

BRANKO ĐUKIĆ¹, SLAVKO SMILJANIĆ¹
BOSILJKA STOJANOVIĆ², NEĐO STOJANOVIĆ²

Stručni rad
UDC:621.561.57.001.76

Uticaj stepena ugušćenja na rad rashladnog sistema

Kvalitetan rad rashladnog sistema utiče na efikasnost energetskog bloka. Osnovni problemi koji se javljaju u rashladnom sistemu su: korozija, depoziti i biološki procesi. Korozija razara konstruktivne materijale i skraćuje im vijek trajanja. Depoziti, koji se stvaraju na izmjenjivačkim površinama smanjuju prolaz toplote, a time i povećane gubitke energije. Biološki procesi spriječavaju protoke vode i stvaraju mogućnost poddepozitne korozije.

Dobrim vođenjem tehnološkog procesa uz dodatke inhibitora moguće je sve rizike staviti pod kontrolu. Dobrim upravljanjem rashladnim sistemom postiže se smanjenje korozije, depozita, kao i smanjena potrošnja sirove vode, a time manje ispuštanje u recipijent. Ekonomiju rashladnog sistema, utroške hemikalija, potrošnju vode i dr., moguće je pratiti preko stepena ugušćenja.

Ključne riječi: rashladni sistem, korozija, depozit, ugušćenje

1. UVOD

Naglim industrijskim razvojem koji je počeo pedesetih godina prošlog vijeka počinju ograničenja vodnih resursa kao i zaoštavanje uslova za ispuštanje otpadnih voda u vodotoke - recipijent.

Kružnim cirkulacionim sistemima otvorenog tipa riješeno je hlađenje u energetici i industriji uz minimalne količine vode iz vodozahvata, kao i ispuštanja u recipijent, što je omogućilo dalji razvoj i uvažavanje ekoloških kriterijuma [1].

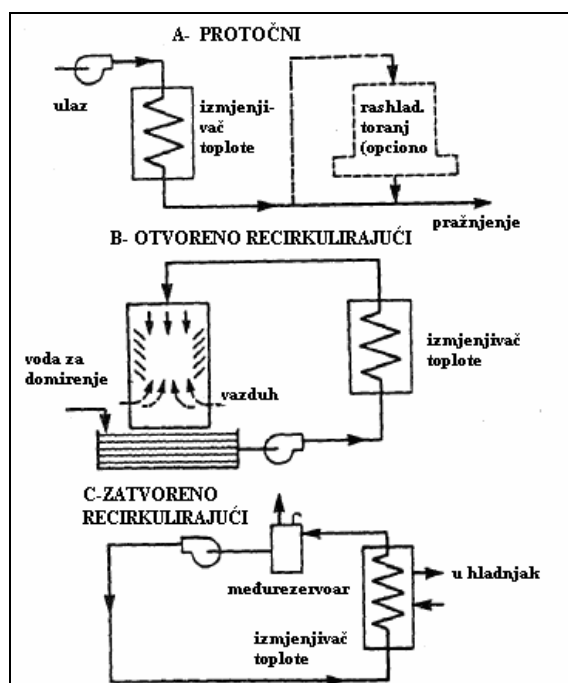
U zavisnosti od kvalitetnog rada rashladnog sistema zavisi rad energetskog ili procesnog postrojenja. Voda koja se daje ili dopunjava u otvoreni kružni sistem mora se posebno pripremiti.

Veoma je rijedak slučaj da je voda iz izvora (površinski ili podzemni) takva da se može direktno koristiti. Posebno se mora pratiti i tretirati rashladna voda koja se nalazi u cirkulaciji.

Tvrđa voda u sistemu uzrokuje stvaranje depozita što smanjuje protok i razmjenu toplote, a time i povećane gubitke energije, smanjenje kapaciteta i dr. Mekša voda uzrokuje povećanu koroziju što utiče na vijek trajanja konstrukcionog materijala. Rast mikroorganizama, algi pa čak i školjki u rashladnom sistemu, gdje su povoljni uslovi za razvoj, prouzrokuje stvaranje bioloških depozita koji smanjuju protoke i mogućnost povećane korozije.

