

# SEMINAR:

## Higijenski aspekti projektiranja vodnih i KGH sustava: propisi, norme, rješenja

### KLIMATIZACIJSKI SUSTAVI - mogući izvori kontaminacije legionelom i rješenja

Predavač: Robert Marinić, mag. ing. mech.

e-mail: [robertmarinic.da@gmail.com](mailto:robertmarinic.da@gmail.com)

Ustanova: ENERGO-AQUA j.d.o.o., Daruvar



[www.energo-aqua.hr](http://www.energo-aqua.hr)

Zagreb, 15. ožujka 2024.

## 1.2. PODJELA SUSTAVA KLIMATIZACIJE PREMA DIN 1946

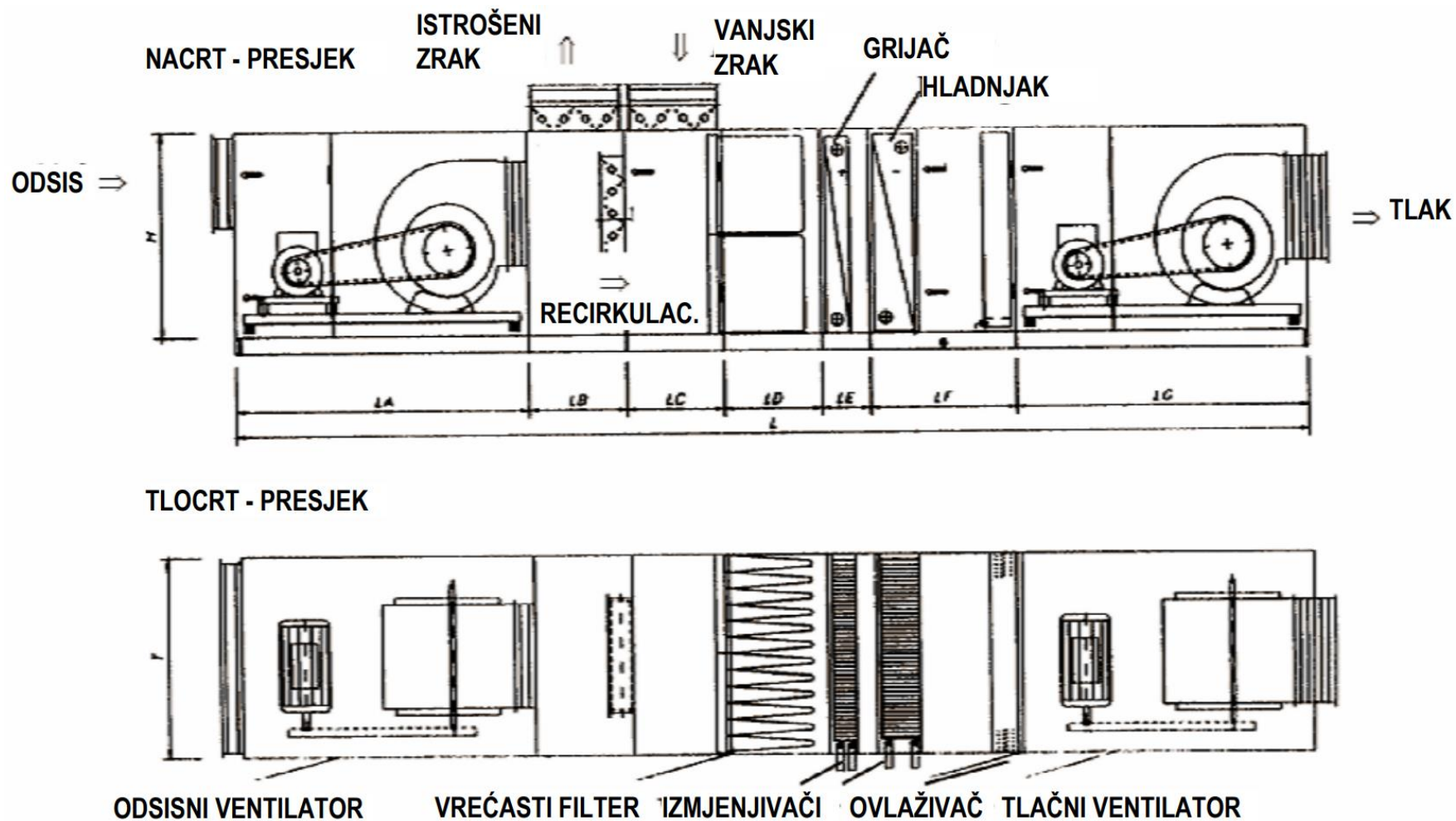
Podijela prema mogućnosti sustava da izvrši četiri osnovna termodinamička procesa pripreme vlažnog zraka:

- (1) grijanje                      (2) hlađenje
- (3) ovlaživanje                (4) odvlaživanje

### Podijela prema DIN 1946:

1. Sustav ventilacije (vrši jedan od gore navedenih procesa)
2. Sustav djelomične klimatizacije (vrši dva ili tri od navedenih procesa)
3. Sustav klimatizacije (vrši sva četiri procesa cjelogodišnje)

## 1.3. CENTRALNA KLIMA JEDINICA



Slika 1. Shematski prikaz centralne klima-jedinice

([www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/newsboard/11\\_10\\_2007\\_7911\\_5\\_PODJ\\_KLIM07.pdf](http://www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/newsboard/11_10_2007_7911_5_PODJ_KLIM07.pdf) – doc.dr. Igor Balen, Klimatizacija – podjela sustava klimatizacije, predavanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb)

