

# TEHNIČKE MJERE ZA SPRJEČAVANJE RAZMNOŽAVANJA BAKTERIJA *LEGIONELLA* SPP. U SUSTAVIMA ZA OPSKRBU TOPLOM VODOM

**dr. sc. Anita Rakić**

Nastavni zavod za javno zdravstvo  
Splitsko-dalmatinske županije,  
Vukovarska 46, 21000 Split,  
anita.rakic@nzjz-split.hr

**Dinko Ljoljo**

Opus optimus d.o.o.,  
Paška 35b, 10000 Zagreb

**Davor Ljubas**

Sveučilište u Zagrebu, Fakultet  
strojarstva i brodogradnje,  
Ivana Lučića 5, 10000 Zagreb

Kontinuirano održavanje kvalitete tople i hladne pitke vode u stambenim građevinama, posebno naglašavajući mikrobiološke zahtjeve za kvalitetom vode, predstavlja veliki izazov za stručnjake iz različitih područja djelovanja. Istovremeno, svi oni dijele i odgovornost za zdravlje ljudi koji tu vodu koriste. Kroz ovaj rad dan je pregled pojave i razvoja patogenih bakterija *Legionella* spp. u sustavima opskrbe pitkom vodom uz naglasak na podsustav potrošne tople vode. Patogene bakterije iz roda *Legionella* nalaze se u prirodnim vodotocima i dospijevaju sustavom vodoopskrbe do kućanstava. Predstavljaju opasnost za ljudsko zdravlje izazivajući legionarsku bolest, teški oblik upale pluća, a infekcije najčešće uzrokuje *L. pneumophila* seroskupine 01. U dišni sustav čovjeka dospijevaju iz kontaminiranog okoliša u obliku vodenog aerosola. Prikazani su zakonski zahtjevi vezani uz kvalitetu pitke vode te navedeni primjeri ograničenja vezani uz prisutnost *Legionella* spp. koja postoji u nekim državama. Osim toga, prikazana su tehnička rješenja za uspješnu inaktivaciju *Legionella* spp.

**Ključne riječi:** pitka voda, *Legionella* spp., potrošna topla voda, biofilm, inaktivacija

## 1. UVOD

Sustav za opskrbu pitkom vodom (vodom za piće) neizostavan je dio tehničkog rješenja stambenih građevina uz pripadajuće sustave za grijanje vode te hlađenje i ventilaciju prostora stambenih građevina. U današnje se vrijeme postavljaju sve veći zahtjevi za sanitarne sustave u građevinama, posebno prema sustavima za pripremu potrošne tople vode (PTV), budući da je topla voda izložena većim fizikalno-kemijskim promjenama od hladne vode. Pripremu vode za piće (filtracija, dezinfekcija, ...) potrebno je izvesti tako da korištenje te vode ne predstavlja opasnost po ljudsko zdravlje, a u tom procesu trebaju sudjelovati stručnjaci raznih profila (Dobrović i sur., 2009.). Osim mogućih fizikalnih i kemijskih onečišćenja opasnost za ljudsko zdravlje predstavljaju i prisutni mikroorganizmi u vodi.

### 1.1. *Legionella* spp. u toploj vodi

Na određenim temperaturama vode (25–55°C) dolazi do stvaranja povoljnih uvjeta za rast i nekontrolirano razmnožavanje patogenih mikroorganizama koji mogu dovesti do infekcija i epidemija u ljudskoj populaciji. Posebne opasnosti predstavljaju veliki sustavi za pripremu PTV-a (npr. u građevinama javne namjene), budući da se u takvim ustanovama vrlo često koriste akumulacijski sustavi za pripremu tople vode koji pri određenim uvjetima predstavljaju žarište razvoja patogenih mikroorganizama. Kvaliteta analitičkih postupaka značajno je napredovala u zadnjih nekoliko desetljeća te je detekcija opasnosti od razvoja patogenih mikroorganizama uvelike olakšana. Jedan od akutnih problema u sustavima za pripremu PTV-a je pojava patogenih bakterija iz porodice *Legionellaceae*. Do danas je otkriveno preko četrdeset vrsta s više od šezdeset serotipova *Legionella* species (*Legionella* spp.). *L. pneumophila* uzročnik je legionarske bolesti, a podijeljena je na temelju antigene građe u 14 seroskupina. Humane legioneloze javljaju se kao posljedica infekcije legionelama iz okoliša. Najčešće su izvori infekcija upravo sustavi i uređaji u kojima se nalazi voda (van Heijnsbergen i sur., 2015.). Kolonizaciju sustava za distribuciju vode s bakterijama u pravilu uzrokuje povezanost uređaja s nepročišćenom vodom ili nastaje uslijed kontaminacije s nečistoćom iz okoliša. Legionele kao ubikvitarni mikroorganizmi, rasprostranjeni su u prirodi, a naročito u vodi i vlažnome tlu, predstavljajući javnozdravstveni problem (Lieberman i sur., 1994.; Bitton, 2014.). U velikom broju koloniziraju različite vodoopskrbne sustave (vodovodi, vodospreme, tornjevi, uređaji za zagrijavanje, hlađenje i isparavanje vode, ovlaživanje zraka i dr.), te su odgovorne za 2 do 15% pneumonija u općoj populaciji (Stout i sur., 2003.). Osobe koje oboljevaju od legionarske bolesti većinom su imunokompromitirani pacijenti (djeca, stariji, pušači, trudnice, dijabetičari), a najčešće bolest letalno završava kod pacijenata s transplantiranim bubregom ili onih na hemodijalizi (Tablan i sur., 2004.). Kako *Legionella* spp.

nisu osjetljive na uobičajene koncentracije dezinfekcijskih sredstava (klor, klorov dioksid) u vodovodnoj vodi (rezidue dezificijensa – slobodni rezidualni klor s maksimalnom dopuštenom koncentracijom 0,5 mg/L i klorit te klorat, s maksimalnom dopuštenom koncentracijom 0,4 mg/L prema (Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju, 2013.)) nalaze se i u sustavima za opskrbu stanovništva pitkom vodom. U javnosti se obično sustavi za kondicioniranje zraka u zgradama smatraju povezanim s opasnosti od *Legionella* spp., dok sustavi za pripremu PTV-a često nisu u dovoljnom projektantskom i/ili korisničkom fokusu.

Uz prisutnost organskog i anorganskog onečišćenja, razmnožavanju *Legionella* vrsta pogoduje i stagnacija ili vrlo sporo protjecanje vode – npr. u slijepim završetcima cijevi vodoopskrbnih sustava, spremnicima, bojlerima, bazenima i sustavima za kondicioniranje zraka.