Dobrim stručnim upravljanjem rashladnim sistemom moguće je obezbijediti optimalan rad sa minimalnom korozijom, minimalnim depozitima, optimalnim utroškom energenata i hemikalija kao i racionalnom potrošnjom svježe vode i ispuštanjem u recipijent.

Adresa autora: ¹Univerzitet u Istočnom Sarajevu, ²Tehnološki fakultet Zvornik, ²ZP "Rudnik i termoelektrana Ugljevik" a.d., Ugljevik



Slika 1 - Šematski prikaz tipova rashladnih sistema

Pod rashladnim sistem podrazumjevamo:

- Rashladni toranj veličine prema potrebi, izrađen od betona, čelika ili drugog materijala sa punilom od plastičnog sača ili nekog drugog materijala, ugrađenim ventilatorom za ubacivanje vazduha ili dovoljne visine i konstrukcije da se može obezbijediti kvalitetna promaja,
- Bazena za prihvatanje ohlađene vode, gdje se vrši dreniranje mulja i u koji se dodaju hemikalije potrebne za obradu vode,
- Pumpi za doziranje raznih hemikalija: podešavanje pH, inhibitora i dr.,

- Pumpi za cirkulaciju rashladne vode iz bazena u rashladni sistem,
- Cijevni sistem od cirkulacione pumpe do izmjenjivača ili kondenzatora i povrat na rashladni toranj sa pripadajućom armaturom i instrumentacijom.

Proizvodnjom hemikalija za obradu rashladne vode i servisnim uslugama bavi se više svjetskih kompanija, kao npr.: Nalco, Betz, Gullini, Dr Oetker, BASF, Kurita i dr. Sve navedene firme a i druge proizvode kvalitetne hemikalije, međutim, često je neefikasan i nedovoljno stručan servis.

U ex Jugoslaviji bilo je više pokušaja proizvodnje inhibitora koji su neuspješno završeni radi sankcija, odlaska kvalitetnog kadra u inostranstvo i dr.

U novije vrijeme jedna domaća firma okupila je kadar, stvorila druge potrebne pretpostavke i počela sa proizvodnjom inhibitora. U dvije termoelektre izvršena su uspješna ispitivanja na pilot postrojenju, a u jednoj od te dvije TE ušli su sa redovnim industrijskim tretmanom.

U ovom radu obrađeni su rezultati tretmana rashladne vode koje su vršile dvije velike svjetske kompanije i domaćeg proizvođača.

2. OSNOVNE NAPOMENE O PROBLEMATICI RADA RASHLADNOG SISTEMA

Korozija rashladnog sistema je jedan od osnovnih problema. Korozija je razaranje konstrukcionog materijala. Prema karakteru korozivnih procesa možemo ih podijeliti na:

- hemijsku i
- elektrohemijsku koroziju.

Faktori koji utiču na koroziju su:

pH vrijednost. Konstrukcioni materijali od kojih su izgrađeni izmjenjivači i kondenzatori (Fe, Cu i razne legure) imaju postojanost pri određenom pH, a to je najčešće između 8,5-9,5 [2].

Uticao rastvorenih gasova na koroziju u rashladnom sistemu je veoma značajan. U rashladni toranj se ubacuje vazduh da bi preko punila hladio vodu koja se vraća iz procesa, gde je preuzela toplotu od nekog procesnog medija ili pare poslije turbine. Vazduh koji se ubacuje za hlađenje sadrži: O₂, N₂, CO₂, čađ, prašinu, a moguće i H₂S, NH₃, SO₂, HCl i dr. Od nabrojanih gasova najveće probleme stvara kiseonik, jer prouzrokuje tzv. kiseoničnu koroziju, tačkastu ili piting.

Temperatura rashladnog sistema. Veća temperatura povećava brzinu korozije.

Mikro i makroorganizmi mogu da utiču na povećanu brzinu korozije kao i dr.

Kiseonična korozija nastaje dejstvom kiseonika na gvožđe u vodi. Korozivni proces je praćen kompleksnim elektrohemijskim reakcijama koje dovode do vidljivih tačkastih oštećenja na materijalu. Ova korozija se zove i tačkasta ili piting korozija, a zavisi od koncentracije kiseonika i temperature vode [2].

