

# Postizanje i održavanje kvalitete rashladne vode

---

**Brajković, Marko**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:164111>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-06**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Marko Brajković**

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

**DIPLOMSKI RAD**

Mentori:

Prof. dr. sc. Davor Ljubas, dipl. ing. stroj.

Student:

Marko Brajković

Zagreb, 2019.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem svom mentoru na velikoj pomoći i podršci u izradi ovog rada te mojoj obitelji i prijateljima.

Marko Brajković



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
 Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
 procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur. broj:	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Marko Brajković** Mat. br.: 0035185791

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Postizanje i održavanje kvalitete rashladne vode**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Achieving and maintaining the cooling water quality**

Opis zadatka:

U procesu rada klimatizacijskih, rashladnih i drugih industrijskih uređaja postoji potreba za odvođenjem topline iz sustava. Toplina se od radnog medija odvodi uz primjenu izmjenjivača topline, a najčešće se kao rashladni mediji koriste zrak i/ili voda. Kod većih rashladnih uređaja obično se voda odabire kao rashladni medij jer zahtijeva manju izmjenjivačku površinu. Kako bi se smanjila potrošnja vode, danas se koriste rashladni tornjevi ili evaporativni kondenzatori s recirkulacijom iste vode unutar sustava. No, tijekom korištenja sustava hlađenja dolazi do onečišćenja vode. Onečišćena voda može dovesti do većih ili manjih poteškoća u rada sustava hlađenja: korozija, mikrobiološko zagađenje, taloženje mulja i kamenca i dr.

Stoga je potrebno kontrolirati sastav (kvalitetu) vode kako bi se omogućio normalan (projektiran) rad sustava. Obrada rashladne vode je nužna kako bi se očuvale površine uređaja, održala maksimalna efikasnost sustava i dugotrajnost opreme te spriječio razvoj patogenih mikroorganizama u vodi koji u obliku aerosola mogu izazvati bolesti kod ljudi u bližem i daljem okolišu..

U okvirima ovog diplomskog rada potrebno je proučiti i prikazati rad rashladnih tornjeva, danas dostupne tehnološke postupke za postizanje tehnički i mikrobiološki prihvatljivog sastava (tj. kvalitete) rashladne vode te načine trajnog održavanja kvalitete takve vode.

Pri tome je potrebno izraditi materijalne i energetske bilance različitih tehnoloških postupaka i razvrstati ih prema učinkovitosti.

Posebnu pažnju potrebno je posvetiti slučajevima mikrobiološkog zagađenja vode patogenim bakterijama roda *Legionella* te postupcima koje je potrebno primijeniti u slučaju detekcije tih bakterija u rashladnoj vodi.

Također, prilikom izrade rada potrebno je navesti sve dostupne propise i stručne preporuke koji su primjenjivi u postupcima postizanja i održavanja kvalitete rashladne vode na razini Republike Hrvatske i Europske unije.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

26. rujna 2019.

Datum predaje rada:

28. studenoga 2019.

Predviđeni datum obrane:

2. – 6. prosinca 2019.

Zadatak zadao:

Prof. dr. sc. Davor Ljubas

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

## Sadržaj

Popis slika .....	7
Popis tablica .....	8
1. UVOD .....	11
2. RASHLADNI TORNJEVI.....	13
2.1. Ishlapljivanje .....	13
2.2. Podjela rashladnih sustava s hlađenjem vodom .....	14
2.3. Bilance mase i topline .....	14
2.4. Izvedbe rashladnih tornjeva .....	17
3. POSTUPCI DOBIVANJA TEHNIČKI PRIHVATLJIVE RASHLADNE VODE I MOGUĆI PROBLEMI .....	26
3.1. Naslage i talozi .....	26
3.2. Korozija .....	29
3.3. Bijela hrđa .....	31
3.4. Mogući problemi pri radu u zimskim uvjetima.....	31
3.5. Problemi vezani uz konstrukciju rashladnog tornja .....	32
4. POSTUPCI UKLANJANJA MIKROBIOLOŠKOG ZAGAĐENJA .....	34
4.1. Bakterija <i>Legionella Pneumophila</i> – svojstva i utjecaj .....	35
4.2. Formiranje biofilma.....	38
4.3. Specifičnosti zagađenja <i>Legionellom</i> kod rashladnih tornjeva .....	39
4.4. Postupci uklanjanja zagađenja <i>Legionellom</i> u rashladnim tornjevima .....	40
4.5. Dodavanje klora .....	41
4.6. Dodavanje ozona .....	42
4.6. UV zračenje.....	43
4.7. Termička dezinfekcija vode .....	46
4.8. Usporedba efikasnosti različitih metoda za dezinfekciju vode .....	47

---

5. OSTALI UTJECAJI NA OKOLIŠ .....	49
5.1. Vizualni utjecaj i kontrola maglice .....	49
5.2. Buka .....	49
6. ODRŽAVANJE .....	50
7. ZAKLJUČAK .....	52

## Popis slika

Slika 1: shema otvorenog rashladnog sustava [3] .....	14
Slika 2: h-x dijagram s prikazom procesa pri hlađenju vode [3].....	15
Slika 3: ovisnost količine dodatne vode o uparenju [3] .....	17
Slika 4 evaporativni toranj, otvoreni sustav [4] .....	18
Slika 5. Zatvoreni sustav (adaptirano iz [4]).....	19
Slika 6.Indukcijski atmosferski toranj (adaptirano iz [2]).....	21
Slika 7. Rashladni toranj s tlačnim, protustrujnim strujanjem (adaptirano iz [2]) .....	22
Slika 8. Rashladni toranj s induciranim križnim strujanjem .....	23
Slika 9. Rashladni toranj s induciranim protustrujnim strujanjem.....	24
Slika 10. Križno strujanje.....	25
Slika 11: jasno vidljive naslage kamenca na saću rashladnog tornja [5] .....	27
Slika 12 Otpornost bakterija roda Legionella na temperaturu [4] .....	35
Slika 13: Učestalost zaraze kod ljudi ovisno o dobi i spolu [8] .....	37
Slika 14:oslobađanje bakterije <i>Legionelle</i> iz biofilma [4].....	38
Slika 15: Spektar elektromagnetskog zračenja s naglašenim zonama unutar UV zračenja [11] .....	44
Slika 16,: Temperaturno vremenska funkcija termičke dezinfekcije vode (adaptirano prema [13] ).....	46
Slika 17: Učinkovitost različit metoda uništavanja bakterije <i>L. pneumophila</i> .....	48



## Popis tablica

Tablica 1: tipovi naslaga [4] .....	28
Tablica 2: Program korištenja inhibitora korozije [6] .....	30
Tablica 3: podaci o emisiji <i>Legionelle</i> u okoliš [4] .....	39
Tablica 4: Preporučene koncentracije ozona za uništavanje različitih vrsta bakterija [10] .....	43
Tablica 5: vrijednosti (doza zračenja) za različite redukcije bakterija <i>Legionella pneumophila</i> [12] .....	44

**Sažetak**

U procesu rada klimatizacijskih, rashladnih i drugih industrijskih uređaja postoji potreba za odvođenjem topline iz sustava. Kod većih rashladnih uređaja obično se voda odabire kao rashladni medij jer zahtijeva manju izmjenjivačku površinu. Kako bi se smanjila potrošnja vode, danas se koriste rashladni tornjevi ili evaporativni kondenzatori s recirkulacijom iste vode unutar sustava. No, tijekom korištenja sustava hlađenja dolazi do onečišćenja vode. Onečišćena voda može dovesti do većih ili manjih poteškoća u rada sustava hlađenja: korozija, mikrobiološko zagađenje, taloženje mulja i kamenca i dr. Stoga je potrebno kontrolirati sastav (kvalitetu) vode kako bi se omogućio normalan (projektiran) rad sustava.

Ovaj rad prikazuje proces funkcioniranja rashladnih tornjeva, danas dostupne tehnološke postupke za postizanje tehnički i mikrobiološki prihvatljivog sastava (tj. kvalitete) rashladne vode te načine trajnog održavanja kvalitete takve vode. Prikazane su materijalne i energetske bilance osnovnog procesa hlađenja vodom u recirkulacijskom otvorenom rashladnom tornju. Posebna pažnja posvećena je slučajevima mikrobiološkog zagađenja vode patogenim bakterijama roda *Legionella* te postupcima koje je potrebno primijeniti u slučaju detekcije tih bakterija u rashladnoj vodi.

**Ključne riječi:** rashladna voda, rashladni toranj, korozija, taloženje, *Legionella*

**Summary**

In the process of operation of air-conditioning, cooling and other industrial devices there is a need to remove heat from the system. For larger cooling units, water is usually selected as a cooling medium because it requires a smaller heat exchangers' surface. To reduce water consumption, cooling towers or evaporative condensers are now used to recirculate the same water within the system. However, water is contaminated while using the cooling system. Contaminated water can lead to difficulties in the operation of the cooling system: corrosion, microbial contamination, sludge and sediment deposition, etc. It is therefore necessary to control the composition (quality) of water to allow normal (designed) operation of the system. This thesis presents the process of functioning of cooling towers, the technological procedures available today for achieving technically and microbiologically acceptable composition (i.e. quality) of cooling water and the ways of permanently maintaining the quality of such water. The material and energy balances of the basic water-cooling process in a recirculating open cooling tower are shown. Particular attention is paid to cases of microbiological contamination of water by pathogenic bacteria of the genus *Legionella* and to the procedures to be applied in the case of detection of these bacteria in cooling water.

**Key words:** cooling water, cooling towers, corrosion, sedimentation, *Legionella*

## 1. UVOD

Većina industrijskih procesa, ali i onih koji osiguravaju ugodnost i kvalitetu ljudskog života, stvaraju velike količine toplinske energije koju je potrebno odvesti da bi proces bio siguran i učinkovit. Sustavi hlađenja postali su neophodni u svakodnevnom životu.

Pojava klimatizacije rezultirala je značajnim povećanjem potrebe za energijom. Povećani su instalirani kapaciteti, a veća su i vršna opterećenja.

U desnokretnim kružnim procesima kojima se proizvodi električna energija ili ljevokretnim procesima hlađenja jedna od osnovnih komponenata jest kondenzator. U kondenzatoru radna tvar kondenzira i predaje toplinu rashladnom mediju, najčešće zraku ili vodi. Ako se ta toplinska energija ne iskorištava (npr. za proizvodnju potrošne tople vode ili predgrijavanje kotlovske vode), potrebno ju je evakuirati u okoliš.

Ukoliko u blizini ne postoje prirodne vode kojima se može predavati toplina ili je to onemogućeno iz nekih razloga, idealan način hlađenja rashladne vode iz kondenzatora jest rashladnim tornjevima.

Ovisno o primjeni, koriste se različite tehnologije za odvođenje topline iz sustava. Rashladni tornjevi vrlo su učinkoviti i široko primjenjivani diljem svijeta.

Iako se kao rashladni medij najčešće koristi voda, toplina se u konačnici predaje zraku, atmosferi. Toplinska energija se iz voda (mora, jezera, rijeka) u atmosferu odvodi prirodnim procesom ishlapljivanja. Taj proces je, međutim, ograničen površinom izmjene topline (površina prethodno navedenih voda) te u potpunosti ovisi o vjetrovima.

Proces ishlapljivanja koristi se u svrhu hlađenja od davnina. Naime, ljudi su odavno stvarali umjetni povjetarac mašući širokim lišćem, čime je povećano strujanje zraka koje pospješuje proces ishlapljivanja. Za ishlapljivanje se troši velika količina toplinske energije te se tako postiže efekt hlađenja.

Cilj ovog diplomskog rada je objasniti način rada rashladnih tornjeva i njihove vrste. S obzirom na to da se u rashladnim tornjevima koristi voda, iako ona ima izuzetno dobra termodinamička svojstva, potrebno je ukazati na probleme koje može uzrokovati. Najznačajnije poteškoće su stvaranje kamenca, korozija te intenzivan rast i razvoj mikroorganizama, što može imati izuzetno negativan utjecaj na rad rashladnog tornja.

Da bi se spriječila oštećenja konstrukcije tornja, vodu je potrebno pripremiti prije njenog korištenja u sustavu. Priprema podrazumijeva mehaničke i tehnološke postupke tretiranja vode raznim kemikalijama. Budući da dio vode izlazi iz tornja u obliku kapljica, koje se šire

okolišem, s njima u okoliš odlaze i kemikalije koje imaju nepovoljan utjecaj na okoliš tornja – biljke, životinje i ljude te štetni mikroorganizmi. Među najštetnijim mikroorganizmima koji odlaze u neposredan (ali često i prilično udaljen) okoliš rashladnih tornjeva je bakterija roda *Legionella* koja u određenim slučajevima može izazvati smrtonosna oboljenja kod ljudi.

## 2. RASHLADNI TORNJEVI

U ovom poglavlju bit će opisan način rada rashladnih tornjeva te će se prikazati najčešće izvedbe koje se nalaze u praksi. Bitno je prepoznati specifične karakteristike pojedinih izvedbi kako bi se odabrala odgovarajuća vrsta rashladnog tornja za pojedini proces. Također, iz opisa načina rada bit će detektirani problemi koji se mogu javiti u vidu ograničenja kapaciteta hlađenja i onečišćenja rashladne vode.

### 2.1. Ishlapljivanje

Proces ishlapljivanja podrazumijeva pretvorbu iz tekućeg u plinovito agregatno stanje uz prisustvo jednog ili više sudionika u plinovitom stanju [1]. Taj proces razlikuje evaporativne (mokre) tornjeve od suhih. Naime, kod procesa ishlapljivanja dolazi do predaje latentne topline, prilikom koje nema promjene temperature. Proces ishlapljivanja dobro je iskorišten u primjeni rashladnih tornjeva. Oni su konstruirani tako da je najveća površina vode izložena maksimalnom protoku zraka kroz što duži vremenski period. Voda se raspršuje u sitne kapljice kako bi se povećala površina vode, odnosno površina izmjene topline. Zrak ulazi u donjem dijelu tornja dok se voda raspršuje u gornjem dijelu. Iz opisanog, jasno je kako bi učinkovitost izmjene topline bila tim bolja što bi toranj bio viši. Ipak, konstrukcija i ekonomski aspekt ograničavaju visine tornjeva [2].

Pogodniji način da se postigne dugotrajniji kontakt između vode i zraka jest upotreba ispune. Ispuna je vodoravno položena u tornju, a nalazi se ispod raspršivača vode, iznad ulaza zraka, usporavajući tako slijevanje kapljica vode. Korištenjem ispune povećava se vrijeme kontakta vode i zraka ali i dodirna površina te se tako pospješuje proces ishlapljivanja.

