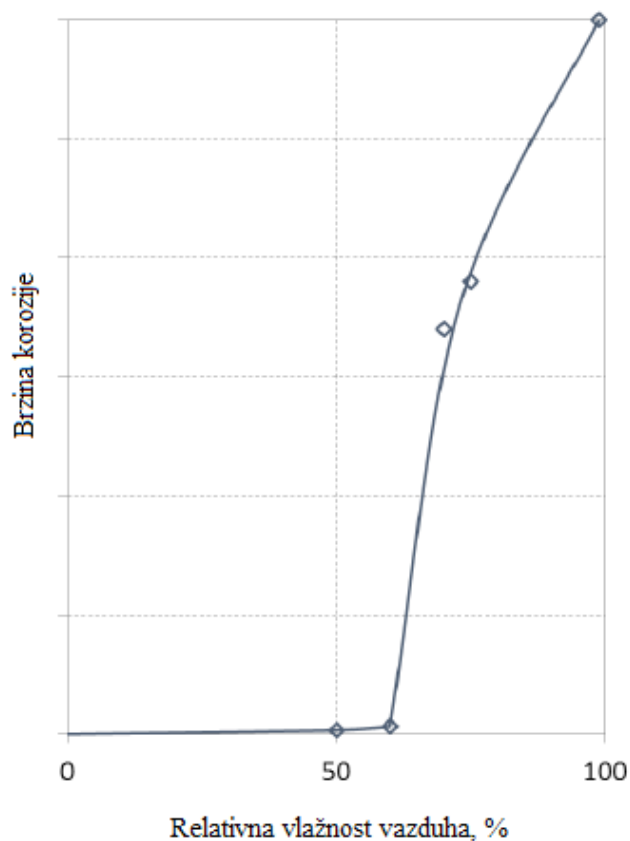
- zbog nedozvoljenog pada temperature vode u kotlu,
- zbog potrebe za doziranjem bilo koje od hemikalija što se registruje merenjima sadržaja kiseonika, alkalnosti, pH vrednosti i električne provodljivosti pomoću ugrađenih merača ovih veličina,
- zbog potrebe za mešanjem indikovanih velikim odstupanjima u sadržaju hidrazina, alkalnosti, pH vrednosti ili električne provodljivosti u uzorcima vode uzetih sa različitih mesta iz cevnog sistema kotla što, takođe, registruju ugrađeni merači ovih veličina,
- zbog potrebe za mešanjem sadržaja u kotlu kada se radi dopuna vodom iz rezervoara demi vode,
- najmanje 1 – 2 puta u 14 dana, prema zahtevima [1], čak iako ne postoji ni jedan identifikovan razlog zašto bi se mešao sadržaj vode u kotlu.

Zbog opasnosti od zamrzavanja svi novi cevovodi koji se izgrađuju u cilju ostvarivanja recirkulacije vode kroz kotao i pločasti razmenjivač toplote moraju biti termički izolovani. Impulsne cevovode, kao i ostale mrtve zone sa stanovišta mogućnosti recirkulacije vode preko pločastih razmenjivača, a koji ostaju zapunjeni vodom u stanju konzervacije treba dodatno obezbediti od zamrzavanja električnim grejačima.

Zaptivanje kanala dimnih gasova i vazdušnih kanala se ostvaruje rastavljanjem kanala dimnih gasova i vazduha na mestu postojećih kompenzatora i njihovim blindiranjem limenim pločama. Na slici 2. je dat primer mogućih mesta blindiranja cevovoda vazduha i dimnih gasova.



Slika 2: Šema blindiranja kanala vazduha i dimnih gasova



Slika 3: Brzina korozije čelika u zavisnosti od relativne vlažnosti vazduha

Treba napomenuti da je pre konzervacije kotlova neophodno njihovo kompletno hemijsko pranje, sa vodene i gasne strane. Gasna strana se posle hemijskog čišćenja suši. Nakon toga u cilju smanjenja vlažnosti vazduha poželjno je u ložište kotla postaviti kutije sa silika gelom ili sličnim adsorbentom vlage. Preporučena količina silika gela je 1 – 1,5 kg/m<sup>3</sup> unutrašnje zapremine. Kao adsorbent vlage može se koristiti i sirovi kreč smešten u čeličnu posudu pri čemu se koristi oko 14 kg na 50 m<sup>2</sup> grejne površine. Onda se zatvore svi prolazi i kotao ostaje zatvoren za vreme perioda konzervacije. Međutim, potrebno je bar jednom mesečno pregledati unutrašnje površine i

prekontrolisati stanje zasićenosti adsorpcionog sredstva. U slučaju zasićenosti adsorbenta, isti je potrebno zameniti novim. Potrebna je ugradnja merača vlažnosti vazduha kao dodatna kontrola da li se povećava vlažnost vazduha u ložišnom prostoru kotla što može biti uzrok korozionih oštećenja. Vlažnost vazduha ne sme biti veća od 30% do maksimalnih 40% jer se brzina korozije rapidno povećava pri većem udelu vlage. Na slici 3. je prikazana poznata zavisnost brzine korozije od relativne vlažnosti vazduha [1].