Amonijačna korozija nastaje dejstvom amonijaka u prisustvu kiseonika na legure bakra u sistemu voda-bakar. Bakar i njegove legure su osjetljive na uticaj kiseonika jer kiseonik razara okside prevlake i prevodi bakar u lako rastvorljive amonijačne komplekse.

Mikrobiološki procesi utiču na koroziju pri temperaturi 10 ÷ 50 °C i pH = 4 ÷ 9

Na koroziju rashladnog sistema djeluju i temperatura vodenog rastvora i tvrdoća vode.

Depoziti u rashladnom sistemu. U rashladnom sistemu moguće je da dođe do stvaranja depozita. Depoziti mogu biti čvrsti i lijepiti se na izmjenjivačke površine ili u obliku mulja. Najčešći sastav depozita su: karbonati, sulfati, Mg(OH)₂, SiO₂, Fe₂O₃ i dr. U bilo kojoj formi da se pojave depoziti oni uzrokuju: smanjenje protoka vode kroz sistem, smanjuju razmjenu toplote, a moguće da se javi i poddepozitna korozija [3].

Biološki procesi u rashladnom sistemu. Mikro i makroorganizmi imaju povoljne uslove za razvoj na izmjenjivačkim površinama, jer imaju temperaturu vode koja im odgovara, a i prisustvo kiseonika. Rast bioloških procesa u rashladnom sistemu ima negativne posledice na protoke vode kao i na mogućnost razvoja korozivnih procesa [6].

Zaštita rashladnog sistema od korozije, kamenca i bioloških procesa vrši se pomoću odabranih inhibitora, biocida i algicida. Mora se voditi računa o kvalitetu vode u rashladnom sistemu, uslovima rada, materijalima i dr. Osnovne zahtjevi prilikom izbora inhibitora su [8]:

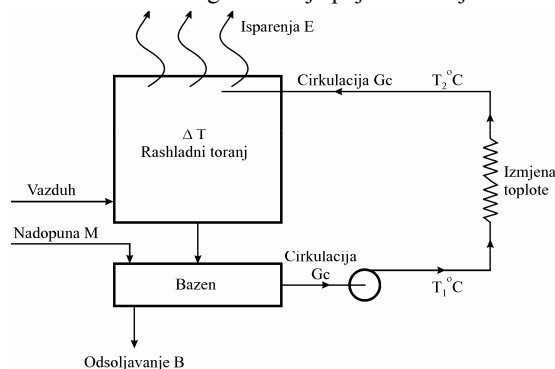
- efikasnost djelovanja,
- netoksičnost,
- laka priprema i doziranje,
- cijena i dr.

Bilans rashladnog sistema. Rashladni sistem se kružnim tokom vode preko tornja je otvoren sistem.

Prilikom hlađenja vode na rashladnom tornju ubačeni vazduh prouzrokuje isparenje, a dio kapi mehanički se izbacuje. Soli u cirkulaciji se koncentrišu do određenog nivoa koga možemo smatrati približno konstantnim, kao i količinu vode u sistemu.

Koncentracija soli koja se održava u sistemu treba da bude takva da ne dolazi do korozije ili izdvajanja depozita.

Bilans rashladnog sistema je pojednostavljen.



Slika 2 - Šema kružnog otvorenog sistema

Stepen ugrušavanja rashladnog sistema je odnos koncentracije soli u cirkulaciji i soli u vodi za nadopunu, a najčešće se određuje preko koncentracije hlorida, a moguće je i preko drugih jona [5]:

$$C_r = \frac{Cl_c}{Cl_{Mu}} \quad (1)$$

gdje je:

C_r - stepen ugrušavanja

Cl_c - koncentracija hlorida u cirkulaciji, g/m^3

Cl_{Mu} - koncentracija hlorida u vodi za nadopunu, g/m^3

Nadopuna vode u rashladni sistem određuje se prema slijedećem obrascu:

$$M_u = E + B \quad (2)$$

gdje je:

M_u - masa vode za nadopunu, m^3/h

E - masa vode koja ispari na tornju, m^3/h

B - mehanički gubici vode u sistemu, m^3/h

Mehanički gubici vode u rashladnom sistemu sastojte se od: gubitka odsoljavanja - dreniranja, izbacivanjem kapi na tornju i curenja u sistemu.