Glavni princip hlađenja vode u rashladnim tornjevima je ishlapljivanje, mada u pojedinim slučajevima i u određenim zonama može doći i do isparavanja (ovisno o tlaku). Oba procesa predstavljaju prijelaz iz kapljevitog u plinovito stanje vode, međutim odvijaju se na različite načine. Kod isparavanja toplina se dovodi preko ogrjevnice plohe na kojoj tada nastaju mjehurići pare i putuju prema površini vode. Iznad površine vode stvara se para, kojoj je tlak jednak tlaku zasićenja. Kod ishlapljivanja voda s vodene površine ishlapljuje u vlažni zrak zato što je parcijalni tlak vodene pare neposredno uz graničnu površinu veći od parcijalnog tlaka vodene pare u struji vlažnog zraka dalje od slobodne površine. Toplina potrebna za ishlapljivanje sadržana je u entalpiji čestica koje se miješaju. Kod ishlapljivanja voda ne vrije, za razliku od isparavanja. Dakle, isparavanje je moguće u ispuni tornja gdje lokalno dolazi do

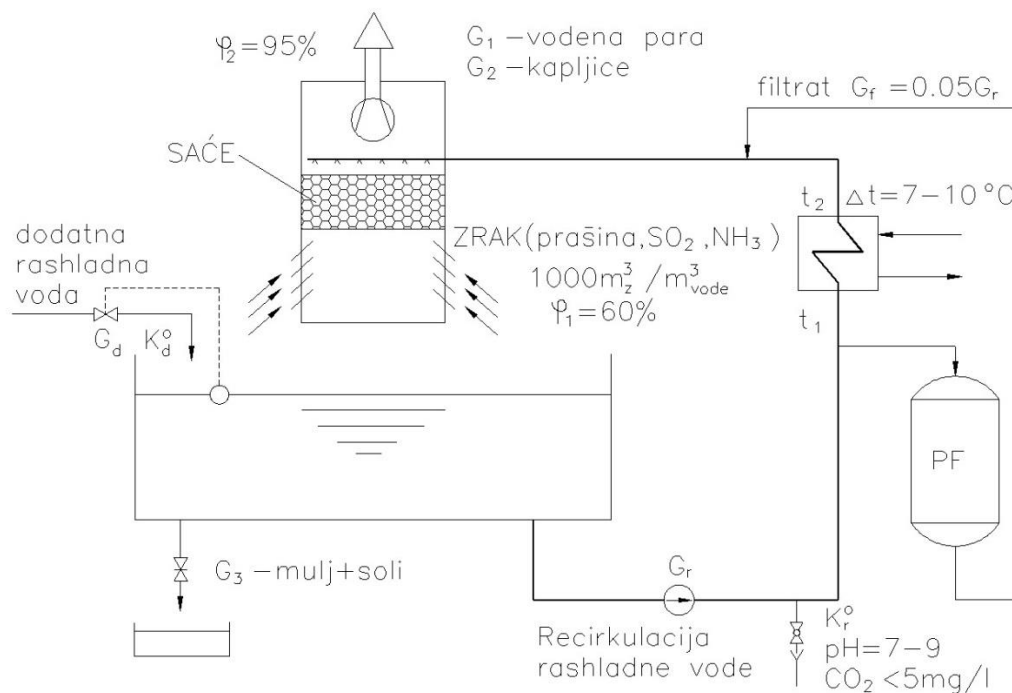
pada tlaka (osobito kod induciranog strujanja zraka). Tako nizak tlak s odgovarajućom temperaturom zasićenja (temperatura vode u rashladnim tornjevima je približno 30 do 40 °C) pruža uvjete za isparavanje vode [1].

## 2.2 Podjela rashladnih sustava s hlađenjem vodom

Rashladni sustav u kojem se voda koristi za hlađenje nakon jednokratnog korištenja vraća u okoliš naziva se protočni (once-through cooling). Protočno hlađenje obično se koristi na mjestima gdje je voda dostupna u velikim količinama i po niskoj cijeni. Najčešće je to na lokacijama blizu rijeka, jezera, izvora, gdje je jedini trošak pumpanje vode. Međutim, kako je danas sve veća potreba za očuvanjem voda i smanjenjem utjecaja na okoliš, sve se više koriste recirkulacijski sustavi s rashladnim tornjevima.

Recirkulacijski sustavi mogu biti zatvoreni (indirektni) ili otvoreni (direktni). U zatvorenim sustavima hlađena voda prolazi kroz cijevi koje su hlađene vodom iz odvojenog kruga, dok se u otvorenim sustavima hlađena voda raspršuje i dio te vode ishlapljuje kako bi se preostaloj vodi snizila temperatura.

## 2.3. Bilance mase i topline



Slika 1: shema otvorenog rashladnog sustava [3]

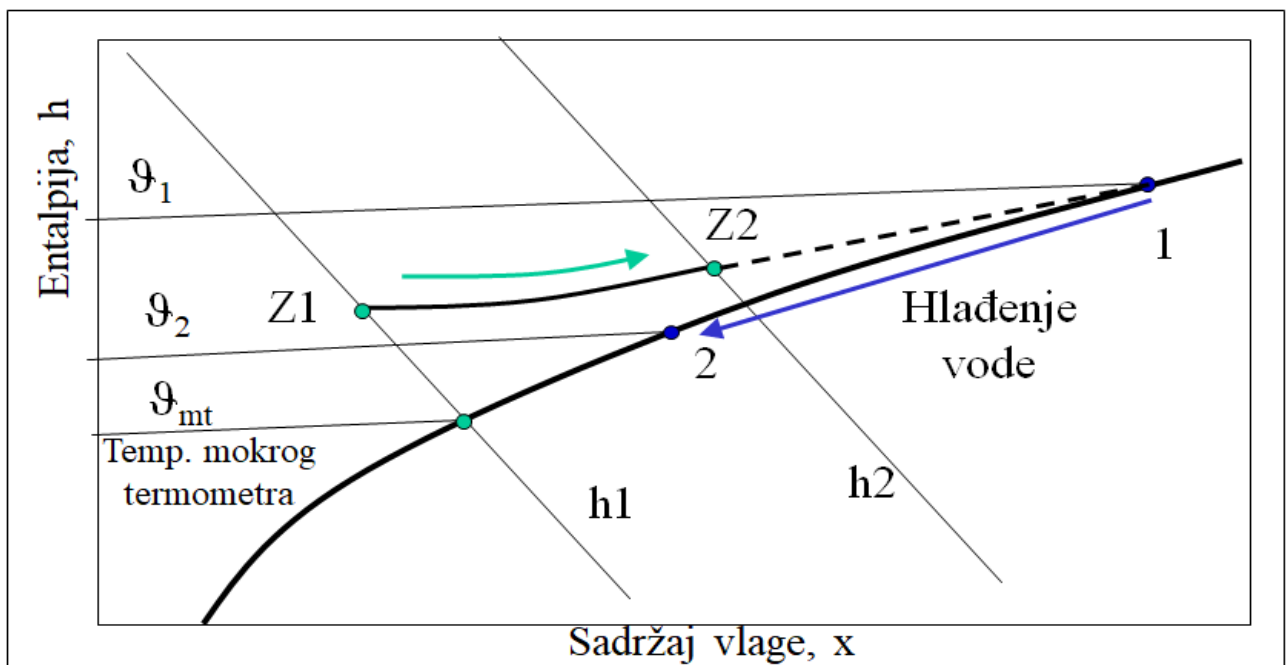
Slika 1 prikazuje shemu otvorenog, recirkulacijskog rashladnog sustava. Veličine navedene na shemi predstavljaju standardne vrijednosti koje se najčešće nalaze u praksi. Bitno je uočiti bilancu mase koja je predstavljena sljedećim izrazom:

$$G_1 + G_2 + G_3 = G_d \quad (1)$$

pri čemu  $G_1$  predstavlja maseni tok vode koja je ishlapila,  $G_2$  predstavlja maseni tok vode koja je odnesena strujom zraka u obliku kapljica te  $G_3$  predstavlja maseni tok vode koja se odvodi radi održavanja koncentracije soli u zadanim granicama. Navedeni maseni tokovi stvaraju potrebu za dodatnom rashladnom vodom,  $G_d$ , koju je potrebno dodavati sustavu kako bi se ispoštovala masena bilanca. Dodatna rashladna voda prije upuštanja u sustav mora proći niz postupaka kojima se osigurava njena kvaliteta. Ukupni maseni tok vode u sustavu, kapacitet rashladne vode, određuje se prema standardnom broju satnih optoka, odabrani broj je  $O_h = 10 \text{ h}^{-1}$ . Slijedi da je ukupan maseni tok vode u sustavu jednak izrazu:

$$G_r = m_{uvs} \cdot O_h \quad (2)$$

Pri čemu je  $m_{uvs}$  masa kontrolnog volumena rashladne vode koji obuhvaća volumen svih cijevi u sustavu.



Slika 2: h-x dijagram s prikazom procesa pri hlađenju vode [3]



H-x dijagram na slici 2 opisuje proces koji se odvija prilikom hlađenja vode u rashladnom tornju. Budući da je ulazna temperatura vode  $\vartheta_1$  znatno veća od temperature mokrog termometra, kod strujanja zraka preko kapljica vode dolazi do hlađenja i ishlapljivanja vode. Konačna temperatura ohlađene vode nalazit će se negdje iznad temperature mokrog termometra. Istovremeno, zrak koji struji kroz toranj mijenja svoja stanja prema liniji Z1-Z2. Vidljivo je kako će na izlazu zrak biti zasićeniji vodenom parom te više temperature od vanjskog. Ako zanemarimo gubitke topline, prema zakonu o očuvanju energije, toplina odvedena od rashladne vode bit će jednaka toplini predanoj zraku, prema izrazu:

$$G_r \cdot c \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1) = G_z \cdot (h_{z2} - h_{z1}) = Q \quad (3)$$

Masu vode koja je ishlapila možemo odrediti sljedećim izrazom:

$$G_1 = \frac{Q}{r} \quad (4)$$

U izrazu (4) nazivnik  $r$  predstavlja latentnu toplinu koja je potrebna za hlapljenje vode.  $G_2$  masa koja se odnosi strujanjem zraka može se, iskustveno, izraziti kao:

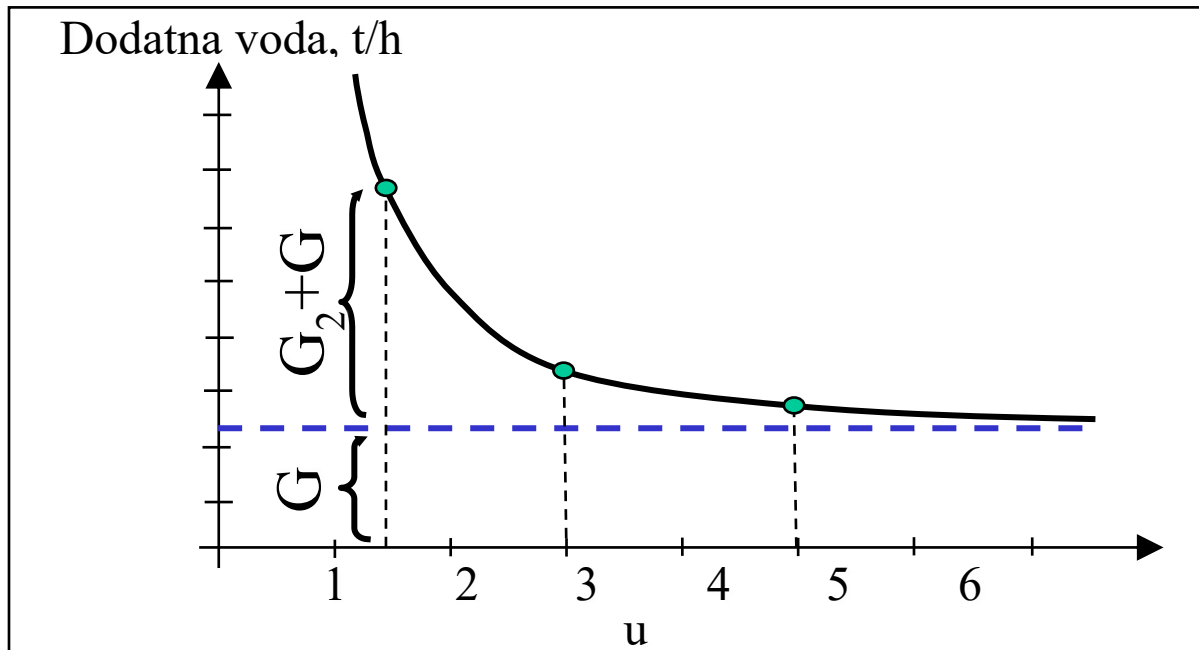
$$G_2 \leq 0,001 \cdot G_r \quad (5)$$

Gubitak vode uslijed odmuljivanja,  $G_3$ , ovisi o uparenju. Uparenje (ili ugušćenje) se računa kao omjer koncentracija tvari recirkulirane vode i dodatne vode. Označava se slovom  $u$ . Dakle, izraz za određivanje dodatne vode radi odmuljivanja može se pisati kao:

$$G_3 = \frac{1}{u - 1} \quad (6)$$

Konačno, uvrštavanjem gore navedenih izraza, dobiva se jednadžba za izračunavanje dodatne rashladne vode koja glasi:

$$G_d = \frac{Q}{r} \cdot \left( 1 + \frac{0,001r}{\Delta\vartheta \cdot c} + \frac{1}{u - 1} \right) \quad (7)$$

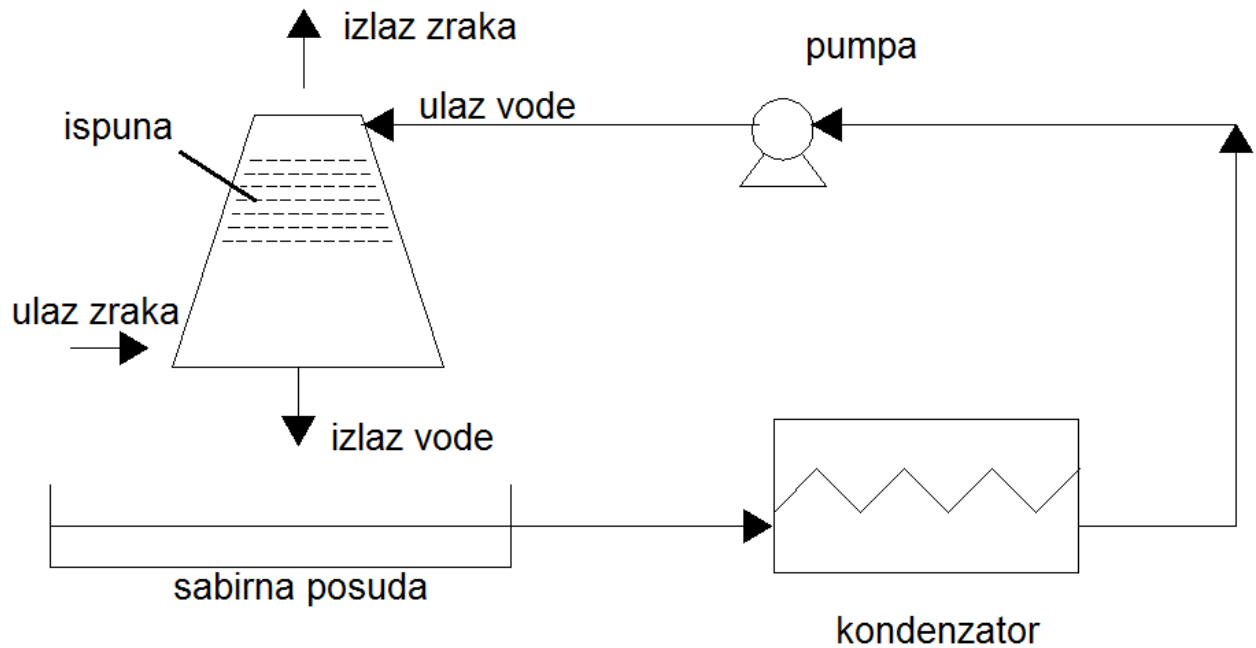


Slika 3: ovisnost količine dodatne vode o uparenju [3]

