

Prevenција zagađenja sustava kondicioniranja zraka i vode bakterijama Legionella

Marinić, Robert

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:363171>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-27**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Robert Marinić

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

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

Student:

Robert Marinić

Zagreb, 2019.

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

Zahvaljujem mentoru rada prof. dr. sc. Davoru Ljubasu, dipl. ing., na pomoći prilikom izrade ovoga rada te na korisnim savjetima.

Naposljetku zahvaljujem svojoj obitelji, supruzi i sinu na razumijevanju i podršci.

Robert Marinić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



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

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

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Robert Marinić** Mat. br.: 0035198814

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Prevenција zagađenja sustava kondicioniranja zraka i vode bakterijama roda *Legionella***

Naslov rada na engleskom jeziku: **Prevention of air and water conditioning systems' pollution by *Legionella* genus bacteria**

Opis zadatka:

U posljednjih nekoliko desetljeća porasla je kvaliteta analitičkih postupaka kojima se utvrđuje opasnost nastanka i razvoja patogenih mikroorganizama u sustavima kondicioniranja zraka (prvenstveno se to odnosi na sustave kojima se kontrolira vlaga u zraku) i vode za objekte u kojima borave ljudi. To je dovelo do razvijanja novih tehničko-tehnoloških rješenja kojima se može uspješno inaktivirati takve mikroorganizme.

Od spomenutih mikroorganizama - kao jedan od najvećih problema prisutan u ovom području jeste problem zagađenja patogenim bakterijama iz roda *Legionella*, posebno podvrstom *Legionella pneumophila* koja izaziva legionarsku bolest i koja često završava sa smrtnim posljedicama.

Kroz ovaj rad potrebno je:

- proučiti propise, norme i stručne preporuke iz Hrvatske, ali i iz inozemstva, koje se odnose na rješavanje navedenog problema osiguranja zdravstveno ispravne struje kondicioniranog zraka i vode i dati njihov sažeti prikaz,
- proučiti i navesti metode i tehnička rješenja kojima se već u projektnoj fazi može boriti protiv mikrobioloških zagađenja u sustavima kondicioniranja zraka i vode, posebno u javnim ustanovama (hoteli, poslovni i kongresni prostori, domovi za starije, dječji vrtići, bolnice i dr.),
- proučiti primijenjene tehnološke postupke (fizičke i/ili kemijske) obrade zraka i vode koji se koriste kao preventivne mjere ili kao naknadne mjere inaktivacije patogenih mikroorganizama u postojećim sustavima kondicioniranja zraka i vode na primjeru jedne javne ustanove. Nakon pregleda tehnoloških mjera u ustanovi, potrebno je usporediti te mjere s mjerama koje se navode u stručnoj literaturi te objasniti eventualne mogućnosti unaprjeđivanja sustava kondicioniranja zraka i vode na objektu uz prikaze rješenja tehnološkim shemama.

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

Zadatak zadan: Datum predaje rada: Predviđeni datum obrane:
 2. svibnja 2019. 4. srpnja 2019. 10., 11. i 12. srpnja 2019.

Zadatak zadao: Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Davor Ljubas

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	7
POPIS OZNAKA	9
POPIS TABLICA.....	10
Sažetak	11
Summary	12
1. UVOD.....	13
1.1. Sustavi za opskrbu pitkom vodom	13
1.2. Tehnički sustavi koji koriste vodu.....	13
2. PATOGENI MIKROORGANIZMI	14
2.1. Bakterije roda <i>Legionella</i>	14
2.2. Temperaturni uvjeti	15
2.3. Preživljavanje mikroorganizama i povoljni uvjeti u različitim tehničkim instalacijama ..	17
2.4. Uvjeti prijenosa bakterija	19
2.5. Uobičajene zablude vezane za legionele.....	19
2.6. Biofilm	19
2.7. Preživljavanje u amebama	21
3. PROPISI, NORME I STRUČNE PREPORUKE IZ INOZEMSTVA I HRVATSKE	23
4. RIZIČNA PODRUČJA POGODNA ZA RAST I RAZVOJ LEGIONELA	26
4.1. Rizična postrojenja i područja.....	26
4.2. Rizična područja vodovodnih instalacija	27
4.3. Rizična područja kod rashladnih tornjeva.....	32
4.3.1. Izlazna struja zraka iz rashladnog tornja	33
4.4. Rizična područja kod klima-komora pri odvlaživanju	34
4.5. Rizična područja pri ovlaživanju zraka	35
4.5.1. Načini ovlaživanja zraka	35
5. METODE FIZIKALNE OBRADE	42
5.1. Termička obrada kontaminiranih sustava	42
5.2. Pasterizacija.....	43
5.3. UV zračenje.....	44
5.4. Filtri	47
6. KEMIJSKI TRETMAN	49
6.1. Dezinfekcija klorom	49

6.1.1 Kloriranje i hiperkloriranje s hipokloritima	49
6.2. Klorov dioksid.....	52
6.3. Dezinfekcija vode ozonom.....	55
6.4. Usporedba upotrebe klora, topline, UV-zračenja i ozona protiv bakterija roda <i>Legionella</i>	57
7. ANALIZA POSTOJEĆEG SUSTAVA I TEHNIČKA RJEŠENJA DEZINFEKCIJE	59
7.1. Analiza bazena s termalnom vodom.....	59
7.1.2. Vodovodna instalacija.....	60
7.1.3. Spremnici potrošne tople vode	60
7.1.4. Termalna voda	65
7.1.5. Klima-komora.....	67
8. ZAKLJUČAK	70
LITERATURA.....	71

PRILOG 1: Shema spajanja vodnih sustava sportsko-rekreacijskog centra: postojeće stanje

PRILOG 2: Shema spajanja vodnih sustava sportsko-rekreacijskog centra: prijedlog novih tehnoloških koraka

POPIS SLIKA

Slika 1. Optimalni raspon temperature za rast bakterije roda Legionella [4]	15
Slika 2. Kolonija bakterija legionela [5].....	16
Slika 3. Utjecaj temperature na preživljavanje legionela [1].....	16
Slika 4. Učinci temperature na reproduktivne mehanizme bakterija legionela i operativni rasponi u nekim primjenama [4]	17
Slika 5. Stvaranje biofilma uslijed simbioze različitih mikroorganizama [5]	20
<i>Slika 6. Lijevo: Fluorescentno obojana Legionella unutar amebe; Desno: Fluorescentno obojana Legionella [5].....</i>	<i>22</i>
Slika 7. Početno punjenje i tlačna proba.....	27
Slika 8. Prljave komponente sustava	28
Slika 9. Nedostatno održavanje.....	28
Slika 10. Mrtve zone u cijevima	29
Slika 11. Hidrantske cijevi.....	29
Slika 12. Dimenzije cjevovoda	30
Slika 13. Održivost higijene cjevovoda	30
Slika 14. Loša izolacija cjevovoda	31
Slika 15. Pravilan raspored instalacija u zajedničkom šahtu [6].....	31
Slika 16. Rizik od ulaska kroz prozore na strani vjetra (negativnog tlaka) zgrade s rashladnim tornjem iznad krova [2]	33
Slika 17. Opasnost od istjecanja kontaminiranog aerosola iz rashladnog tornja [2]	34
Slika 18. Shematski prikaz strujanja u klima-komri s rekuperatorom i skupljačem kondenzata [7]	35
Slika 19 Proizvodni sustav za čistu paru za potrebe ovlaživanja [2]	36
Slika 20 Električni ovlaživač s elektrodama [2]	36
Slika 21 Ovlaživač zraka za isparavanje s recirkulacijom vode ugrađen je u jedinicu za zrak [2]	38
Slika 22 Shematski crtež adijabatskog ovlaživača umetnutog u jedinicu za obradu zraka [2]	38
Slika 23 Mlaznica za raspršivanje vode [2]	39
Slika 24. Uređaj za ultrazvučno ovlaživanje s automatskim radom [2]	41
Slika 25. Princip rada UV dezinfekcije i reaktor s UV svjetiljkom za male protoke iz Laboratorija za vodu, gorivo i mazivo Fakulteta strojarstva i brodogradnje.....	46

Slika 26. Generator ozona (lijevo) i spremnik s kisikom (desno) iz Laboratorija za vodu, gorivo i mazivo Fakulteta strojarstva i brodogradnje.....	57
Slika 27. Prikaz rezultata istraživanja prema [10] i [11]	58
Slika 28. Spremnik PTV-a	61
Slika 29 Temperature PTV-a u 1. spremniku (bojleru).....	62
Slika 30. Temperature PTV-a u 1. spremniku (bojleru).....	62
Slika 31. Tehničke karakteristike spremnika (bojlera).....	63
Slika 32. 2. Spremnik (bojler) za PTV	63
Slika 33. Temperature PTV-a u 2. spremniku (bojleru).....	64
Slika 34. Temperature PTV-a u 2. spremniku (bojleru).....	64
Slika 35. Postrojenje za dodavanje klora u bazensku vodu	65
Slika 36. Količina klora u unutarnjem bazenu.....	66
Slika 37. Količina klora u vanjskom bazenu	66
Slika 38. Slika klima-komore na objektu	67
Slika 39. Shematski prikaz klima-komore.....	68
Slika 40. Način strujanja u klima-komori ovisno o godišnjem dobu.....	68
Slika 41. Prikaz nakupljenog kondenzata u klima-komori.....	69

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
T	K	Temperatura
pH	-	pH vrijednost
CFU	ml ⁻¹	Broj kolonija po mililitru (engl. colony forming unit)
UV	-	Ultraljubičasto zračenje

POPIS TABLICA

Tablica 1. Doze zračenja za različite redukcije bakterija Legionella pneumophila [8]45

Tablica 2. Preporučene koncentracije ozona za uništavanje različitih vrsta bakterija56

Sažetak

Korištenje vode u vodovodnim instalacijama za piće i kupanje, za tehničku upotrebu u sustavima za grijanje, ventilaciju i kondicioniranje zraka (skraćeno HVAC), rashladnoj i bazenskoj tehnici, zahtjeva projektna rješenja, opremu i tehnologiju koja održava kvalitetu vode na razini koja neće uzrokovati štetu na instalacijama niti će štetno djelovati na zdravlje korisnika.

U zadnjih tridesetak godina razna tehnička rješenja i oprema koja koristi vodu pokazala su da treba voditi računa i o mikrobiološkim zahtjevima za kvalitetom vode. Pri tome prvenstveno treba obratiti pažnju da ne nastanu povoljni uvjeti za nastanak i razvoj patogenih bakterija, među kojima je posebno opasna za ljudsko zdravlje *Legionella pneumophila*.

U ovom radu je dan pregled i pojašnjenje povoljnih uvjeta za pojavu, rast i razvoj bakterija, tehničkih rješenja o kojima se mora voditi računa pri projektiranju i montaži te različitih tehnoloških postupaka za uspješnu inaktivaciju svih podvrsta bakterija roda *Legionella*.

U sklopu rada opisan je jedan realni sportsko-rekreacijski centar sa prijedlogom rješenja za sprječavanje razvoja legionela u sustavu sa sanitarnom vodom, termalnom vodom i HVAC sustavu.

Ključne riječi:

Legionella pneumophila, pitka voda, termalna voda, potrošna topla voda, obrada zraka, biofilm

Summary

The use of water in drinking water and bathing installations for technical use in heating, ventilation and air conditioning systems (abbreviated HVAC), cooling and pool technology requires a project solution, equipment and technology that maintains water quality on the level which will not cause damage on installations and on human health.

In the last thirty years, various technical solutions and equipment that use water have shown that microbiological requirements for water quality should be taken into account. Especially not to create favorable conditions for the emergence and development of pathogenic bacteria, especially *Legionella pneumophila*.

This paper presents an overview of the favorable conditions for appearance, growth and development of bacteria, technical solutions to be taken into account when designing and installing, to various technological steps for the successful inactivation of all bacteria *Legionella* sub-species.

Within this work, one sports and recreational center is described with a proposed solution for preventing legionella development in the sanitary water system, thermal water and HVAC system.

Keywords:

-*Legionella pneumophila*, potable water, thermal water, hot water, air treatment, biofilm

1. UVOD

1.1. Sustavi za opskrbu pitkom vodom

Razne građevine, stambene, poslovne ili industrijske, imaju zbog zadovoljenja potreba korisnika za pitkom vodom projektirane i izvedene vodovodne sustave, koji podrazumijevaju korištenje hladne i tople vode.

U današnje vrijeme postavljaju se sve veći zahtjevi za sanitarne sustave u građevini, posebno za sustave za pripremu potrošne tople vode. Topla voda je izložena većim fizikalno-kemijskim promjenama od hladne vode. Vodovodni sustav i pripremu pitke vode potrebno je tako izvesti i koristiti, da korištenje pitke vode ne predstavlja opasnost za ljudsko zdravlje. Opasnost za zdravlje, osim mogućih fizikalno-kemijskih onečišćenja, predstavljaju i mikroorganizmi u vodi.

U toploj vodi, na temperaturama od 25 do 55 °C, nastaju povoljni uvjeti za rast i nekontrolirano razmnožavanje patogenih mikroorganizama, koji mogu dovesti do infekcija i epidemija sa smrtnim ljudskim posljedicama [1].

Posebnu opasnost predstavljaju veliki vodovodni sustavi za pripremu tople potrošne vode, u velikim javnim građevinama. U takvim se sustavima koriste veliki spremnici koji pri određenim uvjetima predstavljaju žarište razvoja patogenih mikroorganizama.

Jedna od opasnih patogenih bakterija je iz porodice legionela, posebno podvrsta *Legionella pneumophila*, koja izaziva legionarsku bolest kod ljudi, a koja često završava sa smrtnim ishodom [1].

1.2. Tehnički sustavi koji koriste vodu

U raznim namjenama građevina koriste se i različiti sustavi koji za svoju namjenu koriste vodu, kao npr. sustavi toplovodnog grijanja, hlađenja, ventilacije, klimatizacije, bazenska tehnika i dr. Zbog različitih povoljnih uvjeta koji se mogu pojaviti za razvoj patogenih mikroorganizama, potrebno je projektirati takva tehničko-tehnološka rješenja koja će omogućiti inaktivaciju patogenih mikroorganizama.

2. PATOGENI MIKROORGANIZMI

2.1. Bakterije roda *Legionella*

Bakterije roda *Legionella* prisutne su u prirodi u raznim okruženjima, imamo ih u tlu i okruženju gdje imamo vodu tj. vlagu. Nalazimo ih i u izvorima, vrućim izvorima, u rijekama, jezerima, barama, riječnom i bujičnom mulju i izmaglicama. Iz tog prirodnog okoliša, dopiru do umjetno stvorenih sredina koji je stvorio čovjek putem gradskih vodovoda, zrakom u kojem su prisutne aerosoli, pa tako dolaze do fontana i bazena.

Nastajanje izvora bolesti zahtjeva postojanje visoke koncentracije legionela u dotičnoj vodi te da su legionele raspršene u obliku aerosola s dimenzijama kapljice i transportnim mehanizmima koji omogućuju udisanje od strane osjetljivih osoba.

Bakterija *Legionella* je gram negativna bakterija od koje je definirano najmanje 58 vrsta (uključujući podvrste), podijeljene u 71 serogrupu [2].

Najopasnija od njih, s kojom je povezano oko 90% slučajeva upale pluća, je *Legionella pneumophila*. Ovo ime potječe od akutne epidemije koja je 1976. pogodila skupinu veterana "Američkih legionara" koji su se okupili u hotelu u Philadelphiji i prouzročili 34 smrtna slučaja među 221 osobom koja je dobila bolest .

Visoka koncentracija legionela u vodi slijedi proces poznat kao proliferacija koji nastaje kada su prisutni pogodni ambijentalni uvjeti.

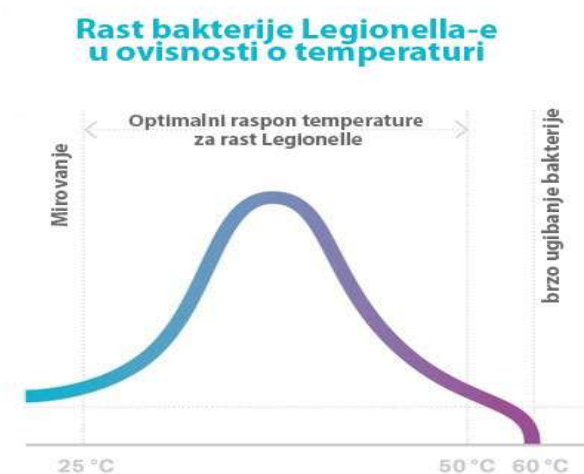
Uvjeti povoljni za proliferaciju i prisutnost bakterije su [2], [3]:

- temperatura vode između 20 °C i 45 °C, gdje je moguć rast i intenzivno razmnožavanje legionela
- vodovodni sustavi s temperaturom ne većom od 60 °C
- kisele i alkalne sredine, s pH vrijednostima između 2,7 i 8,3
- stanje stagnacije vode u distribucijskim cjevovodnim mrežama i sustavima skladištenja
- prisutnost i / ili nastajanje kamenca unutar cijevnih mreža
- prisutnost hranjivih tvari i taloga (amebe i biofilm).