## 2. KRITIČNE TOČKE ZA RAZVOJ LEGIONELA U KLIMATIZACIJSKOM SUSTAVU

1. Odvlaživanje

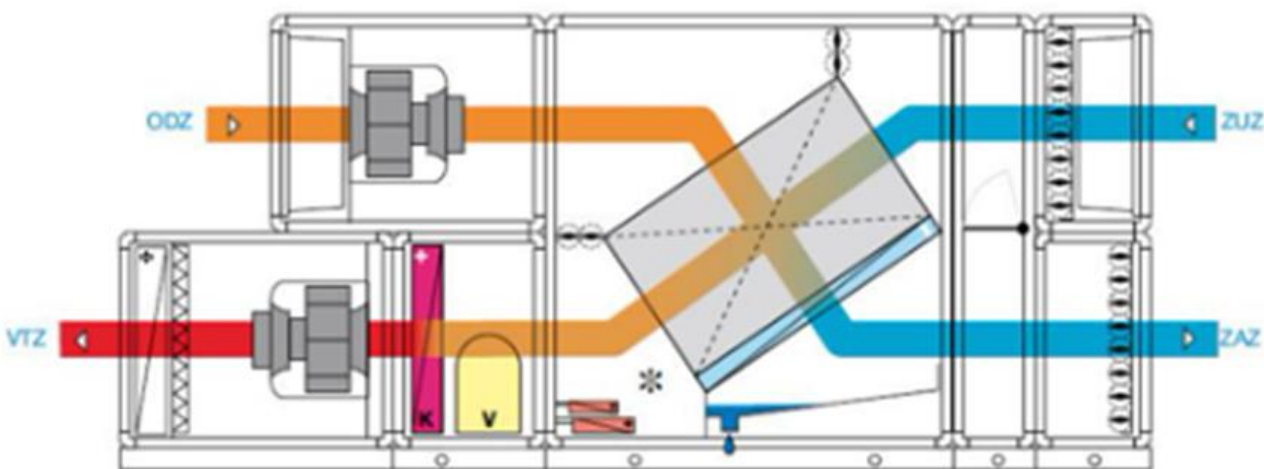
2. Ovlaživanje

3. Rashlađivanje evaporativnim uređajima-RASHLADNI TORANJ

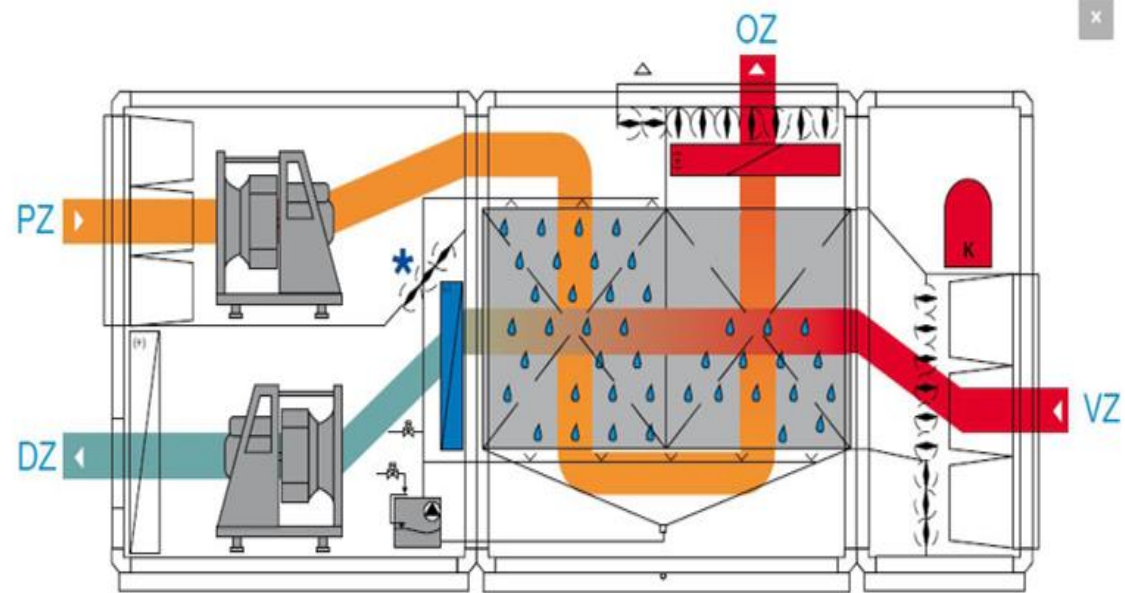
Kapljevita voda (kondenzat) u ovim elementima klimatizacijskih sustava predstavlja zonu za rast i razvoj patogenih mikroorganizama (među njima i bakterije roda *Legionella*) i potrebno je stalno kontrolirati sastav i osiguravati dezinfekcijsko djelovanje na razne načine kako bi se sprječio njihov nekontroliran rast i štene posljedice za ljude.

## 2.1. ODVLAŽIVANJE

Pri odvlaživanju na klima-komorama, rizično područje je posuda (tava) za skupljanje kondenzata. Ako je prilikom odvlaživanja količina kondenzata tako intenzivna da se u posudi zadržava kondenzat, a ukoliko nema filtera koji sprečavaju prolaz čestica od 2 do 5 $\mu$ m, onda postoji opasnost da će se to područje kontaminirati bakterijama. Zrak koji prelazi preko vodene površine, zbog turbulencije će na tom području sa sobom ponijeti i aerosol kontaminiran s bakterijama.



Slika 2. Shematski prikaz strujanja u klima-komori s rekuperatorom i skupljačem kondenzata



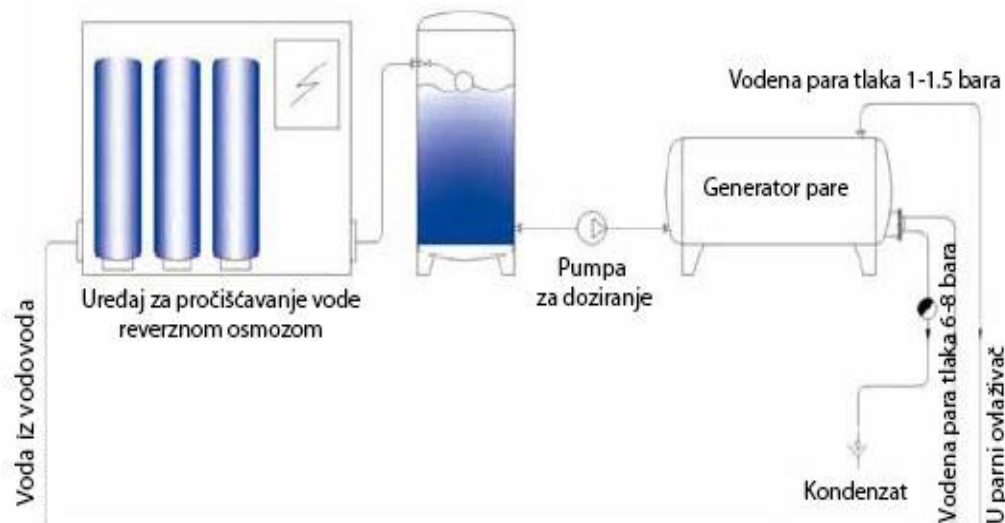
Slika 3. Shematski prikaz strujanja u klima-komori s rekuperatorom i skupljačem kondenzata, MENERGA klima-komora

## 2.2. OVLAŽIVANJE

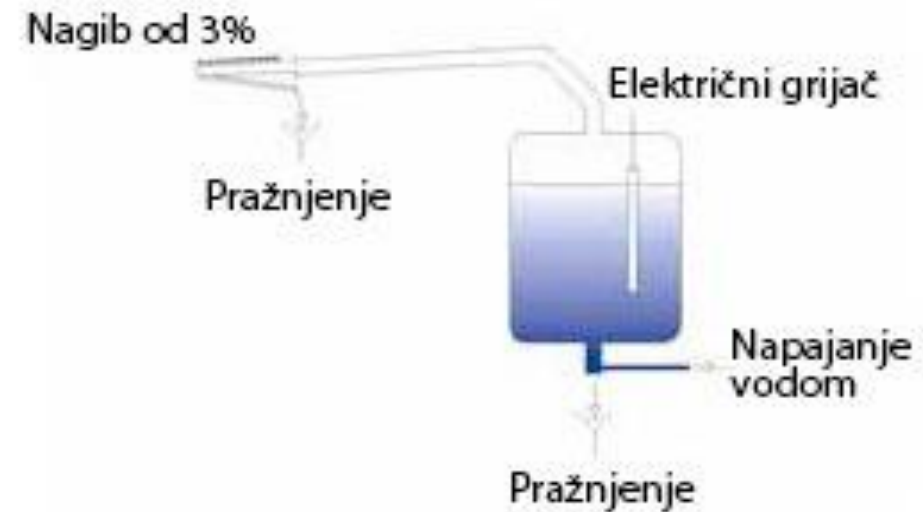
Uređaji za ovlaživanje trebaju kontrolirano povećati sadržaj vodene pare u mješavini vlažnog zraka.

Ovlaživači se mogu podijeliti u dvije grupe:

### a) Parni ovlaživači



**Slika 4. Proizvodni sustav za čistu paru za potrebe ovlaživanja**, REHVA Legionellosis Prevention in Building Water and HVAC Systems, Guidebook No 18, 2013.