## 2.4. Izvedbe rashladnih tornjeva

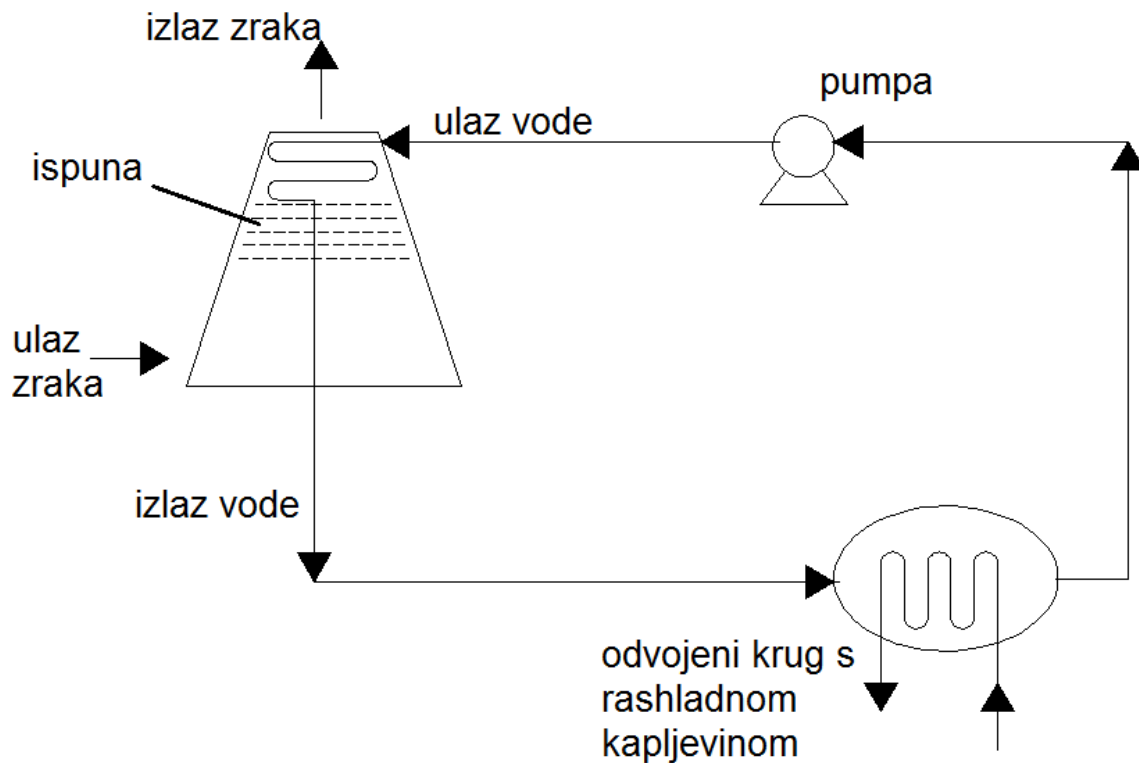
### Mokri (wet) ili evaporativni tornjevi

Ovakva izvedba česta je kod sustava s većim kapacitetima hlađenja (npr. proizvodnja električne energije). To su direktni izmjenjivači topline u kojima je rashladna voda iz kondenzatora u dodiru sa zrakom koji je hladi. Voda struji u otvorenom krugu, pumpa se kroz sustav cijevi, mlaznica i prskalice unutar tornja te se pod utjecajem gravitacije slijeva na dno tornja. Zrak iz okoliša ulazi u toranj pri njegovom dnu i struji preko kapljica vode. Oba fluida prolaze kroz ispunu koja povećava dodirnu površinu između njih. Zagrijani, zasićeni zrak odbacuje se u okoliš na mjestu dovoljno dalekom od mjesta usisa zraka u toranj kako ne bi došlo do recirkulacije. Voda se skuplja na dnu tornja i ponovno prolazi prema kondenzatoru kako bi od radne tvari odvodila toplinu.



Slika 4 evaporativni toranj, otvoreni sustav [4]

U zatvorenom sustavu nema direktnog dodira između zraka i kapljevine (najčešće je to mješavina glikola i vode). Ovakav sustav ima dva odvojena kruga s kapljevnom. Voda cirkulira u vanjskom krugu izvan zatvorenog kruga načinjenog od cijevi kroz koje teče hladena kapljevina. Zrak prelazi preko cijevi, kroz kapljice rashladne vode te hladi kapljevinu u cijevima na sličan način kao u otvorenom sustavu. Toplina, dakle, prelazi s kapljevine na cijevi, pa na vanjski krug vode i zatim u okoliš (zagrijavanjem zraka i ishlapljivanjem dijela vode). Kod ovakvih sustava hladeni medij je u zatvorenom krugu, pa nije direktno izložen zraku ni vodi vanjskog kruga.



Slika 5. Zatvoreni sustav (adaptirano iz [4])

Zatvoreni sustavi omogućuju preciznu kontrolu temperature i niske troškove pripreme vode. Međutim, kako je potreban sekundarni krug, tj. dodatna oprema, veći su investicijski i pogonski troškovi.

### Suhi (dry) rashladni tornjevi

Kod suhih rashladnih tornjeva ne odvija se proces ishlapljivanja. Slično kao i kod mokrog hlađenja postoje direktni i indirektni sustavi. Direktni sustav koristi zrak izravno za kondenzaciju pare koja iz turbine ulazi u cijevi malog promjera (izmjenjivač topline). Indirektni sustav, poznat kao *Hellerov* sustav, koristi zatvoreni krug vode kao primarni rashladni medij koji u kondenzatoru hladi paru, a voda je hlađena zrakom. Rashladna voda prolazi kroz cijevi na koje struji zrak, nema izravnog kontakta zraka i vode. U oba sustava, protok zraka mora biti tri ili više puta veći nego kod mokrog rashladnog tornja **Error! Reference source not found.** Zbog toga su suhi tornjevi znatno većih dimenzija, a time i skuplji.

Prednost suhih rashladnih tornjeva jest da nije potrebna priprema rashladne vode i ne stvaraju maglicu.

Osim problema s dimenzijama suhих tornjeva, postoji problem s kontrolom procesa. Potrebno je održavati protok pare tako da se postignu željeni parametri procesa (temperatura kondenzacije, tlak), koji variraju s promjenom opterećenja. Ostali nedostaci su pojačana buka, usis istrošenog zraka, održavanje brojnih komponenata i energetske gubici uslijed dnevnih promjena temperatura.

Kod suhих tornjeva temperatura kondenzacije određena je vanjskom temperaturom suhog termometra (za razliku od mokrih tornjeva). Učinkovitost suhих tornjeva ovisi o jačini i načinu strujanja zraka te o položaju cijevi.

### **Hibridni (mokro-suhi) rashladni tornjevi**

Kombinirani, mokro-suhi rashladni tornjevi pojavili su se kao odgovor na strože zakone o zaštiti okoliša. Topla voda iz kondenzatora prvo prolazi kroz suhi dio tornja, a zatim kroz mokri. Vrući zrak iz suhog dijela niskog sadržaja vlage i topli zasićeni zrak iz mokrog dijela miješaju se i izlaze iz tornja s prihvatljivo niskom vlažnošću te stoga nastaje gotovo neprimjetna maglica pri izlasku zraka iz tornja. Mokri i suhi dio mogu se koristiti odvojeno ili istovremeno. Za vrijeme niskih temperatura zraka toranj može raditi kao suhi, dok kod visokih temperatura može raditi kao mokri kako bi se postigle željene temperature kondenzacije. Korištenjem hibridnih tornjeva smanjuje se potrošnja vode i stvaranje maglice. Konstrukcija hibridnih tornjeva složenija je i potrebno je procijeniti parametre rada (protok vode, razlika temperature vode na ulazu i izlazu iz tornja, temperatura zraka) za zimske i ljetne uvjete. Hibridni tornjevi troše čak 30 do 98% manje vode nego mokri **Error!**

**Reference source not found.** Očekuje se sve veća upotreba ovakvih tornjeva budući da se postižu optimalne kombinacije učinkovitosti i zahtjeva za zaštitu okoliša.

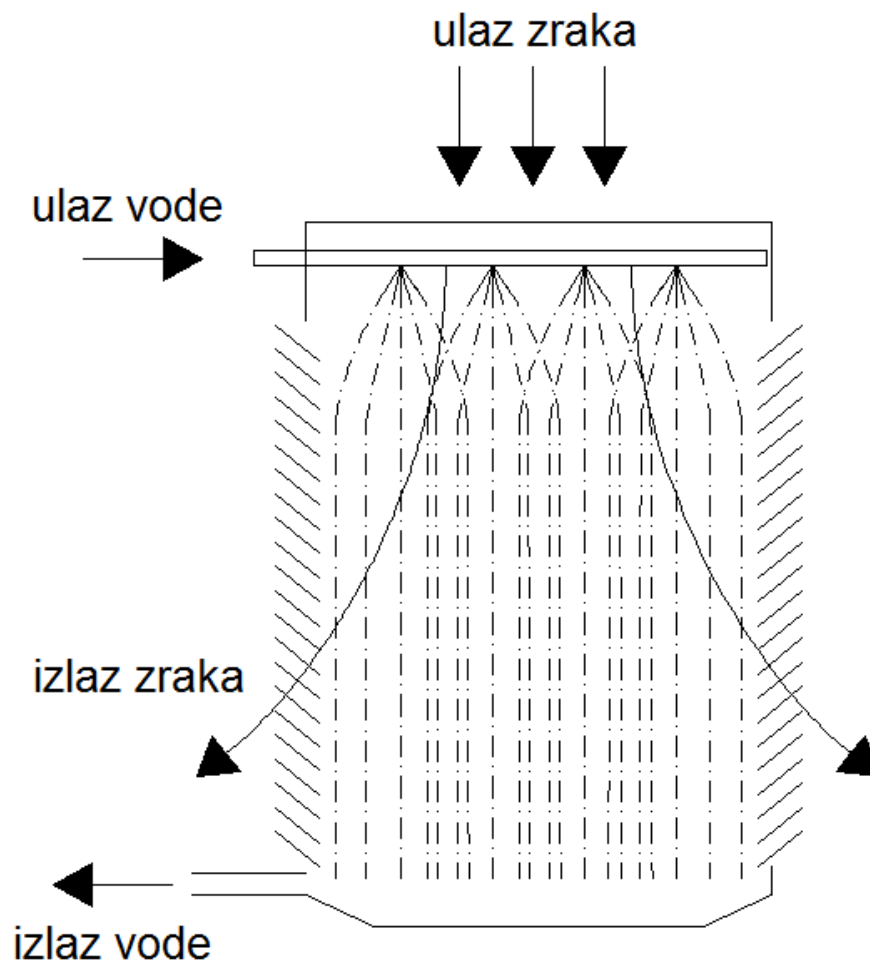
### **Rashladni tornjevi s prirodnim strujanjem (atmosferski)**

Kod atmosferskih tornjeva nema mehaničkog uređaja (ventilatora) koji omogućuje strujanje zraka, već je ono prirodno i funkcionira na principu efekta dimnjaka.

Indukcijski atmosferski toranj temelji strujanje zraka na prirodnoj indukciji. Distribucija vode vrši se kroz visokotlačne prskalice kojima je tada omogućena indukcija zraka **Error!**

**Reference source not found.** Naime, mlaz visoke brzine „uvlači“ molekule zraka stvarajući tako lokalni pad tlaka, tj. podtlak. Na taj način dolazi do induciranoг strujanja uslijed razlike vanjskog (atmosferskog) tlaka i podtlaka unutar tornja. Iako su ovakvi tornjevi relativno jeftini, obično se koriste samo kod malih sustava. Kod indukcijskih atmosferskih tornjeva često dolazi do usisa iskorištenog zraka, češće nego kod ostalih vrsta tornjeva. Ne preporuča

se njihovo korištenje kod sustava koji zahtijevaju održavanje temperature hladne vode u uskim granicama.



Slika 6. Indukcijski atmosferski toranj (adaptirano iz [2])

Hiperbolični atmosferski toranj je veoma pouzdan u radu (**Error! Reference source not found.**). Strujanje zraka ostvaruje se zbog razlike u gustoći između toplog zraka u tornju i relativno hladnog zraka izvan tornja. Ovakvi tornjevi su obično velikih dimenzija, a njihov naziv dolazi od njihovog oblika. Iako su hiperbolični tornjevi prilično skupi, puno se koriste u sustavima proizvodnje električne energije. Toplinsko opterećenje takvih sustava je veliko i ujednačeno, a cijenu samog tornja kompenzira ušteda zbog nekorištenja ventilatora i popratne opreme.

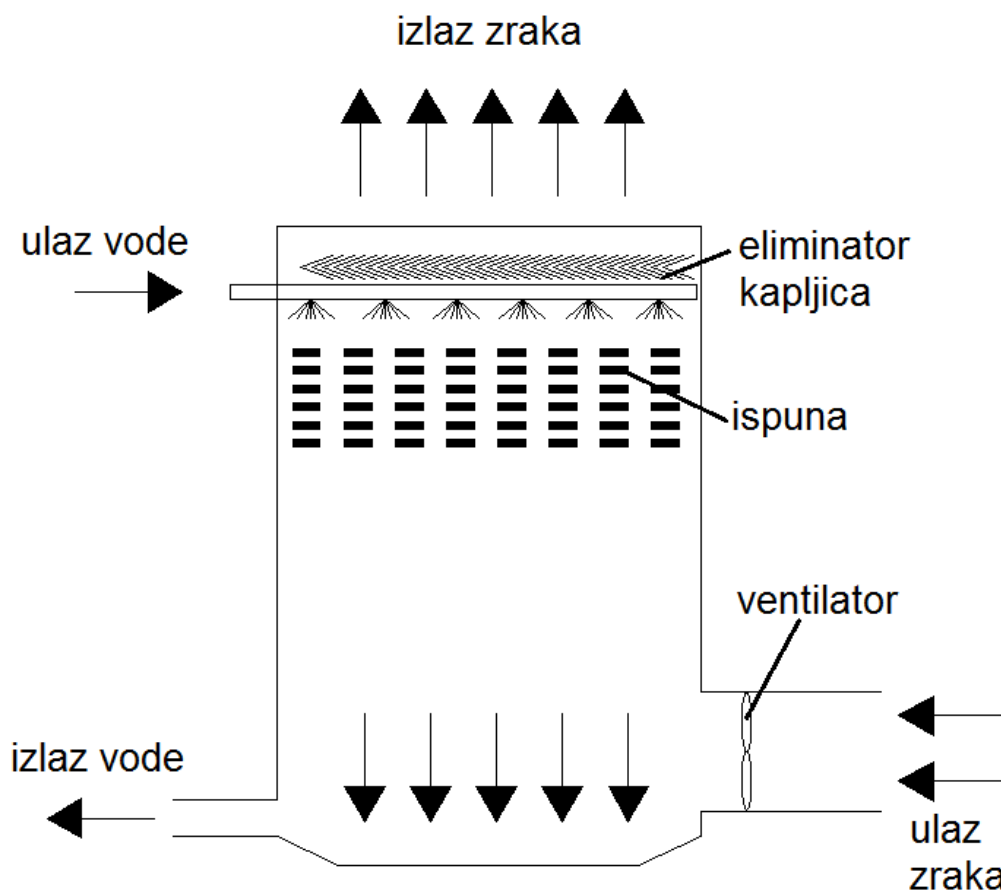
### Rashladni tornjevi s mehaničkom cirkulacijom zraka

Tornjevi s mehaničkom cirkulacijom zraka mogu imati jedan ili više ventilatora koji osiguravaju željeni protok zraka. Ovakvi tornjevi su znatno stabilniji u radu nego tornjevi s prirodnim strujanjem zraka. Ventilatorima je moguće regulirati protok zraka, što je važno kod promjene okolišnjih uvjeta, ali i promjene opterećenja.

Tornjevi s mehaničkom cirkulacijom dijele se na tornjeve s tlačnim strujanjem i tornjeve s induciranim strujanjem.

