

Sakarības starp legionellu baktēriju savairošanās potenciālu un ūdens temperatūru, cauruļvados izmantotajiem materiāliem un cauruļvadu vecumu

Ievads

Veselības inspekcija ir veikusi informācijas analīzi par *Legionella pneumophila* baktēriju izplatību Latvijas centralizētajās ūdensapgādes sistēmās, jo īpaši karstā ūdens sistēmās, balstoties uz pieejamajiem datiem par ūdens laboratoriskajās pārbaudēs konstatēto legionellu baktēriju koncentrācijām, ūdens paraugu ņemšanas vietām, ūdens temperatūru parauga ņemšanas brīdī, kā arī izmantotajiem cauruļvadu materiāliem, ēku un cauruļvadu vecumu. Analīzē izmantoti arī ārzemēs veiktie zinātniskie pētījumi par dažādiem faktoriem, kas ietekmē legionellu baktēriju savairošanās potenciālu. Veiktās analīzes mērķis ir noskaidrot situāciju Latvijā un iezīmēt piemērotākos risinājumus mērķētākai legionellu baktēriju ierobežošanai ūdensapgādes sistēmās, balstoties uz jaunākajām zinātnisko pētījumu atziņām pasaulē.

L.pneumophila ir plašākas Legionella baktēriju ģints pārstāve, kura visbiežāk tiek saistīta ar saslimšanas – legionelozes izraisīšanu, līdz ar to parasti, veicot epidemioloģisko izmeklēšanu un kontroli pēc dezinfekcijas, ūdens paraugos nosaka *L.pneumophila*. Tālāk tekstā konkrētā baktēriju suga parasti netiek norādīta, lietojot vispārīgo apzīmējumu “legionellas” vai “legionellu baktērijas”. Apskatot veikto ūdens paraugu analīžu rezultātus, minētais vispārīgais apzīmējums attiecas uz *L.pneumophila*. Visos pārējos gadījumos, ja īpaši nav norādīts, vispārīgais apzīmējums attiecas vienlīdz gan uz galveno mērķa grupu *L.pneumophila*, gan visu Legionella baktēriju ģinti kopumā, jo, runājot par to savairošanās riskiem ūdens apgādes sistēmā, konkrētās baktēriju sugas, neveicot speciālus pētījumus, nav izdalāmas atsevišķi.

Veselības inspekcija datu analīzē izmantoja Slimību profilakses un kontroles centra veikto ūdens laboratorisko pārbaūžu rezultātus par **164** ūdens paraugiem, kas iegūti **47** legionelozes gadījumu epidemioloģiskās izmeklēšanas ietvaros no 2021.gada 29.decembra līdz 2023.gada 18.janvārim. No tālākās detalizētās analīzes tika izslēgti tie ūdens paraugi, par kuriem nebija norādīta ūdens temperatūra vai legionellu baktēriju koncentrācija.

Parasti katra legionelozes gadījuma izmeklēšanas laikā tiek ņemti četri ūdens paraugi - divi aukstā ūdens un divi karstā ūdens paraugi gan ēkas siltummezglā, gan arī dzīvokļa vannas istabā ar dušu. Parauga ņemšanas brīdī tiek noteikta tekošā ūdens temperatūra. Ūdens paraugu ņemšanas procedūra un izmantotās metodes, piemēram, vai ūdens paraugu paņem uzreiz, kad ir atgriezts ūdens krāns, vai brīdī, kad tekošais ūdens sasniedz stabilu temperatūru, var būtiski ietekmēt ticamu legionellu datu iegūšanu¹.

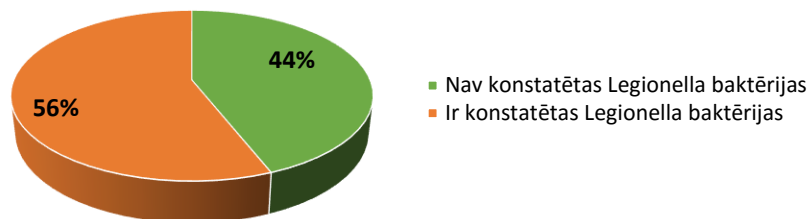
Ēku apsaimniekotāji sniedza informāciju par **19** ēku (no **47** apsekotajām ēkām, kurās tika konstatēta inficēšanās ar legionelozi) iekšējās ūdensapgādes sistēmas cauruļvadu materiāliem, ēkas nodošanas ekspluatācijā gadu un kad pēdējo reizi cauruļvadi nomainīti, kā arī par turpmāk plānotajiem cauruļvadu nomaiņas laikiem.