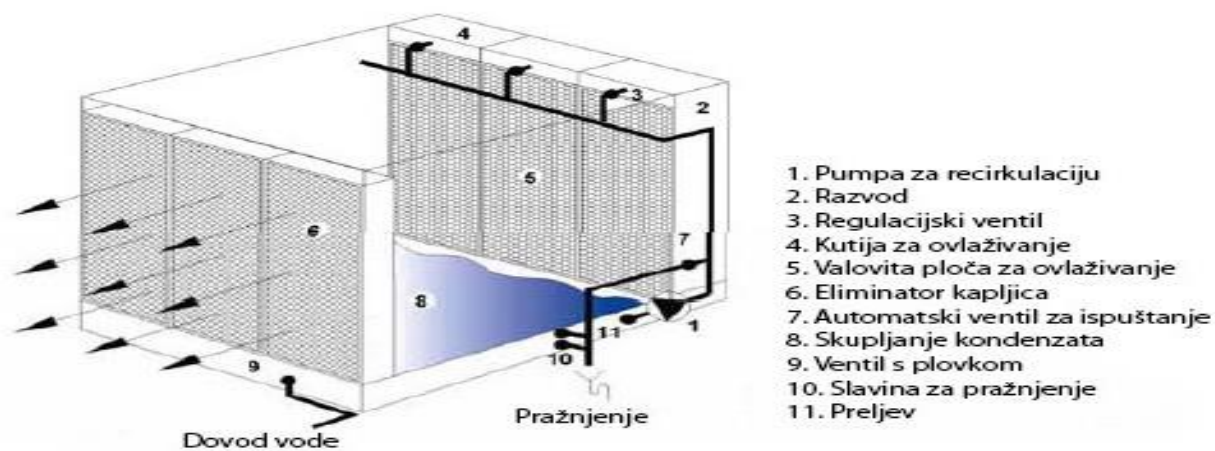
**Slika 5. Električni ovlaživač s elektrodama**, REHVA Legionellosis Prevention in Building Water and HVAC Systems, Guidebook No 18, 2013.

## b) Adijabatski ovlaživači

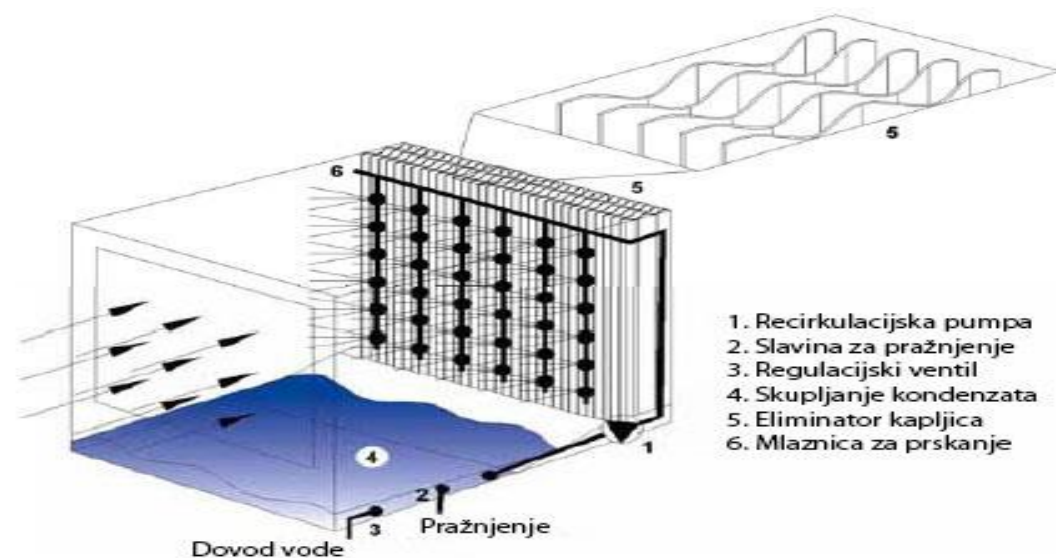
Adijabatski ovlaživači povećavaju prirodno isparavanje vode stvarajući neposredni kontakt između zraka koji se ovlažuje i vode; prvi osigurava opskrbu toplinskom energijom koja je potrebna za potrebno ishlapljivanje. Ovaj prijenos energije dovodi do hlađenja zraka, koji se, u većini slučajeva, mora naknadno zagrijati kako bi se temperatura dovela do projektiranih vrijednosti.

Vrste adijabatskih ovlaživača:

### 1.) Ovlaživanje ishlapljivanjem



**Slika 6. Ovlaživač zraka za isparavanje s recirkulacijom vode ugrađen je u jedinicu za zrak, REHVA Legionellosis Prevention in Building Water and HVAC Systems, Guidebook No 18, 2013.**

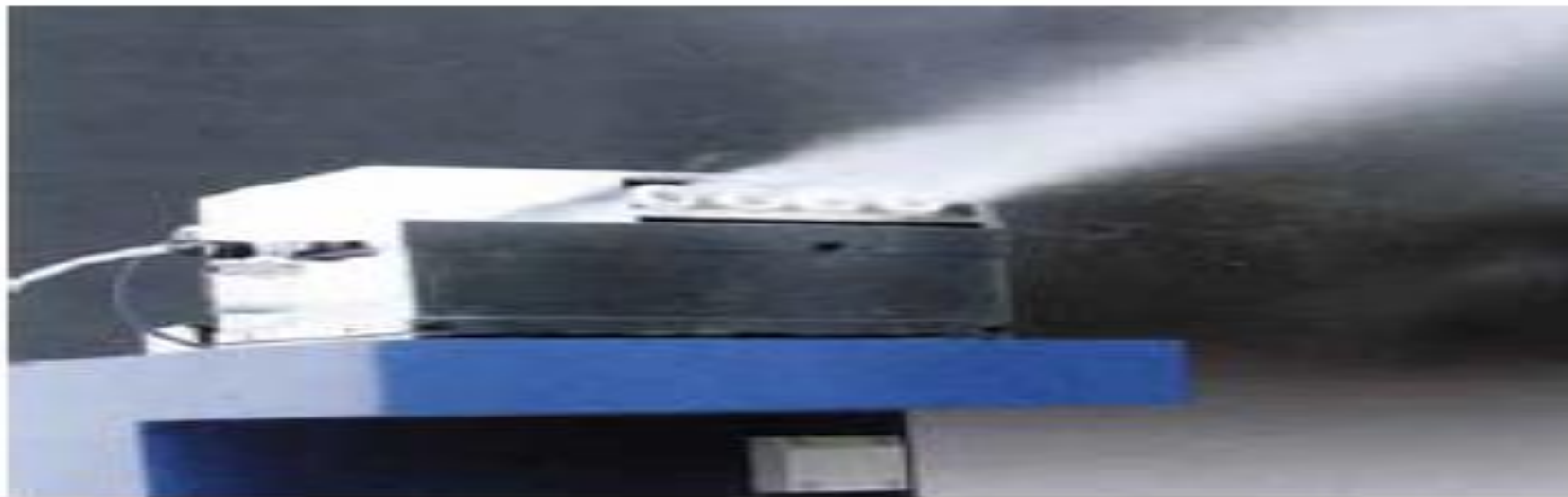


**Slika 7. Shematski crtež adijabatskog ovlaživača umetnutog u jedinicu za obradu zraka, REHVA Legionellosis Prevention in Building Water and HVAC Systems, Guidebook No 18, 2013.**

## 2.) Ultrazvučni ovlaživači zraka

Demineralizirana voda podvrgnuta je kavitaciji i visokofrekventnim mehaničkim vibracijama uzrokovanim piezoelektričnim pretvaračem, uronjenim u vodu.

Kombinacija ova dva učinka generira gustu maglicu sastavljenu od vodenih čestica promjera između 3 i 5 um.