### Tlačno strujanje

Kod tornjeva s tlačnim strujanjem zraka ventilator se nalazi na mjestu usisa zraka u toranj, „gura“ zrak kroz toranj. Visoke su ulazne brzine zraka, a izlazne brzine su niske. Upravo su zbog toga podložni recirkulaciji iskorištenog zraka što rezultira manjom stabilnošću u radu. Nadalje, ukoliko se nalaze na mjestima s niskim temperaturama okolišnjeg zraka, može doći do zamrzavanja bilo zbog prirodne vlage, bilo zbog povećane vlage uslijed recirkulacije **Error! Reference source not found..**

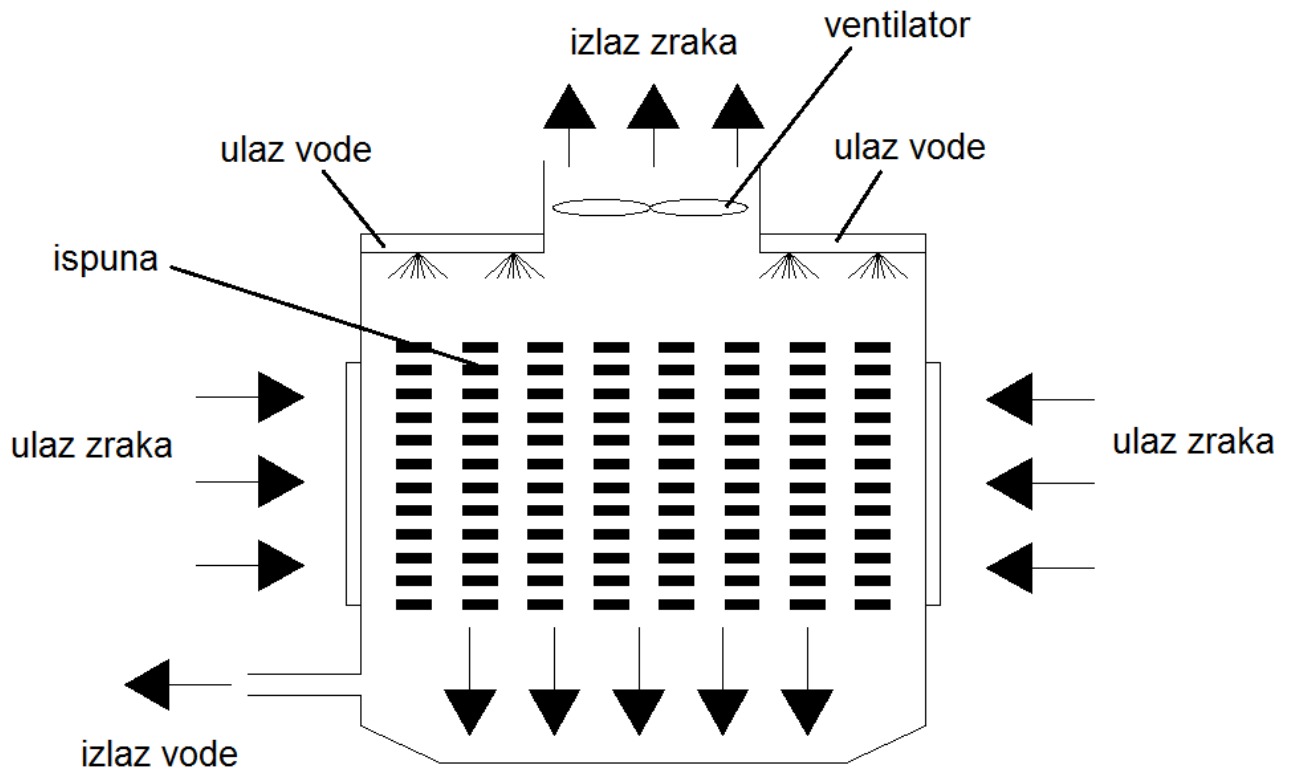


Slika 7. Rashladni toranj s tlačnim, protustrujnim strujanjem (adaptirano iz [2])

Tlačno strujanje najčešće je osigurano centrifugalnim ventilatorima.

### Inducirano strujanje

Pri induciranom strujanju ventilator je smješten na izlazu zraka pri vrhu tornja, usisava zrak kroz toranj. Izlazne brzine zraka su 3 do 4 puta veće od ulaznih brzina zraka, pa je smanjena mogućnost recirkulacije iskorištenog zraka [2]. Budući da se ventilator nalazi u struji zagrijanog zraka, nema opasnosti od nastajanja leda na mehaničkim dijelovima. Inducirano strujanje pruža ujednačenije strujanje kroz toranj, što pruža bolju učinkovitost i smanjuje mogućnost ponovnog usisa iskorištenog zraka.



Slika 8. Rashladni toranj s induciranom križnim strujanjem

### Hibridno strujanje zraka

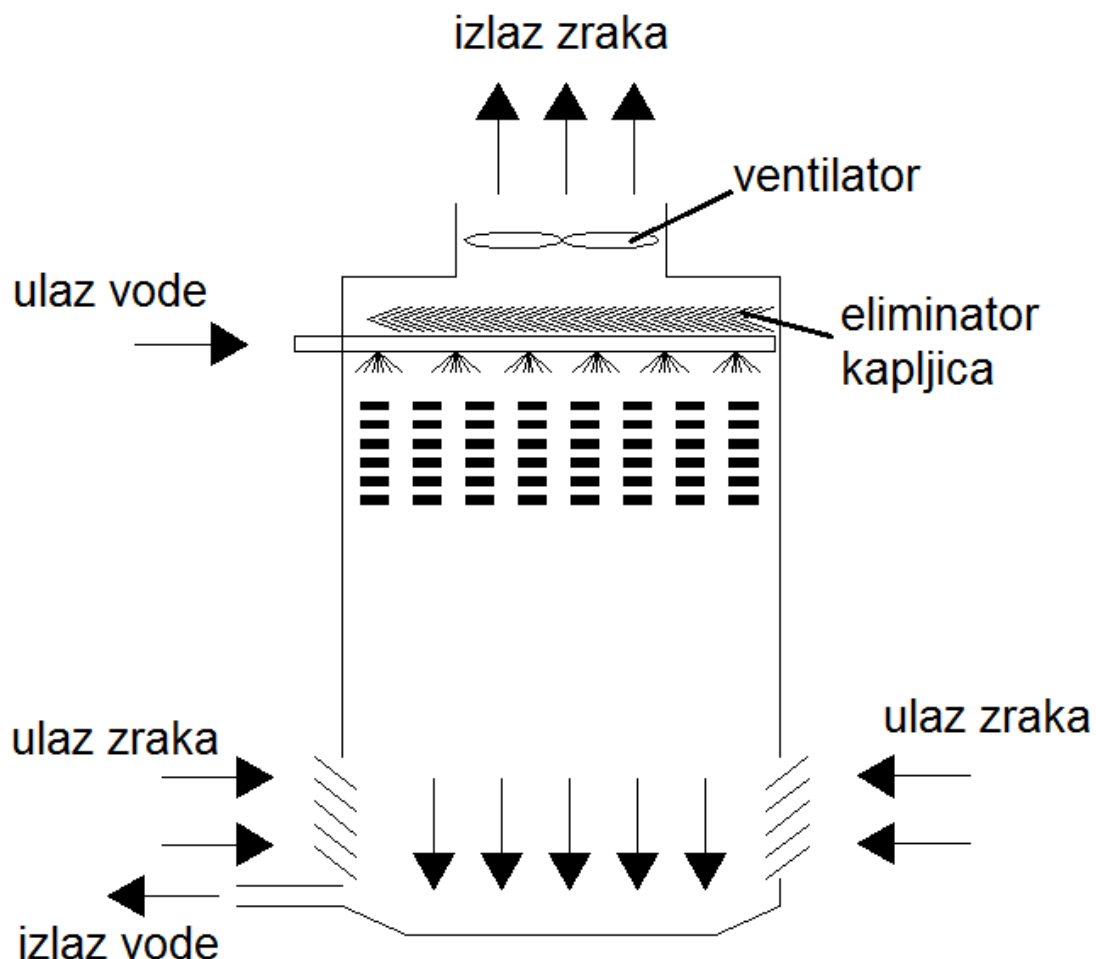
Tornjevi s hibridnim strujanjem izgledaju kao tornjevi s prirodnim strujanjem, no zapravo sadržavaju ventilatore kako bi se povećao protok zraka. Ovakvi tornjevi objedinjuju male snage potrebne za pogon ventilatora i male troškove izgradnje. Rad ventilatora kod dobro konstruiranih tornjeva ovakvog tipa može biti potreban samo u razdobljima kad su visoka opterećenja ili visoke vanjske temperature.



Sljedeća podjela izvršena je na temelju smjerova strujanja zraka i vode.

### Protusmjerni

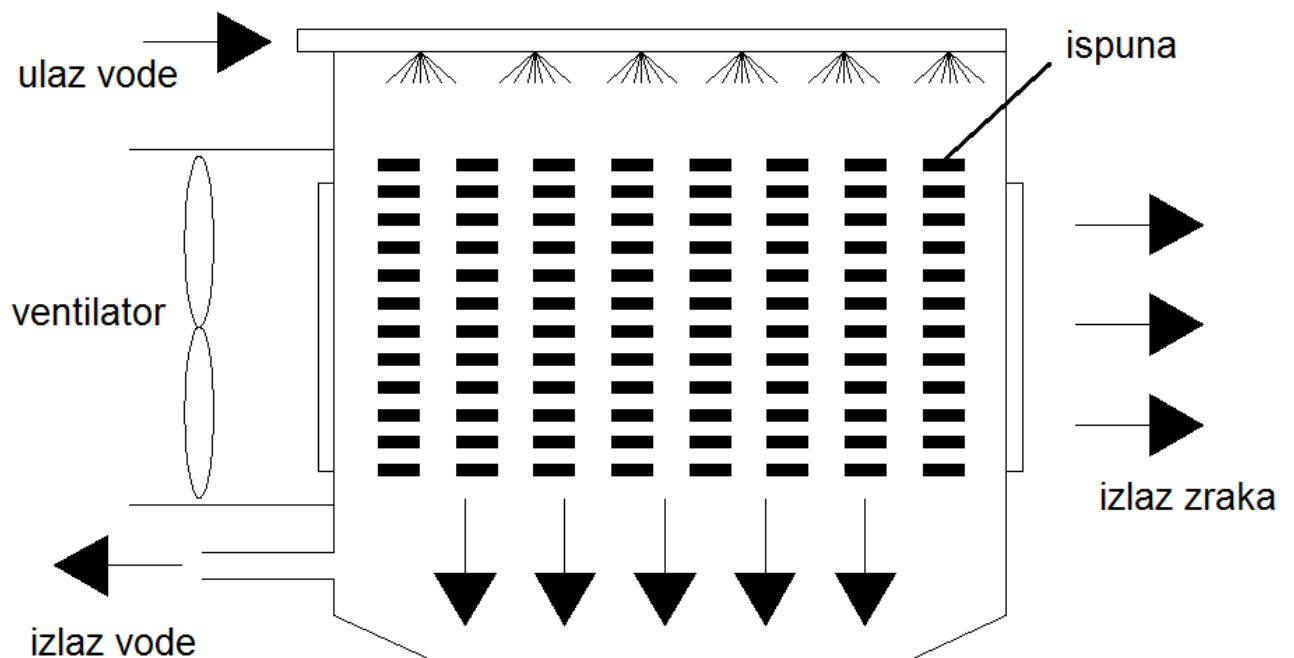
Zrak se kreće vertikalno prema gore kroz ispunu, suprotno vodi koja se slijeva prema dolje. Manji protusmjerni tornjevi obično su viši zbog potrebe za većim ulaznim i ispušnim plenumima, upotrebe visokotlačnih raspršivača i većih padova tlaka, te koriste više energije za pogon ventilatora nego križni tornjevi istih veličina. Međutim, kod velikih protusmjernih tornjeva situacija je čak i suprotna uslijed niskotlačnih gravitacijskih distribucijskih sustava. Ovakvi tornjevi su prilično zatvoreni pa nema direktne izloženosti Sunčevoj svjetlosti koja bi pogodovala razvoju algi **Error! Reference source not found.**



Slika 9. Rashladni toranj s induciranim protustrujnim strujanjem

## Križni

Voda teče okomito prema dolje kroz ispunu, a zrak struji horizontalno preko ispune. Zagrijana voda koju je potrebno ohladiti slijeva se pod utjecajem gravitacije iz posude na vrhu tornja kroz otvore te prolazi kroz ispunu. Zbog toga nema potrebe za tlačnim sustavom distribucije vode što olakšava održavanje ovakvog tornja.



Slika 10. Križno strujanje

### **3. POSTUPCI DOBIVANJA TEHNIČKI PRIHVATLJIVE RASHLADNE VODE I MOGUĆI PROBLEMI**

Ovi postupci uglavnom uključuju obradu (npr. filtraciju) jednog dijela vode u cirkulaciji i dodavanje kemijskih inhibitora. Osim postupaka obrade vode, stvaranje naslaga i kamenca moguće je smanjiti korištenjem različitih konstrukcijskih rješenja poput posebno legiranih cijevi, međutim radi se o skupljem konstrukcijskom rješenju koje, u većini slučajeva, nije ekonomski opravdano.

Kako bi se kontroliralo stvaranje naslaga na površinama, korozija i razvoj mikroorganizama, voda iz rashladnog tornja/evaporativnog kondenzatora mora biti analizirana i odgovarajuće tretirana [5].

#### **3.1. Naslage i talozi**

Ishlapljivanjem vode u sustavu raste koncentracija otopljenih tvari. Svježa voda, koja se dodaje zbog ranije opisanih gubitaka vode u sustavu također sadrži određenu koncentraciju otopljenih tvari. Rashladna voda će u tom slučaju svakim novim ciklusom punjenja, sadržavati veću količinu otopljenih krutih tvari. Ukoliko je koncentracija otopljenih tvari previsoka, odnosno takva da dolazi do izdvajanja otopljenih tvari i stvaranja naslaga na površinama uređaja, nužno je na neki način tretirati takvu vodu. Moguće je smanjiti koncentraciju dodajući dovoljnu količinu svježe vode ali u tom slučaju je potrebno ispustiti jednaku količinu vode iz posude tornja u odvod (tzv. odmuljivanje) što stvara velike gubitke vode. Tendencija stvaranja naslaga na površinama kontrolira se postupkom odmuljivanja te dodavanjem kemijskih inhibitora. Cilj je održati koncentraciju otopljenih soli u prihvatljivim granicama.

Kemijski inhibitori nastoje spriječiti stvaranje kamenca po površini rashladnog tornja. Najčešće korišteni inhibitori za sprječavanje stvaranja kamenca jesu fosfati, koji su zapravo spojevi organskih fosfata, kao što je npr. 1-hidroksietilen-1,1 difosfonska kiselina (HEDP), koja djeluje adsorpcijom na kristale minerala i sprječava njihovo vezanje za metalnu površinu. Nastali kristali se pritom nakupljaju na dnu posude poput taloga [4].

Problem suspendiranih tvari i njihovog taloženja rješava se kontinuiranom filtracijom cirkulirajuće vode [5]. Na slici 10 prikazan je primjer onečišćenja kamencem. Također, prirodni organski polimeri prvi su korišteni. To su tanini, alginati i škrobne tvari; u

nekim slučajevima daju prilično dobre rezultate ali samo kada su korišteni u relativno visokim koncentracijama: od 50 do 200 ppm ili čak i više. Akrilni polimeri niske molekularne težine, koji su učinkovitiji u znatno manjim koncentracijama danas su češći izbor. To su, općenito, poliakrilati koji su predstavljeni u obliku natrijevih soli.



Slika 11: jasno vidljive naslage kamenca na saću rashladnog tornja [5]

Za tretiranje rashladne vode s ciljem sprječavanja nastanka raznih vrsta naslaga bitno je anticipirati koji tipovi naslaga bi se mogli javiti u određenim uvjetima. Naime, izvori tvari koje generiraju naslage mogu biti i u vodi i u zraku pa je potrebno oprezno odabrati tretman u ovom slučaju.