¹ Uldum S. A., Schjoldager L. G., Baig S. *et al.* A tale of four Danish cities: Legionella pneumophila diversity in domestic hot water and spatial variation in disease incidence. Int. J. Environ. Res. Public Health 19 (5), 2530 (2022.) <https://doi.org/10.3390/ijerph19052530>

Legionellu baktēriju koncentrācija ūdenī

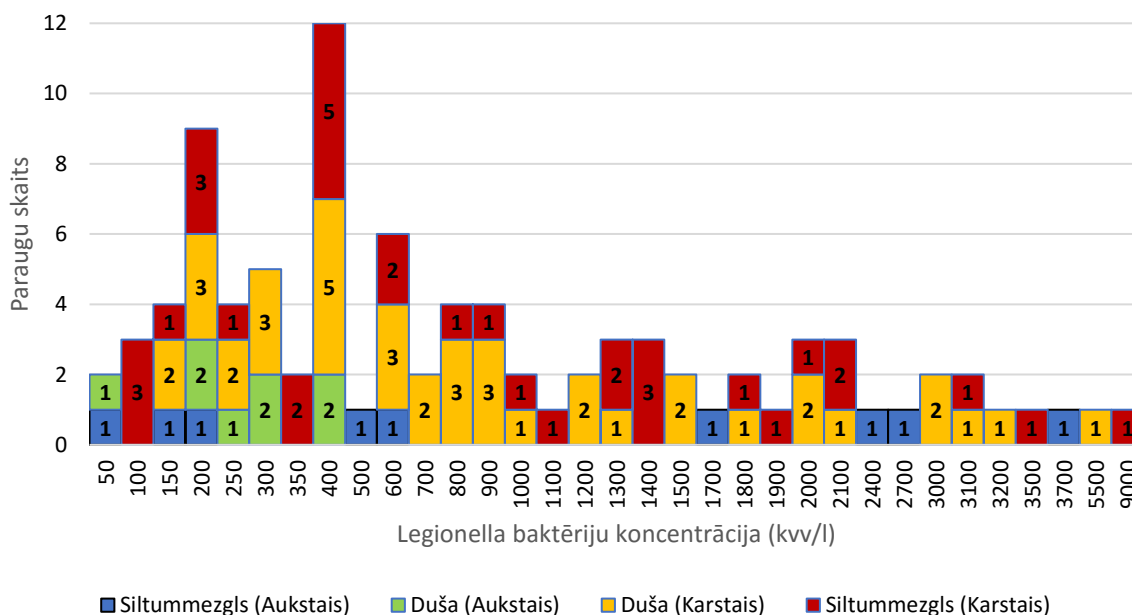
Legionellu baktērijas tika konstatētas **56 %** izmeklēto ūdens paraugu (92 paraugos no 164), bet netika konstatētas **44 %** ūdens paraugu (72 paraugos no 164) (1.att.).

No legionellām visbiežāk brīvs ir aukstais ūdens – siltummezglā **31** ūdens paraugā (no **40** paraugiem) un dzīvokļa vannas istabā **30** ūdens paraugos (no **38** paraugiem) netika konstatēta neviena baktērija. Savukārt karstajā ūdenī legionellas nekonstatēja tikai **deviņos** ūdens paraugos siltummezglā (no **43** paraugiem) un **dīvos** karstā ūdens paraugos vannas istabā no dušas (no pavisam **43** paraugiem).



1.attēls. Ūdens paraugu sadalījums pēc Legionella pneumophila baktēriju klātbūtnes.

Rezumējot jāuzsver, ka legionellu baktērijas dažādās koncentrācijās (to sadalījums dots 2.attēlā) tiek konstatētas aukstajā un karstajā ūdenī gan siltummezglos, gan arī vannas istabā no dušas paņemtajos ūdens paraugos.



2.attēls. Legionellu baktēriju koncentrācijas sadalījums atkarībā no ūdens parauga veida.