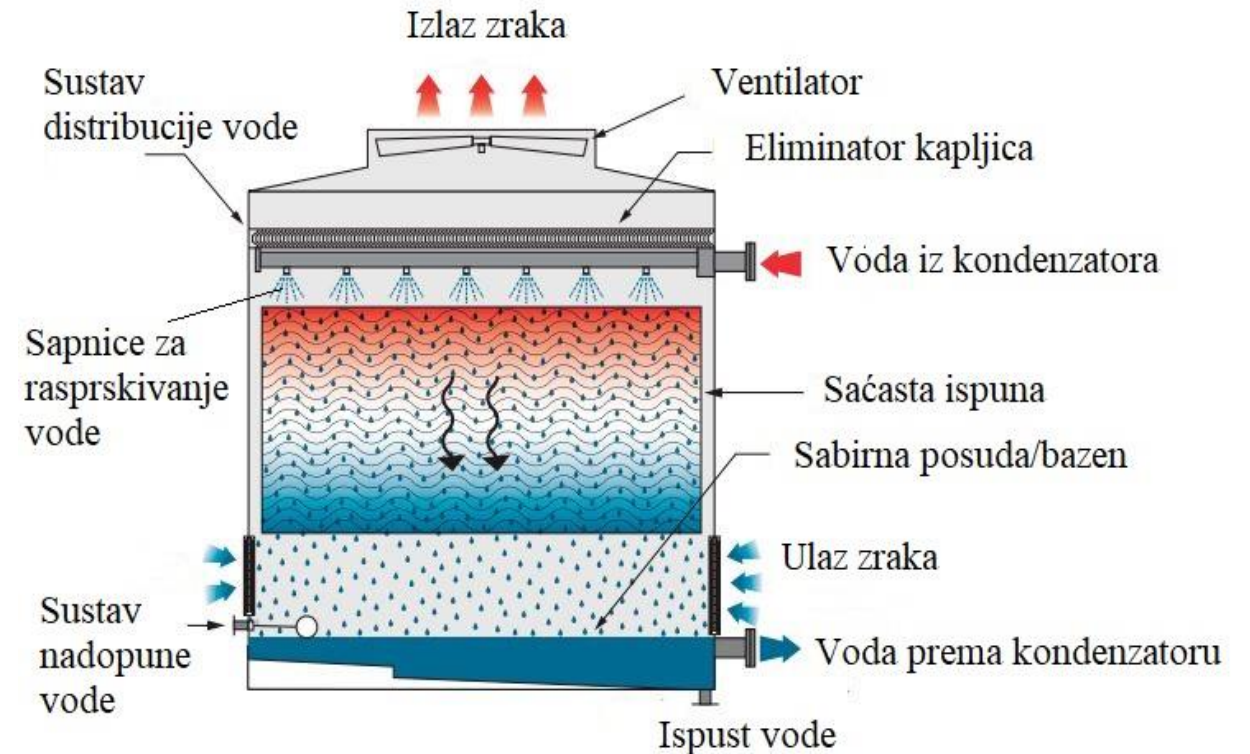


Slika 8. Uređaj za ultrazvučno ovlaživanje s automatskim radom REHVA  
Legionellosis Prevention in Building Water and HVAC Systems, Guidebook No  
18, 2013.

## 2.3. RASHLAĐIVANJE EVAPORATIVNIM UREĐAJIMA - RASHLADNI TORANJ

Glavne komponente rashladnog tornja čine:

1. Ventilator
2. Eliminator kapljica
3. Sapnice za rasprskavanje vode
4. Saćasta ispuna
5. Sabirna posuda
6. Sustav nadoknade svježe vode
7. Sustav distribucije vode
8. Ispust vode



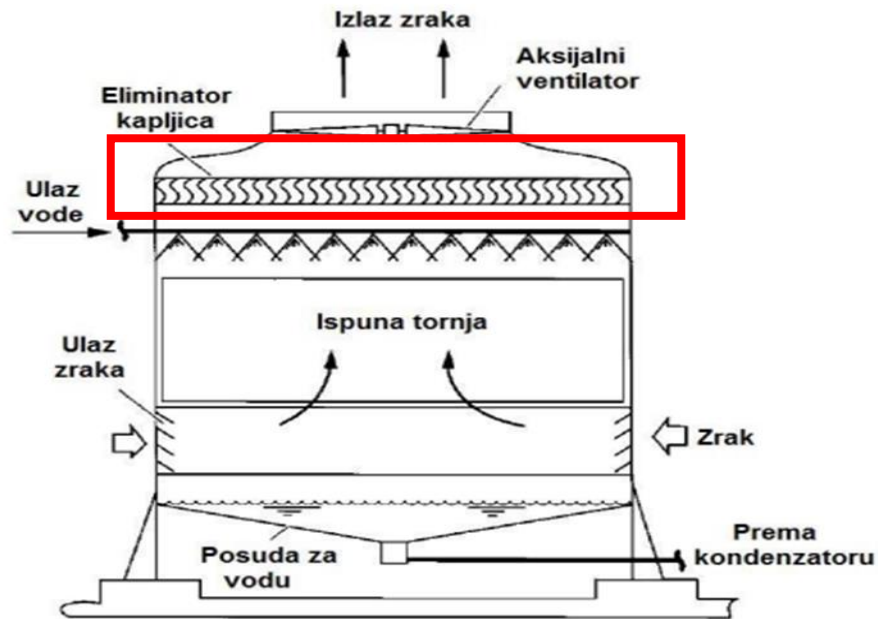
**Slika 9. Prikaz rashladnog tornja s glavnim komponentama,**

Niz autora inženjerskog udruženja „The Chartered Institution of Building Services Engineers“ : *Minimising the risk of Legionnaires' disease*, London, 2013

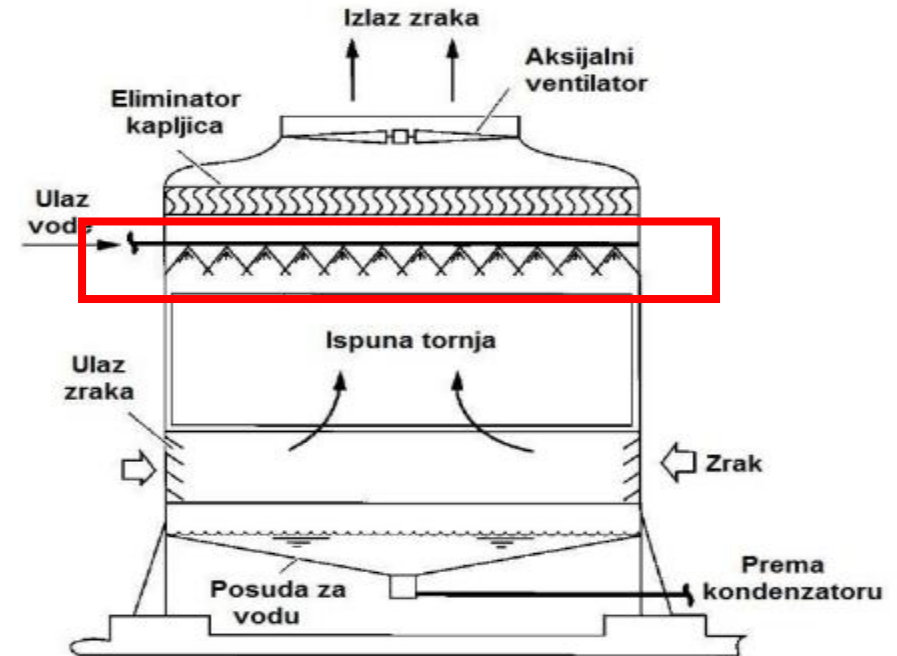
## 2.3. RASHLAĐIVANJE EVAPORATIVNIM UREĐAJIMA - RASHLADNI TORANJ

Evaporativni rashladni tornjevi su uređaji za odbacivanje topline sadržane u procesnoj (rashladnoj) vodi u atmosferski zrak, preko izmjenjivača topline. Često se koriste u klimatizacijskim sustavima u objektima i obično postavljaju na vrh (krov) građevine.