Tablica 1: tipovi naslaga [4]

Test	A	B	C
Ash	30 %	17 %	55 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2 %	35 %	12 %
SiO <sub>2</sub>	1 %	13 %	8 %
CaO	10 %	4 %	1 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30 %	25 %	23 %
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	4 %	1 %
ZnO	25 %	—	—
CO <sub>2</sub>	2 %	—	—
SO <sub>3</sub>	—	2 %	—
Total	100 %	100 %	100 %

U tablici 1 prikazane su kemijske formule naslaga te njihovi udjeli u pojedinim uzorcima.

Uzorak A potječe iz rashladnog tornja velikog kemijskog postrojenja koje koristi kombinaciju cinka / organskog spoja za suzbijanje korozije i taloga. Posljedice taloženja naglašene su prisutnošću željezovog i cinkovog oksida. U ovom slučaju, sam inhibitor korozije se taloži i pojavljuje se u obliku cinkovog oksida. Taj talog može se ukloniti deterdžentom i kiselinskim pilingom, ali da bi se spriječilo njegovo ponovno pojavljivanje, potrebno je promijeniti inhibitor korozije.

Uzorak B je talog koji dolazi iz direktnog jednokratnog rashladnog kruga koji se koristi u velikoj rafineriji. Slučaj je prilično čest kod mnogih drugih rashladnih sustava koji koriste riječnu vodu. Visoke koncentracije aluminijskih i silicijevih oksida odgovaraju nanosu riječne vode. Posljedica ovog taloženja je korozija opreme, čime se stvara željezni oksid. Ostale spojevi koji se nalaze u tablici potječu od zagađivača sadržanih u riječnoj vodi i zarobljenih u

talogu. Kiselo ispiranje može biti učinkovito u određenoj mjeri, međutim, često korištena preventivna metoda je kontinuirano dodavanje sredstava za raspršivanje.

Uzorak C je naslaga koja potječe iz rashladnog sustava koji opskrbljuje riječna voda u rafineriji. Iz tablice je vidljiva pojava  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  u talogu. Periodično tretiranje klorom nije dovoljno za sprječavanje ovog tipa naslaga. Ugradnja bočnog filtera mogla bi učinkovitije očistiti sustav .

### 3.2. Korozija

Kontrolom korozije omogućuje se duži rad uređaja bez prekida i servisa. Očuvanje metalnih površina od korozije nastoji se postići formacijom zaštitnog filma (pasivizacija). Površine nezaštićene filmom, a koje su u kontaktu s rashladnom vodom, podložne su stvaranju korozije. Kontrola korozije se uglavnom provodi korištenjem kemijskih inhibitora kao što su kromati, polifosfati, silikati i alkalije. Današnji trendovi nastoje koristiti kemijske inhibitore koji ne sadrže spojeve sa kromom. Jako je bitno da se zaštitni film razvije po površini u ranom razdoblju rada rashladnog tornja [5]. U slučaju konstrukcije rashladnog tornja, prvi korak u sprječavanju korozije je smanjiti na minimum doticaj mekog čelika sa rashladnom vodom. Ukoliko se koristi meki čelik u konstrukcijske svrhe okvira tornja, nužno je pocinčavanje i premazivanje epoksi ili polimernim završnim zaštitnim slojem. Sve površine koje su u konstantnom doticaju s rashladnom vodom, kao što je sabirna posuda unutar tornja, trebale bi biti konstruirane od nehrđajućeg čelika. Korištenjem nehrđajućeg čelika, povećava se trošak tornja za 20 do 40%. Za kućište tornja, usisne otvore(rešetke), eliminator kapljica i ispunu predlaže se korištenje plastike ili stakloplastike. Cijevi (kojima prolazi rashladna voda) su uglavnom od čelika, stoga ih je potrebno zaštititi od korozije. Jedan od najpraktičnijih načina zaštite je korištenje inhibitora. Inhibitori su tvari koje već u vrlo maloj količini smanjuju brzinu koroziju metala ako se dodaju u kapljeviti medij. Njihova primjena predstavlja i najvažniju metodu smanjenja agresivnosti rashladne vode. Prema mehanizmu djelovanja, inhibitori korozije se mogu podijeliti u sljedeće tri grupe [4]:

- *Pasivizatori ili anodni inhibitori*

Ovi inhibitori stvaraju na metalnoj površini vrlo tanak oksidni zaštitni sloj koji sprječava koroziju. Nastali sloj se odlikuje visokom postojanošću no ukoliko dođe do oštećenja, brzo se formira novi sloj. Najčešće kemikalije koje se koriste kao pasivizatori jesu molibdati,

polifosfati i ortofosfati. Navedene kemikalije su oksidansi (tvari koje predaju kisik drugim tvarima tj. oduzimaju im elektrone) koje promiču pasivizaciju metala povećanjem električnog potencijala željeza. Nedostatak korištenja molibdata je njegova visoka cijena, stoga se koristi samo kada je broj odmuljivanja sveden na minimum, odnosno kada je učestalost odmuljivanja mala. Ortofosfati se ne bi smjeli koristiti u sustavima koji koriste nehrđajući čelik jer s vremenom uništavaju metal te ga čine lomljivim.

- Inhibitori koji kao mehanizam koriste precipitaciju

Ova vrsta inhibitora reakcijom sa ionima u vodi formira netopljive spojeve koji se talože na metalnoj površini i na taj način usporavaju proces korozije metala. Cink i molibdat su dobri primjeri ove vrste inhibitora. Vidljivo je da molibdat, koji je naveden i kod pasivizatora, koristi dva mehanizma zaštite metala od korozije.

- Adsorpcijski inhibitor

Radi se o organskim spojevima koji sadrže spojeve s dušikom (npr. amini), sumporom ili hidroksilnom skupinom. Oni zbog svog oblika, veličine, orijentacije i električnog naboja molekule prijanjaju uz površinu metala čime sprječavaju korozivne procese. Njihov je nedostatak što formiraju debele, masne slojeve na površini koji smanjuju sposobnost izmjene toplinskog toka.

Koji će se od navedenih inhibitora koristiti, ovisi o pH vrijednosti vode i pojedinim općenitim svojstvima vode prema tablici 5.1.

Tablica 2: Program korištenja inhibitora korozije [6]

Inhibitori	pH vode / općenita svojstva vode
Cink	7.5-8.5
Molibdat ili molibdat/cink	7.5-9.5
Ortofosfat	7.5-8.5 / s inhibitorom taloženja fosfata
Adsorpcijski inhibitor	7.5-9.5 / 300-500 ppm alkalitet vode

Kako bi se zaštitile bakrene cijevi (ili ostale bakrene površine) od korozije, u primjeni rashladnih sustava su aromatični triazoli (npr. benzotriazol (BZT), toliltriazol (TTA)). Ovi spojevi se vežu s bakrovim oksidom na površini metala te ga na taj način štite.

U usporedbi sa drugim dostupnim postupcima zaštite opreme od korozije, korištenje inhibitora zasigurno ima svoje prednosti, a to su relativno jednostavna kontrola i mogućnost automatizacije sustava te ono najvažnije, niži troškovi [4].

### 3.3. Bijela hrđa

Za većinu pocinčanog metala rashladnih tornjeva, bijela hrđa će nastupiti ukoliko se ne poduzmu sljedeći koraci [4]:

- Nanošenje sekundarne zaštitne barijere kao što je epoksi ili polimerni zaštitni sloj na nove rashladne tornjeve, odnosno nanošenje sloja katrana (bitumena) na postojeći toranj. Još bolje rješenje je da se površine, koje su u stalnom kontaktu s vodom (npr. posuda s vodom), za nove tornjeve konstruirane od nehrđajućeg čelika.
- Kontroliranje pH vrijednosti rashladne vode u granicama od 7.0 do 8.0.
- Provjeriti da li je postupak pasivizacije površina galvaniziranih dijelova tornja uspješno proveden prije potpunog puštanja tornja u rad. Ako je došlo do bijele hrđe, metal se može ponovno pasivizirati na način da se površina tretira s 5% natrijevog dikromata ( $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ), 0,1% sumporne kiseline ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) iza čega slijedi četkanje sa tvrdom žičanom četkom najmanje 30 sekundi, a zatim temeljito ispiranje s čistom vodom.
- Uključiti proizvod na bazi fosfata u program za obradu vode, zajedno s odgovarajućim disperzantima.

### 3.4 Mogući problemi pri radu u zimskim uvjetima

Rashladni tornjevi trebaju imati čim veću dodirnu površinu između zraka i vode i to u čim većem vremenskom periodu. Takav dizajn rezultira efikasnošću da osim prijenosa topline ljeti ponekad i rezultira stvaranjem leda u zimi. Prihvatljivi led je relativno tanak led koji se stvara na ulazu zraka i mora biti uzet u obzir u dizajn rashladnog tornja jer stvara smetnje prilikom strujanja zraka kroz toranj. Neprihvatljiv led je led koji se stvorio u ispuni tornja i koji ugrožava izmjenjivačku površinu ili koji ugrožava temelj samog tornja i njegovu konstrukciju.



Metode kontrole debljine leda variraju od tipa tornja, od sustava dovodnje vode pa do mehaničke opreme.

Kontrola bočnih prolaza zraka tj. njihovog volumena omogućava da brzina zraka koja ulazi bude manja te omogućava vodi koja pada kroz ispunu da otopi led. To se postiže sa ventilatorima koji imaju više brzina, posebice sa ventilatorima čija se brzina kontrolira temperaturom vode u rashladnom tornju, koji prilikom nižih temperatura smanjuju protok zraka kad je vanjska ambijentalna temperatura niska. Također ukoliko dođe do stvaranja leda na pozicijama gdje voda ne može doprijet, ponekad je potrebno na kratki period okrenut smjer strujanja zraka kako bi topla voda otopila formacije leda.

Kontrola kod velikih tornjeva bez ventilatora koji su potrebni da rade u hladnom vremenu, moraju biti opremljeni s vodom koja ulazi najbliže ulazu zraka, tako da najhladniji zrak dolazi u dodir sa najtoplijom vodom koja zbog veće razlike u temperaturi diže temperaturu zraka te sprečava da on uzrokuje stvaranje leda u ispunu.

Također prilikom pokretanja u hladnijim vremenima, ako je temperatura vode blizu temperature smrzavanja, potrebno je napraviti by-pass kojim se voda iz kondenzatora samo recirkulira a ne ulazi u ispunu tornja.

### **3.5 Problemi vezani uz konstrukciju rashladnog tornja**

Rashladni tornjevi i evaporativni kondenzatori bi trebali biti napravljeni od materijala otpornih na koroziju koje je lako čistiti i dezinficirati. Manji uređaji su obično napravljeni od mekanih metala sa premazivanjem, nehrđajućeg čelika ili staklom ojačane plastike (GRP). Veliki industrijski rashladni tornjevi su obično napravljeni od drva. Tako drvo treba biti otporno na truljenje te pristupačno za održavanje. Generalno gledajući, svi tornjevi bi trebali biti izrađeni od materijala koji ne podržavaju rast mikroba te imaju laki pristup dezinfekciji. Važan faktor je i razina vode koja ima utjecaj na potrebnu količinu kemikalija za tretman vode te ima utjecaj na količinu aerosola koji izlazi iz tornja. Tornjevi trebaju biti napravljeni tako da cirkulacija postoji u svakom njihovom djelu, kako bi kemikalije za tretman vode mogle dospjeti i disperzirati u svaki dio jednako. Trebali bi se izbjegavati tako zvani "mrtvi" krajevi gdje dolazi do razvoja biofilmova pa i *Legionelle*. Veliki naglasak na kontroli treba biti na elementu- eliminator kapljica. Eliminator kapljica je konstrukcijski element koji zbog svoje građe tzv. cik-cak građe sprječava veće kapljice nošene zrakom da napuste sustav.

Oštećenja na tom elementu omogućava da veći postotak vode u obliku kapljica napusti sustav a samim time i povećavaju šansu da *Legionela* preživi put od tornja do ljudi. Opasan faktor je ako postoji i curenje vode iz sustava.

## 4. POSTUPCI UKLANJANJA MIKROBIOLOŠKOG ZAGAĐENJA

Mikroorganizme nalazimo posvuda u prirodi: u zraku, vodi i tlu. Njihova temeljna uloga jest razlaganje prirodne materije. Životne funkcije mikroba (bakterija) predmet su interesa mnogih industrijskih procesa. Mikroorganizmi se koriste u poljoprivredno-prehrambenoj industriji, farmaceutskoj industriji te nekim kemijskim industrijama za proizvodnju spojeva koji se ne mogu sintetizirati drugim putem. Sve se češće koriste i za pročišćavanje vode, hraneći se produktima koji su prisutni kao zagađivači u vodi.

S druge pak strane, prisutnost mikroorganizama u vodenim sustavima koji se primjenjuju u industriji, tako i u hlađenju, predstavlja problem za kvalitetu vode [4].

Općenito, negativne posljedice mikrobiološkog zagađenja možemo opisati kao:

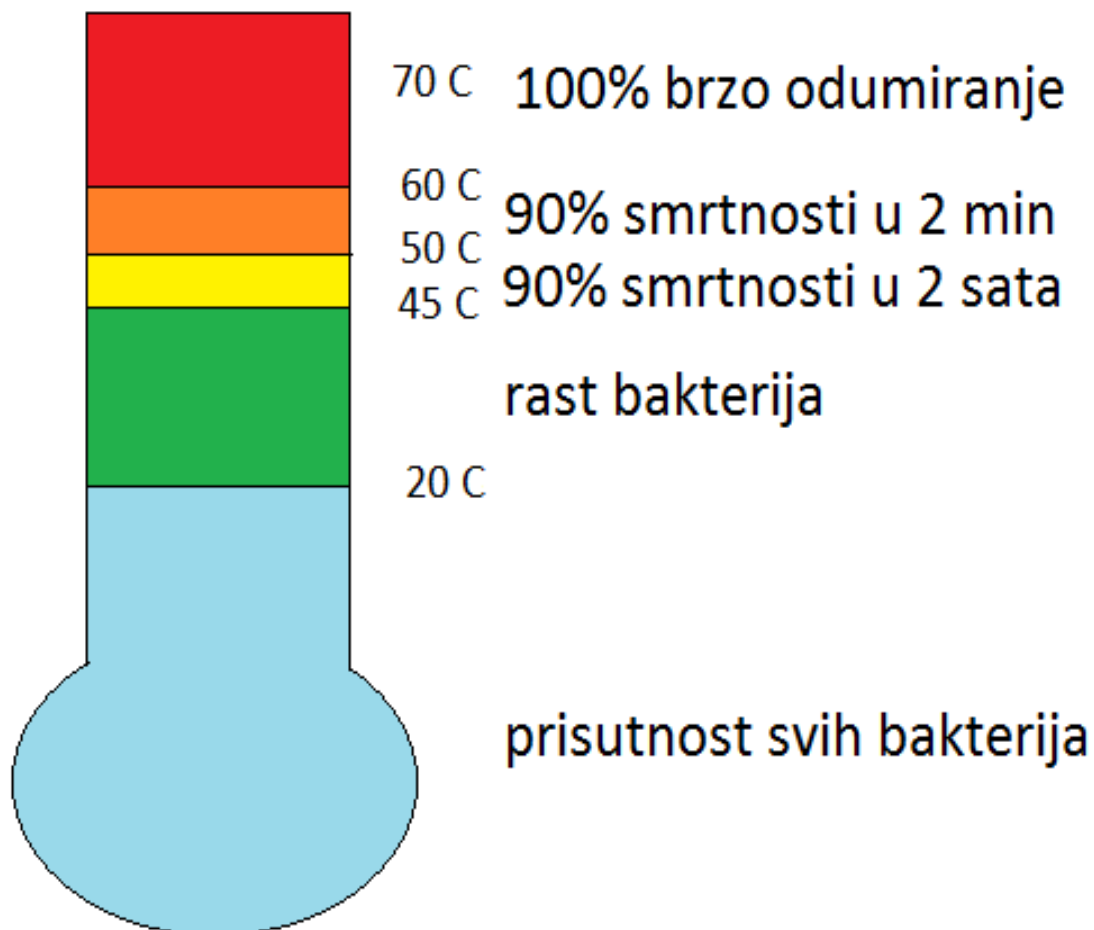
- mehaničko onečišćenje opreme (talog), koje dovodi do pogoršanja radnih uvjeta
- disperzija patogenih bakterija *Legionella pneumophila* kroz aerosole stvorene rashladnim tornjevima te njihovo ispuštanje u okoliš
- kontaktna korozija uslijed mikrobioloških naslaga (izmjenjivači, cjevovodi) koja dovodi do oštećenja opreme.