Legionellu baktēriju koncentrācija ~2/3 inficēto paraugu nepārsniedza 1000 kvv/l (**58** paraugi)². **20** paraugos legionellu skaits bija no 1000 līdz 2000 kvv/l, bet savukārt **14** paraugos

² kvv = kolonijas veidojošās vienības

virs 2000 kvv/l. Vislielākā legionellu koncentrācija konstatēta **divos** paraugos - 5500 kvv/l un 9000 kvv/l, attiecīgi karstā ūdens paraugā dušā un siltummezglā.

Visos aukstā ūdens paraugos, kas paņemti no dušas un kuros ir konstatēta legionellu klātbūtne (astoņos paraugos), legionellu baktēriju koncentrācija nepārsniedza 400 kvv/l.

Karstā ūdens paraugos, kas paņemti no siltummezgla un kuros ir konstatēta legionellu klātbūtne (34 paraugos), konstatēts visplašākais legionellu baktēriju koncentrāciju spektrs – sākot no 100 un līdz pat 9000 kvv/l. Savukārt karstā ūdens paraugos, kas paņemti no dušas un kuros ir konstatēta legionellu klātbūtne (41 paraugā), baktēriju koncentrācija bija robežās no 150 līdz 5500 kvv/l.

Maksimālā konstatētā legionellu baktēriju koncentrācija 9000 kvv/l tika atrasta daudzdzīvokļu mājas siltummezgla karstajā ūdenī, kura temperatūra parauga ņemšanas brīdī bija +52°C. Tajā pašā laikā aukstā ūdens paraugā no minētā siltummezgla legionellu daudzums bija 1700 kvv/l (ūdens temperatūra +16°C). Nav informācijas par ūdens paraugu analīzēm no dzīvokļa, kurā tika konstatēta inficēšanas ar legionelozi, tāpat šajā gadījumā nav zināms ne ēkas vecums, ne arī izmantotie cauruļvadu materiāli.

Lielākā legionellu baktēriju koncentrācija no dušās paņemtajiem karstā ūdens paraugiem bija 5500 kvv/l (ūdens temperatūra +47.7°C), kas tika konstatēta 1978. gadā ekspluatācijā nodotajā namīpašumā ar tērauda cauruļvadiem, kas kopš tā laika nav mainīti. Šajā gadījumā aukstajā ūdenī no dušas legionellu baktēriju daudzums bija 200 kvv/l (ūdens temperatūra +19.2°C), savukārt aukstajā ūdenī mājas siltummezglā - 2700 kvv/l (ūdens temperatūra +12.8°C), bet karstajā ūdenī - 1900 kvv/l (ūdens temperatūra +55.7°C).

Siltummezglu aukstajā ūdenī maksimālā legionellu baktēriju koncentrācija bija 3700 kvv/l (ūdens temperatūra +11.3°C), kas konstatēta 1970.gadā ekspluatācijā nodotā daudzdzīvokļu mājā ar tērauda cauruļvadiem, kuri nav tikuši mainīti. Savukārt mājas siltummezgla karstajā ūdenī legionellu daudzums bija 800 kvv/l (ūdens temperatūra +50.6°C), bet dzīvokļa dušas aukstajā ūdenī 400 kvv/l (ūdens temperatūra +11.5°C) un dušas karstajā ūdenī - 700 kvv/l (ūdens temperatūra +47.5°C).

Legionellu koncentrācijas atkarībā no ūdens temperatūras

Paraugu ņemšanas laikā tika konstatēts plašs ūdens temperatūru diapazons gan aukstajam, gan karstajam ūdenim, neatkarīgi no parauga ņemšanas vietas:

- Aukstajam ūdenim siltummezglā no +4.6 līdz +21.8°C;
- Aukstajam ūdenim vannas istabas dušā no +6.1 līdz +26°C;
- Karstajam ūdenim dušā no +31.8 līdz +55.3°C;
- Karstajam ūdenim siltummezglā no +31.2 līdz +65.2 °C.

3.attēlā atspoguļots legionellu baktēriju koncentrācijas sadalījums dažādās ūdens temperatūrās parauga ņemšanas brīdī karstajā un aukstajā ūdenī - gan ēku siltummezglā, gan dzīvokļu, kur bija konstatēta inficēšanās ar legionelozi, vannas istabas dušā.