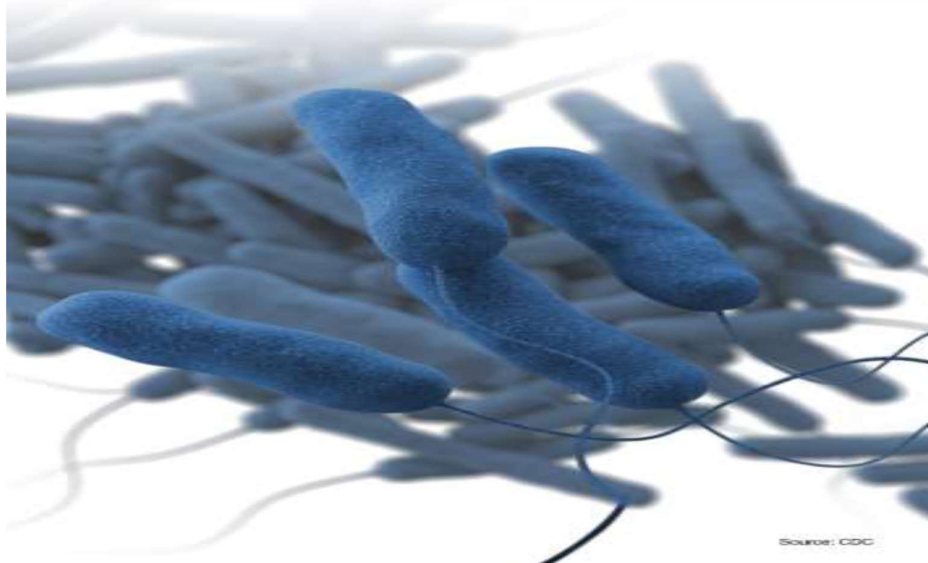
2.2. Temperaturni uvjeti

Temperatura vode je važan čimbenik koji uvjetuje preživljavanje i proliferaciju bakterija roda *Legionella* u vodovodnim mrežama i njihovo uništavanje. Ove bakterije mogu preživjeti nekoliko mjeseci na niskim temperaturama (ispod 20 °C). Njihovo preživljavanje se smanjuje na temperaturama većim od 50 °C, a smrt bakterija je praktično trenutna na temperaturi od 70 °C. U vodovodnim mrežama, potrebno izbjegavati što je više moguće, opseg temperaturnog raspona između 20 i 50 °C.

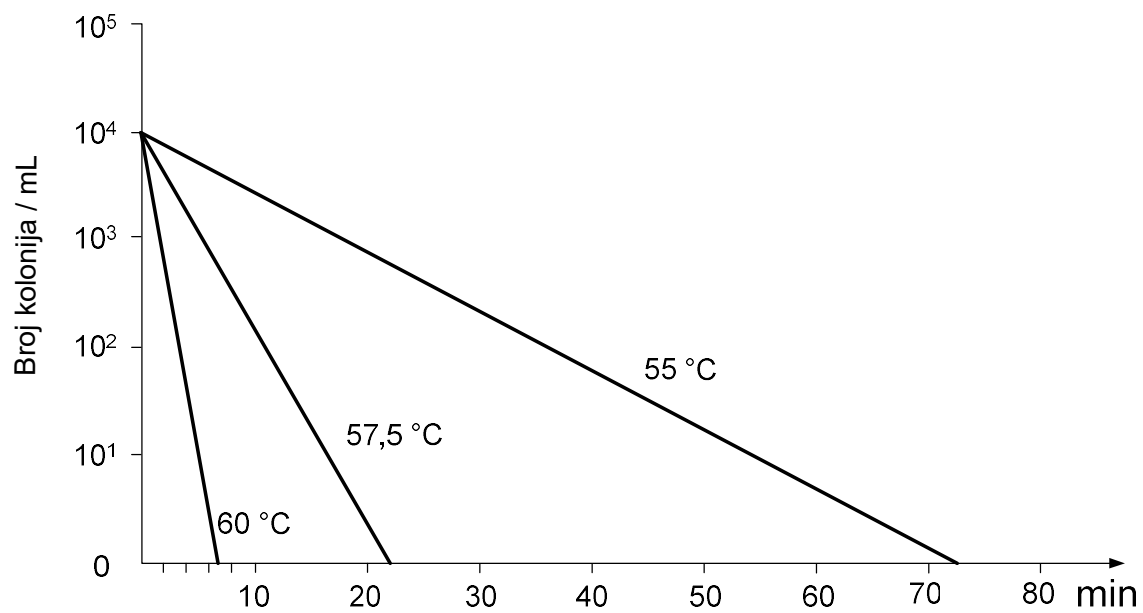
Optimalni uvjeti za proliferaciju bakterija su temperature između 32 i 40 °C.



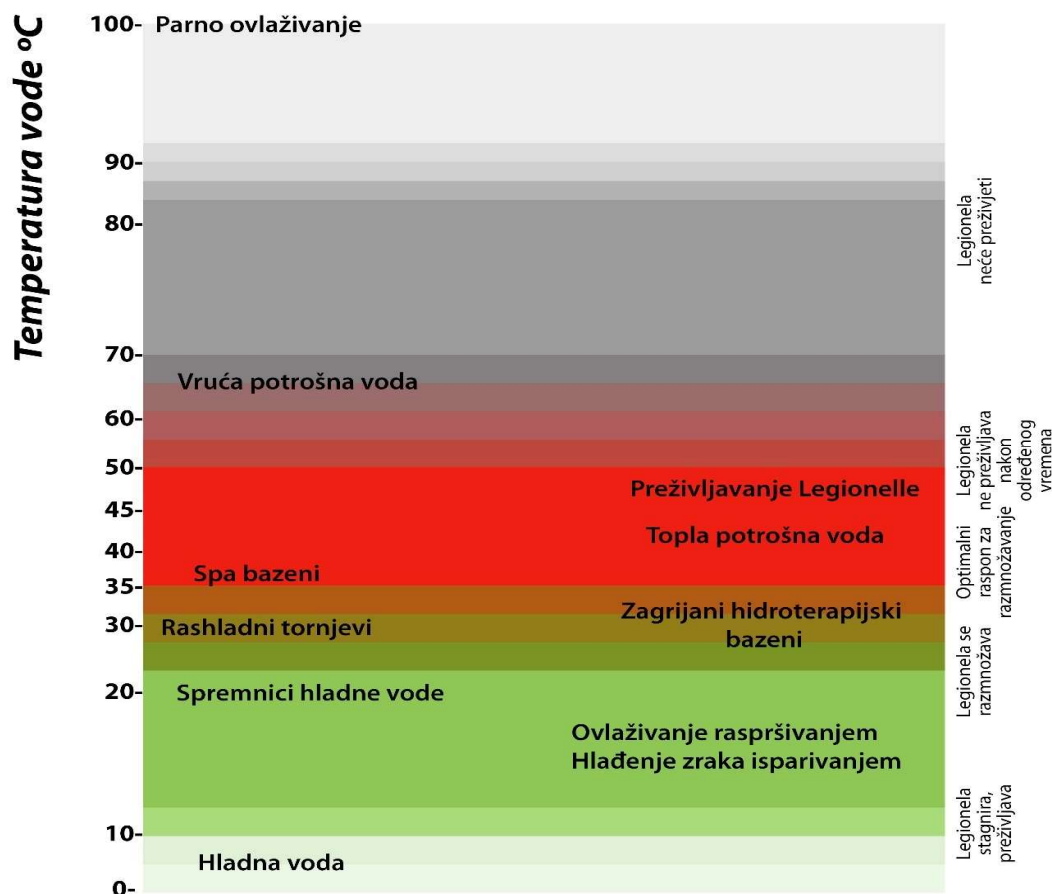
Slika 1. Optimalni raspon temperature za rast bakterije roda *Legionella* [4]



Slika 2. Kolonija bakterija legionela [5]



Slika 3. Utjecaj temperature na preživljavanje legionela [1]



Slika 4. Učinci temperature na reproduktivne mehanizme bakterija legionela i operativni rasponi u nekim primjenama [4]

2.3. Preživljavanje mikroorganizama i povoljni uvjeti u različitim tehničkim instalacijama

Različite suspendirane tvari koje se zadržavaju u vodi, kamencu i biofilmu čine potrebne hranjive tvari za bakteriju. Tako je utvrđeno da prisustvo kamenca na površini stijenke cijevi i uređaja (spremnika, rezervoara i sl.) pogoduje rastu bakterije koja stavlja na raspolaganje mikro-nutrijente potrebne za održavanje. Prisutnost naslaga kamenca (uglavnom kalcija i magnezija), korozijskih produkata i biofilma povećava rast bakterije izravno i neizravno nudeći

poroznu strukturu unutar koje bakterija može stagnirati i također pronaći zaštitu od dezinfekcije (toplinske ili kemijske).

Potreban uvjet razvoja bakterije je prisutnost mirujuće vode koja joj omogućuje dovoljno dugo vrijeme zadržavanja za reprodukciju. „Stagnacijski uvjeti“ događaju se u spremnicima, posudama i cjevovodima u kojima nema cirkulacije ili je brzina kretanja vode vrlo niska.

Okoliš koji pogoduje reprodukciji su one komponente i priključci postrojenja koji se koriste diskontinuirano (sa prekidima), u „mrtvim“ dionicama vodovodne mreže i u sustavima za protupožarnu zaštitu, vodovodnih cijevi (sprinkler instalacije, hidrantska mreža, itd.).

Potrebno je napomenuti da lokalni stagnacijski uvjeti mogu biti posljedica lošeg rada komponentata (recirkulacijske grane, slaba cirkulacija), porozni slojevi u cijevima i opremi (vapnenac, korozija,) ili prisutnosti biofilma.

Kao što je prethodno rečeno, situacija s rizikom od proliferacije javlja se kada se voda dugo zadržava (stagnacija) pri temperaturi između 20 °C i 50 °C, a posebno između 32 °C i 40 °C. Ovi uvjeti normalno se nalaze u sustavima potrošne tople vode za higijenu i za pranje, vruća voda također može postati topla / mlaka (32 ... 40 °C) izborom neodgovarajuće armature (kontrola miješajućeg ventila).

Kritični temperaturni uvjeti mogu se pojaviti i u cjevovodima za hladnu servisnu vodu, koji se zagrijevaju zbog loše izolacije od cjevovoda za vruću vodu, ili zbog visokih temperatura u sobama ili u svakom slučaju u područjima vertikalnih šahtova, hodnika, krovnih prostora kroz koje prolaze, ili čak kroz nekontrolirani ulazak tople vode (odsustvo nepovratnih ventila). Stoga je potrebno provjeriti da hladna voda ne postane mlaka (temperatura ne smije prelaziti 20 °C). Zbog toga je najvažnije da su cijevi za hladnu vodu i cjevovodi za toplu vodu u potpunosti i neovisno izolirani.

Kritični temperaturni uvjeti se odvijaju nizvodno od miješanja tople i hladne vode, miješanjem koje se uvijek mora odvijati što je moguće bliže točki učinkovite uporabe, pri čemu se po potrebi koriste uređaji za miješanje na svakom izlaznom priključku. Isto se mora paziti i na posude s vlažnim jedinicama ili na rashladnim tornjevima gdje, zbog uvjeta okoline, voda u stanju mirovanja može doseći vanjske temperaturne uvjete.

2.4. Uvjeti prijenosa bakterija

Za obavljanje svoje patogene funkcije, 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 1 i 5 mikrometara, takve kapljice su još uvijek nevidljive oku. Manje kapljice ne mogu transportirati bakteriju, a veće kapljice ne dopiru do pluća [2].

2.5. Uobičajene zablude vezane za legionele

Bakterije roda *Legionella* se ne prenose parom, čak i ako je voda iz koje je nastala kontaminirana. To je zbog ograničene veličine kapljica vode koje čine paru, a koje ne uspijevaju biti učinkovito sredstvo za bakterije.

Štoviše, para se dobiva iz vode koja je u uvjetima atmosferskog tlaka isparila, dosegla temperaturu od 100 °C i stoga bi uzrokovala trenutačnu smrt bakterija, gdje god da bi bile.

Stoga sva oprema koja proizvodi paru nije izvor kontaminacije.

U ventilatorskim jedinicama, u unutarnjim jedinicama split-klima uređaja i klimatizacijskim sustava tijekom ljetnih dana, nema problema s legionelama: voda nastaje kondenzacijom iz vlažnog zraka koji nije nositelj bakterija.

Problemi se mogu pojaviti zbog stagnacije vode koja je nastala kao rezultat kondenzacije pare u posudama uređaja za sakupljanje kondenzata, ako se ne isušuje na odgovarajući način, a može doći u kontakt s drugim konvencionalnim izvorima.

2.6. Biofilm

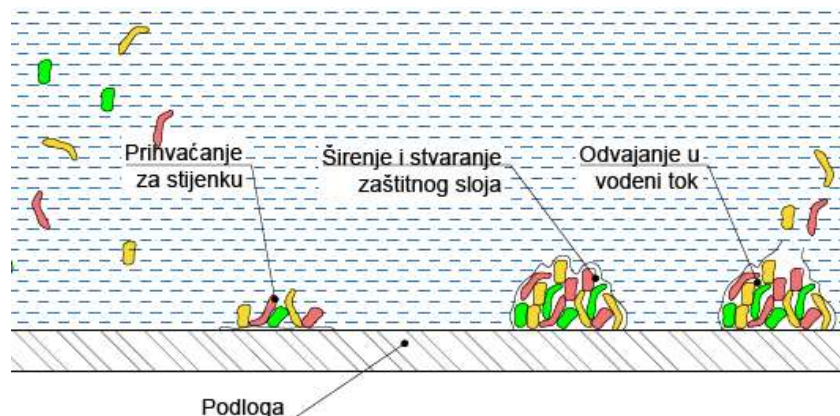
Iz svakodnevnog iskustva znamo da na površinama koje redovito dolaze u kontakt s vodom, kao što je kamenje u koritu potoka, nastaju klizavi premazi. Od prvih Leowenhoekovih mikroskopskih studija o zubnom plaku u 17. stoljeću [5], poznato je da takve sluznice sadrže i žive bakterije. Ovaj fenomen danas se naziva "biofilm". Uvjeti za njegovo formiranje su jednostavni: potrebni su mikroorganizmi, voda, hranjive tvari i površina koja je u kontaktu s

vodom. Pod takvim biofilmom podrazumijeva se nakupina stanica sastavljenih od mikroorganizama koje su slijepljene jedna za drugu. Oni stvaraju "ekstrapolimernu tvar" (EPS), koju sami proizvode. EPS drži mikroorganizme zajedno i štiti ih od vanjskih utjecaja različitih vrsta (bioloških, kemijskih, fizičkih). Za razliku od suspendiranih živih stanica, one pokazuju različit tip ponašanja rasta i ekspresiju gena. U usporedbi s vodenom fazom, biofilmovi imaju gustoću stanica do 10.000 puta višu (do 10^{12} stanica / ml) [5].

Osim mikroorganizama, biofilm sadrži uglavnom vodu. Voda i EPS tvore sluzovitu tvar hidrogelova, u kojoj su hranjive tvari i druge tvari otopljene i daju biofilmu stabilan oblik. To su širok raspon polisaharida, proteina, lipida i nukleinskih kiselina. Također, anorganske čestice ili mjehurići plina, koji mogu sadržavati dušik, ugljični dioksid, metan ili sumporovodik, čine biofilm. Biofilm je vrlo heterogen u strukturi i sastavu i mogu imati značajne gradijente pH, sadržaja kisika i opskrbe hranjivim tvarima. Tako je moguće da su mnogi vrlo različiti mikroorganizmi, npr. kao i aerobne i anaerobne bakterije i druge protozoe (amebe, flagelati, itd.), koje same po sebi ne pridonose formiranju biofilma, žive zajedno u biofilmu i koriste ovu simbiozu. Komunikacija putem signalnih molekula i genetske razmjene također se odvija između pojedinih mikroorganizama, što predstavlja daljnju prednost u odnosu na suspendirane mikroorganizme.

U vodnim sustavima razlikuje se nekoliko faza formiranja biofilma:

- Vezivanje makromolekula na površinu i stvaranje prvog sloja
- Vezivanje prvih mikroorganizama na tanki film, razmnožavanje te spajanje u klastere
- Stvaranje biofilma unutar kojeg se nalaze mikroorganizmi.



Slika 5. Stvaranje biofilma uslijed simbioze različitih mikroorganizama [5]

Stacionarno stanje: umiranje i umnožavanje mikroorganizama unutar biofilma, simultana dinamička razmjena s vodenom fazom prijanjanjem suspendiranih mikroorganizama, odvajanje i erozija s druge strane.

Promjene u vanjskim uvjetima kao što su opskrba hranjivim tvarima, temperatura, pH ili koncentracija toksičnih tvari (dezinficijensi) narušavaju stabilno stanje i biofilm se razvija u novo ravnotežno stanje. U takvim aktivnim pretvorbenim fazama, bitni dijelovi biofilma mogu se ispustiti u tekuću fazu. Velika većina mikroorganizama živi u takvim zajednicama, što je vrlo stara i uspješna strategija preživljavanja mikroorganizama.

Mikroorganizmi se učinkovito štite od vanjskih utjecaja, u biofilmu imaju koristi od razmjene informacija i gena, kao i od simbiotskih učinaka. Čak i u instalacijama za pitku vodu, procjenjuje se da je 95% svih mikroorganizama u biofilmovima, gdje su zaštićeni od raznih vanjskih utjecaja, ali u isto vrijeme su u razmjeni s vodenom fazom. Već u roku od 1-2 tjedna nastaje novi biofilm na novim materijalima, koji nakon 6-10 tjedana dostižu kvazi-stacionarno stanje, ovisno o materijalu i temperaturi. Kvaliteta materijala značajno utječe na gustoću naseljenosti

Ovisno o opskrbi hranjivim tvarima iz materijala i vode za piće, kao i temperaturi, na površinama se razvijaju populacije biofilma različitog sastava i različitosti. Dostupnost organskog materijala potiče kvantitativni rast biofilma i spektar biofilmskih organizama. To također povećava rizik od implantacije patogenih mikroorganizama.

2.7. Preživljavanje u amebama

Neparazitske amebe rodova *Acanthamoeba* i *Naegleria*, slobodno žive i razmnožavaju se u vodi za piće i hrane se bakterijama koje obiluju biofilmovima. Mogu čak uzrokovati tešku upalu rožnice kada se nanese na oko s kontaktnim lećama ispranim vodom za piće. Međutim, amebe su posebno važne za higijenu pitke vode, jer su prisutne u instalacijama za pitku vodu. Određene patogene bakterije (*Legionella*, ne-tuberkulozne mikobakterije, *Salmonella shigella*, *Campylobacter*) mogu ući u amebe i razmnožiti u njima.