U ovom poglavlju posebna pažnja bit će posvećena štetnom utjecaju *Legionelle* na ljudsko zdravlje. Naime, kako je to već ranije opisano, kod procesa hlađenja u rashladnom tornju dolazi do nastanka povoljnih uvjeta za širenje bakterije *Legionelle*. Glavni faktori koji pogoduju tom razvoju su: povišena temperatura vode, proces hlapljenja vode kojim voda dospjeva u zrak i, konačno, ispuštanje zraka u okoliš.

#### 4.1. Bakterija *Legionella Pneumophila* – svojstva i utjecaj

*Legionella* je bakterija hidrotelurskog porijekla. Radi se o gram-negativnom tipu bakterije koji uključuje 43 vrste i 64 različite skupine. *Legionella pneumophila* uzročnik je u 90% slučajeva bolesti *legionelle*, a serogrupa 1 ove vrste (Lp1) povezana je s više od 80% svih slučajeva [4].

*Legionella* može egzistirati u sustavima tople vode do 66 °C a pri 70°C dolazi do uništenja mikroorganizma. Temperatura koja sprečava njihov rast je između 48.4 i 50 °C. Istraživanja također pokazuju da *Legionella* preživljava i multiplicira se najbolje između 35 i 45 °C, tj. najpodobnija temperatura za život je između 37 i 42 °C.



Slika 12 Otpornost bakterija roda *Legionella* na temperaturu [4]

Slika 12 prikazuje otpornost populacije *Legionelle* na različite temperature rashladne vode. To je ključni parametar za razvoj i preživljavanje bakterije *Legionelle*.

Ova bakterija tolerira širok raspon pH- vrijednosti (6 do 10). Također, razmnožavanje se pospješuje prisutnošću visokih koncentracija kalcija, magnezija, metalnih ostataka i određenih materijala poput gume, polivinilklorida, polietilena ili silikona, kao i drugih mikroorganizama iz okoliša, poput cijanobakterija ili slobodnih ameba [4]. Svi ovi navedeni faktori prisutni su tijekom rada rashladnih tornjeva često istovremeno.

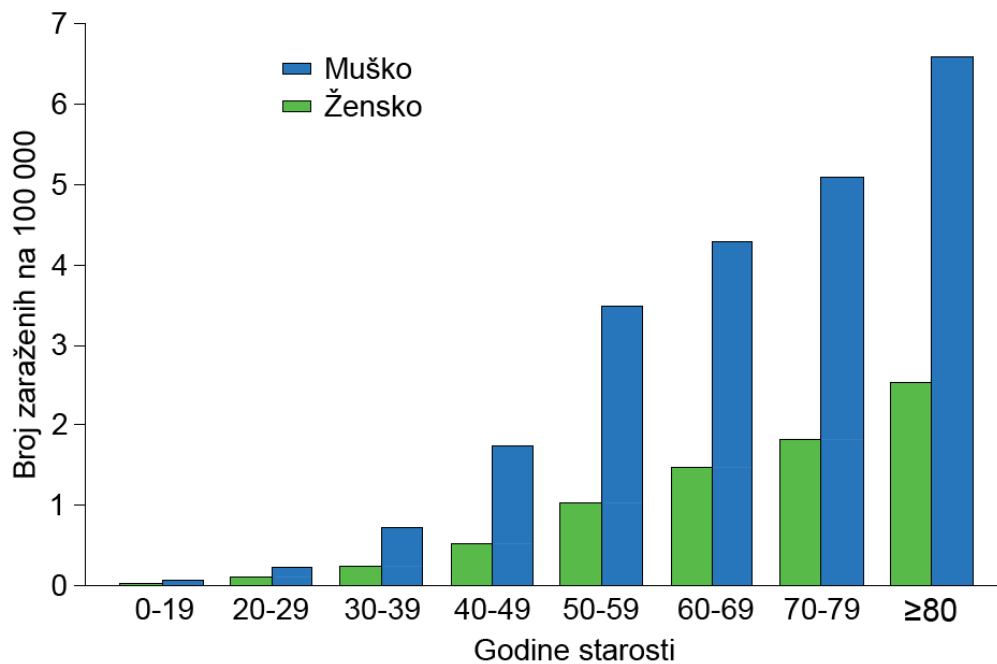
### **Obolijevanje od bakterija roda *Legionella***

Najčešća bolest koju uzrokuje *L. pneumophila* poznata je pod nazivom legionarska bolest, a predstavlja oblik atipične upale pluća. Period inkubacije odnosno vremena proteklog od infekcije do pojave prvih simptoma može trajati od 2 do 10 dana od izloženosti. Ne postoji karakterističan sindrom ove bolesti, a inače povoljan podatak za ljude je da sve osobe izložene bakteriji neće se zaraziti. Ipak može se istaknuti nekoliko simptoma koji se mogu povezati sa zaraženošću *Legionella* spp [7]:

- gubitak snage,
- povišena tjelesna temperatura,
- glavobolja,
- suhi kašalj,
- mogućnost iskašljavanja krvi,
- zimica,
- bol u kostima i mišićima,
- otežano disanje i bol u prsima,
- dijareja (20 do 50 % slučajeva),
- poremećaji u središnjem živčanom sustavu poput zbunjenosti, dezorijentiranosti, depresije, halucijacija, pomahnitalosti,
- zatajenje bubrega,
- hiponatrijemija,...

Ukoliko se pacijent ne liječi, zdravstveno stanje naglo se pogoršava tijekom prvog tjedna uz moguće smrtonosne posljedice. Prvi veći problemi jave se zatajenjem bubrega, a kasnije i ostalih organa. Za potpuni oporavak pacijenta potrebno je pravovremeno i dugotrajno liječenje. Pacijent nakon zaraze može mjesecima osjećati umor, slabost te poteškoće pri disanju. Prema podacima za slučajeve zaraze u Europi [5], u 70 % slučajeva zaraze radi se o muškarcima. Također, češće obolijevaju ljudi starijih dobnih skupina. Kod mladih do 19 godina zabilježen je svega jedan slučaj zaraze na milijun stanovnika. Navedene činjenice

potvrđuju podaci o slučajevima zaraze u 2015. godini na području Europe koji su prikazani slikom 13.

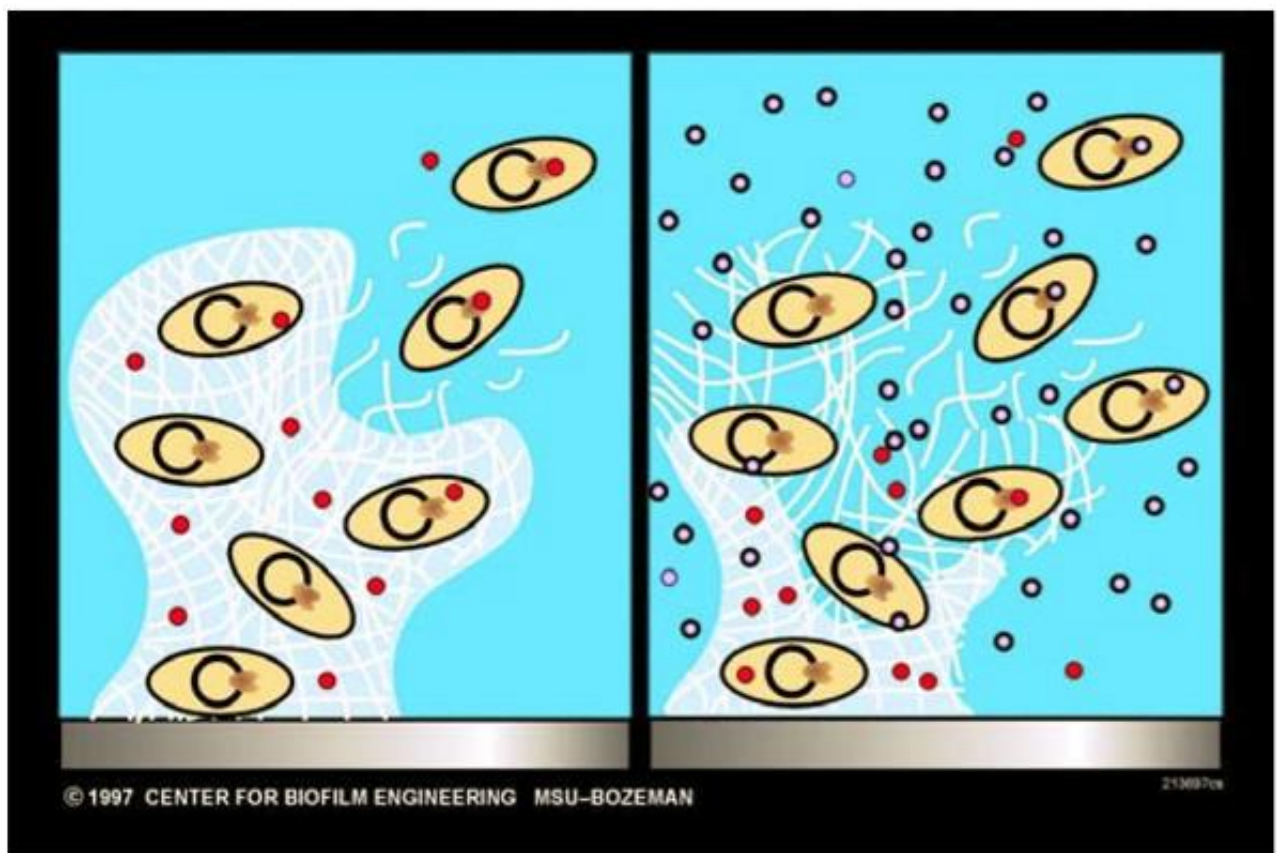


Slika 13: Učestalost zaraze kod ljudi ovisno o dobi i spolu [8]

Drugi najčešći, ali lakši oblik bolesti koji uzrokuje *Legionella* spp. je pontijačka groznica. I u ovom slučaju bakterija napada dišni sustav, ali simptomi su znatno slabiji. Period inkubacije traje od 5 sati do 3 dana, a sama zaraza puno kraće nego kod legionarske bolesti, približno 5 dana. Kod pacijenata se javlja glavobolja, zimica, vrtoglavica, zbunjenost, suhi kašalj i povraćanje. Iako čak 95 % izloženih biva zaraženo, do danas nije zabilježen smrtni slučaj [7]. Treći tip bolesti kojeg izaziva bakterija iz roda *Legionella* je takozvana Fort Bragg groznica. Period inkubacije traje od nekoliko sati do čak 10 dana. Prvi znakovi zaraze su povišena tjelesna temperatura, osjećaj hladnoće, osip na koži i glavobolja. Bolest traje nekoliko dana, a smrtne posljedice nisu zabilježene.

## 4.2. Formiranje biofilma

Naslage koje sadrže bakterije *Legionelle* nazivamo biofilmom. Slično kako je opisano kod anorganskih naslaga kamenca i ostalih zagađivača žarišta formiranja ovog mikroorganizma nastaju na raznim površinama koje su u doticaju s rashladnom vodom.



Slika 14: oslobađanje bakterije *Legionelle* iz biofilma [4]

Slika 13 ilustrira razgradnju biofilma i otpuštanje bakterije u okoliš. Naime uslijed strujanja zraka i vode dolazi do taloženja ali i nakon nekog vremena razgradnje biofilma te se na taj način zagađenje može prenositi unutar ali i izvan samog sustava rashladnog tornja. Također bitno je uočiti taloženje biofilma kako bi se najbrže prepoznalo onečišćenje *Legionellom*.

Mikroorganizmi ulaze u vanćelijsku matricu biofilma koji osigurava strukturu, dostupnost hranjivih tvari i zaštitu od mogućih štetnih efekta.

### 4.3. Specifičnosti zagađenja *Legionellom* kod rashladnih tornjeva

Pri radu rashladnih tornjeva stvaraju se uvjeti povoljni za razvoj Legionele zbog temperature vode i dodira s zrakom. Bakterije se razvijaju u rashladnoj vodi pa je moguće da se rasprše u zrak prilikom ishlapljivanja vode te u masenom toku koji se izbacuje u obliku kapljica. Kako je opisano u poglavlju 2., jednadžbi (5) dolazi do ispuštanja određene količine vode u obliku kapljica u okoliš. Ukoliko je prisutnost *Legionelle* u toj vodi radi se o direktnom ispuštanju u okoliš.

Tablica 3: podaci o emisiji *Legionelle* u okoliš [4]

koncentracija Legionele (kolonija po litri)	gubitak u obliku kapljica (%)	količina aerosoli (kg/h)	broj ispuštenih bakterija Legionele
500,000	0.0005	5	250,000
500,000	0.1	1,000	500,000,000
1,000	0.0005	5	5,000
1,000	0.1	1,000	1000,000

U tablici 3 nalaze se podaci o emisiji *Legionelle* u okoliš u slučaju odnošenja putem kapljica. Jasno je kako je emisija proporcionalna inicijalnoj koncentraciji bakterije u vodi te količini vode koja je odnešena kapljicama. Posebno je važno da se u slučaju većih gubitaka vode putem kapljica ima na umu kako je aerosol lako prenosiva zrakom te ovisno o okolišnim uvjetima može putovati na veće udaljenosti. Podaci sadržani u ovoj tablici pokazuju da će dobro konstruiran toranj, čak i ako je znatno zagađen, ispušta manje *Legionelle* u atmosferu u obliku aerosola nego lošije dizajniran toranj s manjim stupnjem zagađenja.



#### 4.4. Postupci uklanjanja zagađenja *Legionellom* u rashladnim tornjevima

U ovom radu detaljnije će se promatrati tri postupka dezinfekcije *Legionellom*:

- korištenje klora ( $\text{Cl}_2$ )
- korištenje ozona
- korištenje UV zračenja

Kako bi se kontroliralo biološko onečišćenje u rashladnim tornjevima, toranj se mora održavati čistim. Najmanje dva puta tijekom sezone hlađenja, toranj treba isprazniti, očistiti četkom i ostaviti da se potpuno osuši prije ponovnog punjenja. Nakon punjenja, rashladna voda se tretira dodavanjem kemijskih sredstava. Klor i klorirani organski spojevi su najčešće korišteni kemijski inhibitori koji sprječavaju negativan utjecaj bakterija i algi [4].

Postoje dvije vrste antimikrobnih kemikalija ili biocida koji se koriste u programu za obradu rashladne vode kako bi se kontroliralo biološko onečišćenje: oksidirajuća i neoksidirajuća sredstva [4].