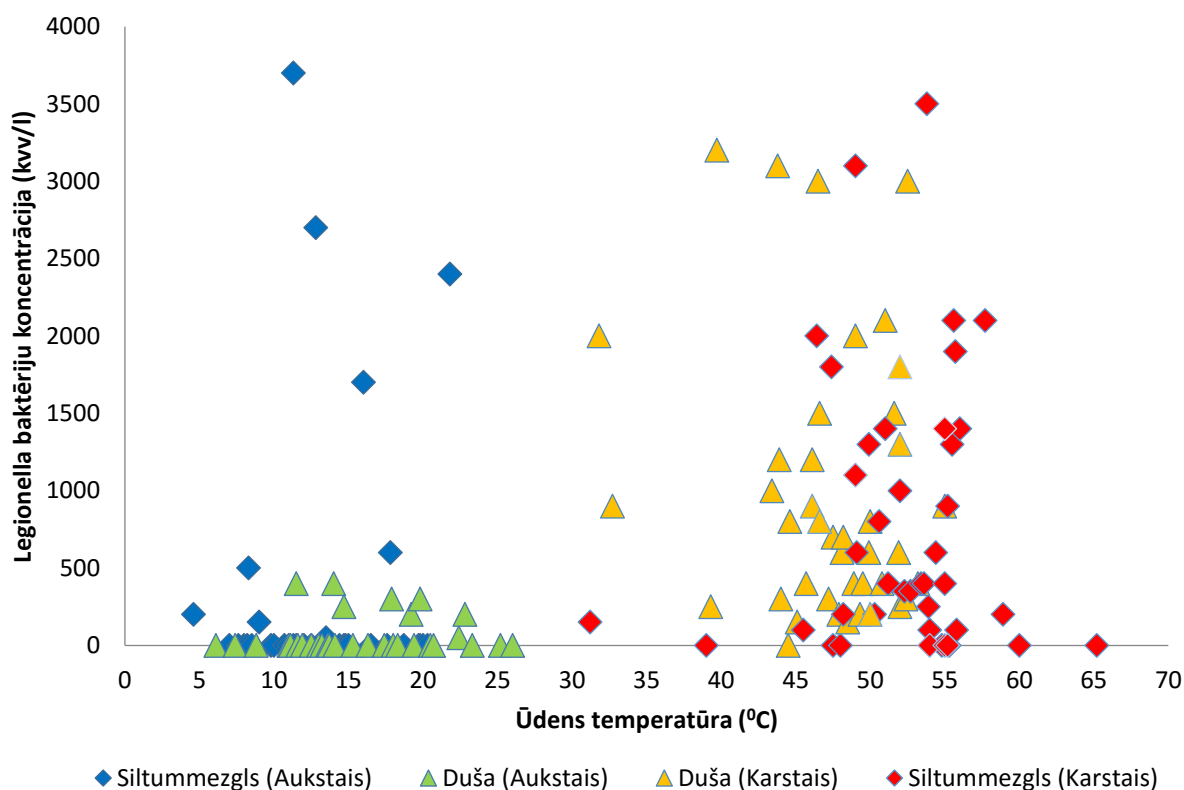
Ūdens paraugi, kuros tika atklātas legionellu baktērijas, bija ar dažādu temperatūru, sākot no +4.6°C (aukstajā ūdenī siltummezglā), un līdz pat +58.9°C (karstajā ūdenī siltummezglā). Abos šajos robežgadījumos legionellu skaits bija 200 kvv/l.

Kopumā karstajā ūdenī vērojama biežāka legionellu baktēriju sastopamība - **75** paraugos (no 86 paraugiem) pretstatā **17** aukstā ūdens paraugiem (no 78 paraugiem).

Lai gan legionellu baktēriju savairošanās apstākļiem optimālajā temperatūras diapazonā no +20°C līdz +50°C baktērijas tika konstatētas samērā daudzos ūdens paraugos - **40** no pavisam **52** paraugiem (parasti dušā), tomēr tikpat daudz legionellu atklāja ūdens paraugos ar

vēl karstāku ūdeni - **38** no pavisam **45** paraugiem (parasti siltummezglā) (1.tabula). Ņemot vērā ierobežoto datu apjomu, nav iespējams izdarīt viennozīmīgus secinājumus par karstā ūdens temperatūras robežās no +50°C līdz +60°C ietekmi uz legionellu baktēriju savairošanās riska samazināšanu. Tāpat jāņem vērā, ka ūdens temperatūra parauga ņemšanas brīdī pilnībā neatspoguļo temperatūras dinamiku un tās stabilitāti karstā ūdens apgādes sistēmā kopumā.