Rizična područja kod rashladnih tornjeva:



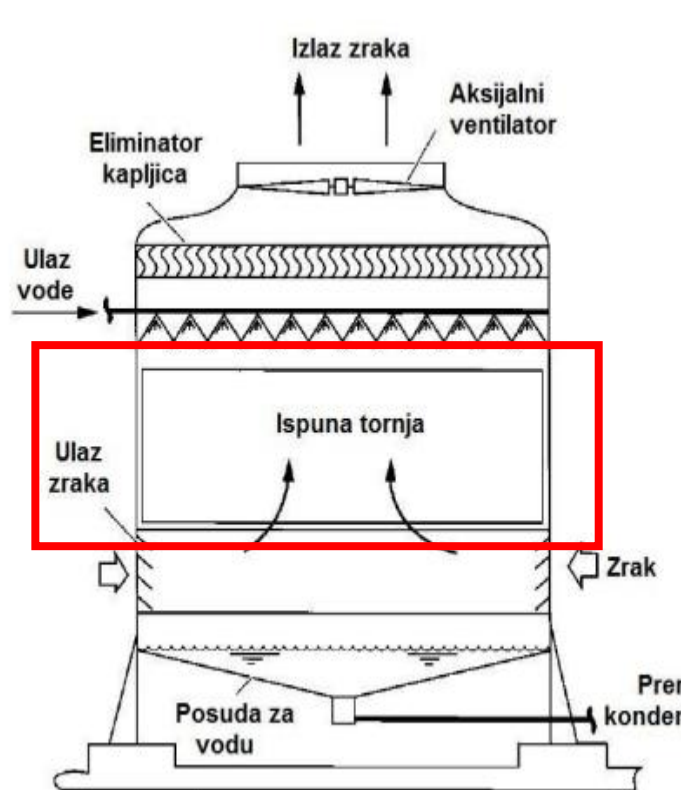
Slika 10.\* Eliminatorski kapljica



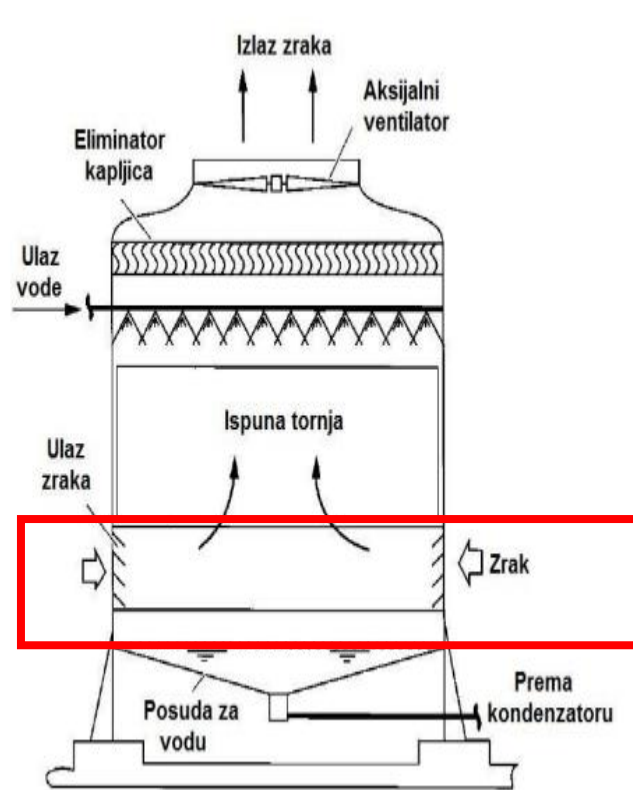
Slika 11.\* Zona raspršivanja vode

\*Čurčin, F. : *Rashladni tornjevi u industriji*, Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2020.

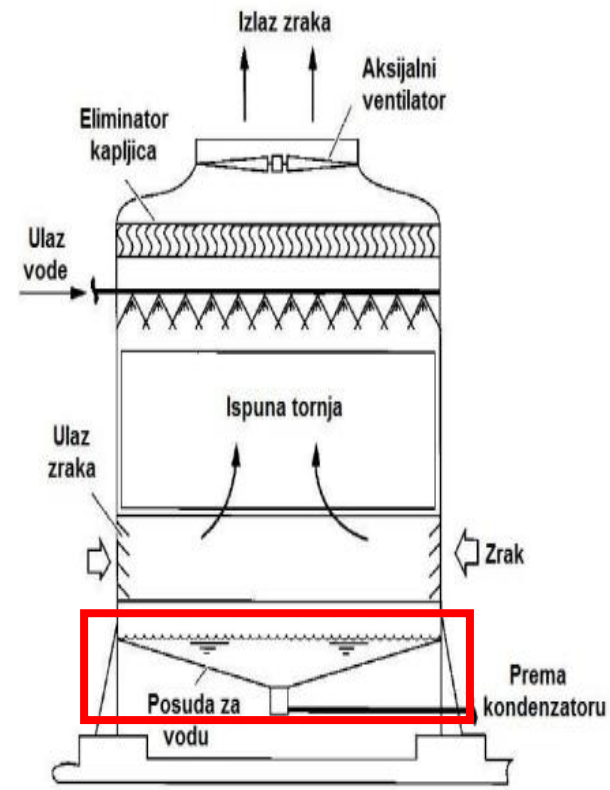
## Rizična područja kod rashladnih tornjeva:



Slika 12.\* Ispuna tornja



Slika 13.\* Ulaz zraka

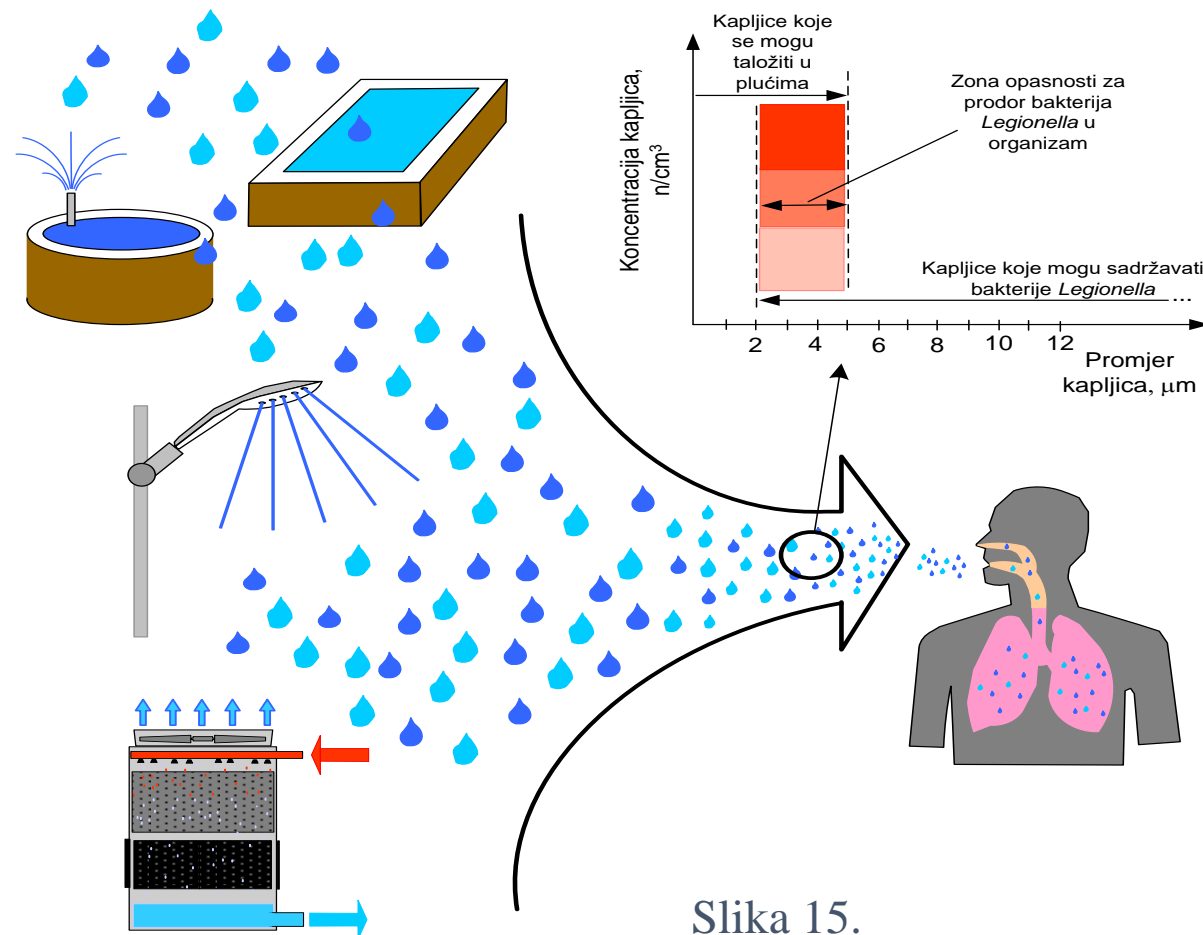


Slika 14.\* Posuda (bazen) za vodu

\*Čurčin, F. : *Rashladni tornjevi u industriji*, Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2020.