Zbog svega navedenog, u cilju inaktivacije, odnosno sprječavanja razvoja navedenih patogenih mikroorganizama, potrebno je uzeti u obzir, osim tehnoloških postupaka dezinfekcije i tehnička rješenja izvedbe sustava za PTV.

### 1.2. Priprema potrošne tople vode (PTV)

Sustavi za pripremu PTV-a služe za zagrijavanje pitke vode i često se promatraju zajedno sa sustavom za grijanje vode, odnosno izvor topline za PTV je često isti kao i za sustav grijanja prostora. 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. 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 (stvaranja vodenog kamenca,  $\text{CaCO}_3$ ). Time voda 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°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 otpuštanje 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 biofilмова.

Preporučene temperature u Hrvatskoj, na koje se priprema topla voda, obično iznose za kupaonice 35–45°C, a za kuhinje 55–60°C, (Labudović, 2005.).

Sustavi za pripremu PTV-a mogu se općenito podijeliti na nekoliko skupina koje su prikazane na slici 1, (Labudović, 2012.; Schramek, 2007.). U *centraliziranim sustavima* 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. *Decentralizirani sustavi* se koriste kada su objekti međusobno udaljeni te svaki od njih pojedinačno rješava potrebe za toplom vodom. Kod *zatvorenih sustava* zagrijavanje vode odvija se u posudama koje su pod pretlakom, jednakim kao i u ostatku vodovodne mreže za opskrbu pitkom vodom, a otvoreni sustavi su bez pretlaka. Kod *akumulacijskih je sustava* prisutan spremnik u kojemu se voda zagrijava, akumulira i koristi prema potrebi, na ispuštima tople vode. Kod *protočnih sustava* se hladna voda dovodi do ogrjevnih tijela i bez akumulacije zagrijava te odvodi 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* (svi sustavi s volumenom spremnika  $\leq 400$  L i u kojima je volumen vode u instalacijskom vodu od spremnika do ispusta  $\leq 3$  L).

- *Veliki sustavi pripreme PTV-a* ( $\geq 400$  L i/ili volumen vode u instalacijskom vodu od spremnika do ispusta  $\geq 3$  L).

Glavnina problema kod pripreme PTV-a u akumulacijskim spremnicima vezana je uz nekontrolirani rast i razvoj mikroorganizama te stvaranje taloga,

najčešće u obliku kamenca. U talozima se stvaraju povoljni uvjeti za kolonizaciju mikroorganizama (ujednačena vrijednost temperature, stagnacijski uvjeti vode u spremniku). U ovom preglednom članku daljnja se razmatranja problema s mikroorganizmima (pa tako i s *Legionella* spp.) za pripremu PTV-a odnose na velike i akumulacijske sustave za zagrijavanje vode.

## 2. PRISUTNOST MIKROORGANIZAMA U VODOVODNOJ VODI

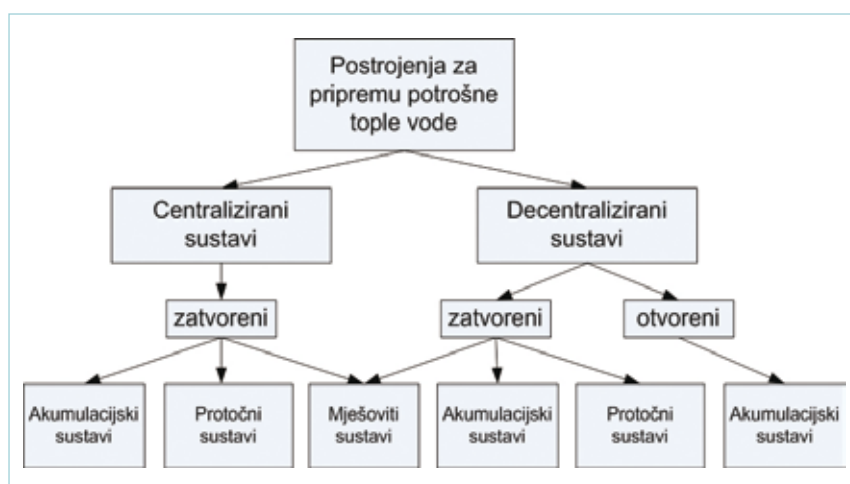
### 2.1. Svojstva i pokazatelji kvalitete vode za piće

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

U Republici Hrvatskoj na snazi je *Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama 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. Zahtijevani parametri (ukupno ih je 79) u Pravilniku su podijeljeni u grupe:

- Mikrobiološki parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju
- Mikrobiološki parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju u trenutku punjenja u boce ili drugu ambalažu, koja se stavlja na tržište u bocama ili drugoj ambalaži
- Kemijski parametri zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju
- Indikatorski parametri.

U Pravilniku se ne spominje problem onečišćenja vode bakterijama iz roda *Legionella* spp. U laboratorijima za dokazivanje i brojenje bakterija *Legionella* spp. provode se postupci sukladno normi HRN ISO 11731–2:2004.



Slika 1. Prikaz mogućih postrojenja za pripremu potrošne tople vode.

Na području Europske unije glavni dokument vezan za kvalitetu vode za piće namijenjene za ljudsku potrošnju je *Direktiva vijeća* EU 98/83/EZ (Direktiva) iz 1998. godine. Prema Direktivi mora se pratiti i redovito analizirati ukupno 54 mikrobiološka, kemijska i indikatorska parametra. Ova Direktiva djelomično je 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 osnove za standarde kvalitete u vodi za piće. Direktiva daje slobodu nacionalnim tijelima da oblikuju, prema svojim potrebama i specifičnostima, drugačije pravilnike. Države članice ne smiju, ipak, postaviti niže standarde razine zaštite zdravlja ljudi. Niti u Direktivi, niti u WHO smjernicama ne spominje se problem onečišćenja vode s *Legionella* spp.

U SR Njemačkoj temelj modernim verzijama pravilnika o vodi za piće postavila je norma DIN 2000 iz 1973. godine. Nakon toga uslijedili su službeni pravilnici o vodi za piće koji imaju originalni naziv *Verordnung über Trinkwasser und über Brauchwasser für Lebensmittelbetriebe* (Trinkwasser-Verordnung ili TrinkwV). Sljedeće godine izdanja te norme su bile: 1975., 1980., 1986., 1990., 2001., 2011., 2012. Važno je uočiti netipično kratko razdoblje između dvaju izdanja Pravilnika i to izdanih 2011. i 2012. godine. Izdanja iz 2011. i 2012. godine uvela su niz značajnih novosti u propise o vodi za piće (Borchers, 2012.; Borchers, 2013.), a neka od njih su:

- uvođenje pojma „Technischer Maßnahmenwert“ (vrijednost za tehničke mjere) za parametar „*Legionella* spp.“ od 100 CFU (jedinice koje tvore kolonije u analiziranom uzorku) u 100 mL

- u TrinkwV iz 2011. godine uvedena je veća odgovornost isporučiteljima vode za piće vezana uz pojavu *Legionella* spp. i provođenje mjera sanacije. U TrinkwV iz 2012. g. ta je odgovornost opet smanjena, više se uključuju vlasnici/najmoprimci objekata u službeno rješavanje problema s legionelama kada se on uoči. Pretpostavlja se da će uskoro doći do novih izmjena TrinkwV-a jer i dalje postoje zakonski neriješeni odnosi u slučaju problema s *Legionella* spp. (Borchers, 2013.).