- OKSIDIRAJUĆI BIOCIDI

Pod ovu skupinu spadaju tvari kao što su klor, brom i ozon koji oksidiraju odnosno prihvaćaju elektrone od drugih kemijskih spojeva. Navedene tvari reagiraju izravno s mikrobima i degradiraju njihovu staničnu strukturu odnosno deaktiviraju interni sustav enzima. Prodiru u staničnu stijenku i rade poremećaj metaboličkog sustava stanice. Potrebno je upozoriti da oksidirajuće kemikalije, posebno klor, mogu reagirati s čelikom (uključujući i nehrđajući čelik) i uzrokovati brzu koroziju. Da bi se to spriječilo, koncentracije tih kemikalija moraju biti niske, idealno – manje od 0,7 ppm. Oksidirajuće kemikalije moraju biti uvedene u sustav rashladne vode na takav način da se mogu brzo raspršiti kako bi se spriječilo lokalno nastajanje visokih koncentracija.

- NEOKSIDIRAJUĆI BIOCIDI

Ove kemikalije napadaju stanice i oštećuju staničnu membranu ili biokemijsku proizvodnju ili onemogućuju korištenje energije od strane stanice, što rezultira uništavanjem stanice. Može se

reći da se radi o površinski aktivnim biocidima. Tipični neoksidirajući biocidi su izotiazolonski, glutaraldehid, merkaptobenzotiazol (MBT) i polikvat.

Mikroorganizmi u rashladnim vodenim sustavima mogu postati otporni na neku od metoda napada ili mogu već biti više ili manje imuni na jednu vrstu napada. Prema tome, preporučuje se korištenje obje vrste biocida (oksidirajuće i neoksidirajuće) prema periodičnim rezultatima ispitivanja uzorka vode. Ključ uspješnog programa protiv mikroorganizama je održavanje adekvatne razine biocida u svakom trenutku putem kontinuiranog dodavanja sredstava u sustav rashladne vode [4].

#### 4.5. Dodavanje klora

Tretiranje vode klorom čest je način dezinfekcije sustava, a podrazumijeva ubacivanje spojeva koji sadrže klor ili čistog klora u sustav za distribuciju vode. Dva su načina suzbijanja razvoja mikroorganizma klorom: naglim šokom ili kontinuiranim ubacivanjem klora u distribucijsku mrežu. Nagli porast koncentracije klora koristi se u hitnim intervencijama pri čemu se koncentracija čistog klora u vodi održava u granicama 20 do 50 mg/L.

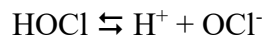
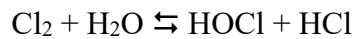
Učinkovitost dezinfekcije povećava se s porastom temperature vode tijekom procesa. Nakon određenog vremena sustav se ispere i koncentracija klora vrati se na normalnu razinu od 2 do 6 mg/L [9]. Ovaj način zaštite primjenjuje se u sustavima tople i hladne vode i često je jedina opcija.

Kod tretiranja vode klorom potrebno je obratiti pažnju na postojanje drugih mikroorganizama u sustavu. U simbiozi s određenim bakterijama poput *Acanthamoebae*, *Legionella* spp. može biti zaštićena od utjecaja klora i podnijeti koncentracije i do 50 mg/L [9]. Postojanje biofilmova u dijelovima sustava gdje koncentracija klora nije tako visoka kao u ostalom volumenu vode i skrivanjem *Legionella* spp. u njima rezultira njenom ponovnom prisutnošću u sustavima nekoliko tjedana nakon snažnog tretiranja klorom.

Za vrijeme pojačanog tretiranja vode klorom potrebno je izdati upozorenje o štetnosti vode po ljudsko zdravlje. Preporuča se provođenje postupka u periodu ne korištenja zgrade. Jedan od velikih problema provođenja ovakvog načina dezinfekcije je taj što česti tretmani klorom štetno djeluju na armaturu i instalacije te mogu dovesti do pojave korozije i propuštanja sustava.

Danas se doziranje klora u vodu uglavnom primjenjuje na dva načina - direktno iz plinskih spremnika ili iz kapljevutih preparata s određenim postotkom aktivnog klora (npr. natrijev hipoklorit).

Otapanje klora u vodi odvija se prema sljedećim reakcijama:



Nedisocirani oblik - hipokloritna kiselina HOCl jače je dezinfekcijsko sredstvo od njezine konjugirane baze - hipokloritnog aniona i pri  $\text{pH} < 7$  većinom se formira HOCl pa je stoga uspješnost dezinfekcije klorom veća kod nižih pH vrijednosti. Često se rashladna voda u recirkulaciji održava pri pH vrijednosti iznad 8, kako bi se smanjila korozija čeličnih dijelova sustava, što bitno smanjuje učinkovitost dezinfekcije klorom.

Uobičajene doze klora za dezinfekciju kod pitkih voda su 0,5 do 2 mg/L, a u izvanrednim prilikama - kao npr. sanacija *Legionella* u rashladnim tornjevima i više od 10 mg/L (detalji npr. u DVGW Radnom listu W 291).

*Prednosti postupka:*

- niski pogonski trošak za velika postrojenja, relativno jednostavno za primjenu i nadzor.

*Nedostatci postupka:*

- kao opasna tvar zahtijeva mnoge zaštitne mjere, pad djelotvornosti na višim pH vrijednostima, nastajanje dezinfekcijskih nusprodukata (trihalometani, halooctene kiseline i dr.).

#### **4.6. Dodavanje ozona**

U novijom sustavima umjesto klorom voda se tretira ozonom. Ozon puno brže reagira s mikroorganizmima od klora, a u odnosu na UV zračenje nije potrebna prethodna filtracija vode. Potrebne koncentracije za uništavanje željenih mikroorganizama još se istražuju, a prema [B] preporučuju vrijednosti izražene u koncentracijama pomnožene s vremenom prikazane su u tablici 4.1.

Tablica 4: Preporučene koncentracije ozona za uništavanje različitih vrsta bakterija [10]

Mikroorganizam	Koncentracija (CT vrijednost) mg·min/L
<i>Bacillus</i>	0,1
<i>Clostridium botulinum spores</i>	0,4
<i>Cryptosporidium</i>	7
<i>E. coli</i>	0,5
<i>Legionella pneumophila</i>	0,1
<i>Pseudomonas</i>	1,5-2
<i>Salmonella</i>	0,1-0,4
<i>Streptococcus</i>	0,1

Na učinkovitost uništavanja mikroorganizama ozonom ne utječu temperatura vode i nečistoće, a njegov utjecaj na stvaranje spojeva štetnih po ljudsko zdravlje još se istražuje. U praksi ozon je naj snažnije oksidacijsko sredstvo koje se koristi u pripremi pitkih voda. Proizvodi se na mjestu korištenja, snažnom električkom uzbudom kisika. Može se generirati iz struje čistog kisika ili iz zraka.

*Prednosti postupka:*

- naj snažnije je dezinfekcijsko sredstvo, iznimni efekti ozona mogu se koristiti u bilo kojem dijelu tehnološkog procesa, ako se priprema iz zraka - nema transporta i skladištenja kemikalija, njegovom primjenom ne nastaju štetni klorirani ugljikovodici, ne izaziva neugodne mirise i okuse u vodi.

*Nedostatci postupka:*

- nepostojanje rezidualnog djelovanja, ograničena upotreba kod voda koje sadrže bromide zbog nastajanja štetnih produkata bromata.

## 4.6. UV zračenje

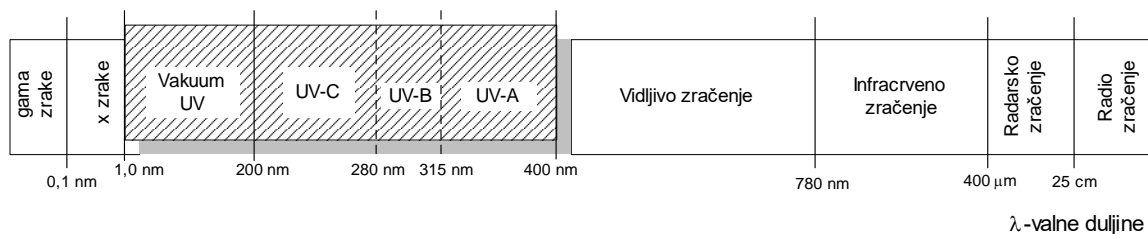
Ultraljubičasto zračenje je zanimljiva alternativna metoda za inaktiviranje bakterija *Legionella*; Međutim, ova tehnika je do prije nekoliko godina bila ograničena na uporabu za vodu na temperaturi ispod 30-35 ° C.

Nedavno su ta ograničenja prevladana znanstvenim istraživanjima, tako da sada postoje svjetiljke sposobne kontinuirano pratiti kvalitetu ultraljubičastih emisija.

Ultraljubičasto zračenje (UV) elektromagnetsko je zračenje s valnim duljinama od 10 do 400 nm, odnosno manjim valnim duljinama od vidljive svjetlosti. Ultraljubičasto zračenje obično

se dijeli na UVA ili dugovalno (400-315 nm), UVB ili srednjevalno (315-280 nm) te UVC ili kratkovalno (< 280 nm) .

Kod primjene UV zračenja kao dezinfekcijske metode, najvažnija zona zračenja je UV-C područje, s naglaskom na valnu duljinu oko 254 nm, kao najprikladniju za inaktivaciju mikroorganizama.



Slika 15: Spektar elektromagnetskog zračenja s naglašenim zonama unutar UV zračenja [11]

Uređaj za dezinfekciju mora osigurati odgovarajuću dozu UV zračenja kako bi se postigao zahtijevani germicidalni učinak. Prosječna doza UV zračenja ovisi o intenzitetu zračenja izvora - UV svjetiljke, vremenu ozračivanja te transmisiji UV zračenja kroz vodu.

$$D = I \times t$$

$D$  - Doza zračenja,  $Ws/cm^2$  ili  $J/cm^2$

$I$  - Intenzitet zračenja uređaja,  $W/cm^2$

$t$  - vrijeme ozračivanja, s

Tablica 5: vrijednosti (doza zračenja) za različite redukcije bakterija *Legionella pneumophila*[12]

Bakterija	Tip svjetiljke	UV doza – $D$ , $mJ/cm^2$ , za zadanu log redukciju (1-5)				
		1	2	3	4	5
<i>Legionella pneumophila</i>	niskotlačna	3,1	5	6,9	9,4	n/p
<i>Legionella pneumophila</i>	srednjetačna	1,9	3,8	5,8	7,7	9,6

Osim toga, takva tehnika nije adekvatna kao jedinstvena metoda za cijeli sustav rashladne vode, budući da ne posjeduje rezidualni učinak, dok *Legionella* živi u biofilmovima, u mrtvim zonama i u stajaćim dijelovima postrojenja. Zbog toga se istovremeno upotrebljavaju otopine hiper-kloriranja ili otopine vodikovog peroksida i soli srebra; zapravo, upotreba kemijskih biocida može intervenirati u prethodno postojećem stanju postrojenja i eliminirati biofilm i bakterijske kolonije unutar distribucijske mreže, čak i na značajnoj udaljenosti od točke u kojoj je instalirana UV lampa.

*Prednosti postupka:*

- jednostavnost instalacije sustava
- nedostatak "kolateralnih" učinaka na vodu, nema učinka na okus vode i ne nastaju nusproizvodi
- veća djelotvornost ako se ugradi blizu točaka korištenja vode
- nepostojanje kolateralnih učinaka na cjevovod, tj. ne uzrokuje koroziju materijala i čak ni odljepljivanje cinka
- visoka dezinfekcijska učinkovitost za bakterije, viruse i spore, efikasniji za spore, ciste i većinu virusa u odnosu na klor,
- ne postoji rezidualno štetno - toksično djelovanje,
- ne zahtijeva posebne mjere sigurnosti (kao kod klornih spojeva), potreban mali prostor za ugradnju, jednostavan pogon i održavanje, niski investicijski i pogonski troškovi.

*Nedostatci postupka:*

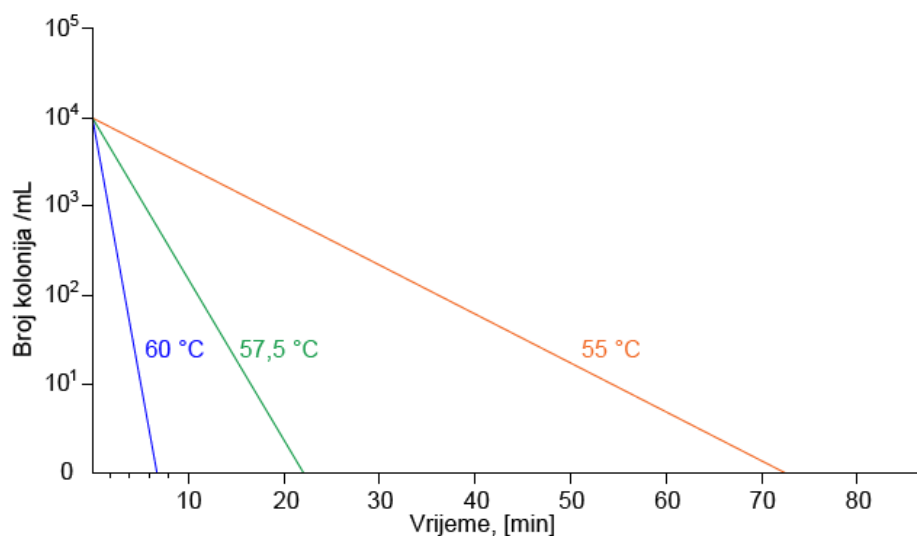
- preklapanje točaka ozračivanja uopće ne postoji
- kada se žarulje primjenjuju u blizini mjesta korištenja vode, filter se mora postaviti uzvodno kako bi se zaštitile svjetiljke od prljavštine
- antikorozivna i antibakterijska obrada vode potrebna je kako bi se spriječilo stvaranje naslaga i produžio vijek trajanja uređaja
- voda koja se tretira mora imati što je moguće manju mutnoću, inače UV svjetlo više ne može uništiti bakteriju
- iz istog razloga treba izbjegavati visoke koncentracije željeza i mangana u vodi
- ograničen utjecaj zbog nedostatka rezidualne zaštite na udaljenim točkama sustava

Dosta obećavajući koncept primjene UV zračenja u borbi protiv *Legionella* je tzv. *Aachenski koncept*: kombinacija decentralizirano instaliranih UV reaktora prilagođenih za povišene temperature vode uz polugodišnja dezinficirajuća ispiranja i strogu kontrolu doze ozračenja te mutnoće PTV-a.

#### 4.7. Termička dezinfekcija vode

Iako se praksa termičke dezinfekcije na primjenjuje u rashladnim tornjevima, ovdje se navodi kako bi se upotpunila slika o načinima dezinfekcije vode.

*Legionella* može trajno preživjeti pri temperaturama vode od 25 do 50 °C, a idealni uvjeti za razmnožavanje su od 32 do 42 °C. Minimalna temperatura za uništavanje je 50 °C, a s porastom temperature smanjuje se potrebno vrijeme održavanja vode radi uništavanja mikroorganizama. Temperaturno-vremenska funkcija koja određuje potrebno vrijeme tretiranja vode pri određenim temperaturama prikazana je na slici 16.



Slika 16.: Temperaturno vremenska funkcija termičke dezinfekcije vode (adaptirano prema [13])

Već nakon nekoliko minuta pri temperaturi vode od 60 °C dolazi do potpunog uništavanja bakterije, a pri temperaturi iznad 70 °C bakterija može preživjeti svega nekoliko sekundi. Za kvalitetno termičko uništavanje *Legionella* spp. bilo bi potrebno periodičko zagrijavanje vode u bazenu na temperature iznad 70 °C uz ispiranje cjevovoda vodom temperature najmanje 65 °C u trajanju od 10 do 30 minuta. Naravno, takva metoda u sustavu rashladne vode bila bi

neekonomična te bi zahtijevala preduge intervale hlađenja vode na radne temperature tipične za rashladne sustave (20-35°C).