### 3. AEROSOL IZ RASHLADNIH TORNJEVA, VEZA VELIČINE KAPLJICE I PRIJENOSA LEGIONELE

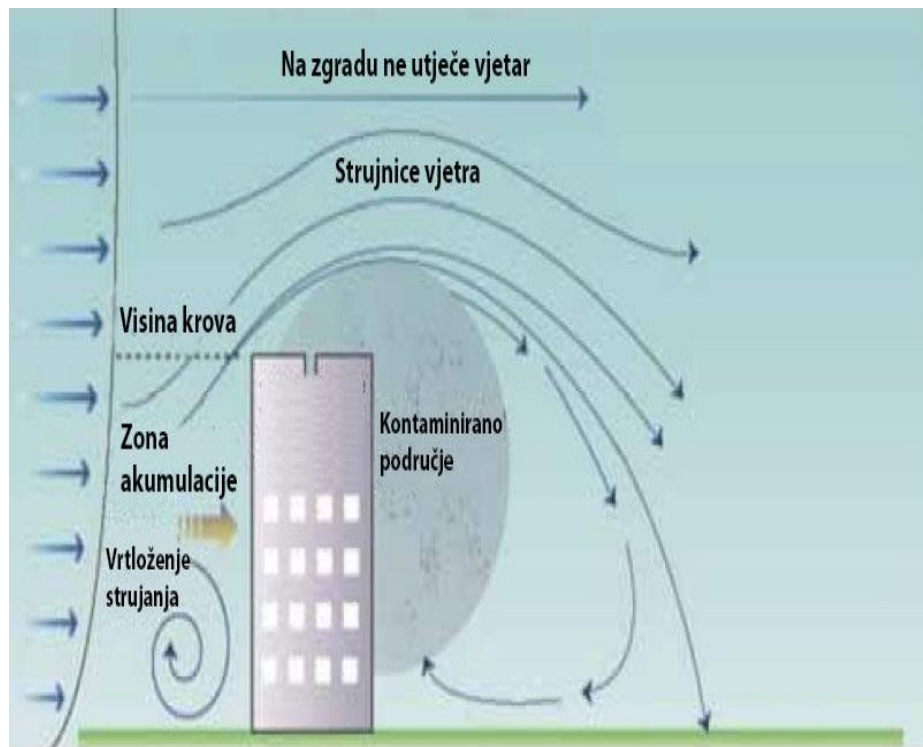
Za započinjanje svoje patogene uloge, bakterija se mora prenijeti zrakom u donji dio pluća osjetljivog organizma. Ovo se događa ako se male kapljice odvajaju od vode koja je kolonizirana i nastaju aerosoli. Male kapljice koje su djelotvorne u svrhu prijenosa moraju imati promjere između 2 i 5 mikrometara, takve kapljice su još uvijek nevidljive oku. Manje kapljice ne mogu transportirati bakteriju, a veće kapljice ne dopiru dodonjeg dijela pluća.



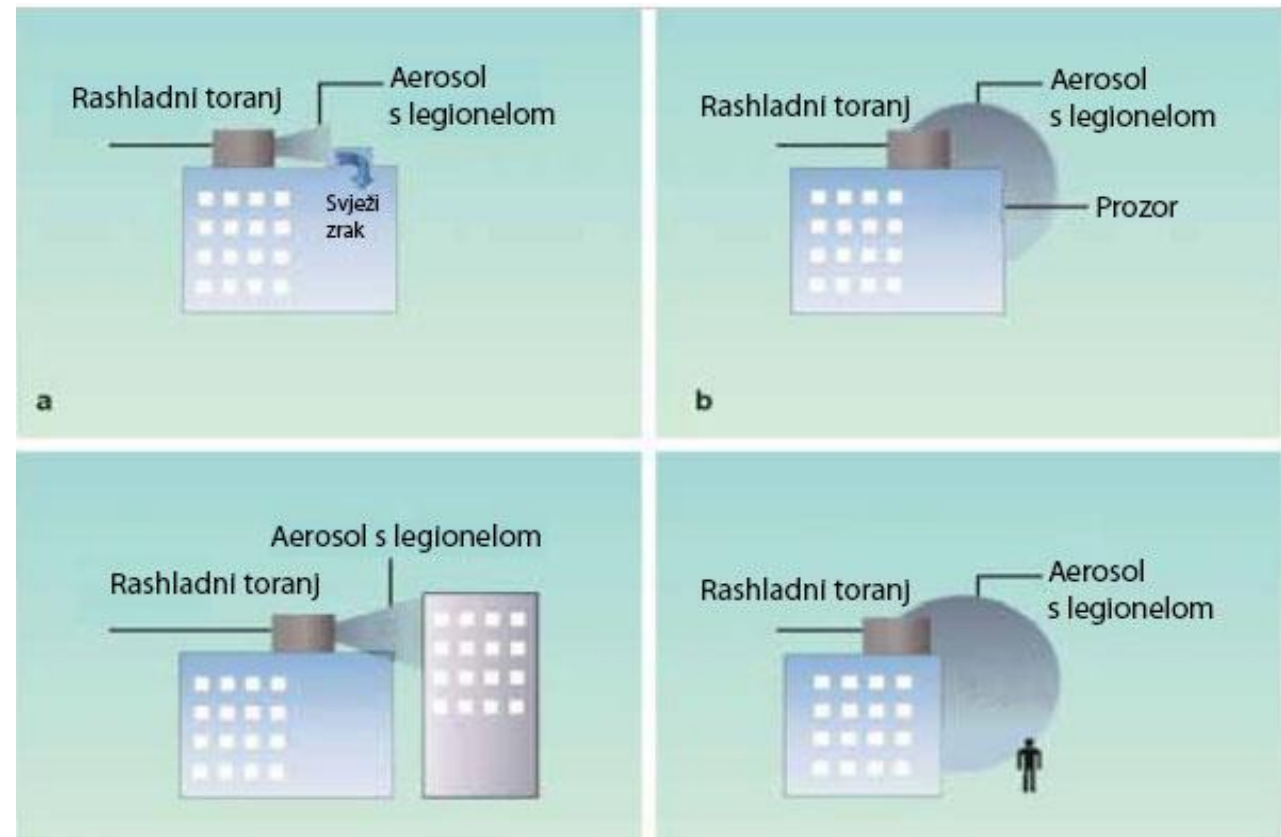
Slika 15.

## 4. RASPRŠIVANJE AEROSOLA IZ RASHLADNIH TORNJEVA I UTJECAJ NA OKOLIŠ I ZDRAVLJE LJUDI

Voda rashladnih tornjeva je izlazne temperature u rasponu od 24 do 35 ° C, što je optimalno za rast i razvoj legionele.



Slika 16.\*



Slika 17.\*

\*REHVA Legionellosis Prevention in Building Water and HVAC Systems, Guidebook No 18, 2013.