$$B = B_r + B_d + B_g \quad (3)$$

gdje je:

B - ukupni gubitak, m^3/h

B_r - gubici na rashladnom tornju izbacivanjem kapi, m^3/h

B_g - gubici u sistemu, curenja, m^3/h

B_d - gubici vode odsoljavanjem - odmuljivanjem, m^3/h

Iskustveno se uzima da su gubici na rashladnom tornju u izbacivanju kapi sa prinudnom ventilacijom 0.07% a sa prirodnom 0.02% u odnosu na masu vode u cirkulaciji. Ovaj gubitak ne može se izbjeći.

Isparenje vode na rashladnom tornju računaju se prema slijedećem obrascu:

$$E = \frac{G_c \cdot \Delta T}{560} \quad (m^3/h) \quad (4)$$

gdje je:

E - masa vode koja ispari na rashladnom tornju, m^3/h

Rezultati ispitivanja za firmu A

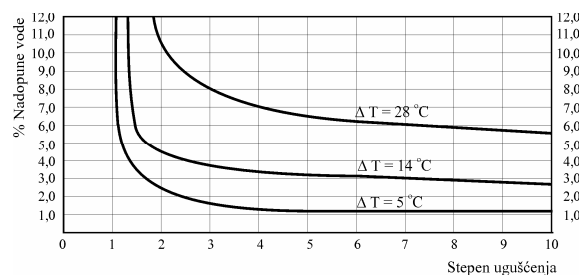
Tabela 1 - Rezultati tretmana koji su izvršile firma 1 i firma 2

Parametar	Firma 1		Firma 2	
	Nadopuna	Rashladni sistem	Nadopuna	Rashladni sistem
p-alkalitet, mmol/L	0.53	0.53	0.55	0.19
m-alkalitet, mmol/L	0.86	1.47	0.90	2.57
Ukupna tvrdoća, dH	4.12	12.6	4.15	12.65
Ca tvrdoća, dH	1.66	7.72	1.85	5.78
Provodljivost, $\mu S/s$	232	603	242	616
pH	10.95	8.82	10.49	8.71
SiO_2 , mg/L	2.87	7.65	3.65	11.28
Susp. mat, mg/L	15.6	21.2	18.48	19.66
SO_4 , mg/L	5.28	170	54.84	168.98
Stepen ugušenja, %		3.05		3
Korozija Fe, mm/god		0.0478		0.0515
Korozija Cu, mm/god		0.0097		0.0002

Napomene: Korozija je praćena preko test kupona. Vrijeme ekspoziranja test kupona 230 dana. dH stepen njemačke tvrdoće. Korozija se značajno povećava dodavanjem biocida što se mora posebno izučiti, ovo je obrađeno separatno.

G_c - masa vode u cirkulaciji, m^3/h .

Očigledno je iz prikazane jednačine da je masa vode koja ispari na rashladnom tornju direktno zavisna od razlike temperatura $T_2^\circ C$ - povratne i $T_1^\circ C$ - rashladne vode.



Slika 3 - Nadopuna vode u zavisnosti od ugušenja i razlike temperature [5]

3. EKSPERIMENTALNI DEO

Izvršene su analize rashladne vode koje su tretirale tri različite firme u dvije organizacije. U ovom radu preduzeća korisnici usluga i preduzeća davaoci usluga biće označeni šiframa, jer nemamo saglasnost za objavljivanje podataka.

Firma A ima slijedeće karakteristike rashladnog sistema - projektovan:

- Tip rashladnog sistema kružni, otvoreni
- Zapremina sistema 12.000 m^3
- Voda u cirkulaciji 30.000 m^3
- Razlika temperature na tornju 43-35 $^\circ C$ ljeti, 28-18 $^\circ C$ zimi
- Voda za nadopunu M_u oko 610 m^3/h
- Kondenzator m^2 2 · 16.000 m^2
- Dodatna voda dekarbonizovana, HPV
- Stepun ugušenja 3
- Gubici isparavanja E450 m^3/h
- Odmuljavanje, odsoljavanje 160 m^3/h
- Radni sati 6.500 sati
- Konstrukcioni materijal čelik, kondenzator: Cu = 94%, Ni = 5%, Fe = 1%