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. Prema SDWA-u US-EPA (Američka agencija za zaštitu okoliša) donosi nacionalni primarni propis i sekundarne propise za sustav pitke vode (EPA Drinking Water Regulations and Contaminants, 2015.) s onečišćivačima koji mogu predstavljati opasnost za zdravlje i za koje je vjerojatno da će biti prisutni u javnim vodovodima, a propisima je obuhvaćeno 90 parametara.

U primarnom nacionalnom propisu *Legionella* spp. se spominje kao moguće mikrobiološko onečišćenje vode, ali bez određene MDK (Maksimalno dopuštene koncentracije). Pri tome US-EPA objašnjava da ako su *Giardia* i virusi uklonjeni/inaktivirani, onda će i legionela također biti pod kontrolom.

U zemljama u okruženju Republike Hrvatske prisutnost *Legionella* spp. se ne spominje u sklopu propisa u kojima se regulira sastav zdravstveno ispravne pitke vode.

## 2.2. Biofilm u vodoopskrbnom sustavu

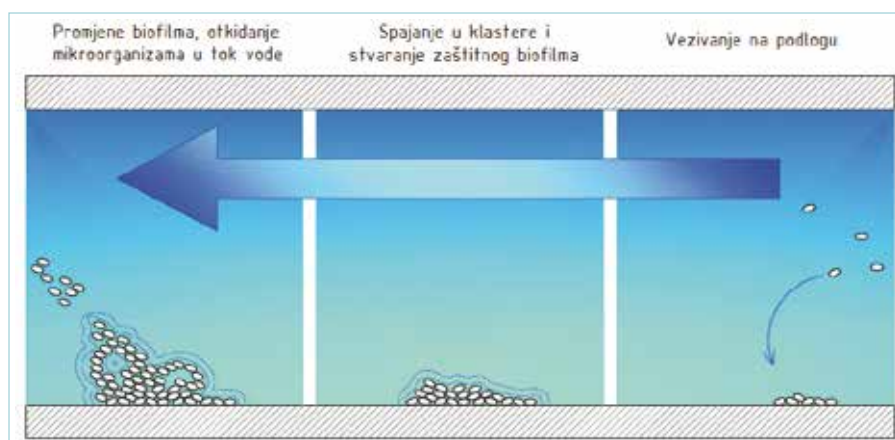
U vodoopskrbnom sustavu biofilmovi se mogu stvarati u različitim fazama pripreme i distribucije vode za piće i to na površinama gdje voda dodiruje čvrstu podlogu, kao što su površine čestica ispuhe filtra, stjenke vodospreme, cjevovodi, slavine, na glavama tuša, slivnika i dr. Biofilmovi u vodoopskrbnom sustavu mogu uzrokovati različite neželjene i opasne promjene u vodi za piće. To je vidljivo u promjeni organoleptičkih svojstava i higijensko-zdravstvenih parametara, koji pak mogu biti uzročnici različitih bolesti.

### 2.2.1. Nastanak biofilma

Poznato je da se na površinama koje su u stalnom kontaktu s vodom stvaraju tanki, sluzavi slojevi - biofilmovi. Za njihov su nastanak potrebni sljedeći preduvjeti: prisutnost mikroorganizama, vodenog medija, hranjivih tvari te površina koja je u stalnom kontaktu s vodom. Pod biofilmom se smatra nakupina stanica koja je stvorena od mikroorganizama, a koje su međusobno sljepljene. Pri tome ti mikroorganizmi stvaraju ekstracelularnu polimernu supstancu (EPS) želatinozni polimer sazdan od polisaharida, polipeptida ili oba. EPS drži mikroorganizme na okupu štiteći ih od vanjskih (bioloških, kemijskih i fizikalnih) utjecaja (Kistemann et al., 2012.). Vjerojatnost formiranja biofilma je veća u područjima niskog protoka vode i u područjima stagnacije protoka vode (Bartram et al., 2007.). Biofilmovi su, gledajući strukturu i sastav, vrlo heterogeni. Pod određenim okolnostima može doći do promjena različitih gradijenata unutar biofilma (promjena pH vrijednosti vode te prisutnosti i koncentracije hranjivih tvari u vodi, ...) pa je tako moguće da mikroorganizmi tvore simbiozu ili sintrofne zajednice s drugim mikroorganizmima (amebe, bičaši, aerobne i anaerobne bakterije) i na taj način obostrano imaju korist. Unutar biofilma se mogu odvijati i genetske promjene između samih mikroorganizama, čime se još dodatno povećavaju šanse za njihovim preživljavanjem (Kistemann et al., 2012.).

U vodovodnim instalacijama, u tijeku nastajanja biofilma, razlikujemo nekoliko faza (slika 2):

- vezivanje mikroorganizama na površinu i stvaranje prvog sloja,
- razmnožavanje mikroorganizama, proizvodnja EPS te udruživanje u klastere,
- stvaranje zrelog biofilma unutar kojega se nalaze mikroorganizmi.



Slika 2. Razvojne faze biofilma (adaptirano prema (Kistemann i sur., 2012.)).

Unutar biofilma mikroorganizmi su efikasno zaštićeni od štetnih vanjskih utjecaja, utjecaja dezinfekcijskih sredstava, turbulentnog protoka vode, oscilacije vrijednosti temperature i dr. (Kistemann et al., 2012.).

### 2.2.2. Dinamika razvoja biofilma

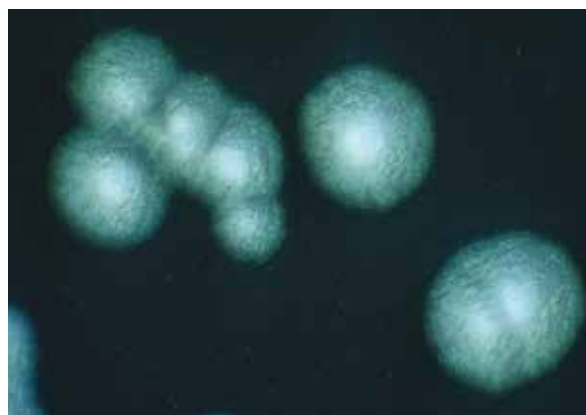
Primjenom polimernih materijala za distribuciju tople vode povećava se udio hranjivih tvari u vodi, posebno na granici faza – brojni mikroorganizmi mogu metabolizirati brojne organske tvari koje se mogu naći na polimernim površinama (ljepila, omekšivači, otapala) ili do površine difundiraju iz dubine samog polimernog materijala. Stoga često u ovakvim sustavima dolazi do povećanja nastanka i razvoja patogenih mikroorganizama, među kojima su često prisutne i legionele, (Müller et al., 2008.).