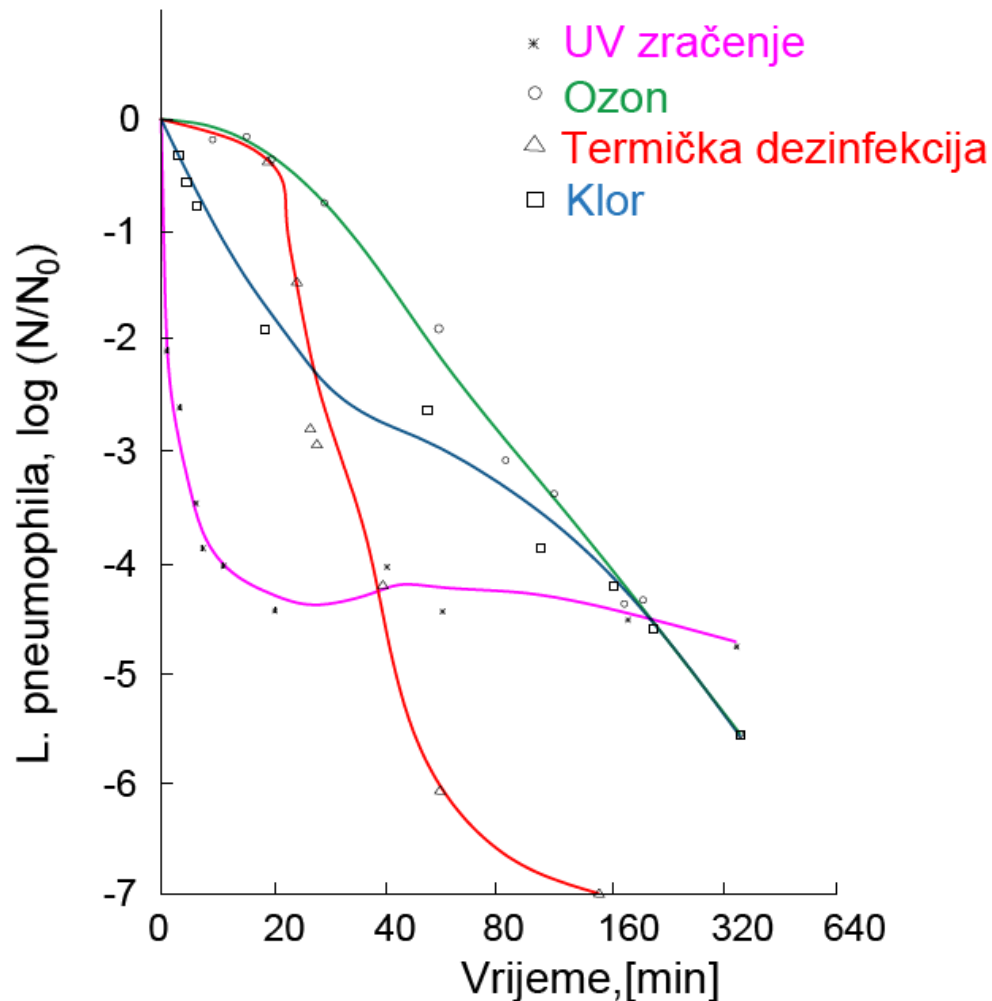
Razvoj *Legionella* moguć je nakon termičke dezinfekcije ukoliko su unutar sustava formirani biofilmovi. Uz povoljne uvjete poput koncentracije kisika i prisutnost hranjivih tvari moguć je ponovni brz razvoj bakterije iz biofilмова nakon termičke dezinfekcije sustava. Za smanjenje razvoja nužno je koncentraciju otopljenog kisika držati ispod 2,2 mg/L jer pri povećanim koncentracijama stvaraju se povoljni uvjeti za razmnožavanje [2].

Gdje god je moguće potrebno je periodičko ispiranje sustava u periodima kad nema korištenja (npr. vikendom). Ukupno vrijeme ispiranja može se smanjiti tako da se istovremeno uključi više trošila pri čemu se mora paziti da se ne prekorači kapacitet grijača što bi dovelo do pada temperature vode. Nakon završetka procesa preporuča se prikupljanje uzoraka vode iz sustava te kontrola koncentracije bakterija kako bi se utvrdila efikasnost procesa .

#### **4.8 Usporedba efikasnosti različitih metoda za dezinfekciju vode**

Na eksperimentalnom sustavu koji se sastoji od bakrenih cijevi, slavine od mesinga, rezervoara od pleksiglasa, crpke te spremnika tople vode s električnim grijačem provedena su mjerenja različitih metoda dezinfekcije vode [14]. Prije testiranja u vodu je umjetnim putem dodana količina *Legionella pneumophila* od  $10^7$  u jednom mililitru vode.





Slika 17: Učinkovitost različit metoda uništavanja bakterije *L. pneumophila*

Na slici 17 prikazani su utjecaji različitih postupaka na uništavanje bakterije.  $N_0$  je početni broj bakterija u sustavu dok je  $N$  broj bakterija u određenom trenutku. Dezinfekcija klorom u koncentraciji od 4 do 6 mg/L rezultira smanjenjem koncentracije 5 do 6 log tijekom perioda od približno 6 sati. Najučinkovitija metoda uništavanja bakterije je termičkom dezinfekcijom, a rezultati su prikazani za temperature vode u sustavu od 50 do 60 °C. Rezultati za uništavanje ozonom dobiveni su pri ubacivanju 1 do 2 mg/L ozona u sustav. UV zračenje provedeno je uz intenzitet zračenja od 30 mJ/cm<sup>2</sup>.

Detaljan prikaz rezultata može se pronaći u [14] gdje je uz navedeno prikazan i utjecaj temperature vode te otopljenih tvari na učinkovitost svakog od postupaka. Temperatura vode znatno utječe samo u slučaju korištenja klora, dok na učinkovitost ostalih metoda uništavanja mikroorganizama nema utjecala. Mutnoća vode te količina ostalih nečistoća utječe samo na učinkovitost UV zračenja jer štiti mikroorganizme od ozračivanja.

## 5. OSTALI UTJECAJI NA OKOLIŠ

### 5.1. Vizualni utjecaj i kontrola maglice

Industrijski rashladni tornjevi su velike građevine koje mogu imati veliki utjecaj na izgled lokalnog mjesta, osobito atmosferski hiperbolični tornjevi. Problem vizualnog utjecaja obično je riješen uspostavljanjem dobrog odnosa s lokalnom zajednicom. Međutim, u težim slučajevima mora se pribjeći odabiru tornja drugačije vrste, oblika ili veličine. Danas postoji velik izbor raznih tornjeva, osim što mogu biti viši i uži ili niži i širi, također se može ugraditi više manjih tornjeva.

Rashladni tornjevi također stvaraju perjanicu magle, čija gustoća i konzistentnost ovisi o toplinskom opterećenju sustava te trenutnim atmosferskim prilikama. Perjanica je vidljiva zbog svoje povišene temperature i povećanog sadržaja vlage u odnosu na okolni zrak. Laici ponekad misle da je maglica iz rashladnog tornja dim, što je dakako netočno. Realniji je problem što se maglica često spušta u okolinu tornja. Kada su niske temperature, ta vlaga se smrzava na okolnim površinama, što je dodatni neželjeni efekt.

### 5.2. Buka

Buka od rashladnih tornjeva javlja se uglavnom zbog korištenja motora ventilatora i strujanja vode. Zvuk je posljedica potrošnje energije, pa učinkovitiji tornjevi osim što troše manje energije, stvaraju i manje buke. Upotrebom elektromotora s regulacijom brzine vrtnje, moguće je značajno smanjiti buku pri smanjenim opterećenjima. U ekstremnim slučajevima moguća je ugradnja prigušivača zvukova. Ta je metoda vrlo skupa, budući da toranj mora biti predimenzioniran kako bi se kompenzirali padovi tlaka kroz eliminatore kapljica.

## 6. ODRŽAVANJE

Rashladni tornjevi su odlični čistači vanjskog zraka te kvaliteta vode odnosno podložnost onečišćenju uvelike ovisi o čistoći vanjskog zraka. Plan kontrole i čišćenja rashladnog tornja trebao bi se prilagoditi ovisno o lokaciji na kojoj se rashladni toranj nalazi. Razne filtracije i kemijske obrade vode nisu zamjena za fizičko čišćenje rashladnih tornjeva. One omogućuju poboljšanje kvalitete vode te samo smanjuju broj potrebnih fizičkih čišćenja. Dakle, povećavaju intervale između potrebnih čišćenja. Rashladni tornjevi bi se trebali čistiti svako toliko da se ograniči stvaranje sedimenata i algi. Čistoća tornjeva bi trebala biti ogled koliko se održava sustav budući da se mogu vrlo lako vizualno pregledati i to bez prekida pogona. Slabo čišćeni tornjevi imaju više naslaga (sedimenata) te zahtijevaju više biocida kako bi se mikrobiološka populacija u vodi držala pod kontrolom, budući da organski sedimenti neutraliziraju biocide. Biocidi u tom slučaju ne dopijevaju do površina ispod sedimenta te su te površine nezaštićene. Visoke koncentracije oksidirajućih biocida pridonose koroziji. Osim čišćenja posude rashladne vode, treba očistiti i ostale komponente rashladnog tornja kao što su distribucijski sustav vode, eliminator kapljica, rešetke gdje ulazi zrak itd.

Rad i učinkovitost rashladnih tornjeva standardiziran je međunarodnom normom ISO 16345:2014 - Rashladni tornjevi hlađeni vodom – Ispitivanje i utvrđivanje termičke učinkovitosti (*Water-cooling towers — Testing and rating of thermal performance*).

Neki od postupaka održavanja podrazumijevaju:

- Redovito čišćenje začepljenih sapnica kako bi se ostvarila ravnomjerna distribucija tople vode
- Voda u podnožju (posudi) rashladnog tornja bi se trebala održavati na razini određenoj od strane proizvođača. Razina vode mora biti dovoljno velika da se omogući taloženje većine krutih čestica na dnu. Time se poboljšava kvaliteta vode koju pumpa uzima i doprema prema sustavu.
- Treba provjeravati vizualno vodu u posudi, koja bi trebala biti čista (prozirna). Na površini vode ne bi smjelo biti uljnog filma kao ni prevelikog pjenjenja. Veliko pjenjenje vode može značiti višak organskih tvari koje omogućuju razvoj bakterija.
- Potrebno je provjeravati bazen hladne vode na moguće pojave korozije, nastale naslage i nastanak algi.

- Provjeravati stanje grijača bazena koji sprječava zamrzavanje vode pri niskim temperaturama.

Problem neredovitog održavanja sustava rashladnih tornjeva može posljedično donijeti još veće troškove budući da se povećava učestalost čišćenja i zamjene pojedinih dijelova. Potrebno je napomenuti da za vrijeme popravka i zamjene oštećenih dijelova, rashladni toranj uglavnom ne može biti u funkciji čime se onemogućuje normalan rad procesa kojem rashladni toranj služi.

## 7. ZAKLJUČAK

Za neometani rad rashladnog tornja i produljenje životnog vijeka, rashladna voda u optočnim sustavima mora biti tretirana. Stvaranje kamenca, mulja, korozije i razvoj mikroorganizama neke su od osnovnih posljedica koje mogu nastati primjenom netretirane vode ili lošeg plana obrade vode. Osim utjecaja rashladne vode na rashladni toranj i korištenu opremu, nužno je uzeti u obzir i moguće zdravstvene posljedice za ljude, uzrokovane razvojem mikroorganizama.

Plan obrade vode u osnovi se radi u ovisnosti o kemijskom sastavu svježe dodane vode, okolišu u kojem je rashladni toranj smješten i željenim svojstvima rashladne vode. U praksi postoje različita rješenja obrade vode, stoga plan obrade vode za jedan rashladni toranj ne mora nužno odgovarati za drugi, smješten na različitoj lokaciji.

Kao preventivno rješenje, u rashladnim tornjevima, koriste se različiti inhibitori korozije, taloženja i biocidi od kojih svaki ima svoju ulogu. Osim korištenja konvencionalnih kemijskih sredstava, moguće je koristiti neke od alternativnih metoda kao što su obrada ozonom i UV-C zračenjem.

Tijekom rada rashladnog tornja, dolazi do gubitaka vode ishlapljivanjem, odmuljivanjem i gubitaka kapljica vode, koje su odnesene strujom zraka. Gubitak vode zahtijeva dodavanje iste količine svježe vode u sustav, što se može izračunati preko bilance mase.

Prije puštanja rashladnog tornja u potpuni rad, bitno je napraviti predobradu (pripremu) površina koje su u kontaktu s rashladnom vodom. U današnje vrijeme, sustavi za kontrolu kvalitete vode su u potpunosti automatizirani. Informacije prikupljene pomoću osjetnika (senzora) omogućuju pravovremeno dodavanje kemikalija, svježe vode ili provođenje odmuljivanja.

S ekološkog i zdravstveno-sigurnosnog aspekta, potrebno je pažljivo upravljati s korištenim kemikalijama. Za ispravan rad, potrebno je periodično izvršiti potpuno čišćenje površina.

**Literatura**

- [1] Galović, A. Nauka o toplini II, Fakultet strojarstva i brodogradnje, udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1997..
- [2] Niz autora tvrtke „Marley“, Cooling Tower Fundamentals (second edition), SPX Cooling Technologies, 2006.
- [3] Zabilješke s predavanja, prof.dr.sc. Davor Ljubas, kolegij Voda, gorivo i mazivo - E, ak.god. 2015./16..
- [4] Hensley, J.C. Cooling tower fundamentals, SPX Cooling technologies, Overland Park - Kansas, 2006.
- [5] N.P. Cheremisinoff, P.N. Cheremisinoff: Cooling towers (Selection, Design and Practice), Ann Arbor Science Publishers, 1981.
- [6] Stamford III, H.W., HVAC Water chillers and cooling towers, CRC Press, Boca Raton, London, New York, 2012.
- [7] Bartram J, Chartier Y., Lee J. v., Pond K., Surman-Lee S. (urednici): Legionella and the prevention of legionellosis, World Health Organisation, Ženeva, 2007.
- [8] European Centre for Disease Prevention and Control. Legionnaires disease in Europe (2015), Stockholm, 2017
- [9] Technologies for *Legionella* Control: Scientific Literature Review, United States Environmental Protection Agency, Office of Water, 2015
- [10] <http://www.ozonetech.com/water-treatment/ozone-disinfection-drinking-water> (posljednji pristup 20.11.2019.)
- [11] Ljubas, D. 2004. Mogućnosti primjene magnetičnih fotokatalizatora u tehnologiji pripreme pitke vode, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb
- [12] Chevrefils, G., Caron, E., Wright, H. Sakamoto, G. Payment, P. Barbeau, B. Cairns, B (2006): UV dose required to achieve incremental Log inactivation of bacteria, protozoa and viruses. IUVA News, 8, 38-45 ([https://iuvanews.com/stories/pdf/IUVANewsV8N1\\_2006.pdf](https://iuvanews.com/stories/pdf/IUVANewsV8N1_2006.pdf), pristup: 20.11.2019.).
- [13] Rakić A., Ljoljo D., Ljubas D.: Tehničke mjere za sprječavanje razmnožavanja bakterija *Legionella spp.* u sustavima za opskrbu toplom vodom, Hrvatske vode, str. 109-118, (24) 2016.
- [14] Maruca P., Stout J. E., Yu V. L.: Comparative assesment of Chlorine, Heat, Ozone, and UV Light for killing *Legionella pneumophila* within Model Plumbing System, Applied and Environmental Microbiology, str. 447-453, 1987