Lai gan legionellu baktērijas aukstajā ūdenī konstatētas salīdzinoši mazākā koncentrācijā nekā karstajā ūdenī, ir gadījumi, kad legionellu baktērijas lielās koncentrācijās ir sastopamas arī aukstajā ūdenī. Visos gadījumos tas ir saistīts ar auksto ūdeni siltummezglā.



3.attēls. Legionellu baktēriju koncentrācijas sadalījums atkarībā no ūdens temperatūras

Latvijā 2022.gadā veiktā legionellu izplatības analīze daļēji sasauca ar pētījuma rezultātiem, kas iegūti Itālijas slimnīcās³. Slimnīcu ķirurģijas nodaļu izlietņu zonā ņemtie karstā un aukstā ūdens paraugi neuzrādīja nekādas atšķirības legionellu baktēriju sastopamībā (legionellas konstatētas 44.5 % karstā ūdens un 44.2 % aukstā ūdens paraugu). Ūdens izdales vietā karstā ūdens temperatūras diapazons šajā pētījumā bija no +21.9 līdz +60.1°C (vidējā vērtība +47.7°C), savukārt aukstajam ūdenim no +9.2 līdz +44.7°C (vidējā temperatūras vērtība +19.1°C).

³ The Role of Sensor-Activated Faucets in Surgical Handwashing Environment as a Reservoir of Legionella. Pathogens. 2020 Jun 5;9(6):446. <https://doi.org/10.3390/pathogens9060446>

1.tabula. Legionellu baktēriju sastopamība dažādos ūdens temperatūras apstākļos

Ūdens temperatūra	Kopējais paraugu skaits	Paraugu skaits, kuros konstatētas legionellu baktērijas	Vieta, kur konstatētas legionellu baktērijas (paraugu skaits ar legionellām)	Legionellu baktēriju koncentrācija (kvv/l)
Zem 20 °C	67	14	Aukstais ūdens siltummezglā (8) un dušā (6)	50 - 3700
20 - 50 °C	52	40	Karstais ūdens dušā (28) un siltummezglā (9); aukstais ūdens dušā (2) un siltummezglā (1)	50 - 5500
Virs 50 °C	45	38	Karstais ūdens siltummezglā (25) un dušā (13)	100 - 9000

Legionellu savairošanās risks un cauruļvadu vecums

Kā jau iepriekš minēts, 19 ēku, kurās veikta legionelozes gadījumu izmeklēšana, apsaimniekotāji sniedza papildu informāciju par ēkām un to kopējās lietošanas cauruļvadu raksturojumu. Informācija par dzīvokļu īpašnieku veiktajām cauruļvadu nomaiņām dzīvoklī nav pieejama.

Pēc pētījumā iesaistīto apsaimniekotāju sniegtās informācijas, minētās ēkas ir nodotas ekspluatācijā no 1964. līdz 2001.gadam, un tikai atsevišķos gadījumos ir veikta to cauruļvadu nomaiņa, turklāt parasti tikuši mainīti atsevišķi cauruļvadu posmi.

Atbilstoši iesniegtajai informācijai, cauruļvadu nomaiņa veikta **sešās** ēkās. No 2019. līdz 2022.gadam pēdējā cauruļvadu nomaiņa veikta **piecās** ēkās, izmantotie cauruļvadu materiāli bija daļēji vai pilnībā polipropilēns (kombinācijā ar cinkoto tēraudu). Vienā namā, kas ekspluatācijā nodots 1984.gadā, pēdējā cauruļvadu daļējā nomaiņa veikta 2017.gadā (izmantotie cauruļvadu materiāli - stāvvadiem kapars, guļvadiem – polipropilēns).

Tuvāko divu gadu laikā cauruļvadus plānots nomainīt **piecās** mājās - divās no tām pēdējā cauruļu maiņa notikusi 2019. un 2022.gadā, savukārt trīs ēkās nav bijusi kopš tās ir nodotas ekspluatācijā. Ēkās, kur cauruļvadu nomaiņa jau nesen notikusi, parasti plāno tērauda caurules aizstāt ar polipropilēna caurulēm.