Budući da su amebe mnogo otpornije na utjecaje okoliša kao što su temperatura i dezinfekcijska sredstva za bakterije, bakterije u amebama su prikladno zaštićene od štetnih utjecaja okoline. Na primjer, mogu izdržati 50 puta veću koncentraciju klora kao dio mjere

dezinfekcije [5]. Preživjele amebe, nakon mjera dezinfekcije, očito igraju posebno važnu ulogu u razmnožavanju i širenju legionela u instalacijama za pitku vodu. Njihovo



Slika 6. Lijevo: Fluorescentno obojana *Legionella* unutar amebe; Desno: Fluorescentno obojana *Legionella* [5]

3. PROPISI, NORME I STRUČNE PREPORUKE IZ INOZEMSTVA I HRVATSKE

Sustavi za pripremu potrošne tople vode (PTV) služe za zagrijavanje i često se promatraju zajedno sa sustavom za grijanje vode, odnosno izvor topline za PTV je često isti kao za sustav grijanja. Sustav za pripremu PTV-a sastoji se od izvora topline, razvoda do trošila (slavine, tuševi, ...), recirkulacijskih vodova te sigurnosne i regulacijske opreme. Potrošna topla voda je pri tome znatno više opterećena dodatnim fizikalno kemijskim uvjetima od „obične“ hladne pitke vode iz tri razloga [1]:

1. Dolazi do promjena u sastavu vode i to prvenstveno zbog narušavanja karbonatne ravnoteže (ravnoteže kalcijevog i magnezijevog bikarbonata i ugljične kiseline u vodi), što dovodi do taloženja karbonatnih soli (stvaranje vodenog kamenca, CaCO_3). Time vode postaje manje „tvrda“, a ovisno o tome ako ugljična kiselina ostaje u sastavu vode-voda postaje sve više agresivna prema konstrukcijskim materijalima. stvaranje i taloženje kamenca predstavlja veliki problem u sustavima koji u svojim operativnim procesima koriste vodu. Ako se pritom radi i o višim temperaturama vode ($<50^\circ\text{C}$) problem je još izraženiji.
2. Zbog povišene temperature u sustavima za opskrbu toplom vodom intenziviraju se i sve druge reakcije između tvari u vodi i konstrukcijskih materijala. Uslijed toga povećava se intenzitet korozije i otpuštanja metalnih iona (koji su otopljeni s konstrukcijskih materijala) u vodu (npr. Pb, Cu, Zn, ...).
3. Na povišenim temperaturama stvaraju se povoljni uvjeti za rast i nekontrolirano razmnožavanje mikroorganizama koji mogu dovesti do infekcija i epidemija kod ljudi. Dodatni problem je i to što stvaranje vodenog kamenca i korozijski produkti često potpomažu razvoj mikroorganizama te stvaranje biofilma.

Preporučene temperature u Hrvatskoj, na koje se priprema topla voda, obično iznose za kupaonice $35\text{-}45^\circ\text{C}$, a za kuhanje $55\text{-}60^\circ\text{C}$. Sustavi za pripremu potrošne tople vode (PTV) mogu se općenito podijeliti na nekoliko skupina:

a) Centralizirani sustavi:

-u kojima svi ispusti tople vode iz jednog ili više objekata nalaze se na jednoj zajedničkoj vodovodnoj mreži, u kojima voda može i recirkulirati, te se dodatno zagrijavati održavajući željenu temperaturu.

b) Decentralizirani sustavi:

-se koriste kada su objekti međusobno udaljeni te svaki od njih pojedinačno rješava potrebe za TPV.

Kod zatvorenih sustava zagrijavanje vode odvija se u posudama koje su pod pritiskom, jednakim kao i u ostatku vodovodne mreže, a otvoreni su sustavi bez pritlaka.

Kod akumulacijskih sustava prisutan je spremnik u kojemu se voda zagrijava, akumulira i koristi prema potrebi, na ispustima tople vode.

Kod protočnih sustava se hladna voda dovodi do ogrjevnih tijela i bez akumulacije zagrijava te dovodi do mjesta potrošnje. Ovakvi sustavi ne doprinose povećanju opasnosti od mikrobiološke kontaminacije sustava razvoda PTV-a.

Ovisno o volumenu sustava za pripremu PTV-a razlikuju se dvije grupe sustava (DVGW-Arbeitsblatt W 551, 2004):

- Mali sustavi pripreme PTV-a (to su svi sustavi sa volumenom spremnika ≤ 400 l i u kojima je volumen vode u instalacijskom vodu od spremnika do ispusta ≤ 3 l).
- Veliki sustavi pripreme PTV-a (≥ 400 l i/ili volumen vode u instalacijskom vodu od spremnika do ispusta ≥ 3 l).

Glavnina problema kod pripreme PTV-a u akumulacijskim spremnicima vezana je za nekontrolirani rast i razvoj mikroorganizama te stvaranje taloga, najčešće u obliku kamenca. U talozima se stvaraju povoljni uvjeti za kolonizaciju mikroorganizama (ujednačena temperatura, stagnacijski uvjeti vode u spremniku).

Voda za ljudsku potrošnju, da bi se smatrala zdravstveno ispravnom, potrebno je da zadovoljava granične vrijednosti za sve parametre koji su propisani u službenim dokumentima na području određene države (najčešće pravilnicima).

U Republici Hrvatskoj na snazi je Pravilnik o parametrima sukladnosti i metoda analize vode za ljudsku potrošnju (Pravilnik), (N.N. br. 125/2013.; 141/2013.) koji sa Zakonom

o vodi za ljudsku potrošnju (N.N. br. 56/2013.; 064/2015.) čini jedinstvenu cjelinu potrebnu za regulaciju kvalitete pitke vode. U pravilniku se ne spominje problem onečišćenja vode bakterijama iz roda *Legionella*. U laboratorijima za dokazivanje i brojenje bakterija *Legionella* provode se postupci sukladno normi HRN ISO 11731-2:2004.

Na području Europske unije glavni dokument vezan za kvalitetu vode za piće namijenjene za ljudsku upotrebu je Direktiva vijeća EU 98/83/EZ iz 1998. godine, koja je djelomično izmijenjena Direktivom komisije EU 2015/1787, kojom su uvedene izmjene Priloga II i Priloga III iz Direktive Vijeća 98/83/EZ.

Općenito kao temelj za Direktivu koriste se smjernice WHO (World Health Organization) za vodu za piće (Guidelines for Drinking-water Quality, 2011.) i mišljenje Znanstvenog savjetodavnog odbora europske komisije kao znanstvene za standarde kvalitete vode za piće.

U SR Njemačkoj temelj modernim verzijama pravilnika o vodi za piće postavljena je norma DIN 2000 iz 1973. godine. Nakon toga uslijedili su službeni pravilnici o vodi za piće koji imaju originalni naziv Verordnungsüber Trinkwasserundüber Brauchwasserfür Lebensmittelbetriebe (Trinkwasser-Verordnung ili TrinkwV). Zatim sljedeća izdanja te norme su bila: 1975., 1980., 1986., 1990., 2001., 2011., 2012.,

U SAD-u se javna opskrba vodom za piće temelji na zakonima i propisima koje donose savezne i državne vlade, a pojedini propisi mogu biti izrađeni i na lokalnoj razini. Safe Drinking Water Act (SDWA)-Zakon o sigurnoj (zdravstveno ispravnoj) vodi za piće-ključni je savezni zakon za zaštitu javnih vodovoda i osiguranje vode za piće.

U zemljama u okruženju Republici Hrvatskoj prisutnost bakterije roda *Legionella* se ne spominje u sklopu propisa u kojima se regulira sastav zdravstveno ispravne pitke vode.

4. RIZIČNA PODRUČJA POGODNA ZA RAST I RAZVOJ LEGIONELA

4.1. Rizična postrojenja i područja

Kao opće pravilo, treba uzeti u obzir veći rizik za unutarnje i vanjske prostore onih zgrada u kojima se nalazi:

- voda koja dolazi iz vodovodnih sustava ili iz spremnika na kojima je došlo do proliferacije legionela
- gdje bi moglo doći do disperzije malih kapljica vode u zrak (stvaranje aerosola)
- prisutnost ljudi.

Stoga su postrojenja koja predstavljaju potencijalni rizik izazivanja izloženosti legionelama i koja su povezana s pojavom patologije, što će u ovom radu biti razmatramo, jesu postrojenja klimatizacije, rashladne tehnike, vodovodne instalacije i instalacije za pripremu potrošne tople vode (PTV);

- ovlaživači koji se koriste za klimatizacijske sustave ili kao isparivači za raspršivanje i za ovlaživanje hrane
- priključci cijevnih sustava tople i hladne vode za pranje, osobito tuševi i mini tuševi
- rashladni tornjevi koji se koriste za odvođenje u okolinu otpadne topline iz rashladnih uređaja ishlapljivanjem.

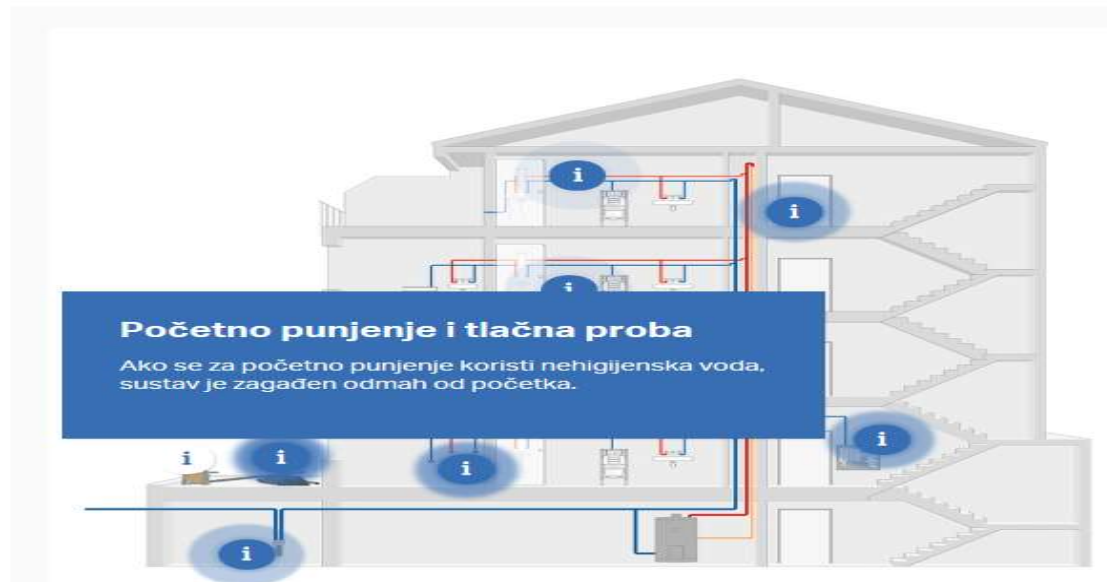
Rizik od legionela može biti povezan s mnogim drugim uređajima i instalacijama:

- tople kupke, hidromasažne kade, spa bazeni, terapijski bazeni
- ukrasne fontane, osobito ako su zatvorene
- hidrantska i SPRINKLER instalacija
- medicinski uređaji s aerosolima
- vodovodni sustavi u procesnoj industriji
- postrojenja za obradu otpadnih voda poput postrojenja za biološku obradu vode.

4.2. Rizična područja vodovodnih instalacija

Na sljedećim slikama su pokazani primjeri kada se može pojaviti kontaminacija legionelama zbog nekvalitetnog projektiranja, izvođenja i loše kontrole radova. Slike 7-14 preuzete su iz istog izvora – [6].

Područja problematična za higijenu pitke vode



Slika 7. Početno punjenje i tlačna proba

Područja problematična za higijenu pitke vode

Slika 8. Prljave komponente sustava

Područja problematična za higijenu pitke vode

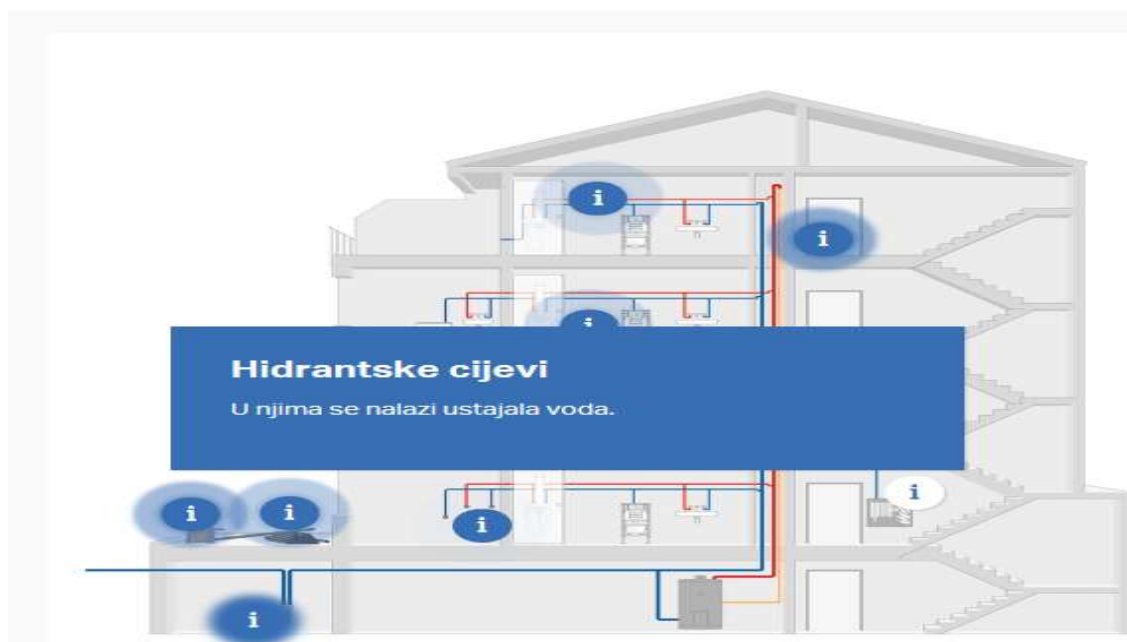
Slika 9. Nedostatno održavanje

Područja problematična za higijenu pitke vode

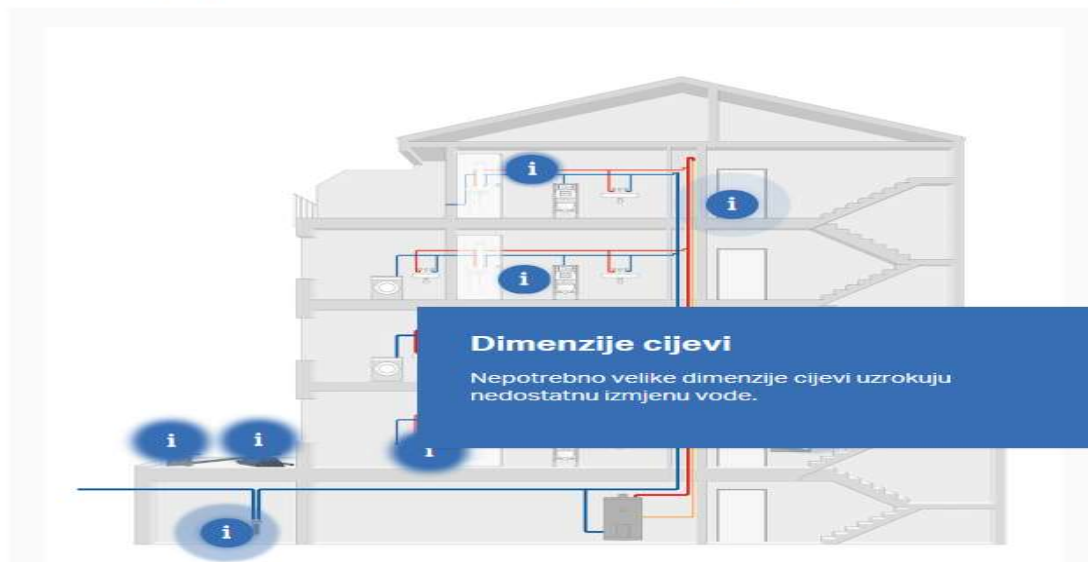


Slika 10. Mrtve zone u cijevima

Područja problematična za higijenu pitke vode



Slika 11. Hidrantske cijevi

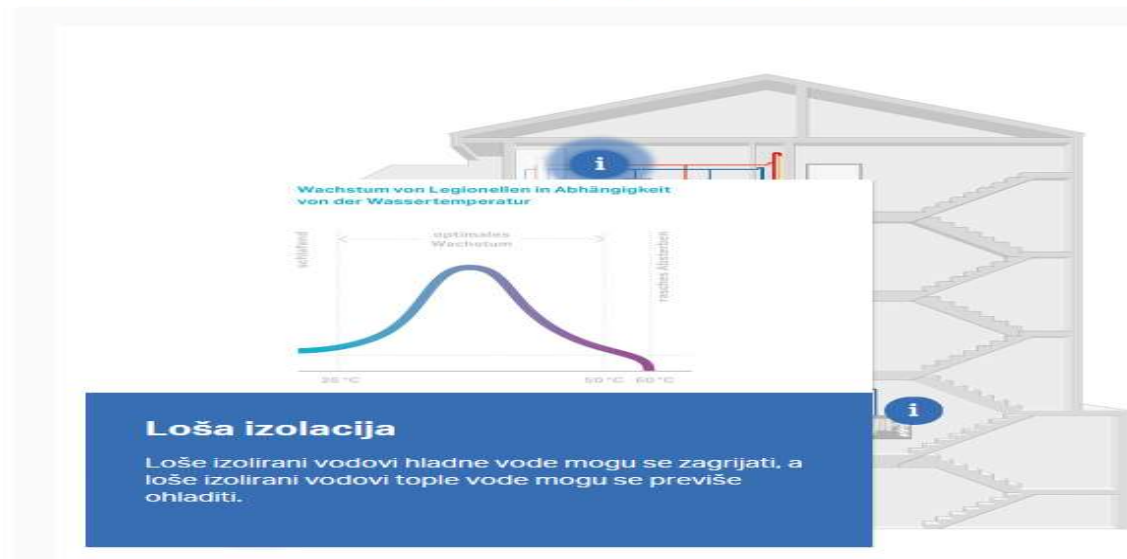
Područja problematična za higijenu pitke vode