Firma B ima slijedeće karakteristike rashladnog sistema - projektovan:

- Tip rashladnog sistema kružni otvoreni
- Zapremina 15.000 m³
- Voda u cirkulaciji 30.000 m³
- Razlike temperature na tornju $\Delta T = 7\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Nadopuna vode direktno iz akumulacije
- Voda za nadopunu Mu oko 600 m³
- Stepenu ugušćenja 3
- Gubici isparavanja E 450 m³
- Odmuljivanje, odsoljavanje 150 m³
- Radni sati 6.500 sati

Rezultati ispitivanja rashladne vode u Firmi B

Tabela 3 - Rezultati tretmana koja vrši firma 3

Parametar	Nadopuna	Rashladni sistem cirkulacija
p-alkalitet	0.0	0.75
m-alkalitet	3.80	6.10
Ukupna tvrdoća	8.20	18
Ca-tvrdoća, dH	7.8	17
Provodljivost, $\mu\text{S/s}$	270	550
pH	7.8	8.7
Cl, mg/L	2.72	4.62
Stepenu ugušćenja		1.70
Korozija Fe, mm/god		0.003544
Korozija, Cu mm/god		0.000351

Napomena: Korozija je određivana preko test kupona u periodu od 35 dana i ljetnom periodu.

4. DISKUSIJA

Rashladni sistem je veoma važan za funkcionisanje energane ili procesne fabrike. Dobrim radom rashladnog sistema povećavaju se iskorištenja u proizvodnom procesu a dobrim stručnim radom moguće je rashladnim sistemom upravljati tako da na istim proizvodnim kapacitetima troškovi hemikalija budu za 3x manji u odnosu na loše vođen proces [8].

Kod razmatranja rashladnih sistemima tri su osnovna problema koji se javljaju: korozij, depoziti i biološki rast [11].

Uvažavajući sve navedene za probleme rashladnog sistema želimo ukazati na još jednu dimenziju, a to je ekonomski aspekt upravljanja sistemom. Mi ćemo ukazati samo na neke mogućnosti. Stepenu ugušćenja direktno utiče na potrošnju vode za nadopunu i potrošnju hemikalija za tretman (videti sliku broj 3), naprimjer:

- stepenu ugušćenja 4, $\Delta T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, nadopuna vode u sistemu je oko 1.5% u odnosu na cirkulaciju a to je $30000 \cdot 0.015 = 450\text{ m}^3/\text{h}$,

- stepenu ugrušenja 2, $\Delta T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, nadopuna vode je 3%, a to je $30.000 \cdot 0.03 = 900\text{ m}^3/\text{h}$.

Razlika u količinama na godišnjim nivou je: $900 - 450 = 450 \times 6500\text{ h} = 2.925.000\text{ m}^3$. Ova količina odgovara potrebama pitke vode za grad od 30.000 stanovnika. Računa se da je potrošnja po stanovniku 200 L/stanovnik dan.

Firma B ima ugušćenje rashladnog sistema 1.70, što je znatno niže od projektovanog, tako da je nadopuna oko 3,3% u odnosu na cirkulaciju, ili $30.000 \cdot 0,033 = 990\text{ m}^3/\text{h}$.

Povećanim odsoljavanjem gubi se značajan dio hemikalija iz procesa a i zahvaćena i u recipijent ispuštena voda ima svoju cijenu zapravo takse, odnosno troškove [10].

Firma koja ima ugušćenje 2 troši hemikalije 2 puta više hemikalija od firme koja ima ugušćenje 4 ne računajući troškove vode koja je zahvaćena i ispuštena u vodotok, a to je a to je napr. 70.000 ili 140.000 eura godišnje.

Kad je riječ o povećanju stepena ugušćenja mi možemo na to uticati na tri načina:

- voda za nadopunu treba da bude što mekša,
- voda za nadopunu mora imati minimalni sadržaj suspendovanih materijala (npr. suspendovane materije na ulazu u rashadni sistem su 15 mg/L a treba ih svesti na 5 mg/L), a moguće je da se i iz samog sistema izdvajaju suspendovane materije.
- u rashladnom sistemu pojavljuju se suspendovane materije koje utiču na povećano odmuljivanje. Ugradnjom bočnog pješčanog filtra kapaciteta 3 - 5 % u odnosu na količinu vode koja je u cirkulaciji omogućuje se uklanjanje suspendovanih materija, jer cjelokupna masa vode pređe preko filtera u roku od 24 časa.