## 5. ODRŽAVANJE KVALITETE RASHLADNE VODE U RASHLADNIM TORNJEVIMA

Rashladni tornjevi i evaporativni kondenzatori recirkuliraju vodu unutar sustava kako bi potrošnja vode bila što manja. Recirkulacijom vode nakon izvjesnog vremena dolazi do njezinog onečišćenja. Onečišćena voda može dovesti do pojave korozije, taloženja mulja, taloženja kamenca, te nekontroliranog rasta i razvoja mikrobioloških organizama, osobito patogenih bakterija roda *Legionella*... Redovito održavanje i kontrola kvalitete vode prioritet su za ispravan i siguran rad sustava kao i dug životni vijek opreme sustava. Program obrade vode obuhvaća iduće elemente:

- priprema vode prije pokretanja sustava
- kontrola na koroziju
- kontrola na kamenac (taloženje otopljenih krutih tvari)
- kontrola obraštanja/začepljenja (taloženje suspendiranih krutih tvari)
- mikrobiološka kontrola



## 5.1. PRIPREMA VODE PRIJE POKRETANJA SUSTAVA

Priprema vode prije ulaska u rashladni sustav obuhvaća kondicioniranje opskrbe vode (nazivamo je „dodatnom rashladnom vodom“). Ovisno o izvoru dodatne rashladne vode te je li tvrda ili nije, prethodna obrada vode može uključivati umekšavanje pomoću ionskih izmjenjivača, pH kontrolu, filtraciju ili dezinfekciju. Točni zahtjevi ovisit će o kvaliteti vode koja ulazi u rashladni sustav ili projektnim zahtjevima samog rashladnog sustava. Pred tretmanom se mogu postići uštede povezane s troškom korištenja kemikalija za obradu kao i unaprijed ukloniti potencijalni problemi prije samog ulaska vode u rashladni sustav.

## 5.2. KONTROLA NA KOROZIJU

Korozija je prirodni proces koji nastaje kada su zadovoljena tri uvjeta: prisutnost vlage, metalna površina (mogu biti i anorganske nemetale površine (beton), kao i površine od organskih materijala (polimerni materijalni, drvo)) i oksidans (tvar koja prima elektrone i oksidira druge tvari). Prisutnost poroznih naslaga kao što su kamenac, sedimenti i već postojeći produkti korozije ubrzavaju proces korozije. Isto tako, nakupljanje produkata korozije na stijenkama cijevi smanjuje protočnost, uzrokuje veće tlakove na pumpi i posljedično veće troškove crpljenja te zahtijeva skupa mehanička

i kemijska čišćenja.



Jedan od najpraktičnijih načina zaštite je korištenje inhibitora. Inhibitori su tvari koje već u vrlo maloj količini smanjuju brzinu koroziju metala do ekološki prihvatljivih iznosa ako se dodaju u kapljeviti medij. Prema mehanizmu djelovanja, inhibitori korozije mogu biti anodni inhibitori (molibdati, polifosfati i ortofosfati), adsorpcijski inhibitori (organski spojevi koji sadrže spojeve s dušikom, sumporom ili hidroksilnom skupinom) i inhibitori koji kao mehanizam koriste precipitaciju (molibdati, cink)

## 5.2. KONTROLA NA KAMENAC

Cilj je održavati koncentraciju otopljenih soli u prihvatljivim granicama. Taloženje mineralnih soli koje uzrokuje pojavu kamenca za sobom posljedično znači smanjenje učinkovitosti sustava kao i ometan protok vode i izmjenu topline. Soli koje najčešće čine sastav kamenca su: silicij, kalcijev sulfat, kalcijev fosfat i kalcijev karbonat.

Kontrola na kamenac obuhvaća prethodnu obradu kao što je omekšavanje vode ionskim izmjenjivačima i tretman kemikalijama koje sprečavaju taloženje kristala soli na površinama. Prilikom odabira kemikalija treba obratiti pozornost da promjena u kemijskom sastavu vode omekšavanjem ne stvori problem korozije kao posljedicu

## 5.4. KONTROLA OBRAŠTANJA/ZAČEPLJENJA

Suspendirane tvari mogu uzrokovati obraštanje kada prijanjaju na površine ili se talože unutar sustava.

Neki od izvora suspendiranih tvari jesu čestice koje ulaze u rashladni sustav u vodi za nadopunjavanje, od samog rashladnog sustava ako se stvorio mulj, od ostataka korozije i slično ili od prašine, peludi ili insekata koji su se preko ventilatora uvukli u recirkulirajuću vodu.

Kontrola obraštanja uključuje mehaničko rješenje u kombinaciji s kemijskom obradom tipa disperzanta.

## 5.5. MIKROBIOLOŠKA KONTROLA

Prisutnost mikroorganizama u industrijskim vodenim sustavima, tako i u hlađenju, predstavlja problem za kvalitetu vode.

Probleme vezane u prisutnost mikroorganizama u rashladnim sustavima može podijeliti u tri vrste:

- onečišćenje opreme što pogoršava njihove uvjete rada
- disperzija patogenih bakterija (*Legionella pneumophila*) kroz aerosole koje stvaraju rashladni tornjevi i njihovo ispuštanje u okoliš gdje mogu izazvati legionarsku bolest kod ljudi
- korozija elemenata u kontaktu (izmjenjivači, cjevovodi) s mikrobiološkim naslagama, što posljedično skraćuje njihov vijek trajanja.



Ako bilo koja od kontrola programa obrade vode (priprema vode prije pokretanja sustava, kontrola na koroziju, kontrola na kamenac i kontrola na obraštanje) nije adekvatna, učinkovitost mikrobiološke kontrole bit će smanjena. Mikrobiološka kontrola podrazumijeva kontinuirano ili povremeno dodavanje kemijskih sredstava ili neki od nekemijskih načina. Osim svih navedenih kontrola nužno je rashladni toranj održavati čistim - najmanje dva puta tijekom sezone hlađenja toranj treba isprazniti, očistiti četkom i ostaviti da se potpuno osuši prije ponovnog punjenja.

## 5.6. TRETMANI SPRJEČAVANJA RASTA I RAZVOJA MIKROORGANIZAMA

Među patogenim mikroorganizmima u eko-sustavu rashladnog tornja po patološkom djelovanju posebno se ističe bakterija *Legionella pneumophila* (uz druge bakterije, alge i gljivice). Sprječavanje razvoja mikroorganizama na rashladnim tornjevima odvija se:

- Metodama kemijske obrade (oksidirajući tretman, neoksidirajući tretman i disperzivni tretman)
- Metodama fizikalne obrade (UV zračenje, termička obrada, filtracija(ultrafiltracija))

# KEMIJSKA OBRADA - OKSIDIRAJUĆI TRETMANI OBRADJE

## Kloriranje

- Kontinuirano ubacivanje
- Ubacivanje čistog klora/spojeva s klorom
- Jeftina i cijenom prihvatljiva izvedba

## Tretman Na-hipokloritom

- Šok - dezinfekcija
- Najučinkovitija kod pH vrijednosti oko/ispod 7

## Tretman klor-dioksidom

- Generirani klorov dioksid se odmah dozira u tok vode
- Ne pokazuje ovisnost o pH
- Uništava alge
- Nešto viša cijena

## Bromiranje

- Hipobromna kiselina
- Brži proces
- Učinkovitiji pri višim pH vrijednostima
- Bolji za okoliš
- Skuplji 1,5 – 2x od tretmana klorom

## Tretman ozonom

- Jedno od najsnažnijih oksidacijskih sredstava
- Neovisan o pH vrijednosti
- Visoka cijena tretmana



# KEMIJSKA OBRADA - NEOKSIDIRAJUĆI TRETMANI OBRAD

Smatra se da je djelovanje neoksidirajućih biocida učinkovitije od oksidirajućih biocida. Često se koriste istovremeno ili naizmjenice sa oksidirajućim biocidima kako bi se postigao širi spektar djelovanja. Brojne su molekule napuštene tijekom posljednjih godina zbog otrovnog karaktera i negativnog utjecaja na okoliš [4].