Slika 12. Dimenzije cjevovoda

Područja problematična za higijenu pitke vode

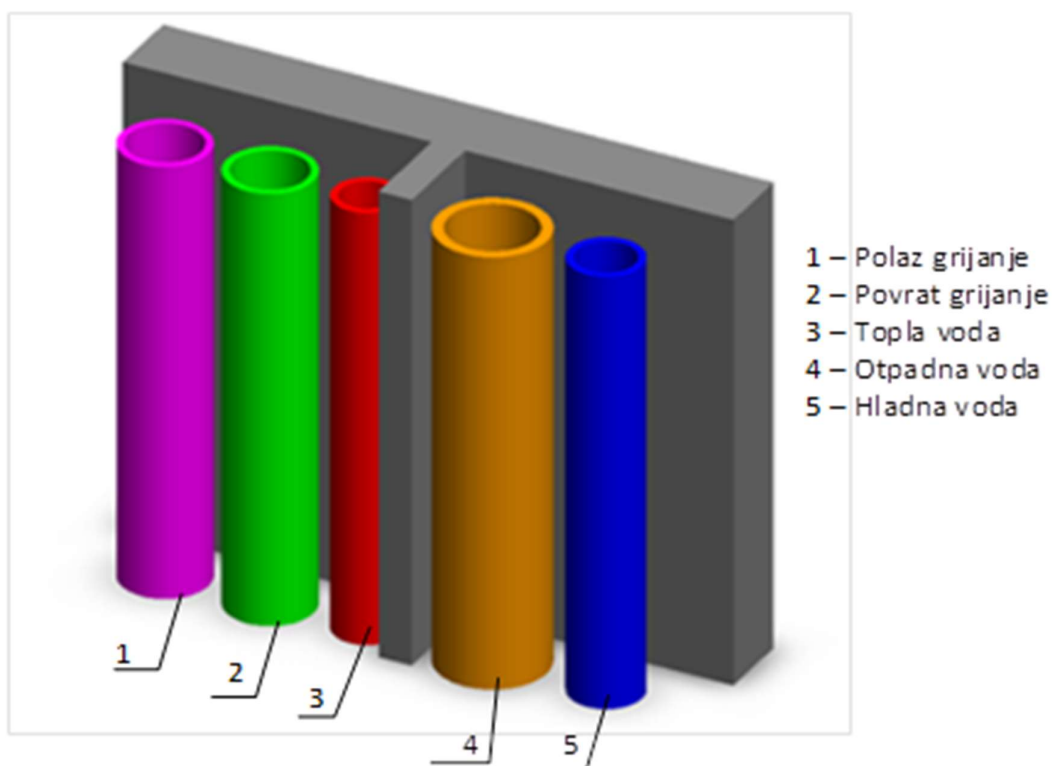
Slika 13. Održivost higijene cjevovoda

Područja problematična za higijenu pitke vode



Slika 14. Loša izolacija cjevovoda

Na donjoj slici se nalazi jedan od primjera pravilno postavljenih instalacija. Ljubičastom i zelenom bojom su naznačeni polazi i povrati sustava grijanja dok crvena i plava boja predstavljaju toplu i hladnu pitku vodu.

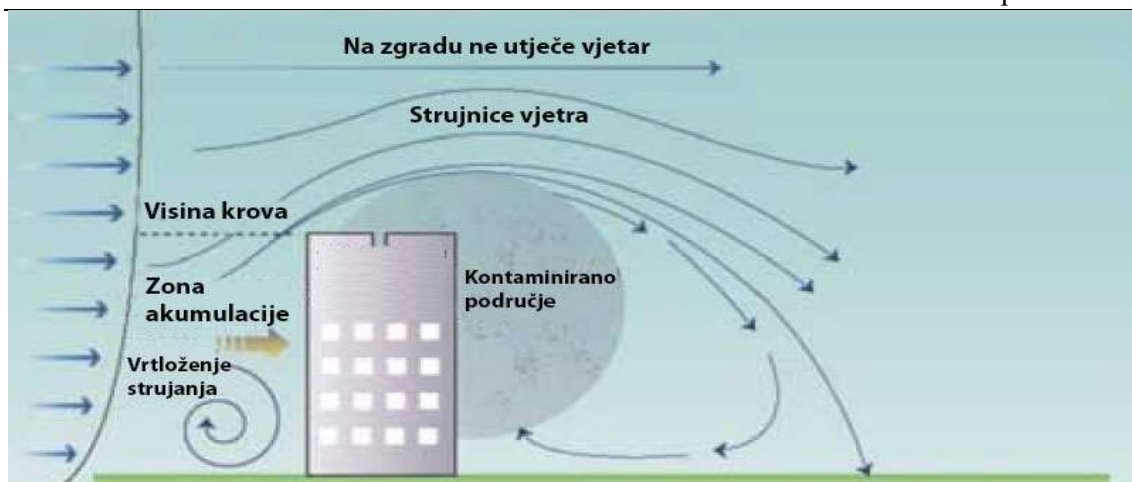


Slika 15. Pravilan raspored instalacija u zajedničkom šahtu [6]

4.3. Rizična područja kod rashladnih tornjeva

Evaporativni rashladni tornjevi su uređaji za odbacivanje topline sadržane u procesnoj (rashladnoj) vodi u atmosferski zrak, normalno preko izmjenjivača topline. Zahvaljujući značajnim ekonomskim prednostima koje dopuštaju u usporedbi s drugim rješenjima, rashladni tornjevi za ishlapljivanje uglavnom se koriste u vodenom hlađenju za industrijsku uporabu i hlađenju kondenzatorske vode srednje velikih hladnjača. Hlađenje ishlapljivanjem dopušta smanjenje emisije CO₂, osim manje potrošnje vode u usporedbi s kondenzatorima hlađenim protokom vode i visokom toplinskom učinkovitošću koja se može postići uz vrlo male troškove. Voda rashladnih tornjeva je izlazne temperature u rasponu od 24 do 35 °C koja je optimalna za rast i razvoj legionela, i upravo iz tog razloga posebnu pažnju treba posvetiti izgradnji rashladnog tornja i njegovim kritičnim komponentama.

Ovisno o obliku građevine i smjeru vjetra, treba voditi računa o strujanju koje se pojavljuje oko građevine. Položaj rashladnih tornjeva je najčešće na samom vrhu objekta, pa zbog utjecaja vjetra nastaje strujanje koje raznosi aerosol pa u kontaminiranom području treba voditi računa da se prozori na građevini ne mogu otvoriti, zatim da nije iza rashladnog tornja u smjeru niz vjetar susjedna zgrada, na kojoj su prozori ili otvori kako se s aerosolom ne bi prenijela bakterija u prostor gdje borave ljudi.

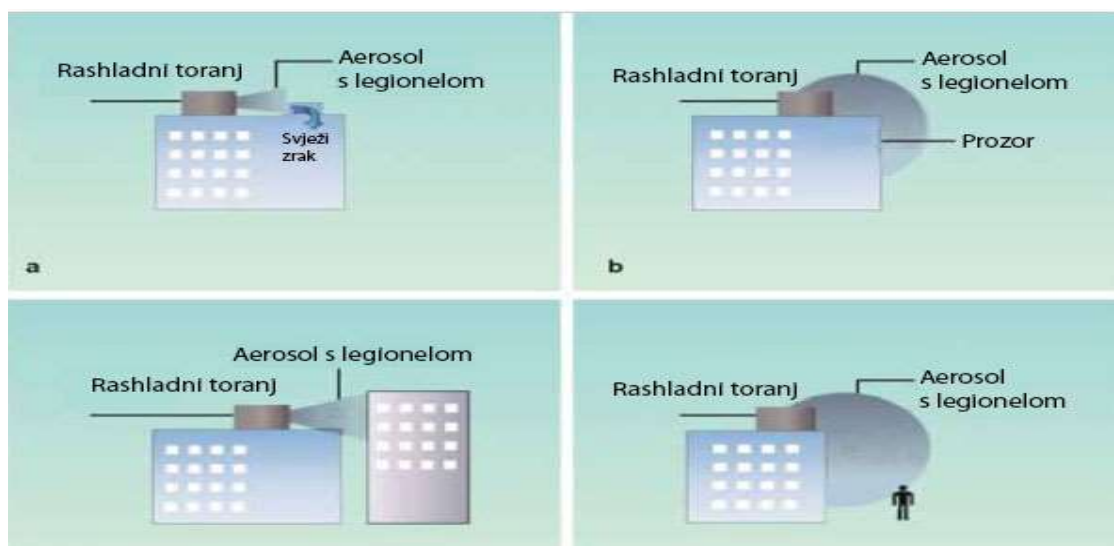


Slika 16. Rizik od ulaska kroz prozore na strani vjetra (negativnog tlaka) zgrade s rashladnim tornjem iznad krova [2]

4.3.1. Izlazna struja zraka iz rashladnog tornja

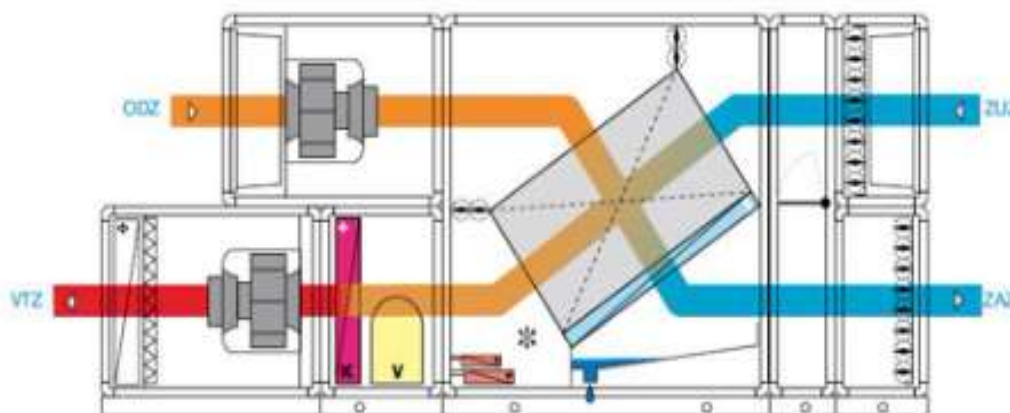
Atmosferski zrak koji je, uz dodatak vodene pare, dodan tijekom procesa ishlapljivanja vode, vrlo je vlažan i vrlo blizu točke zasićenja. Spomenuta vodena para je plin, kao takav ne može sadržavati bakterije.

Fine kapljice vode (aerosol), koje izlaze iz mlaznica, uvučene su u vanjski dio (jedinice) zajedno s protokom vlažnog zraka. Aerosol može sadržavati bakterije, druge mikroorganizme ili krute tvari, ako su prisutne u procesnoj vodi za hlađenje. Da bi se izbjegao ulazak u okolnu atmosferu tih vodenih kapljica strujom zraka, gotovo uvijek su prisutni eliminatori kapljica, koji su postavljeni na ispust zraka iz rashladnog tornja. Tijekom zimske sezone vodena para u vlažnom zraku, ostavljajući evaporativni rashladni toranj (unutar kojega je temperatura viša od vanjske temperature), kada dolazi u dodir s hladnim vanjskim zrakom, (ispod točke rosišta) kondenzira, što dovodi do takozvanog "oblaka pare" ili "maglice". Ovaj fenomen može predstavljati vizualni problem, ali i sigurnosni problem kada se vizualna barijera stvara u zoni gdje je vidljivost važna (na primjer u zračnim lukama). Štoviše, u zonama s hladnom klimom ovaj oblak kondenzata, stvoren oko rashladnog tornja, ima tendenciju spuštanja prema razini tla i zimi u obliku leda u pristupnom području oko samog rashladnog tornja.



4.4. Rizična područja kod klima-komora pri odvlaživanju

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 μ 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 18. Shematski prikaz strujanja u klima-komri s rekuperatorom i skupljačem kondenzata [7]

4.5. Rizična područja pri ovlaživanju zraka

4.5.1. Načini ovlaživanja zraka

Uređaji za ovlaživanje trebaju kontrolirano povećati sadržaj vodene pare u mješavini vlažnog zraka. Temperatura zraka mora biti iznad temperatura rosišta prostora u kojem se zrak mora ovlažiti, kako bi zrak mogao apsorbirati vodenu paru. Način ovlaživanja u HVAC sustavima mora biti pažljivo odabran s obzirom na patologiju bakterija, posebno legionela (i bolesti koje mogu izazvati – potencijalno smrtonosnu legionarska bolest i blaži oblik Pontiacova ili pontijačna groznica [2]).

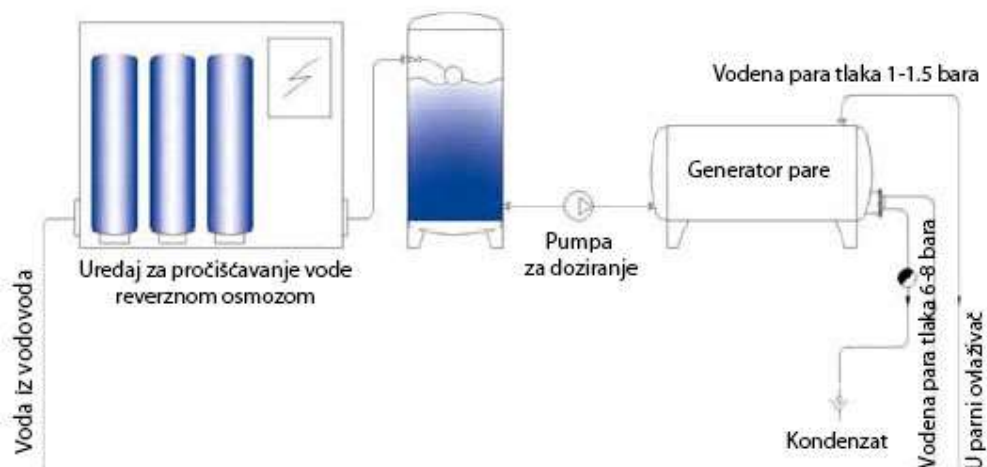
U većini slučajeva prijenos na ljudska bića nastaje kada se voda kontaminirana bakterijama rasprši u zrak (aerosol) u obliku kapljica koje se mogu inhalirati (promjera 1-5 mikrona, tako da mogu izbjeći mehanizme presretanja u našim dišnim putovima) i udiše ga osjetljivi organizam. Oprema koja može omogućiti nastanak stajaćih zona vode na navedenim temperaturama, a koji istodobno proizvode aerosol ili usitnjene kapljice, oslobađajući ih u okolinu, tako su potencijalni nositelji infekcije.

Ovlaživači se mogu podijeliti u dvije grupe:

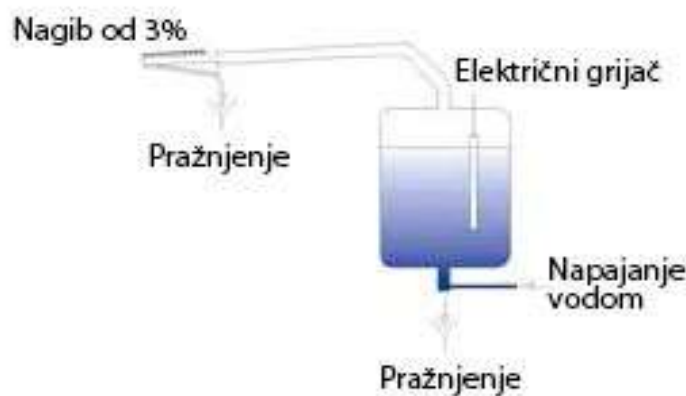
- a) Parni ovlaživači
- b) Adijabatski ovlaživači

a) Parni ovlaživači

Parni ovlaživači, bilo da su električni ili ne, stvaraju paru od vode iz vodovoda i / ili kemijski tretirane vode koja se zatim unosi u mješavinu vlažnog zraka. Masa pare se uvodi pri temperaturi koja je svakako viša od temperature ulaznog zraka, generalno povećanje temperature nije posebno značajno. Ovaj tip ovlaživača također je označen kao izotermni.



Slika 19 Proizvodni sustav za čistu paru za potrebe ovlaživanja [2]



Slika 20 Električni ovlaživač s elektrodama [2]

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. Budući da je toplina koju voda apsorbira jednaka i suprotna onoj koja je oduzeta zrakom, energetska bilanca cijelog sustava zrak + voda jednaka je nuli, a zbog toga se dodjeljuje naziv "adijabatski" za takve ovlaživače. U ekvivalentnim uvjetima, može se reći da je specifična entalpija zraka nepromijenjena tijekom adijabatskog ovlaživanja.