Jāatzīmē, ka dzīvojamās un sabiedriskās ēkas Rīgā un citās Latvijas pilsētās kopumā intensīvi tika būvētas laika posmā no 1950. gadu sākuma līdz 1990. gadiem⁴, bet kopš tā laika vidējais ūdens patēriņš līdz mūsdienām ir samazinājies vairākkārtīgi⁵. Tādējādi daudzām ūdensapgādes sistēmām ir lielāka ūdensapgādes jauda nekā šobrīd ir nepieciešams. Tas veicina zemu ūdens plūsmu cauruļvados, kas potenciāli var veicināt labvēlīgus apstākļus bioplēves veidošanai un legionellu baktēriju augšanai⁶. Turklāt daudzās ēkās karstā ūdensapgādes sistēmas ir projektētas bez cirkulācijas, kā rezultātā ūdensvados un ūdens izdales vietās ilgstoši

⁴ <https://www.em.gov.lv/lv/petijumi-statistika>

⁵ http://www2.meteo.lv/produkti/soe2001_lv/udeni/resursi/resursi_ind.htm

⁶ Nielsen N. S., Aggerholm S. Water Sampling and Legionellae in Danish Hot Water Systems – A Short Review. Danish Building Research Institute (Build) (Report: 10-2022). <https://build.dk/Assets/Water-Sampling-and-Legionellae-in-Danish-hot-water-systems/Water-Sampling-and-Legionella-in-Danish-hot-water-systems.pdf>

ir zema ūdens temperatūra, kas vēl vairāk palielina legionellu baktēriju savairošanās risku un bioplēves kontamināciju ar šīm baktērijām karstā ūdens sistēmās⁷.

Pieejamā informācija par ēkām, kurās 2022.gadā tika veikta legionelozes gadījumu epidemioloģiskā izmeklēšana, ir nepietiekama, lai izdarītu pamatotus secinājumus par ēkas un cauruļvadu vecuma ietekmi uz legionellu baktēriju savairošanās risku.

Citās valstīs veiktie pētījumi liecina, ka mājas un līdz ar to mājas iekšējo ūdensvadu tīklu vecumam nav būtiskas nozīmes, vērtējot legionellu baktēriju sastopamības biežumu. Pētījumā par *L. pneumophila* sastopamību biroju ēku un dzīvojamu ēku karstajā ūdenī ASV 31 štatā no 2011.gada līdz 2019.gadam tika secināts, ka gan vecajās, gan jaunbūvētajās biroju ēkās *L. pneumophila* piesārņojuma iespējamība bija vienāda⁸.

Savukārt, nomainot karstā ūdens cauruļvadus, ūdens izdales vietās stabilizējas karstā ūdens temperatūra, respektīvi, ir zemāks temperatūras kritums no siltummezgla līdz dzīvoklim, bet amēbu (galvenais *Legionella* spp. baktēriju rezervuārs) kolonizācija tomēr saglabājās stabila (t.i., karstā ūdens temperatūra neietekmē amēbu kolonizāciju bioplēvē)⁹. Šajā pētījumā, lai samazinātu inficēšanās risku ar legionelozi, minēts ieteikums nodrošināt regulāru krāna ūdens un dušas lietošanu.

Legionellu savairošanās risks un cauruļvadu materiāli

Informācija par pētījumā iesaistīto 19 ēku izmantotajiem ūdens cauruļvadu materiāliem ir dota 2.tabulā. Nosacīti var pieņemt, ka minētā informācija vairāk vai mazāk atspoguļo kopējās tendences par līdz 2000.gadu sākumam ekspluatācijā nodoto daudzdzīvokļu ēku izmantotajiem cauruļvadu materiāliem. Visbiežāk ir izmantotas tērauda (domājams, cinkotā tērauda) caurules (12 ēkās), bet daļā ēku tās tiek kombinētas arī ar polipropilēna plastmasas caurulēm (piecās ēkās).