Nastali biofilmovi u sustavima za distribuciju vode za piće mogu biti prolazna ili dugotrajna staništa za sanitarno-higijenski važne mikroorganizme. Formirani biofilmovi na vlažnim površinama predstavljaju stabilne ekosustave, omogućavajući preživljavanje različitim vrstama mikroorganizama kao što su: *Klebsiella* spp., *Pseudomonas* spp., *Legionella* spp., *Mycobacterium*, *Escherichia coli*, *Cryptosporidium parvum*, paraziti i enterovirusi. Ovi se mikroorganizmi mogu inkorporirati na već postojeći biofilm, gdje tako integrirani mogu preživjeti duže razdoblje, ovisno o okolišnim uvjetima. Na taj način predstavljaju potencijalnu opasnost onečišćenja vode za piće, a time i zdravstvenu opasnost za ljude (Flemming, 2011.).

### 2.3. *Legionella* spp.

Bakterije iz roda *Legionella* značajni su uzročnici pneumonija. Do danas ih je otkriveno više od 40 vrsta i preko 60 seroskupina. Legionele su aerobni gram negativni tanki štapići. Veličina im varira od 0,3–0,7  $\mu\text{m}$  x 2–3  $\mu\text{m}$ . Gotovo sve legionele su pokretne, kreću se pomoću polarnih ili subpolarnih flagela, te posjeduju pile. Ovisno o uvjetima vanjske sredine mogu imati oblik kokobacila ili kratkih štapića, a javljaju se i kao filamentozni oblici duljine 20  $\mu\text{m}$ . Infekciju ljudi najčešće uzrokuje *L. pneumophila* seroskupine O1 (slika 3).

Infektivna doza i imunološki sustav pojedinca presudni su za pojavu kliničkih znakova bolesti. Za razliku od pontijačke groznice, koja se u epidemijskom obliku javlja bez sezonski uočljive distribucije, legionarska bolest češće se javlja u proljeće i ljeto.



Slika 3. Kolonije bakterija *Legionella pneumophila* porasle na BCYE agaru.

Osobe koje oboljevaju od legionarske bolesti obično su srednje ili starije životne dobi, ali bolest se može javiti u svim dobnim skupinama, uključujući i djecu.

Za razliku od drugih patogenih organizama, *Legionella* spp. se prirodno nalazi, u vodnom ekosustavu, uključujući u to površinsku i podzemnu vodu, kao i vlažnu zemlju. Preživljavanje, izvor infekcije i put prijenosa legionela vezani su za vodu. U jezerima ili u tokovima rijeka koncentracija *Legionella* spp. je mala i ne izaziva bolest. Bakterija *Legionella* spp. može koristiti protozoe kao stanice domaćina. Njezina je sveprisutnost u prirodi uzrokovana njezinom sposobnošću preživljavanja u protozoama pri različitim uvjetima, uključujući u to temperaturu od 0 do 63°C i pH od 5,0 do 8,5.

Različite ljudske aktivnosti, ali i prirodne pojave, izravno utječu na nastanak vodenog aerosola, odnosno stvaranje sitnijih ili krupnijih mikrokapljica ili čestica koje mogu sadržavati određenu mikrobnu populaciju.

Nastajanje aerosola, te prijenos i preživljavanje mikroorganizama u zraku složeni je proces na koji utječu različiti fizikalno-kemijski faktori: relativna vlaga, temperatura, koncentracija kisika, ioniziranost zraka i sunčevo zračenje (Pavić et al., 2001.). Temperatura vode u rasponu od 25 do 45°C je pogodna za stvaranje kolonija *Legionella* spp. (Wadowsky et al., 1985.).

Zaraza se najčešće prenosi putem komunalne infrastrukture (pripreme PTV-a, uređaja za hlađenje zraka, tuševa u bolnicama, hotelima, toplicama, rekreacijskim bazenima, masažnim kadama, sustavima za osvježavanje zraka, te u rashladnim tornjevima (Wadowsky et al., 1985.). Razlog opstanka i razmnožavanja *Legionella* spp. kod velikih sustava leži u većoj mogućnosti pojave slabog protoka vode ili ustajale vode, slijepih završetaka cijevi, kao i mjesta na kojima postoje naslage sedimenta, biofilma, kao i zbog nemogućnosti održavanja propisanih temperatura tople i hladne vode. Formirani biofilmovi se teško uklanjaju pri sporom protoku vode i s nedostupnih površina, te potiču dodatnu mikrokorozijsku metalnih stjenki ispod sloja biofilma. Pri turbulentnom strujanju vode nastali se biofilmovi mogu otkidati i dospijevati u vodu. Stvaranje biofilma na površinama vodovodnih cijevi dovodi do ponovnog onečišćenja vode nakon dezinfekcije, i do mikrokorozijske metalnih cijevi ispod sloja biofilma. Organizmi prisutni u biofilmovima često imaju povećanu toleranciju prema biocidima, što ima za posljedicu rekontaminaciju vode nakon dezinfekcije i naknadnu pojavu različitih bolesti. Korozija može izazvati i pukotine na stjenkama cjevovoda koje također mogu biti skloništa za *Legionella* spp. i druge patogene bakterije, te biti uzrok povećane mutnoće vode u vodoopskrbnom sustavu (Wullingset et al., 2011.). Borella et al., 2000. su istraživali brzinu kolonizacije *Legionella* spp. s obzirom na vrstu materijala od kojega su izrađene vodovodne cijevi. Njihovi rezultati su pokazali prisutnost manje koncentracije mikroorganizama na glatkim površinama cijevi, u odnosu na hrapave površine.

Sprječavanje stvaranja biofilma je važna mjera protiv preživljavanja legionela, jer se jednom stvoreni biofilmovi teško otklanjaju iz složenih sustava cjevovoda kakvi su vodoopskrbni sustavi.

### 3. TEHNIČKA RJEŠENJA ZA PROBLEME S *LEGIONELLA* spp. U SUSTAVIMA S TOPLIM VODOM

Navedena rješenja i mjere u ovom poglavlju u praksi bi se trebali kombinirati i s drugim tehnološkim mjerama za prevenciju rasta i razvoja mikroorganizama u PTV-u, kao što su npr. hiperklorinacija, termička dezinfekcija, UV-zračenje, ultrafiltracija i dr. (Linnet et al., 1998.).