Organski biocidi koji su trenutno u upotrebi:

- Aldehidi
- 2,2- dibrom-3-nitrilopropionamid(DBNPA)
- Izotiazolon
- Tetrakis hidroksimetil fosfonij sulfat (THPS)
- Kvarterne amonijeve soli.

Neoksidirajući biocidi su u pravilu manje korozivni od oksidirajućih. Učinkovitost im je poboljšana u kombinaciji s biodispergentima. Utječu na metabolizam mikroorganizama te su učinkoviti u širokom rasponu pH vrijednosti.



## KEMIJSKA OBRADA - DISPERZIVNI TRETMANI OBRAD

Biodispergenti su molekule organskog porijekla koje modificiraju površinsku napetost vode pogodujući dislokaciji biofilma u kojem se nalaze bakterije i omogućavajući prodiranje biocida u biofilm. To znači da je povoljna kombinacija disperzivnog tretmana i jednog od tretmana s biocidima – oksidirajućeg ili neoksidirajućeg.

Mogu se bez problema koristiti kontinuirano u rashladnim sustavima. Neotrovni su i mogu biti anionski, kationski ili bez naboja.

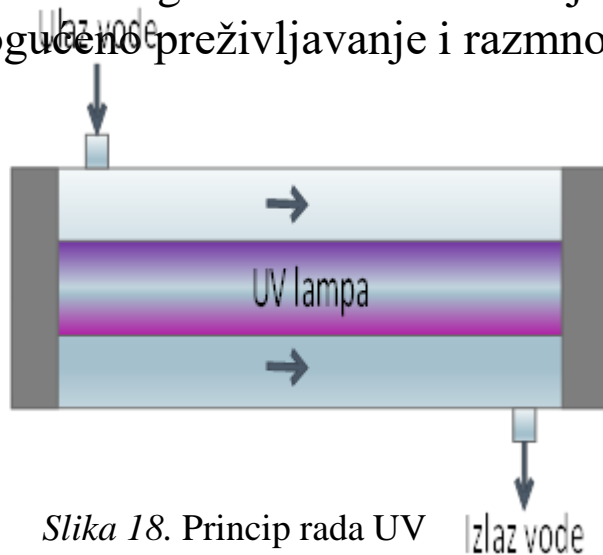
Ako su ionskog karaktera to se mora unaprijed znati da se izbjegnu problemi kompatibilnosti s drugim prisutnim proizvodima za tretman obrade vode.



# METODE FIZIKALNE OBRADE

Iako postoji više načina fizikalnog sprječavanja rasta i razvoja mikroorganizama (termička obrada, filtracija na ultrafiltracijskim ili nanofiltracijskim membranama), u obradi vode u rashladnim tornjevima uglavnom je prikladna jedino tehnologija UV zračenja, i to najčešće u kombinaciji s drugim fizičkim tretmanima.:

Sunčevo zračenje ima odlična svojstva pročišćavanja vode zahvaljujući emisiji ultraljubičastog svjetla. Ovaj prirodni fenomen, u pojačanoj varijanti, putem UV sterilizatora dezinficira i gasi svu aktivnost živih stanica koje prolaze u vodi kroz komoru za UV tretman. Pod utjecajem UV valnih duljina (200 do 315 nanometara), DNA i RNA mikroorganizama se oštećuje te je tako blokirana mogućnost replikacije genetskog materijala i onemogućeno preživljavanje i razmnožavanje mikroorganizama .



Slika 18. Princip rada UV dezinfekcijskog reaktora



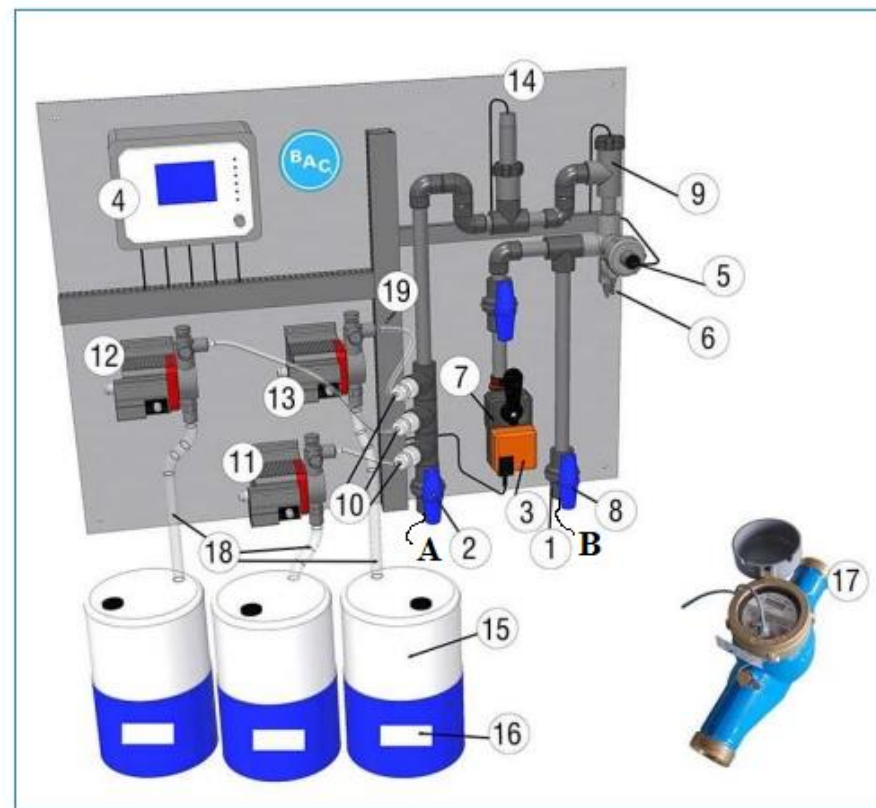
Slika 19. Sørensen M, Gurrath Ch.: *UV-Disinfection of cooling towers*, Water Solutions, 4(2017)

## 8. UPRAVLJANJE KVALITETOM VODE U RASHLADNIM TORNJEVIMA

Postizanje i održavanje kvalitete rashladne vode je složen postupak koji se sastoji od sljedećih osnovnih tehnoloških postupaka:

1. Dodatak stabilizatora tvrdoće;
2. Inhibicija korozije;
3. Sprječavanje razvoja mikroorganizama i algi;
4. Priprema dodatne rashladne vode
5. Uklanjanje mehaničkih nečistoća

Na slici je prikazano jedno moguće rješenje - upravljački sklop i komponente sustava tvrtke Baltimore Aircoil Company 3 za upravljanje kvalitetom rashladne vode u rashladnom tornju.



- |    |                             |    |                                      |
|----|-----------------------------|----|--------------------------------------|
| 1  | Ulaz vode                   | 11 | Pumpa oksidirajućeg biocida          |
| 2  | Izlaz vode                  | 12 | Pumpa inhibitora korozije/kamenca    |
| 3  | Ispust                      | 13 | Pumpa sekundarnog biocida            |
| 4  | Kontroler BACT 600          | 14 | Redox senzor                         |
| 5  | Sonda vodljivosti           | 15 | Spremnik s kemikalijama              |
| 6  | Mjesto uzimanja uzorka vode | 16 | Retencijski dio spremnika kemikalija |
| 7  | Ventil za ispust vode       | 17 | Vodomjer                             |
| 8  | Zaporni ventil              | 18 | Usisni vod                           |
| 9  | Regulator protoka           | 19 | Tlačni vod                           |
| 10 | Ubacivanje kemikalija       |    |                                      |

Slika 20. Upravljački sklop i komponente susav za upravljanje kvalitetom vode u rashladnom tornju BAC-3

## Primjer rada rashladnih tornjeva: DIOKI-Zagreb 1/2



## Primjer rada rashladnih tornjeva: DIOKI-Zagreb 2/2



Hvala na pažnji!

Robert Marinić, mag. ing. mech.