2.tabula. Izmantotie ūdens cauruļvadu materiāli apsekotajās ēkās 2022.gadā pēc apsaimniekotāju sniegtās informācijas

Cauruļvadu materiāls	Skaitis
Tērauds	12
Tērauds un polipropilēns	5
Polipropilēns	1
Kapars stāvvadiem, plastmasa guļvadiem	1

⁷ Abdel-Nour M., Duncan C., Low D. E *et al.* Biofilms: the stronghold of *Legionella pneumophila*. *Int. J. Mol. Sci.* 14, 21660–21675. (2013) <https://doi.org/10.3390/ijms141121660>

⁸ Donohue M.J., Mistry J.H., Tucker N. *et al.* Hot water plumbing in residences and office buildings have distinctive risk of *Legionella pneumophila* contamination. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. Volume 245, August 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2022.114023>

⁹ Quero S., Párraga-Niño N., Garcia-Núñez M. *et al.* The impact of pipeline changes and temperature increase in a hospital historically colonised with *Legionella*. *Sci Rep* 11, 1916 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81625-6>

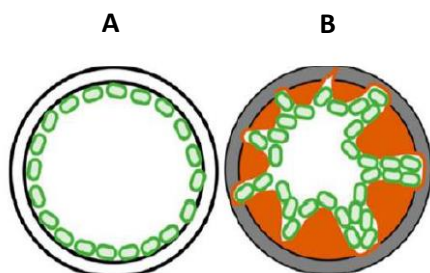
Ūdensapgādes sistēmās izmantotie materiāli ir svarīgs ūdens ķīmisko un bioloģisko kvalitāti ietekmējošs faktors, t.sk. attiecībā uz mikroorganismu un tostarp legionellu savairošanās riskiem ūdens sadales cauruļvados¹⁰.

Plastmasas caurules var izskalot organisko oglekli, kas ir barības avots mikroorganismu augšanai. Tomēr uz plastmasas caurulēm ir tendence veidoties mazāk aplikumam, kas nenodrošina vajadzīgo virsmas laukumu pārmērīgai bioplēves augšanai. Plastmasas caurulēs jāpatērē arī mazāk hlora, lai panāktu nepieciešamo dezinfekcijas efektu.

Dzelzs (tērauda) caurulēs korozijas rezultātā veidojas ūdeņradis un citas barības vielas mikroorganismu augšanai, tāpat jāpatērē vairāk dezinfekcijas līdzekļa, lai panāktu vajadzīgo efektu. Uz dzelzs caurulēm veidojas biezs aplikumu ar lielu virsmas laukumu (4.attēls), kas ir pamats mikroorganismu kolonizācijai un bioplēves attīstībai. Pat nelieli dzelzs cauruļvadu posmi (vai citas metāla daļas) var ietekmēt visu ūdensapgādes sadales sistēmu attiecībā uz legionellu savairošanos.

Vara caurulēm piemīt vispārīgās pretmikrobu īpašības, taču praksē, atkarībā no ūdens sastāva un ūdensapgādes sistēmas elementu konfigurācijas, dažos gadījumos ir konstatēts, ka šāda materiāla caurules veicina legionellu baktēriju savairošanos, salīdzinājumā ar cita materiāla caurulēm.

Nerūsējoša tērauda cauruļu ietekme uz ūdens kvalitāti un uz legionellu baktēriju augšanu ir maz pētīta, jo šīs caurules tiek retāk izmantotas to augsto izmaksu dēļ.



4.attēls. Baktēriju aplikuma veidošanās uz plastmasas caurules (A) un korodētas dzelzs caurules (B) iekšējās virsmas

(pēc Cullom A.C., Martin R.L., Song Y. et al., 2020)

Citā pētījumā konstatēts, ka gan plastmasas, gan metāla cauruļu materiāli ir vienlīdz pakļauti baktēriju kolonizācijai, bet ir atšķirība starp dažādām baktēriju grupām¹¹. Salīdzinot ar plastmasas caurulēm, uz metāla cauruļu virsmas bija vienveidīgāks baktēriju sastāvs un mazāk izteiktas sezonālās izmaiņas. Ūdens duļķainība, metālu jonu (alumīnijs, dzelzs, mangāns) un fosfātu klātesamība bija galvenie faktori, kas pozitīvi korelēja ar baktēriju savairošanas ūdensapgādes sistēmā. Hlora paliekas ūdenī pēc dezinfekcijas neaizkavē bioplēves attīstību, līdz ar to neorganisko barības vielu ierobežošana ūdenī, veicot attiecīgu ūdens apstrādi, varētu būt daudzsoļīga bioplēves attīstības kontroles stratēģijas sastāvdaļa.