Jedna od nadovezujućih mjera, osim tehničkih i tehnoloških, je i redovito održavanje sustava s vodovodnom vodom i PTV-om. Pri tome se podrazumijeva da se npr. u objektima koji su sezonskog tipa (hoteli, kampovi,

apartmani) na kraju sezone provodi snažna termička dezinfekcija cjevovoda. Na početku sezone u tim objektima potrebno je provoditi i hiperdezinfekciju uz ispiranje cjevovoda. Kod objekata koji su otvoreni tijekom cijele godine provodi se redovita provjera i čišćenje spremnika tople vode od kamenca, te ostalih taloga i naslaga kao i redovita provjera i mikrobiološka kontrola vode (potrebno je da je rezultat -negativan na *Legionella* spp.).

#### 3.1. Izbor materijala za sanitarne instalacije

Prilikom projektiranja sustava s toplom vodom, uglavnom je to riječ o sanitarnim sustavima, u izbor se trebaju uzeti certificirani cijevni sustavi (npr. DVGW certifikati, prema Njemačkom udruženju stručnjaka za plin i vodu). S obzirom da na tržištu postoje različite varijante materijala i izvedbe cijevnih razvoda, najčešće korišteni materijali su: cijevi od bakra (korištenje na pH vrijednostima iznad 7,0), nehrđajućeg čelika, PE-X, odnosno konstrukcije PE-X/Aluminij/PE-X. Kroz nepravilno izvođenje sanitarnih instalacija može doći do različitih tehničkih i mikrobioloških problema. Problem može nastati uslijed izravnog spajanja dvaju razvoda koji su izrađeni od različitih metala, uslijed čega nastaje galvanska (bimetalna) korozija, odnosno nastajanje korozije na manje plemenitijem metalu. Danas je jedna od najkorištenijih tehnologija spajanja sanitarnih cijevnih razvoda tehnologija „press-fit“ (Ljoljo, 2015.).

#### 3.2. Higijenski zahtjevi za sanitarne instalacije

Nova epidemiološka i mikrobiološka saznanja pokazala su da se do sada premalo značaja pridavalo važnosti izvedbe sanitarnog razvoda. Novija izdanja normi VDI 6023, te DIN 1988 poseban značaj daju higijenskim aspektima projektiranja, izvođenja i održavanja sanitarnih instalacija. Važno je da se kvaliteta vode zadrži do glavnog vodomjernog priključka na predmetnu građevinu (dužnost lokalnog distributera vode za piće), te da se naknadnim sanitarnim razvodom (unutar predmetne građevine) njena kvaliteta ne umanj. Prilikom planiranja i izvedbe priključaka vode za piće s javne vodovodne mreže, potrebno je uzeti npr. sljedeće norme u obzir: DIN EN 805, DVGW W 400 te DVGW W 404. Obično je način priključka definiran od strane vodoopskrbne tvrtke, budući da je za kvalitetu vode do vodomjera zadužena ona, a nakon vodomjera je u nadležnosti korisnika instalacije. Temperatura vode je s gledišta higijenskih zahtjeva kritičan parametar, budući da ona značajno utječe na rast i razvoj patogenih mikroorganizama u vodi. Iz toga razloga je izoliranje cijevnog razvoda neophodno, kako ne bi došlo do međusobne izmjene topline (VDI 6023, 4.2.3.), odnosno do „klizanja“ temperature vode u nepovoljni režim. Prema normama DIN 1988-200 i VDI 6023 maksimalna temperatura hladne sanitarne vode određena je s 25°C uz općenitu preporuku su da bi se temperatura vode trebala držati što je niže moguće kako bi se izbjegla svaka opasnost od razmnožavanja patogenih mikroorganizama.

Temperatura tople vode prema DVGW-W551 je određena s minimalnih 60°C za velike sustave potrošne tople vode ( $V > 400$  L), dok je za male sustave minimalni polaz tople vode na 50°C. Razlika temperatura između tople vode koja izlazi iz izmjenjivača topline i cirkulacijske struje koja ulazi smije maksimalno iznositi 5°C. Uobičajen režim koji se koristi u inženjerskoj praksi je 60/55°C (topla voda/cirkulacija), budući da on pruža optimum između higijenskih zahtjeva za pitku vodu te uštede energije za pripremu potrošne tople vode.

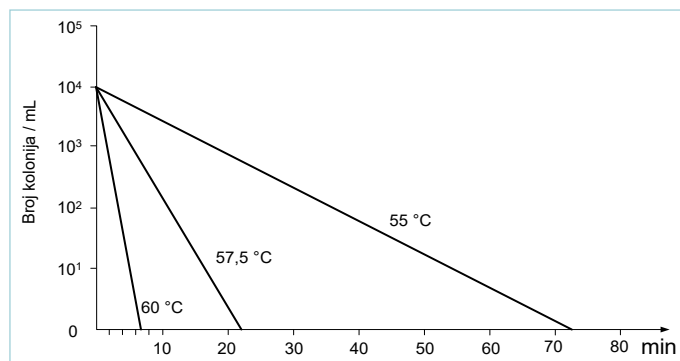
Osjetljivost bakterije *Legionella spp.* na temperaturu vode prikazuje [slika 4](#).

Nadalje je važna dinamika strujanja vode u cijevnom razvodu (brzina strujanja), budući da se kroz duže vremensko razdoblje, uslijed manjih brzina u sustavu, mogu stvoriti povoljni uvjeti za razvoj patogenih mikroorganizama. Postoji opasnost da uslijed predimenzioniranih cjevovoda brzina strujanja ne bude zadovoljavajuća te se tada stvara laminarni podsloj koji utječe negativno na vrtloženje vode blizu stjenke, što pak pogoduje stvaranju biofilмова.