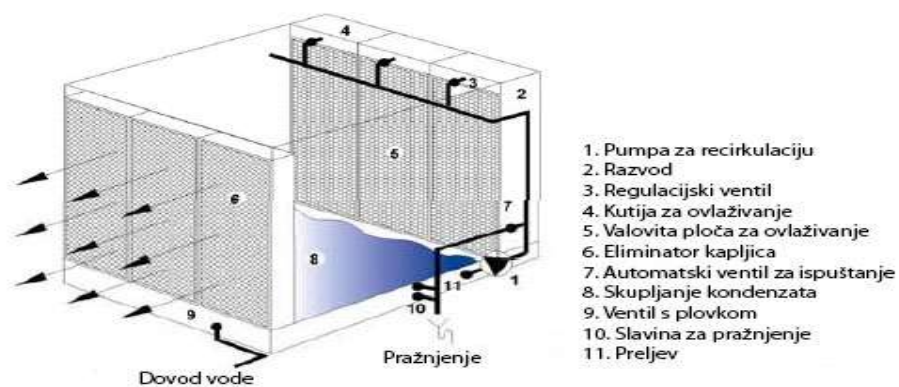
Vrste adijabatskih ovlaživača:

1.) Ovlaživanje ishlapljivanjem

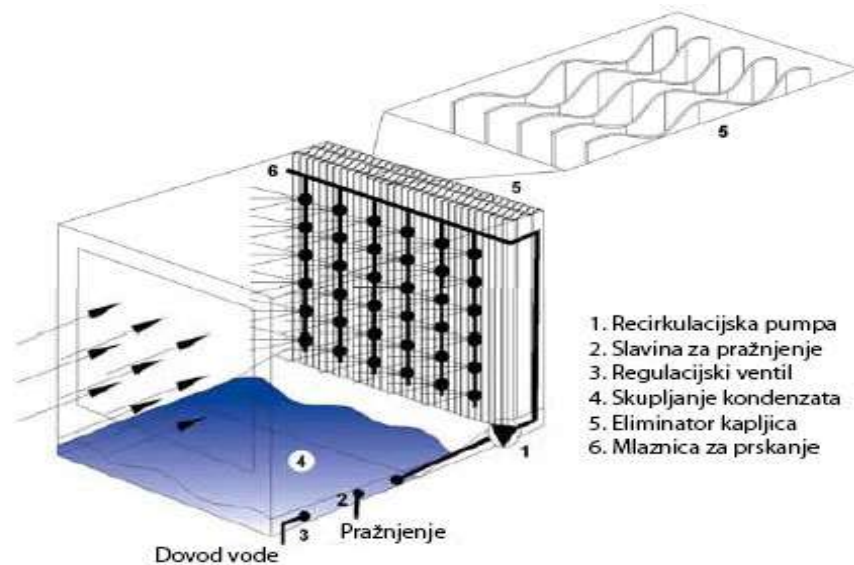
Zračno ovlaživanje stvara kapljice velikog promjera koje djelomično isparavaju, a djelomično se kao tekućina recirkuliraju. Ovlaživanje raspršivanjem sa recirkulacijom je potencijalno rizičan postupak, gdje se može pojaviti kontaminacija reciklirane vode bakterijama iz zraka, na kojem mjestu pri povoljnim temperaturnim uvjetima se povećava profilacija patogenih mikroorganizama (bakterija, gljivica) uz nastajanje kamenca.

Voda se propušta preko medija dovoljno izložene površine (ishlapljivačka površina) i odatle spontano isparava u zračni tok s kojim je u kontaktu. Često se voda koja nije isparila reciklira. Voda u (sakupljačkom) bazenu je razrijeđena (demineralizirana) kako bi bila pod kontrolom koncentracija mineralnih soli, koja ima tendenciju porasta zbog isparavanja. Kontrola vlažnosti može se postići pomoću mjernog instrumenta, koja može dati signal za solenoidni ventil postavljen na dovod vode. Količina unesene vode mora nužno biti veća od potrebnog teoretskog minimuma, kako bi se izbjeglo prekomjerno taloženje soli na ishlapljivačkim površinama i bazenu ispod njega: višak vode se ispušta kroz cijev za preljev bazena. U onim slučajevima u kojima je korišten bazen za recirkulaciju, potrebno je osigurati kontinuirano pročišćavanje ili "odzračivanje". S higijenskog stajališta, ovlaživači tipa za punjenje s recirkulacijom potencijalno su veća opasnost od onih bez recirkulacije jer rizici zbog recirkulacije vode, koji mogu pogodovati proliferaciji patogenih mikroorganizama (bakterija, gljivica), pojačani su stvaranjem kamenca na pakiranju punjenja, a to se javlja čak i kao posljedica lošeg održavanja.

S higijenskog stajališta ovi uređaji obično proizvode minimalnu količinu kapljica. Međutim, neadekvatno održavanje ili nepravilna raspodjela vode ili zraka može uzrokovati stvaranje kapljica čije dimenzije ovise o tipu uređaja, uvjetima punjenja, brzini zraka i brzini protoka raspršivača. Mora se pretpostaviti da je u ekstremnim slučajevima moguće stvaranje kapljica čiji je promjer manji od 5 mikrona.



Slika 21 Ovlaživač zraka za isparavanje s recirkulacijom vode ugrađen je u jedinicu za zrak [2]

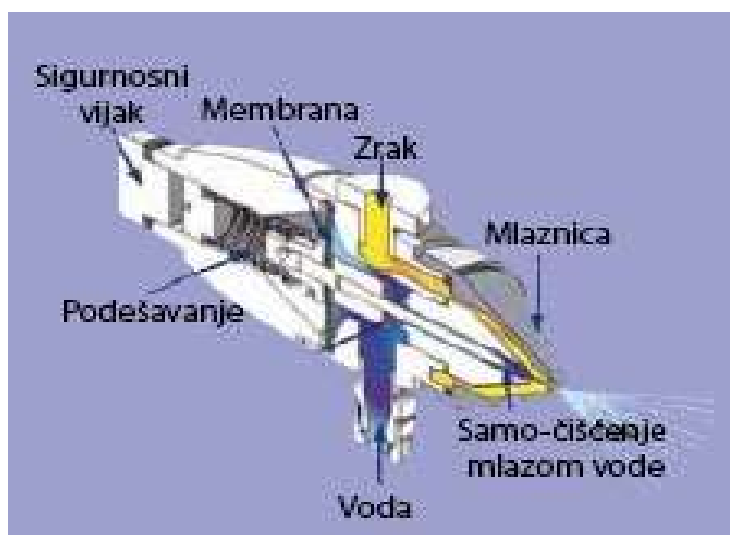


Slika 22 Shematski crtež adijabatskog ovlaživača umetnutog u jedinicu za obradu zraka [2]

2.) Centrifugalni ovlaživači

Centrifugalni ovlaživači: rotor se napaja vodom "razbijajući je" u kapljice veličine mikrometra putem centrifugalnog učinka pomoću lopatica. Raspršivači vode pod tlakom stvaraju vrlo finu maglicu koja se unosi u zrak i proizvodi se pumpanjem vode pod tlakom kroz mlaznice s otvorima veličine mikrometra da se voda koja nije isparila ne koristi ponovno. Higijenska prednost raspršivanja demineralizirane vode je očiglednija. Kao ograničavajući slučaj, idealna situacija bila bi upotreba isključivo potpuno deionizirane vode, ali uvijek treba tražiti pravi kompromis između higijenskih aspekata, troškova povezanih s proizvodnjom demineralizirane vode i kvalitete ovlaživanja koju zahtijeva proces posluživanja ovlaživača. Raspršivači komprimiranog zraka i vode: odgovarajuće mlaznice stvaraju fini aerosol omogućujući "miješanje" vode i komprimiranog zraka. To može biti tehnička voda ili demineralizirana voda: higijenski gledano, poželjna je demineralizirana voda jer smanjuje količinu mineralne prašine koja se unosi u tretirane prostore, a mineralna prašina može predstavljati idealnu podlogu (biofilm) za proliferaciju patogenih agenasa.

Svaka kapljica nosi u sebi određenu količinu mineralnih soli i, kad ispari, one lepršaju u zraku i talože se u obliku praha, vrlo teško uklonjivog. Demineralizacija smanjuje količinu mineralnih soli u vodi, a time i prašinu. Glavni uzroci zahvaćanja malih kapljica u izlazni protok zraka su prisutnost prljavih / začepljenih mlaznica i prljavih ili oštećenih eliminatora kapljica. Ove jedinice mogu proizvesti kapljice različitih dimenzija, svakako i manje od 5 mikrona. Što se tiče raspršivanja ovlaživača, takva oprema može proizvesti kapljice različitih dimenzija, svakako također u rasponu ispod 5 mikrona.



Slika 23 Mlaznica za raspršivanje vode [2]

Također je potrebno razmotriti raspon radnih temperatura takvih sustava, iako oni mogu generirati vodene kapljice čiji je promjer manji od 5 mikrona, općenito njihova radna temperatura obično je izvan raspona pogodnog za proliferaciju legionela (manje od 25 °C). Potrebno je imati na umu da zbog zahtjeva u postupku općenito postoje razdoblja u kojima aparat za ovlaživanje ostaje neaktivan. Sadašnja praksa (i u svakom slučaju preporučena) je da su posude za skupljanje kondenzata potpuno prazne kada su jedinice neaktivne. Štoviše, da bi se izbjeglo povećanje koncentracije krutih tvari i kontaminanata u krugu, normalno se primjenjuju sustavi kontinuirane zamjene ili ispuštanja.

3.) 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. Ultrazvučni ovlaživači, pripadaju vrsti "adiabatskih ovlaživača", s njihovim potencijalnim rizicima od aerosoliziranih kapljica vode s bakterijama legionele, sa najkritičnijim područjima u recirkuliranoj vodi. Nije potrebno da ultrazvučni ovlaživači (zbog potreba vibracijskih pretvarača) trebaju koristiti potpuno demineraliziranu vodu. Korištenje demineralizirane vode može imati pozitivne higijenske učinke smanjujući rizik proliferacije bakterija. Ipak, dobro je predvidjeti njegovu potpunu odvodnju u slučaju nestanka struje, kako bi se izbjeglo stvaranje stajaće vode: očito su modeli koji obavljaju redovito čišćenje i automatsko pražnjenje poželjniji.



Slika 24. Uređaj za ultrazvučno ovlaživanje s automatskim radom [2]

5. METODE FIZIKALNE OBRADNE

5.1. Termička obrada kontaminiranih sustava

Pokazalo se da se bakterije roda *Legionella* razmnožavaju i preživljavaju s većom lakoćom osobito na krajevima ogranaka distribucijskih mreža (slavine, difuzori tuševi, protumlazni filtri itd.). Ova oprema često je opremljena gumenim ili polimernim plastičnim brtvama i takvi materijali čine jedan od idealnih supstrata za biološku aktivnost bakterije.

Povećanje temperature je jedna od metoda za kontrolu rasta legionela, budući da se već pri temperaturi od 60 °C bakterija inaktivira proporcionalno razdoblju izlaganja.

Metoda se sastoji u kontinuiranom povećanju temperature tople vode na 70-80 °C tijekom 3 dana i puštanju u rad 30-60 minuta, kako bi se moglo uočiti da je minimalna temperatura na završecima mreže jednaka ili iznad 60-65 °C [3], [2]. Metoda se provodi kao tzv. šok-dezinfekcija, pri čemu se korisnicima zabranjuje upotreba vode (zbog opasnosti od opekline)

Učinkovitost ove metode termičke obrade povezana je prije svega s kapacitetom sustava za održavanje konstantne temperature vode vrijednosti veće od 60-65 °C.

Postupak za korištenje je sljedeći:

- podići temperaturu tople vode na 70 °C najmanje pola sata
- otvorite sve slavine na mjestima uzorkovanja
- provjeriti da je temperatura na mjestima uzorkovanja doista 70 °C tijekom najmanje pet minuta vremena istjecanja vode

Prednosti i nedostaci termičke obrade

Prednosti:

- Dobra učinkovitost u slučajevima kada su distribucijske mreže dobro izolirane i niske debljine biofilma
- Ne zahtijeva nikakvu posebnu opremu
- Mogućnost trenutnog aktiviranja

- Na iznad 60 °C cca. 90% aktivnih kolonija prisutnih u vodovodnoj mreži uništeno je
- Jednostavna primjena.

Nedostaci:

- Skup sa stanovišta upravljanja instalacijom
- Podizanjem temperature iznad 60 °C pokreće se fenomen degradacije i uništenja sloja cinka ako je riječ o pocinčanim čeličnim instalacijama.
- Podizanje temperature može dovesti do pojave korozije uzrokovane interakcijom kisika i visokih temperatura.

5.2. Pasterizacija

Sustav pasterizacije je preventivna i kontinuirana termička obrada koja predstavlja fizikalno rješenje za borbu protiv legionela. Princip rada zahtijeva da se za proizvodnju tople vode za sanitaciju obradi sva hladna voda koja dolazi iz glavnog dovoda i dođe do korisnika. Recirkulirana voda se miješa s hladnom glavnom vodom i prolazi kroz izmjenjivač topline 1, čija je funkcija smanjiti izlaznu temperaturu iz spremnika od 70 °C do temperature upotrebe blizu 58 °C, a istovremeno zagrijava hladniju povećavajući prosječnu temperaturu izmjenjivača od 55 °C. Prethodno zagrijana voda tada ulazi u izmjenjivač topline 2 (toplinski izmjenjivač pasterizacije), kroz koji se voda dovodi do temperature od cca. 70 °C, na taj način punjenje spremnika je na istoj temperaturi.

Ovo povećanje temperature omogućuje provođenje toplinskog šoka ili pasterizacije vode. Spremnik sadrži, dakle, vodu na 70 °C i jamči dobru homogenizaciju vode i dostatno vrijeme kontakta za uništavanje bakterije. Voda ponovno ulazi u izmjenjivač topline 1 kako bi smanjila temperaturu na približno 58 °C, za naknadno razdvajanje u korisničke sustave.

Prednosti:

- Preventivna obrada na hladnoj vodi koja je mogući nositelj legionele, ovom metodom ograničava se vjerojatnost kontaminacije biofilma
- Sigurnost proizvodnje tople vode za sanitaciju; jamči opskrbu, koja ne sadrži bakteriju
- Ne mijenja kvalitetu vode
- Ne koristi kemikalije; nema utjecaja na okoliš
- Slijedivost i nadzor temperature; korištenje temperaturnih sondi

- ne postoji opasnost od opekлина za korisnike mreže.

Nedostaci:

- Nema kontrole postupka u slučaju nedostatka električnog napajanja ili problema u primarnom krugu; pasterezacija se više ne jamči
- Ne postoji pokrivenost rizikom od proliferacije legionele
- Zahtijeva proizvodne komponente koje mogu izdržati visoke temperature
- Kvaliteta vode treba uzeti u obzir rizik vezan za kamenac i koroziju komponenti za proizvodnju tople vode za sanitaciju (spremnik izmjenjivača topline podvrgnut temperaturi od 70 °C)

5.3. UV zračenje

Ultraljubičasto zračenje je alternativna metoda za inaktiviranje bakterija roda *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 najprikkladniju za inaktivaciju mikroorganizama.

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/cm² ili J/cm²

I - Intenzitet zračenja uređaja, W/cm²

Tablica 1. Doze zračenja za različite redukcije bakterija *Legionella pneumophila* [9]

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>	srednjetlačna	1,9	3,8	5,8	7,7	9,6

Najnovije UV lampe mogu garantirati emisiju minimalne doze zračenja od oko 300 J/m², što je dovoljna vrijednost za određenu dezinfekciju u širokom spektru čak i kada su svjetiljke blizu gubitka učinkovitosti, tj. istrošenosti (vijek trajanja je oko 8000 sati). Metode toplinske ili kemijske dezinfekcije (kloriranja) mogu se koristiti prije primjene ultraljubičastog svjetla za kontrolu legionela prisutnih u instalaciji.

Osim toga, takva tehnika nije adekvatna kao jedinstvena metoda za cijelu zgradu, 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 s visokim koncentracijama klora 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.

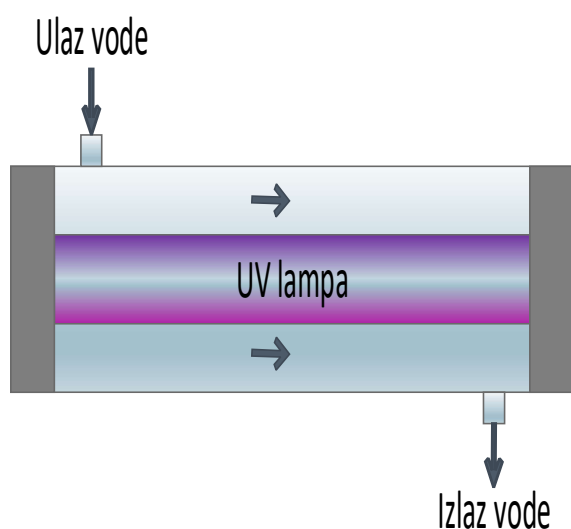
Prednosti:

- 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

- ako se ugrađuje nizvodno od proizvodnje tople vode za sanitaciju, dobivaju se dobri rezultati za prevenciju legionela i radovi na održavanju koji su potrebni za čišćenje svjetiljki su manji u odnosu na upotrebu do mjesta korištenja vode
- nepostojanje kolateralnih učinaka na cjevovod, tj. ne uzrokuje koroziju materijala i čak ni degradaciju cinka.

Nedostaci:

- kada se svjetiljke primjenjuju u blizini mjesta korištenja vode, filter se mora postaviti uzvodno kako bi se zaštitile svjetiljke od nečistoća
- 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 krajnjim točkama sustava



Slika 25. Princip rada UV dezinfekcije i reaktor s UV svjetiljkom za male protoke iz Laboratorija za vodu, gorivo i mazivo Fakulteta strojarstva i brodogradnje

5.4. Filtri

Upotreba filtara svakako bi mogla naći primjenu u mnogim sektorima, od bolničkih kompleksa do smještajnih struktura, kao što su na primjer hoteli i kampovi.

U slučajevima sprječavanja prolaska bakterija roda *Legionella* kroz vodni sustav, mogu se koristiti filtri s ultrafiltracijskim membranama. Ultrafiltracija (UF) je metoda koja primjenom membrana posebne propusne moći (veličina pora nalazi se u području približno od 2 do 50 nm) osigurava fizičko sprječavanje prolaska bakterija i virusa (i drugih dispergiranih čestica), a membrane su propusne za vodu i druge otopljene tvari u vodi.

Postupak je najučinkovitiji kada se provodi ugradnjom filtera na istrujnim mjestima (na slavinama, na tuševima), odnosno njegova primjena je na mjestu korištenja, iako se može koristiti i kao tzv. ulazna barijera, no u tom slučaju ne osigurava se naknadna kontaminacija u sustavu.

Postoje dvije kategorije filtera:

- filteri za tjednu, dvotjednu ili mjesečnu zamjenu
- regenerabilni filtri

Prva kategorija sastoji se od filtara s filtracijskom membranom od 0,2 μm ; takvi filtri odolijevaju tlaku do 5 bara i temperaturi od 70 ° C tijekom 30 minuta protoka; pri tlaku od 3 bara, što je vrijednost tlaka koja se općenito susreće u cjevovodnoj mreži, brzina protoka je 10 l / min. Što se tiče njihove zamjene, čestice prisutne u krugovima određuju vremenski interval između zamjena [2].