Gasovodi i cevovodi za mazut se takođe ispiraju, zatvaraju i suvo konzerviraju bez preduzimanja daljih mera konzervacije, u skladu sa preporukama standarda [1]. To podrazumeva, da linije za transport tečnog goriva trebaju biti drenirane i isprane sa odgovarajućim fluidom. Potrebno je izvršiti čišćenje filtra goriva, koji nakon toga ne treba demontirati sa linije za transport goriva. Pumpe za gorivo treba kompletno drenirati i uveriti se da su otklonjeni svi ostaci goriva. Pumpe za mazut prvo treba da budu isprane uljem (gde je to izvodljivo). Za zastoje duže od dvanaest meseci unutrašnjost pumpe treba da bude kompletno blindirana pomoću slepih prirubnica i napunjena sredstvom za konzervaciju preporučenim od strane proizvođača pumpe. Povremeno, vratilo pumpe treba okretati kako bi se izbeglo oštećenje ležajeva.

U linijama za snabdevanje gasom (od GMRS) nadpritisak u sistemu se mora sniziti tako da bi se moglo izvesti zapunjavanje sistema sa azotom. Uvođenje azota na ulazu u sistem se obavlja sve dok koncentracija gasa na izlazu iz sistema ne dostigne nivo manji od 0,5%. Ako je to moguće, poželjno je liniju za snabdevanje gasom konzervirati azotom čiji je nadpritisak približno 0,2 bar. Preporuka je da se, iz bezbednosnih razloga, linija za snabdevanje gasovitim gorivima odvoji (npr. pomoću adaptera i blindi) od ostatka postrojenja.

Gorionici za tečno gorivo treba da se izvuku iz ložišta i da se očiste. Gasni gorionici treba da budu rasterećeni i ostavljeni prazni, tokom perioda konzervacije.

#### 4 Zaključak

Zbog visoke cene prirodnog gasa, proizvodnja električne energije iz termoenergetskih postrojenja koja koriste prirodni gas kao gorivo postaje ekonomski neisplativa. Zbog toga ove termoelektrane beleže mali broj radnih sati. Usled potrebe da se očuvaju proizvodni kapaciteti postrojenja na nivou pogonske spremnosti, tokom zastoja (u kraćem ili dužem vremenskom periodu) pribegava se njihovoj konzervaciji. Koja će se metoda konzervacije primeniti, zavisi od vrste postrojenja, dosadašnjeg radnog veka postrojenja i planiranog vremena zastoja. Iz tih razloga neophodno je izabrati odgovarajuću metodu konzervacije. Usled nepostojanja ili primene neodgovarajućih metoda konzervacije može doći do značajnih oštećenja na postrojenju usled zaustavne korozije. U radu su prikazane savremene metode konzervacije termoenergetskih postrojenja a sve u cilju zadržavanja njihove pogonske spremnosti.

Takođe, u radu je dato idejno rešenje sistema za dugotrajnu konzervaciju kotlova. Izabrano tehničko rešenje podrazumeva prethodno hemijsko čišćenje površina kotla a zatim vlažnu metodu konzervacije cevnog sistema kotla sa vodene strane primenom

hidrazina i amonijaka i suvi postupak sa strane dimnih gasova, razvođa tečnog i gasovitog goriva.

#### Literatura

- [1] \*\*\*, *VGB Standard – Preservation of Power Plants*, VGB-S-116-00-2016-04-EN, VGB PowerTech (Verlag technischwissenschaftlicher Schriften), ISBN 978-3-86875-913-6, 2017.
- [2] *Zakon o planiranju i izgradnji*, Službeni glasnik RS, br. 72/2009, 81/2009 – isp, 64/2010 – odluka US, 24/2011, 121/2012, 42/2013 – odluka US, 50/2013 – odluka US, 98/2013 – odluka US, 132/2014 i 145/2014
- [3] *Pravilnik o sadržini, načinu i postupku izrade i način vršenja kontrole tehničke dokumentacije prema klasi i nameni objekata*, Službeni glasnik RS, br. 23/2015
- [4] *Zakon o zaštiti životne sredine*, Službeni glasnik RS, br. 135/2004, 36/2009, 36/2009 – dr. zakon, 72/2009 – dr. zakon, 43/2011 – odluka US i 14/2016
- [5] *Zakon o proceni uticaja na životnu sredinu*, Službeni glasnik RS, br. 135/2004 i 36/2009
- [6] *Zakon o zaštiti od požara*, Službeni glasnik RS, br. 111/2009 i 20/2015
- [7] *Zakon o energetici*, Službeni glasnik RS, br. 57/11, 80/11 – ispravka, 93/12, 124/12, 145/2014
- [8] *Zakon o efikasnom korišćenju energije*, Službeni glasnik RS, br. 25/13

#### Autori

**Marko OBRADOVIĆ**  
Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet  
mobradovic@mas.bg.ac.rs

**Dejan RADIĆ**  
Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet  
dradic@mas.bg.ac.rs

**Aleksandar JOVOVIĆ**  
Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet  
ajovovic@mas.bg.ac.rs

**Dušan TODOROVIĆ**  
Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet  
dtodorovic@mas.bg.ac.rs

**Nikola KARLIČIĆ**  
Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet  
nkarlicic@mas.bg.ac.rs

**Miroslav STANOJEVIĆ**  
Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet  
mstanojevic@mas.bg.ac.rs