Sljedeća važna smjernica prilikom projektiranja sanitarnih sustava je izbjegavanje stagnacije vode, odnosno pojave „mrtvih“ dionica u kojima se ne događa nikakvo strujanje vode. Prema VDI 6023 i DIN 1988-200 maksimalna dopuštena količina vode u „mrtvom“ dijelu je 3 L, iako je bolje u potpunosti izbjeći stagnaciju. Nekontinuirani rad, odnosno prekid pogona prema normama je definiran različito:

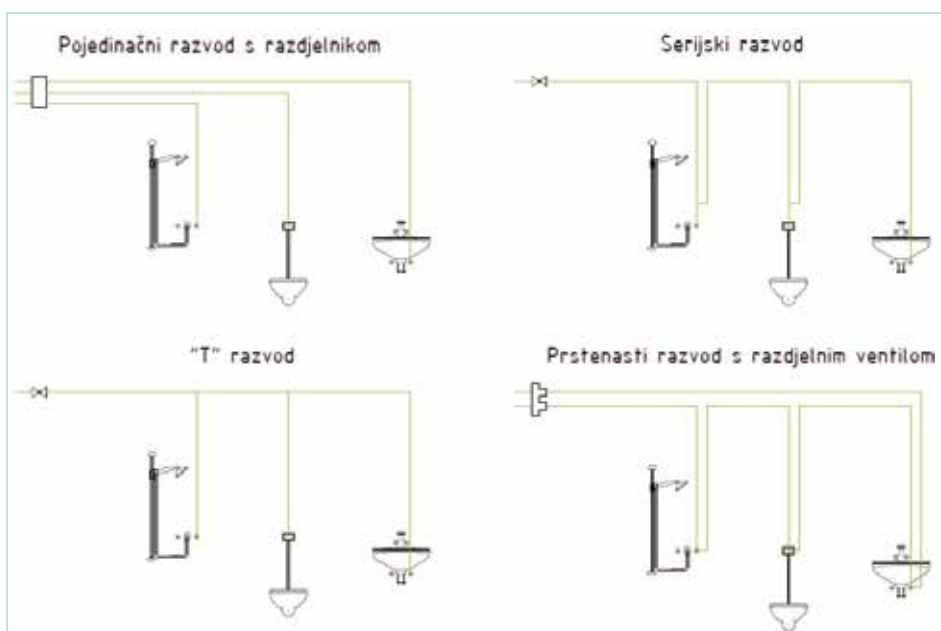
- prema DIN 1988, odnosno DIN EN 806 se obustavom pogona smatra mirovanje sustava u iznosu od 7 dana, nakon kojeg je potrebno osigurati ispiranje sustava

- prema VDI 6023 se obustavom pogona smatra mirovanje sustava već od 72 sata (moguće maksimalno do 7 dana), preporučuje se osiguravanje protoka vode nakon 72 sata.



Slika 4. Utjecaj temperature na preživljavanje *Legionella spp.* (Müller i sur., 2008.).

Redovita izmjena vode je optimalna pretpostavka za kakvoću vode u instalacijama vode za piće, odnosno smislenim spajanjem trošila se već u fazi projektiranja može osigurati izmjena vode u sanitarnom sustavu. Postoje različiti načini spajanja trošila kako bi se osigurao željeni kontinuirani protok, a neki od njih prikazani su na [slici 5](#). Pojedinačni razvod s razdjelnikom i T-razvod se preporuča za građevine kod kojih nema visokih higijenskih zahtjeva vode za piće, pri čemu je potrebno koristiti kratke spojne vodove. Serijski razvod sustava za distribuciju vode za piće (kao i prstenasti) omogućava već prilikom projektiranja postavljanje temelja za besprijekorne higijenske uvjete u instalaciji. Trošila se spajaju serijski, gdje se obično na zadnje mjesto stavi ono trošilo od kojeg se očekuje konstantna potrošnja, primjerice umivaonik ili WC školjka. Prstenasti razvod se koristi kod najviših higijenskih zahtjeva gdje obično nije definirano „glavno“ trošilo na kojem će biti osigurano puštanje vode. Ovaj način spajanja omogućava da trošilo bude izvan prostorije (primjerice umivaonik u kuhinji), a da se pritom ostvari željena recirkulacija vode i na taj način osigura željeni protok vode. U Hrvatskoj



Slika 5. Različiti načini spajanja sanitarnih trošila (adaptirano prema (Kistemann i sur., 2012.)).

se u praksi i dalje često koristi „T“ način spajanja razvoda za javne ustanove (bolnice, hoteli, dječji vrtići, itd.). Ovaj način spajanja rezultira „mrtvim dionicima“, odnosno stagnacijskim dijelovima razvoda unutar kojih voda ne struji, čime se povećava mogućnost kolonizacije s mikroorganizmima.

Relativno jednostavnim mjerama prilikom projektiranja moguće je izbjeći nepovoljni efekt stagnacije vode te na taj način osigurati vodu bez patogenih mikroorganizama. Primjenom naprednijih načina spajanja razvoda sanitarnih instalacija (prstenasti i serijski spoj), te korištenjem pripadajuće armature moguće je u potpunosti osigurati nesmetanu izmjenu vode. Za rješavanje problema recirkulacije hladne vode za sustave s velikim potrebama za toplom vodom moguće je predvidjeti različite varijante:

(a) sustav s razdjelnim ventilom i prstenastim sanitarnim razvodom

(b) ispuštanje vode prema programiranim intervalima – takvo rješenje moguće je izvesti s automatskim sustavom za ispuštavanje vode (adekvatna ispuštanja vode su podesiva prema vremenskim intervalima i prema količini ispuštanja vode).

Osim toga, u fazi projektiranja potrebno je predvidjeti i zone za uzimanje uzoraka biofilмова, u kojima se prati prisutnost *Legionella* spp. (Sabyet al., 2006.) te provjerava učinkovitost mjera zaštite.

### 3.3. Priprema i pogon sustava obrade vode za piće

Često se u instalacijama postavljaju zahtjevi za tretiranjem vode. Najčešće primjenjivani postupak je umekšavanje vode, odnosno smanjivanje ukupne tvrdoće vode. Mjere za smanjenje nakupljanja kamenca (kalcijeve i magnezijeve soli) na stjenkama cijevi najčešće imaju i povoljan utjecaj na same higijenske zahtjeve za vodu. Naime, nastali kamenac na stjenkama cijevi pruža dodatnu mogućnost razvoja biofilma na njemu, te je unutar njega legionela dodatno zaštićena. Isto tako, vodeni kamenac može stvarati znatni toplinski otpor, pa se uslijed termičke dezinfekcije cjevovoda ne postižu temperature na kojima se uništavaju legionele. Prilikom samog izvođenja sanitarnih radova potrebno je paziti da ne dođe do kontaminacije razvoda i armatura kroz prašinu, zemlju, fekalne vode te razne kemijske spojeve, stoga je važno da se osigura zaštita sanitarnih instalacija prilikom samog procesa izvođenja radova.

Prije samog puštanja instalacija u pogon, potrebno je napraviti tlačnu probu. Ukoliko se ubrzo nakon tlačne probe instalacija počinje koristiti, tada se tlačna proba radi s vodom, koja mora udovoljavati zahtjevima kvalitete za pitku vodu. Ako se instalacija ne stavlja odmah u pogon, nego nakon nekoliko mjeseci, ili ukoliko postoje posebni zahtjevi za higijenu vode, onda se tlačna proba radi s inertnim plinom. Rad sustava započinje samim punjenjem instalacije, nakon čega je potrebno provjeriti kvalitetu vode na reprezentativnim sanitarnim izljevima (obično na najudaljenijem sanitarnom elementu).