5. ZAKLJUČCI

Rashladni sistemi su veoma važni u energetici i procesnoj industriji. Od kvalitetnog rad rashladnog sistema zavise materijalna i energetska iskorištenja.

Rad na samom rashladnom sistemu zahtjeva visoku stručnost, jer nestručno upravljanje procesom može da dovede do negativnih posledica na cio proizvodni sistem. Dobrim radom može se postići pouzdanost sistema, značajno smanjenje troškova hemikalija, smanjenje zahvatanja svježje vode i smanjenje ispuštanja otpadnih voda u recipijent.

Poseban problem u našim prilikama su oštećeni rashladni sistemi koji u dužem periodu nisu adekvatno tretirani.

Jedno od važnih problema u tretmanu je kvalitetan servis isporučioaca koji veoma često bez obzira na imena firmi nije pravovremen a ponekad i nedovoljno stručan.

Mi ne možemo uticati na količinu vode koja ispari na rashladnom tornju. Isto tako mi uzimamo da je koli-

čina vode u sistemu konstantna kao i koncentracija soli. Odsoljavanjem regulišemo da koncentracija soli bude konstantna, a nadopunom da količina vode bude konstantna u sistemu.

LITERATURA

- [1] Đuković, J., Đukić, B., Lazić, D., Marsenić, M., Tehnologija vode, Tehnološki fakultet, Zvornik, 2000, 167 - 185.
- [2] Gradišar, Lj., Nešić Lj., Rajković Lj., Industrijske vode - Zbornik radova, Pančevo 1995, 91 - 115
- [3] Drobñjak, M., Tretman recirkulacionih rashladnih sistema u kombinatu Sodaso - idejni tehnološki projekat, Tuzla, 1986, 15 - 20
- [4] Marković, T., Korozija i zaštita materijala, Sarajevo, 1974, 25 - 40
- [5] Betz: Hanbook of industrial water conditioning, sixth edition, Trevese, Pensilvania, july 1972.
- [6] The Nalco water handbook, second edition, New York, prevod, Beograd 2005.
- [7] Jovanović, M., Jocić, Lj., Čučković, J., Industrijske vode - Zbornik radova, Pančevo, 1995., 55 - 62
- [8] Jovanović, M., Konjević, V., Nedeljković D., XVII jugoslovenski simpozijum o koroziji i zaštiti materijala - knjiga radova, Beograd, 2000, 111 - 116
- [9] Kostić, S., Zaštita materijala, Beograd, 43, 2002, 4
- [10] Đukić, B., XVIII jugoslovenski simpozijum o koroziji i zaštiti materijala - knjiga radova, 114 - 121, Beograd, 2002.
- [11] Gajić, A., Tomić, M., Pavlović, Lj., Blagojević, B., Pavlović, M.: Značaj pripreme vode termoenergetskih postrojenja, Tara 2010.
- [12] Tomić, M., Pavlović, M., Tadić, G., Pavlović, Lj. Zaštita materijala, 50, 2009, 1.

ABSTRACT

INFLUENCE THE CYCLES OF CONCENTRATION ON OPERATION OF COOLING SYSTEM

Proper work of the cooling system affects the efficiency of the powerplant. The most common problems appearing in the cooling system are: corrosion, deposits and biological processes. Corrosion destroys construction materials and shortens their lifespan. Deposits, which appear on the exchange surfaces, decrease the energy flow and thus cause excessive energy losses. Biological processes prevent water flows and cause the possibility of sub-deposit corrosion.

It is possible to control all the risks by properly managing the technological process, with the help of inhibitors.

Proper management of the cooling system results in the decrease of corrosion and deposits, as well as reduced use of raw water, and consequently the release of smaller quantities into the recipient. It is possible to monitor cooling system economics, use of chemicals, water consumption etc. through the degree of thickening.

Key words: cooling system, corrosion, deposit, thickening.