Druga kategorija je skuplja od prve, ali je ipak poželjnija zbog boljeg odnosa cijene i kvalitete: ovi filtri su sastavljeni od dvostruke membrane od po 0,2 μm što omogućuje značajnu površinu filtracije, štoviše, u mnogim slučajevima, oni su opremljeni sustavom kontrole tlaka vode .

Ova dva aspekta osiguravaju kvalitetu stalno filtrirane vode. Njihova uporaba preporuča se u bolnici za pranje ruku u operacijskim dvoranama i za ispiranje medicinskih instrumenata

Prednosti:

- laka primjena, izravno na mjestima izlivanja, kao što su tuševi i slavine
- mogućnost korištenja u bilo kojoj vrsti zgrade i bilo koje dimenzije
- posebno se preporučuje za pranje ruku u operacijskim dvoranama i za ispiranje medicinskih

instrumenata

- potvrđene izvedbe
- brza inaktivacija bakterije
- re-sterilizacija za filtre koji se mogu regenerirati

- odmah primjenjiva mjera koja ne zahtijeva projektiranje i dugotrajno izvođenje i ugradnju, omogućuje u kraćem prijelaznom periodu korištenje objekta do osiguranja trajnih mjera protiv legionela.

Nedostaci:

- visoki tekući troškovi
- uzorkuje padove tlakova u sustavu koji stoga uzrokuju smanjenje ili nedostatak protoka za korisnike
- prisutnost kvalificiranog osoblja kako bi se osiguralo izbjegavanje pojave kontaminacije tijekom zamjene takvih filtara
- učinkovitost se pokazala većom ako se primjenjuje istodobno s kemijskom tretmanom, klor-dioksidom
- relativno kratki intervali izmjene, relativno visoka cijena.

6. KEMIJSKI TRETMAN

6.1. Dezinfekcija klorom

Dezinfekcija klorom je učinkovita i jeftina metoda dezinfekcije kojom se uništavaju bakterije i virusi. Primjenjuje se i u hitnim situacijama jer klor inaktivira mikroorganizme razarajući njihove stanične membrane. Kada su stanične membrane oštećene tada klor ulazi u stanicu i na taj način onesposobljava stanično disanje i DNK aktivnosti, dva bitna procesa za preživljavanje.

Za kemijsku dezinfekciju pitke vode se uglavnom koriste kemijska dezinfekcijska sredstva kao što su klor, klorov dioksid, ozon itd. Uspješnost samog postupka „kloriranja“ ovisi o nekoliko parametara [4], [2]:

- Vrsta sredstva (klor, klorov dioksid)
- Biološke osobine mikroorganizama (osjetljivost mikroorganizama na klor)
- Homogenizacija dezinfekcijskog sredstva s vodom
- Temperatura vode (na nižim temperaturama se dezinfekcija odvija sporije)
- pH vrijednost (optimalna vrijednost od 6,2 do 6,5)
- Mutnoća vode (umanjuje efikasnost samog procesa, prethodno se preporuča filtriranje)
- Organski spojevi (troše izvjesnu količinu klora)

Za dezinfekciju se najčešće koristi kombinacija fizikalnih i kemijskih postupaka, gdje se prvo provodi UV zračenje, a zatim dezinfekcija klorom, klorovim-dioksidom ili ozonom.

6.1.1 Kloriranje i hiperkloriranje s hipokloritima

Klor je snažno oksidirajuće sredstvo koje se godinama koristi za dezinfekciju pitke vode. Metoda kloriranja, u prevenciji legionela, predviđa doziranje s klorom u količinama većim od 3 mg / l pri konstantnoj koncentraciji i pH između 6 i 7. Voda može poprimiti vrijednosti pH čak do 7,4-7,5 što zahtjeva korištenje velikih količina klora kako bi učinak sterilizacije bio što efikasniji.

Upotreba klora ima sljedeće negativne učinke:

-
- stvaranje trihalometana, tvari za koje se smatra da su djelomično kancerogene
 - mogu nastati ozbiljne pojave korozije
 - nestabilnost koncentracije tijekom vremena
 - ograničena penetracija u biofilm
 - nedovoljno djelovanje u zonama gdje voda stagnira
 - promjena okusa vode
 - djelovanje hiperklorita (tj. hipokloritne kiseline) je ovisno o pH (niža aktivnost u vodi s alkalnim pH)

Za pročišćavanje kloriranjem, najčešće korištene metode koje se koriste su *kontinuirano doziranje* (u smislu prevencije, pri tome se voda normalno koristi) ili *povremeno doziranje* hiperkloriranjem (tzv. šok – dezinfekcija, kada se sa sigurnošću utvrdi da se koncentracija legionela u vodi povećala do te mjere da mogže izazvati oboljenja ljudi) takvi postupci uključuju posljedično povećanje rezidualnog klora u vodi i mogućnost stvaranja većeg broja nus-spojeva. Kvalificirano osoblje je potrebno za praćenje i analizu bakteriološkog i ostatnog klora i naslaga u sustavu vodovoda.

Povremeno doziranje hiperkloriranjem mora se provoditi u vodi pri temperaturi ispod 30 °C, s doziranjem klora u vodu kako bi se dobile koncentracije rezidualnog klora od 20-50 mg/l unutar cijelog sustava, uključujući udaljene ogranke instalacija. Nakon vremena reagiranja od najmanje dva sata s 20 mg/l klora ili najmanje jedan sat s 50 mg/l klora, voda se ispušta i sustav se ispire. Svježa voda se zatim pušta u instalaciju sve dok se razina klora ne vrati u koncentraciju od 0,5-1 mg/l. Također, u ovom slučaju cjevovodi su podložni jakim korozivnim učincima, a nastaju halogeni derivati, štoviše u velikim količinama; također treba naglasiti djelomičnu sposobnost dezinfekcije u zonama stagnacije vode, gdje legionele ostaju potencijalno aktivne. Tretman također uzrokuje intenzivne mirise. Hipoklorit nastoji reagirati s derivatima NH_3 i aminima te doprinosi promjeni u okusu vode.

Kontinuirano hiperkloriranje predviđa kontinuirano doziranje klora, u obliku plinovitog klora ili otopine natrijevog hipoklorita, dok se ne postigne koncentracija rezidualnog klora od 1-3 mg/l; takve koncentracije mogu puno varirati ovisno o količini vode, protoku i kontaminaciji prisutnog biofilma. U zonama stagnacije ili gdje postoje problemi recirkulacije u

vodovodnom sustavu, tamo je slabije reagiranje klora na legionele. Međutim, treba imati u vidu nacionalne/lokalne propise koji se odnose na dopuštenu količinu slobodnog klora prisutnog u vodi za piće (na izlazu korisnika) koja može varirati od 0,1 do 1 mg/l.

Vrijednost bi stoga trebala biti pod kontrolom: doze ne bi trebale biti visoke (ne samo u slučaju točke za doziranje na početku duge mreže cjevovoda, već posebno ako su u blizini korisničkog mjesta).

Ovu metodu karakterizira niska cijena, zbog svoje jednostavnosti izvedbe i sa stajališta uređaja, koji se lako koristi, međutim, nije sposobna inaktivirati legionelu u zonama stagnacije ili smanjenog protoka. Nema prodiranja u vezani biofilm i često se susreće difuzna sustavna korozija, nadalje kontinuirana doza hiperkloriranja proizvodi halogene derivate.

Ne smije se ni pod kojim okolnostima zaboraviti da hipoklorit nema sposobnost dubokog prodiranja u biofilm i stoga se može tvrditi da se općenito može dezinficirati i djelovati na raspršene kolonije, ali ne i na biofilm. To također objašnjava zašto nakon tretmana s hipokloritom, čak i ako se radi o različitim vremenskim okvirima, ovisno o vrsti kontaminacije sustava, ponovna koncentracija je prilično brza. Drugi nedostaci su nužnost korištenja povećanih količina u slučaju srednje alkalne vode s $\text{pH} > 7,4$ ili je potrebno dozirati kiselinu kako bi se pH vode održavao ispod 7,4.

Snažno nagrizajuće djelovanje natrijevog hipoklorita na metale, od čega je napravljena većina distribucijskih instalacija, nameće da aktiviranje metode dezinfekcije hiperkloriranjem bude podređeno prethodnoj i pažljivoj metalurškoj analizi (teške objektivne procjene s obzirom na opseg i posebnosti vodovoda mreže, ocjenjivanje i tumačenje ugroženih metala).

Pocinčani čelik koji se koristi kao materijal za spremnike i vodovodne instalacije ima loša svojstva u slučajevima kada se šok-tretman mora ponoviti. Te tretmane treba izbjegavati u slučajevima kada su distribucijska mreža i izmjenjivač topline iz nehrđajućeg čelika, Također, nikal, koji se koristi za izmjenjivač topline, nije preporučljiv zbog nepovoljnih svojstava. Cijeli proces pročišćavanja mora nužno planirati i koordinirati stručnjaci.

Prednosti:

- jednostavnost postupka ako se kao izvor klora koristi otopina natrijevog hipoklorita
- najniži trošak / investicija
- jednostavan rad postrojenja

- visoka učinkovitost u zonama visokog protoka

Nedostaci:

- oblikovanje stvaranje trihalometana, tvari koje se smatraju parcijalno potencijalno kancerogenim
- dolazi do pojave korozije
- teško je održati stabilnost koncentracije tijekom vremena
- maloslabo prodiranje u dubinu biofilma, djelujući tako minimalno protiv legionele
- nedovoljno preventivno djelovanje u zonama stagnacije
- uzrokuje promjenu okusa vode
- nastaju nusproizvodi
- potrebna je kvalificirana osoba za praćenje i za bakteriološke analize
- preostala koncentracija rezidualnog klora može prelaziti zakonske granice
- nije u stanju inaktivirati legionele u u zonama niskog protoka
- potrebna je pažljiva metalurška analiza materijala od kojih je izrađena oprema i instalacija je potrebna prije izvršenja hiperkloriranja

Ograničenja upotrebe:

- nije preporučljiva uporaba pocinčanog čelika i nikla

Ekonomska opravdanost:

- niži troškovi

6.2. Klorov dioksid

Primjena klorova dioksida (ClO_2) je vrsta dezinfekcije vode koja se odlikuje dobrim antibakterijskim djelovanjem, sposobna je trajati relativno dugo u cjevovodu (cca. 42/50 sati). Takva tehnologija je izuzetno dobro iskušana i koristi se već više od 60 godina kako u pitkoj vodi tako i u industriji. Važne karakteristike ove obrade jesu pouzdanost proizvođača dioksida, vrsta distribucijske mreže i, ne manje važno, prethodno razrjeđivanje, miješanje i doziranje proizvoda u mrežu [2].

Ova supstanca, za dezinfekciju vodovodnih mreža i distribucije, odlikuje se sljedećim:

- upotreba klorova dioksida kao sredstva za dezinfekciju, osobito djelotvorna prema bakterijama roda *Legionella*
- djelovanje dezinfekcije odvija se u kraćem vremenu od onog koje zahtijevaju drugi biocidi

- ClO₂ uzrokuje manje korozivnih pojava u usporedbi s drugim biocidima na bazi klora

- ima izraženu sposobnost prodiranja u biofilm

- aktivan i protiv virusa

- ne mijenja okus vode

Klorov dioksid se dobiva stehiometrijskim doziranjem, u posebnoj reaktoru, otopine klorovodične kiseline (HCl) i otopine natrijevog klorita (NaClO₂). Važan dio postrojenja je pravilno funkcioniranje senzora tlaka i protoka, jer se generirani klorov dioksid odmah mora dozirati u tok vode. Inače, postoji opasnost od eksplozije.

Proizvodnja, doziranje klorova dioksida i funkcionalnost cijelog sustava moraju se kontrolirati mikroprocesorskom kontrolnom jedinicom; proizvodnja mora biti prekinuta kad god postoji nedostatak protoka u liniji za razrjeđivanje.

Dva reagensa, klorovodična kiselina i otopina natrijevog klorita, ne smiju ni u kom slučaju doći u dodir između proizvodnog reaktora, ta dva spremnika moraju biti stavljena u dva odvojena sigurnosna spremnika s volumenom jednakim barem onomu pojedinačnih spremnika. Svaki spremnik zahtijeva jasno i očito obilježavanje kako bi se spriječilo slučajno miješanje zbog ljudske pogreške.

U krugovima tople vode za sanitaciju, doziranje se mora provesti putem namjenske linije za razrjeđivanje. Osim toga, doziranje se mora odvijati proporcionalno i u najmanje dvije dobro definirane točke:

- u liniji za pripremu hladne vode kotla ili u spremnicima, ako se prijenos topline odvija preko pločastog izmjenjivača topline;

- izravno na dovodnoj cijevi tople vode za sanitarnu petlju, nakon ventila za miješanje, prije nego što ode do korisničke opreme. Doziranje mora biti izvršeno kao funkcija protoka recirkulacije, mjereno volumetrijskim mjeračem, i očitavanja klorova dioksida u korisničkoj opremi

Točke za analizu koncentracije klorova dioksida moraju biti jednake broju petlji raspodjele plus jedna koja je linija za pripremu hladne vode.

Ovaj tretman je vrlo učinkovit za prevenciju legionela, također zbog toga što klorov dioksid ima dobru sposobnost prodiranja u biofilm, zahvaljujući karakteristikama koje su svojstvene

vrsti same molekule. Ne pokazuje ovisnost o pH, ima veću sposobnost topljivosti i difuzije čak i u zonama manjeg protoka, ne stvara halogene derivate niti mijenja okus vode.

Zadržavajući dozu od oko 0,15-0,2 mg/l, rizici od korozije su zanemarivi, dezinfekcijska učinkovitost traje između 42 i 50 sati, uz korištenje razrjeđenja, osigurava se inercija zaštitne pokrivenosti mreže. Nedostaci su prilično visoki troškovi, ako je poželjna visoka sigurnost i pouzdanost postrojenja i zahtjev za posebnom pažnjom nad sigurnošću.

Potrebno je naglasiti nužnost proizvodnje na licu mjesta s prilično složenim postupcima.

Jednom kada je doza klorova dioksida za mrežu cjevovoda identificirana kao temeljni element strategije održavanja koncentracije, izbjegavajući opasne pulsacije, procesor postaje bitan za održavanje cjelokupne automatizacije proizvodnje i doziranja na vrijednosti uspostavljene pri pokretanju.

Osim toga, temeljno je uzeti u obzir činjenicu da cijevne mreže u kojima se vrši doziranje imaju gotovo neprestano promjenjiv tlak i da dozirne crpke imaju različite doze u skladu s varijacijama tlaka.

PREDNOSTI I NEDOSTACI KLOROVA DIOKSIDA

Prednosti:

- klorov dioksid traje relativno dugo u cjevovodima, čime se jamči pokrivenost zaštite nizvodno od mjesta doziranja
- djelovanje dezinfekcija odvija se u kraćem vremenu u usporedbi s drugim biocidima
- dokazano je da je klorov dioksid manje aktivan u stvaranju pojava korozije u usporedbi s drugim biocidima na bazi klora
- vrlo učinkovit u prevenciji legionela
- ne ovisi o pH vrijednost
- difuzijska sposobnost čak i u zonama manjeg protoka
- ne mijenja okus vode
- ne proizvodi halogene derivate

Nedostaci:

- vrlo značajan trošak
- proizvodnja proizvoda na licu mjesta pomoću složenih postupaka
- formira, u slučaju povišenih doza, štetne nusprodukte klorit i klorat, čija koncentracija je ograničena zakonom, zbog njihova potencijalnog karcenogenog djelovanja

- selektivne sonde za kontrolu rezidualnog klor-dioksida

- proizvodnja se mora prekinuti kad god postoji nedostatak protoka u liniji za razrjeđivanje

Ograničenje upotrebe:

- potrebni su nadzor i prilično česti (barem mjesečni) pregledi

Ekonomska opravdanost:

- vrlo značajan trošak, za visoku sigurnost i pouzdanost pogonskih troškova

Ovaj aspekt također postaje bitan za održavanje stabilnosti vrijednosti koncentracije dioksida. Potvrđeno je da otopine ClO_2 ne smiju biti pohranjene u posudi, već su proizvedene i korištene u najkraćem mogućem vremenskom okviru kako ne bi imali koncentracije nusproizvoda veće od kritičnih.

Doziranje klorova dioksida za postizanje najboljih tehnički mogućih rezultata mora se izvesti tako da se dozira odmah, iza izlaza reaktora, nakon prethodnog razrjeđivanja na liniji za tu svrhu kako bi se na točki za doziranje garantirala koncentracija ClO_2 koja varira od 1 do 100 ppm.

6.3. Dezinfekcija vode ozonom

Ozon je alotropska modifikacija kisika. U prirodi ga nalazimo najčešće u obliku vrlo toksičnog plina koji djeluje kao snažan antioksidans. Po prvi puta se kao dezinfekcijsko sredstvo koristi u Francuskoj još 1886. godine. Za razliku od klora, on u doticaju s organskim tvarima koje se nalaze u vodi ne stupa u reakcije u kojima nastaju vrlo štetni trihalogenmetani [3]. Koristi se za potpunu dezinfekciju vode te oksidaciju i razgradnju organskih tvari u vodi. Također u doticaju s ozonom oksidiraju Mn i Fe. Mineralni sastav vode ne mijenja a uklanja okus, miris i boju vode. Još jedna od prednosti jest ta da djeluje veoma brzo (već unutar 10 minuta). Na samu brzinu reakcije kao i kod klora utječu pH vode, njena temperatura i koncentracija ostalih prisutnih tvari. S povećanjem temperature raste brzina reakcija, dok s opadanjem pH vrijednosti se smanjuje efikasnost dezinfekcije.