Tablica 1. Izolacija cijevi hladne pitke vode prema DIN 1988-200.

Način ugradnje	Debljina izolacije za $\lambda=0,04 \text{ W/mK}$
Slobodno razvedene cijevi, temperatura okoline $\leq 20^\circ\text{C}$	9 mm
Cijevi razvedene u podu, šahtovima i spušenim stropovima, temperatura okoline $\leq 25^\circ\text{C}$	13 mm
Cijevi u prostorijama s toplinskim opterećenjima, temperatura okoline $\leq 25^\circ\text{C}$	Izolacija kao za toplu vodu
Cijevi u duplim zidovima	4 mm
Cijevi razvedene u slojevima poda, bez instalacija tople pitke vode	4 mm
Cijevi razvedene u slojevima poda, s instalacijama tople pitke vode	13 mm

Tablica 2. Izolacija cijevi tople pitke vode prema DIN 1988-200.

Način ugradnje	Debljina izolacije za $\lambda=0,035 \text{ W/mK}$
Unutarnji promjer cijevi do 22 mm	20 mm
Unutarnji promjer cijevi do 22 mm do 32 mm	30 mm
Unutarnji promjer cijevi do 35 mm do 100 mm	Jednaka unutarnjem promjeru
Unutarnji promjer cijevi veći od 100 mm	100 mm
Instalacije u prodorima kroz zidove i stropove	1/2 od prethodnih zahtjeva

### 3.4. Izolacija sanitarnog razvoda

Kako bi se izbjegle opasnosti razmnožavanja bakterija iz roda *Legionella* te umanjili toplinski gubitci sanitarnih instalacija, potrebno je temperaturu vode držati u optimalnim intervalima (hladna voda-max.  $25^\circ\text{C}$ ; cirkulacija tople vode-min.  $55^\circ\text{C}$ ). Pri tome se ponekad zanemaruje tehnički korak-izolacija cjevovoda.

Izolaciju cijevnog razvoda hladne vode moguće je izvesti npr. prema DIN 1988-200.

U tablici 1 dane se debljine izolacija za hladnu vodu prema DIN 1988-200. Kod sanitarnih instalacija PTV-a potrebno je osigurati da ne dođe do pada temperature ispod  $55^\circ\text{C}$ .

Potrebne debljine izolacija za toplu pitku vodu dane su u tablici 2. Ukoliko postoji potreba za prostorom, odnosno debljine izolacije su prevelike, onda je moguće smanjiti debljinu izolacije korištenjem izolacije s boljim svojstvima.

## 4. ZAKLJUČAK

Pod određenim uvjetima dolazi do stvaranja biofilma unutar vodoopskrbnih sustava, a unutar njega mogu biti prisutne bakterije *Legionella* spp. Stoga vodoopskrbni sustav treba promatrati kao jednu posebnu biocenozu u kojoj se odvijaju međusobno povezane reakcije. Kontrolom fizikalno-kemijskih parametara (temperatura vode, pH, koncentracije slobodnog rezidualnog klora,



željeza, cinka, bakra ...), koji utječu na opstanak i razmnožavanje legionela, može se smanjiti učestalost i opasnost od obolijevanja od legionarske bolesti, koja može izazvati smrtno posljedice za korisnike. Za sprječavanje razvoja legionela važna je odgovarajuća konstrukcija, odnosno izvedba cjevovoda (npr. sa što manje koljena i račvi), ali i odabir materijala, pa prednost treba dati cijevima od polimernih materijala ili nodularnog lijeva, jer su stjenke cijevi glatke, što umanjuje mogućnost razvoja biofilma. Važno je i u cjevovodima održavati odgovarajuće hidrauličke uvjete, odnosno ostvariti što

veći i kontinuirani protok, po mogućnosti bez mrtvih kutova i stagnacije vode. U svrhu smanjenja prisutnosti legionela potrebno je i redovito tehničko održavanje vodoopskrbnih uređaja, kao i održavanje temperature hladne vode u spremnicima i u distribuciji, ispod 25°C, odnosno tople vode iznad 55°C.

Za osiguranje tehničkih i tehnoloških mjera te održavanja sustava pitkom vodom potrebna su interdisciplinarna znanja te je od presudne važnosti suradnja stručnjaka raznih profila od faze projektiranja i izvedbe do pogona i održavanja sustava. ■

## LITERATURA

- Bartram, J. (2007.): *Legionella and the prevention of legionellosis*. World Health Organization, Geneva.
- Bitton, G. (2014.): *Microbiology of drinking water production and distribution*. Wiley Blackwell, New Jersey.
- Borchers, U. (2012.): *Die Trinkwasserverordnung 2011: Erläuterungen-Änderungen-Rechtstexte*. Beuth Verlag, Berlin, Wien, Zürich.
- Borchers, U. (2013.): *Die Trinkwasserverordnung 2012: Erläuterungen-Änderungen-Rechtstexte*. Beuth Verlag, Berlin, Wien, Zürich.
- Borella P., Bargellini A., Pergolizzi S., Aggazzotti G., Curti C., Nizzero P., et al. (2000.): *Prevention and control of Legionellae infection in the hospital environmental*, Ann Ig., 12, 287-296.
- Direktiva komisije EU 2015/1787 (<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015L1787&from=EN>), (3.2.2016.).
- Direktiva vijeća EU 98/83/EZ ([http://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/legislation\\_en.html](http://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/legislation_en.html)), (3.2.2016.).
- Dobrović, S., Juretić, H., Ljubas, D. (2009.): Kemijskom ili/i fizikalnom dezinfekcijom do mikrobiološki ispravne pitke vode?. *Aktualna problematika u vodoopskrbi i odvodnji* (ur. A. Beslić), 147-150, Revelin d.o.o., Rijeka.
- DVGW-Arbeitsblatt W 551. (2004.): *Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums; Planung, Einrichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen*. DVGW-Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn. Germany.
- EPA-Drinking Water Regulations and Contaminants, ([www.epa.gov/dwregdev/drinking-water-regulations-and-contaminants](http://www.epa.gov/dwregdev/drinking-water-regulations-and-contaminants)), (3.2.2016.).
- Flemming, H.C. (2011.): *Biofilm Highlights*. Springer Verlag, Berlin, Germany.
- Guidelines for Drinking-water Quality (2011.): *Guidelines for Drinking-water Quality*. World Health Organization, Geneva.
- <http://www.hcjz.hr/clanak.php?id=13410&rnd>, (4.2.2011.).
- International Organization for Standardization (ISO) (2004.): *ISO 11731-2:2004 Water quality - Detection and enumeration of Legionella - Part 2: Direct membrane filtration method for waters with low bacterial counts*, ISO, Geneva, Switzerland.
- Kistemann, T., Schulte, W., Rudat, K., Hentschel, W., Häussermann, D. (2012.): *Gebäudetechnik für Trinkwasser*. Springer Verlag, Berlin, Germany.
- Labudović, B. (2005.): *Priručnik za grijanje*. Energetika marketing, Zagreb.
- Labudović, B. (2012.): *Osnove tehnike instalacija vode i plina*, Energetika marketing, Zagreb
- Lieberman R.J., Shadix L.C., Newport B.S., Buescher S.E., Safferman R.S., Stetler R., Lye D. (1994): *Source water microbial quality of some vulnerable public ground water supplies*, In Proceedings Water Quality Technology Conference, San Francisco 1425-1436.
- Ljolo, D. (2015.): *Tehnička i tehnološka rješenja problema mikrobiološkog zagađenja u sustavima potrošne tople vode javnih objekata*, diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu
- Lin, Y.E., Stout, J.E., Yu, V.L. Vidic, R.D. (1998.): *Disinfection of Water Distribution Systems for Legionella*, *Seminars in Respiratory Infections*, 13(2), 147-159.
- Müller, H., Dünnleder, W., Mühlberg, W., Ruckdeschel, G. (2008.): *Legionellen-ein aktuelles Problem der Sanitärhygiene*. Rennungen: Expert Verlag, Berlin, Germany.
- Pavić S., Smoljanović M., Mijaković I., Ćurin K., Prodan-Bedalov M. (2001.): *Načela utvrđivanja mikrobiološke kakvoće zraka*. *Arh. Hig. Rada. Toksikol.*, 52, 355-365.
- Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju. Narodne novine br. 125/2013; 141/2013.
- Schramek, E.-R. (2007.): *Recknagel-Sprenger-Schramek Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik einschliesslich Warmwasser-und Kältetechnik*, *Oldenbourg Industrierivertag*, München.
- Saby S., Vidal A., Suty, H. (2006.): *Resistance of Legionella to disinfection in hot water distribution systems*, *Wat. Sci. Tech.*, 52(8), 15-28.
- Stout J.E., Rihs J.D., Yu V.L. (2003.): *Legionella. Manual of Clinical Microbiology*, 8<sup>th</sup> edition, ASM Press, Washington, USA.
- Tablan O.C., Anderson L.J., Besser R., Bridges C., Hajjeh R. (2004.): *Guidelines for preventing health-care-associated pneumonia: Recommendations of CDC and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee*. *MMWR Recomm Rep*, 53(RR-3), 1-36.
- van Heijnsbergen, E., Schalk, J.A.C., Euser, S.M., Brandsema, den Boer, J.W., de Roda Husman, A.M. (2015.): *Confirmed and potential sources of Legionella reviewed*, *Environ. Sci. Technol.*, 49 (8), 4797-4815.
- Wadowsky R.M., Wolford R., McNamara A.M., Yee R.B. (1985.): *Effect of Temperature, pH, and Oxygen Level on the Multiplication of Naturally Occurring Legionella pneumophila in Potable Water*, *AEM*, 49(5), 1197-1205.
- Wullings B.A., Bakker G., van der Kooij D. (2011.): *Concentration and diversity of uncultured Legionella pneumophila in two unchlorinated drinking water supplies with different concentrations of natural organic matter*, *AEM*, 77(2), 634-641.
- Zakon o vodi za ljudsku potrošnju. Narodne novine br. 56/2013.; 064/2015.

## TECHNICAL MEASURES TO PREVENT THE PROPAGATION OF BACTERIA *LEGIONELLA* SPP. IN HOT WATER SUPPLY SYSTEMS

**Abstract.** Continuous maintenance of hot and cold drinking water quality in residential buildings, in particular regarding the microbiological requirements for water quality, is a major challenge for professionals from different fields. At the same time, they all also share the responsibility for the health of humans using the water. The paper gives an overview of the occurrence and development of the pathogenic bacteria *Legionella* spp. in drinking water supply systems, with an emphasis on the subsystem for domestic hot water. The pathogenic bacteria of the genus *Legionella* can be found in natural watercourses, from which they enter the water supply systems and subsequently the households. They pose a threat to human health, causing Legionnaires' disease, a severe form of pneumonia, whereas infections are usually caused by *L. pneumophila* of the serogroup O1. They enter the human respiratory system from the contaminated environment in the form of hydroaerosol.

The paper further shows the legal requirements for the quality of drinking water and gives examples of the limitations related to the presence of *Legionella* spp. that exist in some countries. Additionally, the technical solutions for a successful inactivation of *Legionella* spp. are also presented.

**Key words:** drinking water, *Legionella* spp., domestic hot water, biofilm, inactivation

## TECHNISCHE MASSNAHMEN ZUR VERHINDERUNG DER VERMEHRUNG VON BAKTERIEN *LEGIONELLA* SPP. IN WARMWASSERVERSORGUNGSSYSTEMEN

**Zusammenfassung.** Die Sicherstellung eines kontinuierlichen Qualitätsniveaus von Warm- und Kalttrinkwasser in Wohnungsbauten unter besonderer Betonung der mikrobiologischen Anforderungen an die Wasserqualität ist eine große Herausforderung für Fachleute aus verschiedenen Gebieten. Gleichzeitig sind sie alle verantwortlich für die Gesundheit der Menschen, die dieses Wasser verbrauchen. In dieser Arbeit wird ein Überblick über die Erscheinung und Entwicklung von pathogenen Bakterien *Legionella* spp. in Trinkwasserversorgungssystemen, namentlich in Warmwassersystemen, gegeben. Diese Bakterien befinden sich in natürlichen Wasserläufen und gelangen durch die Wasserversorgungssysteme in Haushalte. Sie stellen eine Gefahr für die menschliche Gesundheit, weil sie die Legionärskrankheit und eine schwere Lungenentzündung verursachen. Der häufigste Erreger ist *L. pneumophila* der Serogruppe 1. Diese Bakterien gelangen aus der verunreinigten Umwelt in Form des Wasseraerosols in das menschliche Atemsystem.

Die in einigen Ländern bestehenden gesetzlichen Anforderungen an die Qualität des Trinkwassers sowie Beispiele der Beschränkungen bezüglich der Anwesenheit von *Legionella* spp. werden beschrieben. Außerdem werden technische Maßnahmen zur erfolgreichen Inaktivierung von *Legionella* spp. dargestellt.

**Schlüsselwörter:** Trinkwasser, *Legionella* spp., Gebrauchswarmwasser, Biofilm, Inaktivierung