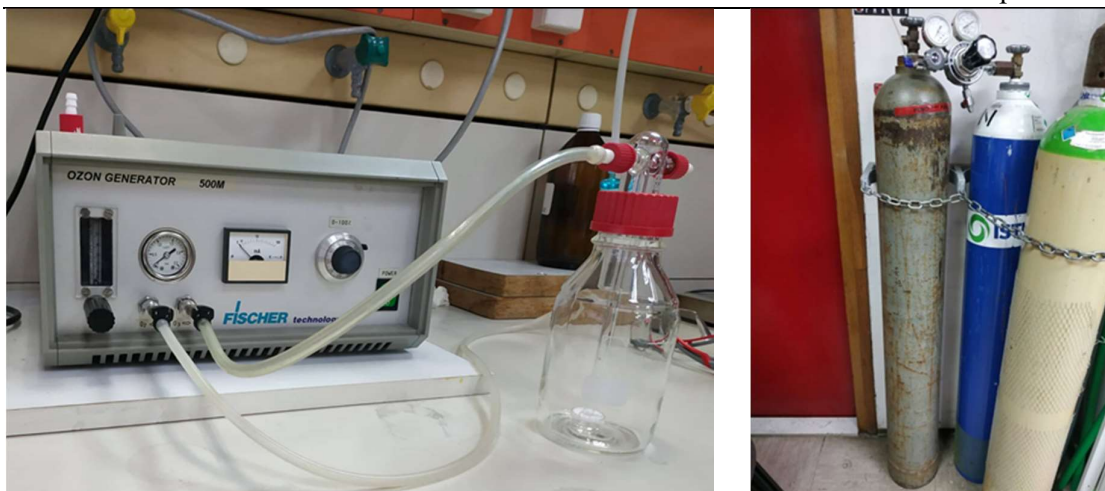
Proizvodi se propuštanjem struje suhoga zraka između dvije elektrode koje se nalaze pod vrlo visokim naponima (do 20kV) pri frekvencijama do 50 do 60 Hz.

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 [4] i [3] preporučuju vrijednosti izražene u koncentracijama pomnožene s vremenom prikazane su u tablici 2.

Tablica 2. Preporučene koncentracije ozona za uništavanje različitih vrsta bakterija

Mikroorganizam	Koncentracija, mg/L
<i>Bacillus</i>	0,1
<i>Clostridium botulinum</i> <i>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

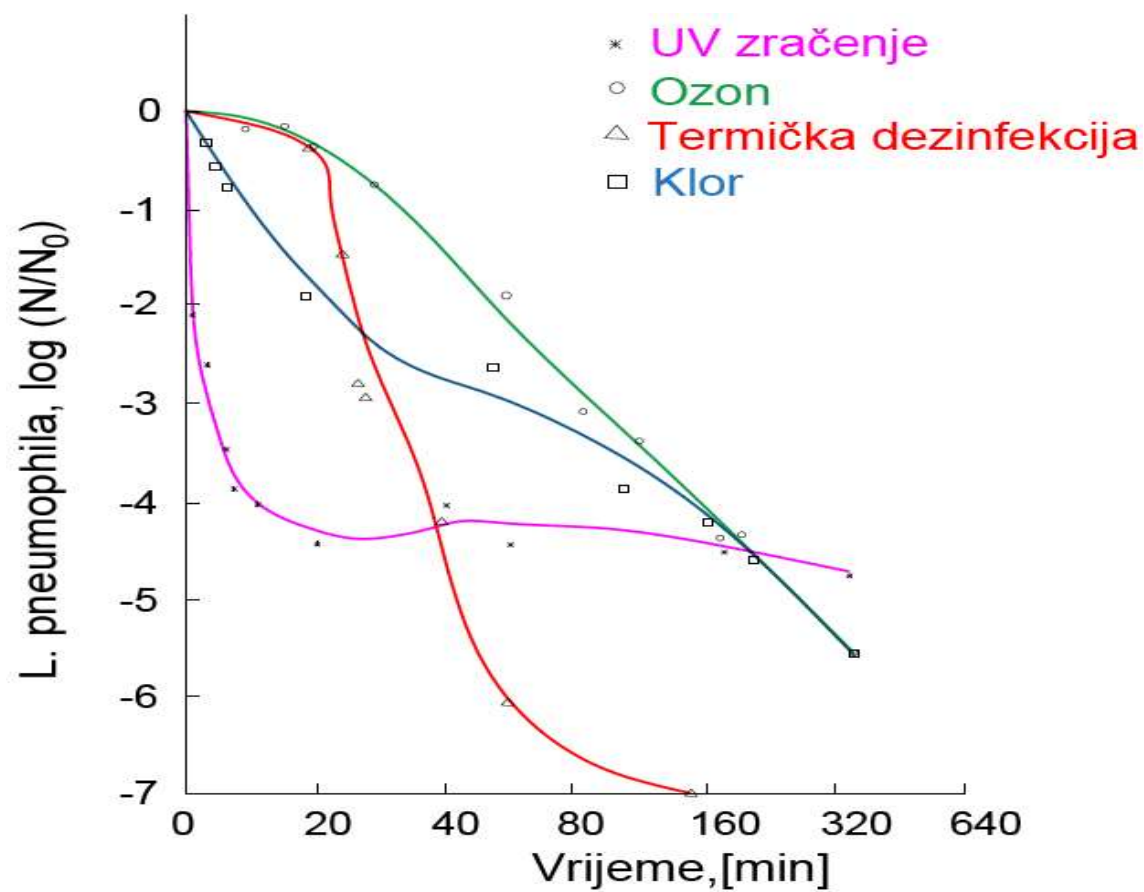
Na učinkovitost uništavanja mikroorganizama ozonom ne utječu temperatura vode i nečistoće, a njegov utjecaj na stvaranje spojeva štetnih po ljudsko zdravlje još se istražuje. Uslijed reakcije s prirodnim organskim tvarima ne nastaju trihalometani (THM) niti halooctene kiseline (HAA) kao u slučaju tretiranja klorom.



Slika 26. Generator ozona (lijevo) i spremnik s kisikom (desno) iz Laboratorija za vodu, gorivo i mazivo Fakulteta strojarstva i brodogradnje

6.4. Usporedba upotrebe klora, topline, UV-zračenja i ozona protiv bakterija roda *Legionella*

Tim američkih istraživača je napravilo eksperiment u kojemu su u standardnu izvedbu sanitarnih instalacija od bakra ubacili bakteriju te metodama upotrebe klora, topline, UV-zračenja i ozona istraživali potrebno vrijeme za eliminaciju legionele. Na eksperiment ih je potaknuo nedostatak efikasnosti upotrebe klora. Upotreba klora zahtjeva povećan trud vezan uz održavanje sustava, instalaciju spremnika klora te povećane koncentracije klora do 6 mg/l. Nakon svih navedenih koraka, primijećeno je da klor nije u stanju u potpunosti ukloniti bakteriju, te padom koncentracije rekontaminacija nastupa vrlo brzo.



Slika 27. Prikaz rezultata istraživanja prema [10] i [11]

7. ANALIZA POSTOJEĆEG SUSTAVA I TEHNIČKA RJEŠENJA DEZINFEKCIJE

U ovome radu, analizirat će se jedan konkretan objekt, sportsko rekreacijski centar, koji se sastoji od više cjelina, tj. vodnih sustava: zatvorenog i otvorenog bazena, tzv. mirne rijeke whirlpool-bazena i tobogana te sustava klima-komora. Za dogrijavanje vode u bazenu, za grijanje i dogrijavanje tople potrošne vode, za dogrijavanje grijanja i klimatizacije, koristi se termalna voda čija je temperatura na crpilištu 47 °C.

7.1. Analiza bazena s termalnom vodom

Analizira se postojeće postrojenje koje zagrijava bazensku i sanitarnu vodu pomoću termalne vode, toplinskih pumpi i plinskih kotlova. Za dogrijavanje se koristi termalna voda koja na izvoru ima temperaturu 47 °C, a na ulazu u izmjenjivače cca. 35 °C. Pad temperature se događa zbog loše izolacije postojećeg cjevovoda.

Projektirani način sprječavanja razmnožavanja bakterija roda *Legionella* je zagrijavanje vode jednom u 7 dana na temperaturu od 70°C u trajanju od 20 minuta. Ovaj način termičke dezinfekcije, kako je ranije objašnjeno nije dovoljan, jer time nisu obuhvaćene sve dionice vodovodne instalacije koje su možda već kontaminirane, a nalaze su u povoljnom temperaturnom rasponu, između 25°C i 43°C, koji pogoduje razmnožavanju legionela.

U bazenskoj prostoriji potrebno je održavati sljedeće uvjete:

Zimski režim:

Temp. vode zimi..... 32 °C

Temp. zraka zimi.....33 °C

Ljetni režim:

Temp. vode ljeti..... 28 °C

Temp. zraka ljeti.....29 °C

Nadalje će biti opisan pojedini dio postrojenja, sa stvarnim parametrima za koje se procjenjuje da su rizični, odnosno, da su uvjeti takvi da pogoduju razmnožavanju bakterija *Legionella*.

7.1.2. Vodovodna instalacija

Na dovodu pitke vode ne postoji nikakva dezinfekcija na legionelu. Kako je stvarni temperaturni raspon tople potrošne vode na spremnicima između 23°C i 45°C koji odgovara povoljnim temperaturnim uvjetima za razmnožavanje legionela. Dionica tople i hladne vode, koja ide od spremnika prema vanjskim tuševima udaljenih cca. 50 m, nema recirkulacije pa kada se voda ne koristi, polagano se hladi i dugo zadržava u povoljnom intervalu za rast i razvoj legionela.

U SPA-centru, krajnji tuševi nisu obuhvaćeni recikulacijom. Kako prema VDI 6023 i DIN 1988-200 maksimalna dopuštena količina vode u „mrtvom dijelu“ je 3 L, što u ovom slučaju nije više, kao rješenje može biti, svakodnevno ispuštanje vode u trajanju od 2 minute. To se odnosi samo na periode kada se tuševi svakodnevno ne koriste.

Na dovodnom vodu pitke vode, kao dodatni dezinfekcijski korak- može se ugraditi UV-reaktor, u kojemu UV-svjetiljka zrači na valnoj duljini 254 nm i koja oštećuje DNK mikroorganizama i tako ih uništava, a da pri tome ne utječe na druge parametre u vodi.

Zbog povećane sigurnosti učinka dezinfekcije, a dokazano je da bakterija *Legionella* može ući u amebu i preživjeti UV-zračenje, potrebno je ugraditi i kemijsku dezinfekciju. Jedno od rješenje je dezinfekcija klorom.

7.1.3. Spremnici potrošne tople vode

Za grijanje potrošne tople vode (PTV) na ispitivanom objektu koristi se, termalna voda temperature 33°C, dizalice topline toplinske snage 640 kW i plinski kotao, toplinskog učina od 500 kW. Stvarne temperature koje se održavaju u postojećem postrojenju su niže od projektiranih.

Projektirani način sprječavanja razmnožavanja bakterija roda *Legionella* je zagrijavanje vode jednom u 7 dana na temperaturu od 70 °C u trajanju od 20 minuta. Ovaj način termičke

dezinfekcije, kako je ranije objašnjeno nije dovoljan, jer time nisu obuhvaćene sve dionice vodovodne instalacije koje su možda već kontaminirane, a nalaze su u povoljnom temperaturnom rasponu, između 25 °C i 43 °C, koja pogoduju razmnožavanju Legionella-e.

Na prvom spremniku, zapremine 3000 l, projektirana je temperatura $T_1=30$ °C. Stvarna temperatura provjeravana obilaskom postrojenja i provjeravanjem temperature na ugrađenim termometrima u donjem dijelu spremnika je 23 °C, a u gornjem dijelu 25 °C.



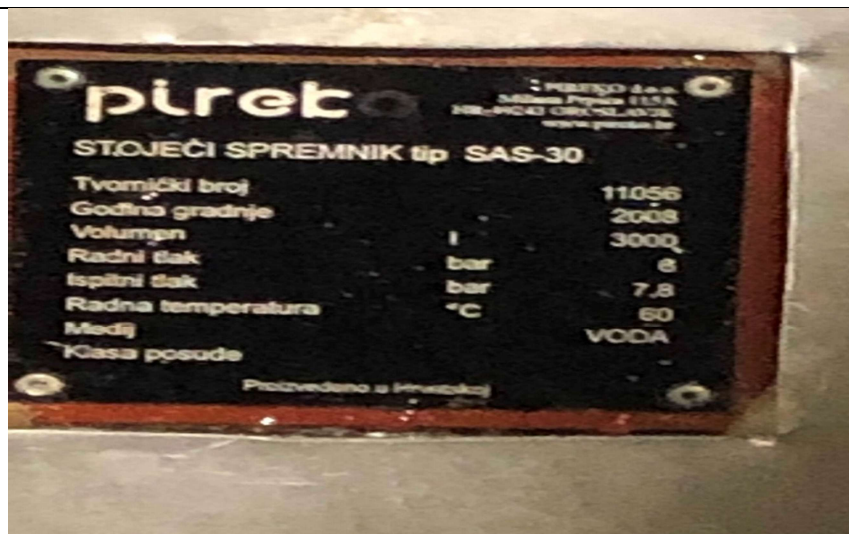
Slika 28. Spremnik PTV-a



Slika 29 Temperature PTV-a u 1. spremniku (bojleru)



Slika 30. Temperature PTV-a u 1. spremniku (bojleru)



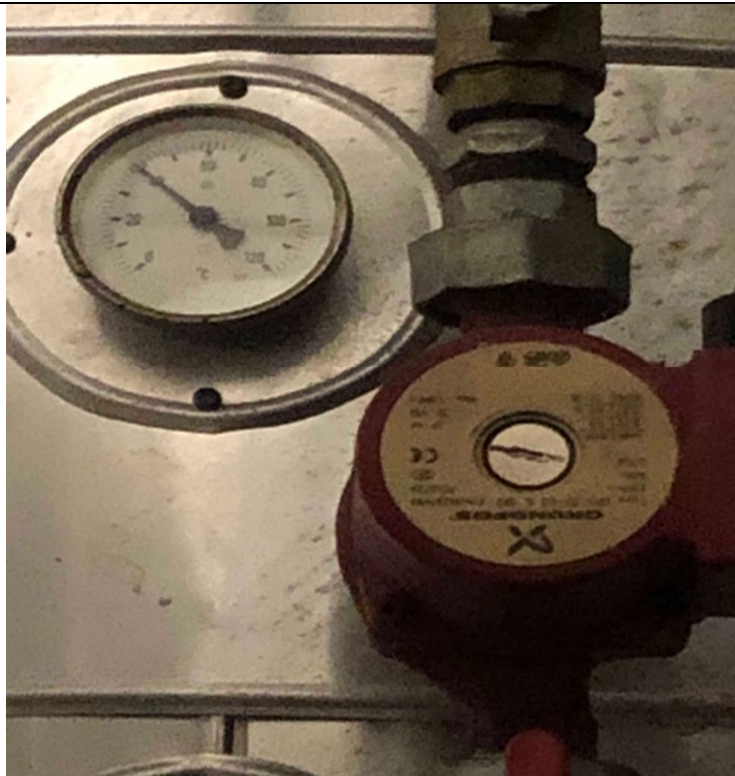
Slika 31. Tehničke karakteristike spremnika (bojlera)

Na drugom spremniku, zapremine 3000 l, projektirana je temperatura PTV-a 45 °C. Stvarna temperatura u donjem dijelu spremnika je 38 °C, a u gornjem dijelu spremnika je 40 °C.

Radne temperature koje pokazuju termometri na spremnicima su u području koje odgovaraju razmnožavanju bakterija legionela.



Slika 32. 2. Spremnik (bojler) za PTV



Slika 33. Temperature PTV-a u 2. spremniku (bojleru)



Slika 34. Temperature PTV-a u 2. spremniku (bojleru)

7.1.4. Termalna voda

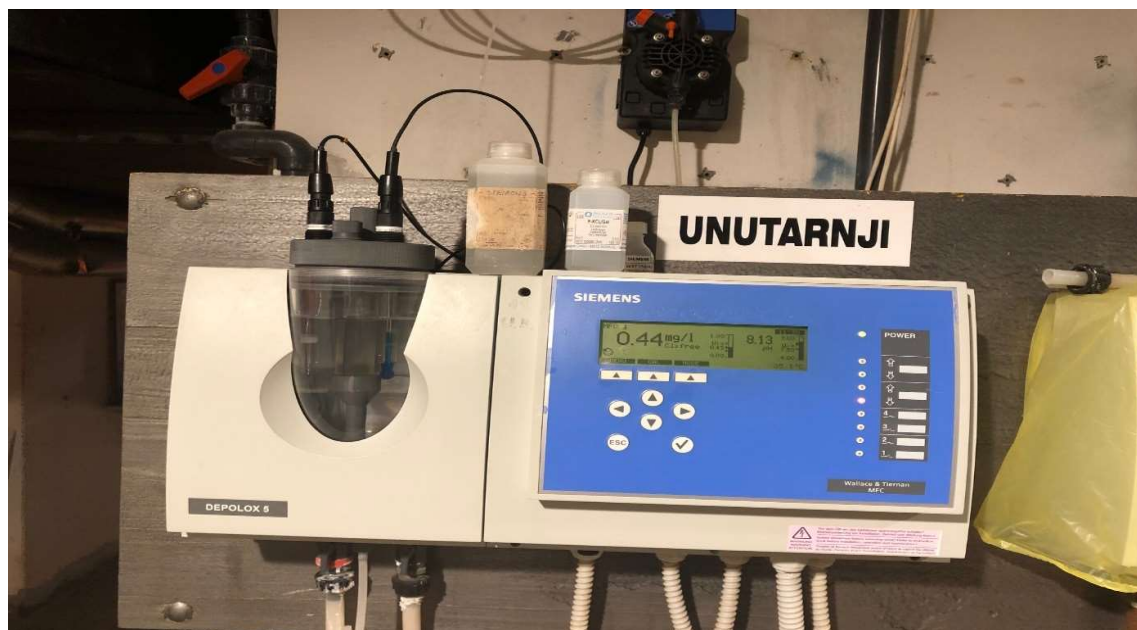
U neposrednoj blizini samog objekta nalaze se postojeća izvorišta i bušotine geotermalne vode. Za podmirenje sportsko-rekreacijskog centra koristi se geotermalna voda, kapaciteta 6.32 l/s, u zimskom periodu rada, dok u ljetnom periodu rada predviđena je potrošnja od 12 l/s, polazne temperature 40 °C. Postojeći dezinfekcijski postupak na postrojenju je dodavanje klora. Na postrojenju je stvarno stanje dodavanje klora u količinama cca. 0.44 mg/l na vanjskom bazenu i 0.04 mg/l na unutarnjem bazenu.

Kako u izvorištima termalne vode mogu biti prisutne bakterije roda Legionella, na priključku voda od termalnog vrela potrebno je imati dodatnu dezinfekciju kako bi učinak dezinfekcije bio što sigurniji.

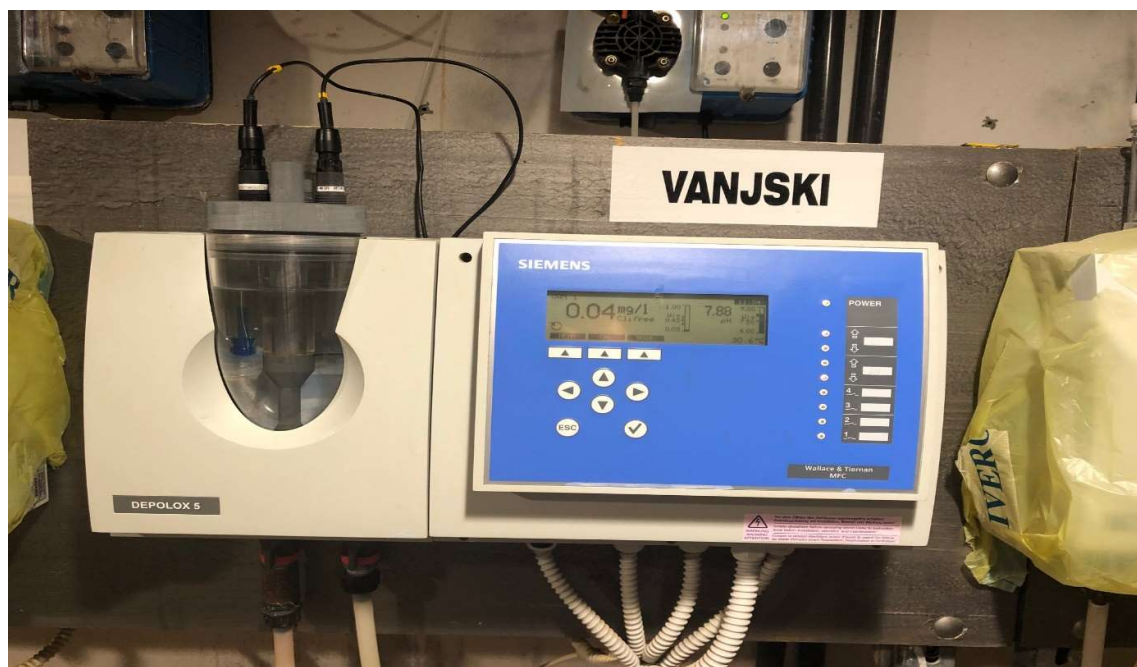
Jedno od rješenje može biti dezinfekcija UV-zračenjem, intenziteta 400 J/m², što je doza zračenja koja osigurava učinak dezinfekcije prema gotovo svim poznatim bakterijama i virusima koji se mogu pronaći u vodi [8].



Slika 35. Postrojenje za dodavanje klora u bazensku vodu



Slika 36. Količina klora u unutarnjem bazenu



Slika 37. Količina klora u vanjskom bazenu

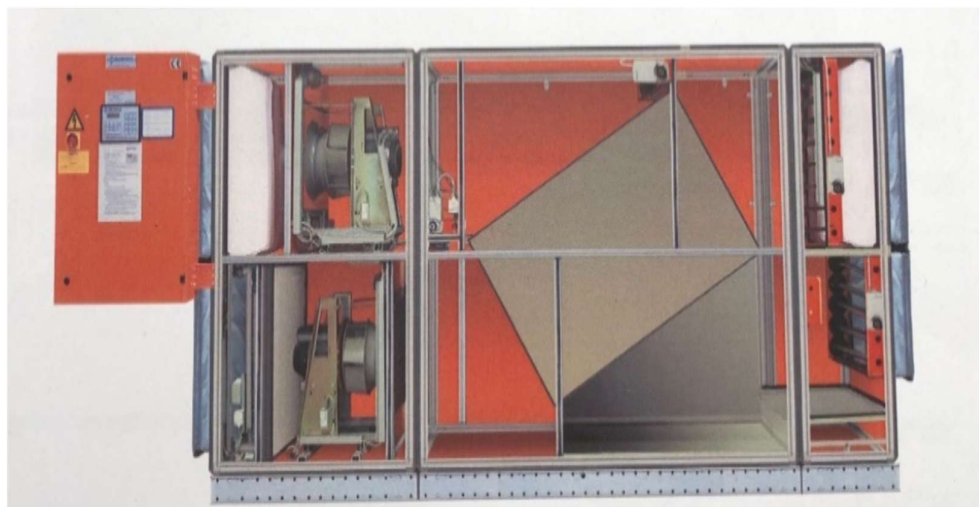
7.1.5. Klima-komora

Klima-komora koja je ugrađena u objektu, ima rekuperator, na kojemu kod odsisnog zraka dolazi do kondenzacije i puni se tava s vodom, koju odvodna cijev ne uspije odmah odvoditi, već nastaje vodeni film. Kako u odsisnom zraku, ima vlage, odnosno aerosola, koja je nastala zbog kupanja, skakanje u bazen, jacuzzi-ja i sl., na tom mjestu postoji rizik od kontaminacije legionelama i njihovog razmnožavanja, a kasnije uslijed servisiranja i njihovog širenja unutar strojarnice ispuha te čak i moguće kontaminacije svježeg zraka klima-komore.

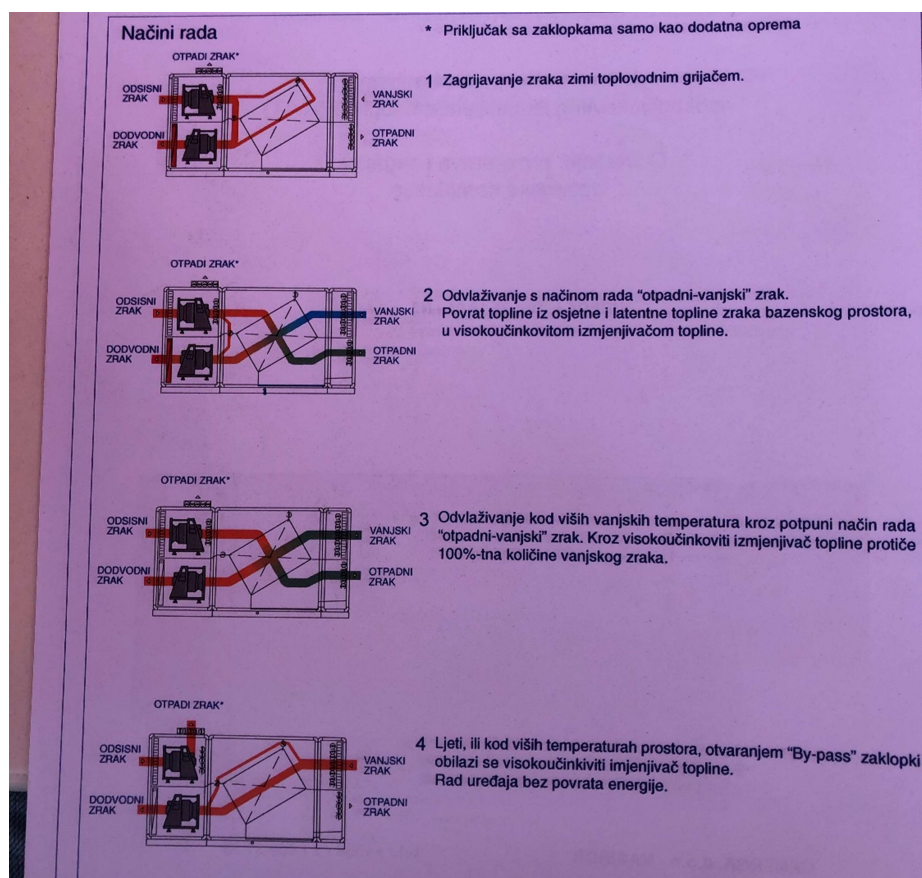
Kako bi se izbjegla mogućnost kontaminacije klimatizacijskog sustava, kao rješenje problema, može biti dezinfekcija UV-zračenjem na dovodu svježeg zraka, pri čemu UV svjetiljka mora biti postavljena tako da u kondenziranoj vodi osigurava već spomenutu dozu od 400 J/m^2 .



Slika 38. Slika klima-komore na objektu



Slika 39. Shematski prikaz klima-komore



Slika 40. Način strujanja u klima-komori ovisno o godišnjem dobu



Slika 41. Prikaz nakupljenog kondenzata u klima-komori

8. ZAKLJUČAK

Mikroorganizmi, pa tako i bakterije roda *Legionella*, često se nalaze u različitim sustavima koji koriste vode, kako za piće tako i za tehničku primjenu. Pretpostavlja se da su legionele odgovorne za 2 do 15% upala pluća u općoj populaciji, a smrtnost u slučaju bolesti iznosi 15 do 20 %, dok se s pravodobnom primjenom antibiotika može reducirati na 5-10% [12].

Kako bi se osigurala voda bez patogenih mikroorganizama, potrebno je osigurati svijest o problemu kod svih sudionika. Od projekatana, koji će uzeti u obzir mogućnost kontaminacije sustava i tehnička rješenja izvedbe i opreme da to spriječe, preko izvođača koji trebaju biti dobro educirani, do ljudi koji rade na održavanju različitih postrojenja.

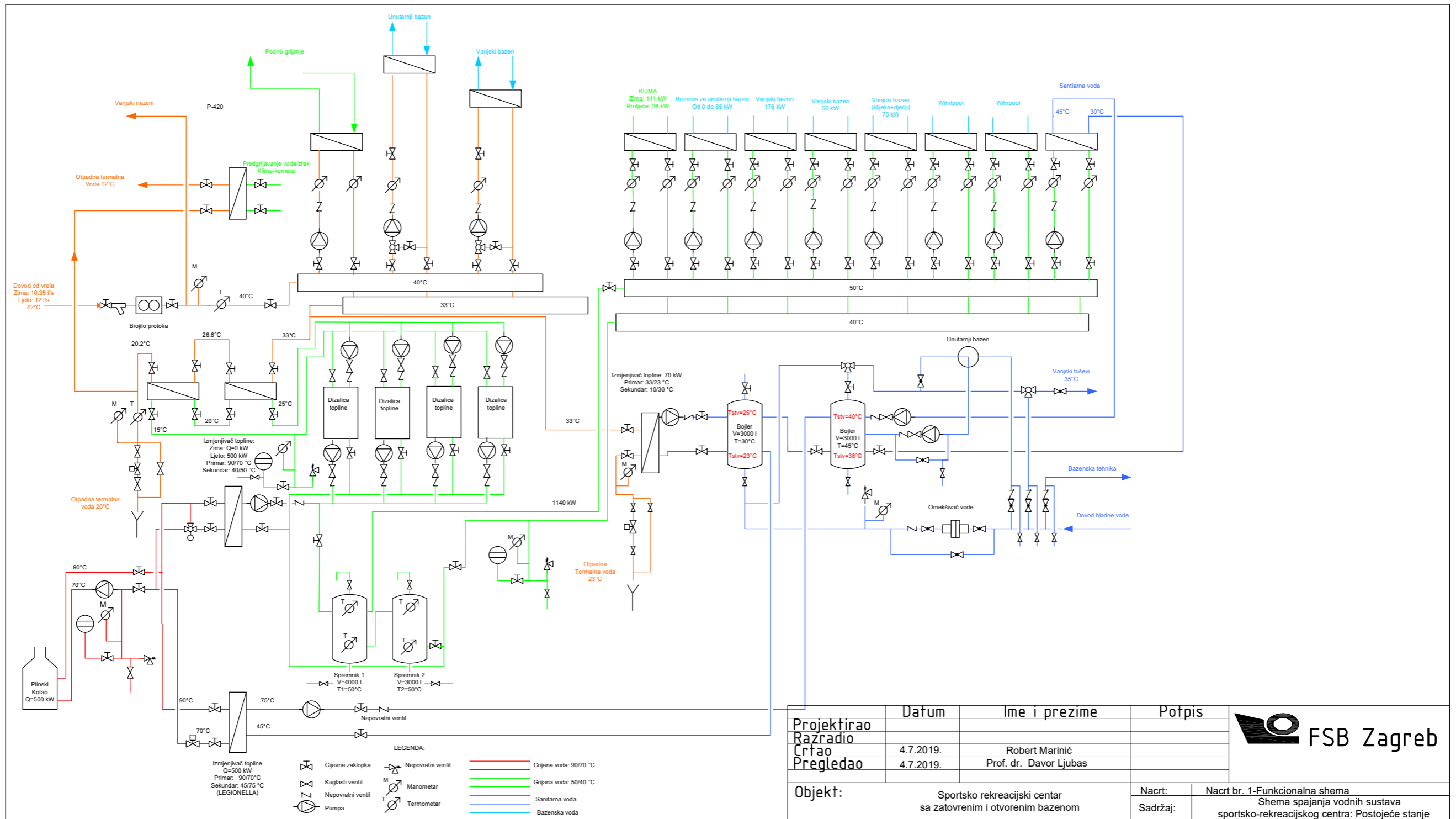
Kroz ovaj diplomski rad nastojalo se obuhvatiti većinu slučajeva koji objašnjavaju u različitim tehničkim sustavima koja su to rizična mjesta, koji uzroci mogu dovesti do nastajanja kontaminacije kao i razne tehničke mjere za sprječavanje razmnožavanja bakterija roda *Legionella*.

Na kraju je opisan jedan stvaran objekt (sportsko-rekreacijski centar), s njegovim postrojenjem u kojemu se koristi voda i razmatrani su tehnički uvjeti pod kojima je sustav projektiran i pod kojim parametrima radi. Zaključuje se da, na osnovu svega izloženog i na osnovu radnih temperaturnih parametara, u više dijelova postrojenja postoje zapravo optimalni temperaturni režimi za nastanak i razmnožavanje bakterija legionela. Predloženim rješenjima dezinfekcije postiže se smanjenje rizika od kontaminacije vodnih sustava legionelama.

LITERATURA

- [1] Rakić, A., Ljoljo, D., Ljubas, D., Tehničke mjere za sprječavanje razmnožavanja bakterija *Legionella* spp. u sustavima za opskrbu toplom vodom, *Hrvatske vode*, 2016, 24 (96), 109-118
- [2] La Mura, S., Joppolo, C.M., Pitera, L.A., Angermann, J.P., Izard, M., *Legionellosis Prevention in Building Water Systems*, Brussels: REHVA-Guidebook No. 18, 2013.
- [3] ASHRAE, Heating, Ventilating and Air-Conditioning APPLICATIONS, Atlanta: ASHRAE, 2015.
- [4] Verein Deutscher Ingenieure, 6023, Hygiene in Trinkwasser-Installationen Anforderungen an Planung, Ausführung, Betrieb und Instandhaltung, VDI/DVGW, 2013.
- [5] Kisteman, Th., Schulte, W., Rudat, K., Hentschel, W, Häußermann, D., *Gebäudetechnik für Trinkwasser*, Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2012.
- [6] Geberit, Higijena pitke vode uz pomoć GEBERITA, [Mrežno: <https://www.geberit.hr/znanje/higijena-pitke-vode> - pristup 30 lipanj 2019.].
- [7] Tunuković, V., *Bakterija roda Legionella i mjere za sprječavanje njihovog razvoja u sustavima potrošne tople vode*, Seminarski rad - kolegij Termoeкологија, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2018.
- [8] Menerga, Klimatizacija i odvlaživanje bazena ThermoCond 39, [Mrežno: <https://www.menerga.hr/klimatizacija-ventilacija-hladenje-grijanje/klimatizacija-odvlazivanje-bazeni-ventilacija/thermocond-39> - pristup 30 lipnja 2019].
- [9] Chevrefils, G., Caron, E., Wright, H., Sakamoto, G., Payment, G., Barbeau, B., Cairns, B., UV dose required to achieve incremental Log inactivation of bacteria, protozoa and viruses, *IUVA News*, 8, 38-45 [Mrežno: https://iuvanews.com/stories/pdf/IUVANewsV8N1_2006.pdf. - pristup 29. 6. 2019.].
- [10] S. J. Y. V. Muraca P., »Comparative Assessment of Chlorine, Heat, Ozone, and UV Light for Killing *Legionella pneumophila* within a Model Plumbing System,« *American Society for Microbiology*, svez. 53, br. 2, pp. 447-453, 1987.
- [11] Soldo, I.: *Sprječavanje razvoja bakterije Legionella u sustavima za pripremu PTV*, Seminarski rad - kolegij Termoeкологија, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2017.
- [12] Ljoljo, D., *Tehnička i tehnološka rješenja problema mikrobiološkog zagađenja u sustavima potrošne tople vode javnih objekata*, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2015.

PRILOG 1: Shema spajanja vodnih sustava sportsko-rekreacijskog centra: postojeće stanje



Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis
Razradio	4.7.2019.	Robert Marinić	
Crtao	4.7.2019.	Prof. dr. Davor Ljubas	
Pregledao			

Objekt:	Sportsko rekreacijski centar sa zatvorenim i otvorenim bazenom	Nacrt:	Nacrt br. 1-Funkcionalna shema
		Sadržaj:	Shema spajanja vodnih sustava sportsko-rekreacijskog centra. Postojeće stanje



PRILOG 2: Shema spajanja vodnih sustava sportsko-rekreacijskog centra: prijedlog novih tehnoloških koraka