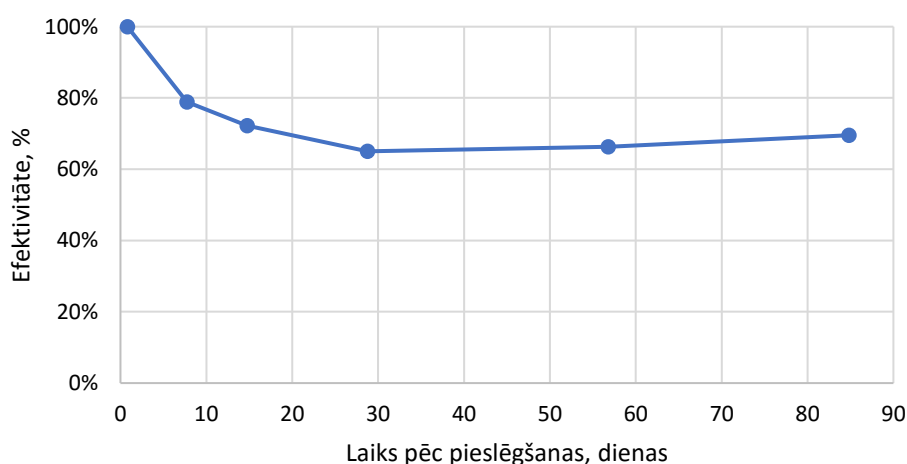
¹⁰ Cullom A.C., Martin R.L., Song Y. et al. Critical Review: Propensity of Premise Plumbing Pipe Materials to Enhance or Diminish Growth of Legionella and Other Opportunistic Pathogens. Pathogens. 2020 Nov; 9(11): 957. <https://doi.org/10.3390/pathogens9110957>

¹¹ Douterelo I., Husband S., Loza V., Boxall J. Dynamics of Biofilm Regrowth in Drinking Water Distribution Systems. ASM Journals, Applied and Environmental Microbiology. Vol. 82, No. 14. 2016. <https://doi.org/10.1128/AEM.00109-16>

Ēkas iekšējo ūdensvadu tīku dezinfekcija un legionellu baktēriju koncentrācijas dinamika pēc dezinfekcijas

Rīgas Tehniskās universitātes Ūdens pētniecības un vides biotehnoloģiju laboratorija sadarbībā ar Pārtikas drošības, dzīvnieku veselības un vides zinātnisko institūtu “Bior” un Dzīvokļu īpašnieku kooperatīvā sabiedrība “Bāka-2” ar iedzīvotāju iesaisti veica legionellu baktēriju monitoringu divās daudzdzīvokļu ēkās Rīgā no 2022.gada 13.jūlija līdz 5.oktobrim (90 dienas) pēc tam, kad 11.un 12.jūlijā tika veikta ēku ūdens iekšējo tīklu skalošana un dezinfekcija¹². Pēc darbu pabeigšanas tika pieslēgts viens papildu attīrīšanas filtrs fosfora savienojumu daudzuma samazināšanai ienākošajā ūdenī vienā no ēkām.

Papildu attīrīšanas filtra darbības efektivitāte (fosfora savienojumu samazināšanas līmenis) ir atspoguļota 5.attēlā. Papildu attīrīšanas efektivitāte trīs mēnešu darbības laikā samazinājās un stabilizējās ~75 % līmenī. Fosfora savienojumu koncentrācija ūdenī ir viens no faktoriem, kas veicina bioplēves augšanu uz cauruļvadu iekšējām virsmām.



5.attēls. Papildu attīrīšanas filtru efektivitāte (fosfora savienojumu samazināšanas līmenis ēkā ienākošajā ūdenī)

Legionella baktērijas tika analizētas iedzīvotāju ievāktajos ūdens paraugos dzīvoklī (no dušas galvas), kā arī ūdens paraugā aiz ūdens ievada ēkā un karstā ūdens cirkulācijas atgaitā pirms siltummaiņa. Dzīvokļu īpašnieku kooperatīvās sabiedrības “Bāka-2” apkopotie dati redzami 3.tabulā. Mājas ievadā netika konstatētas legionellu baktērijas nevienā no paraugu ņemšanas reizēm, bet dzīvokļos karstā ūdens izdales vietās tās variē plašā koncentrāciju intervālā. Savukārt karstā ūdens cirkulācijas atgaitā legionellu daudzums bija vidēji zemāks nekā dzīvokļos. Tas var liecināt, ka dzīvokļos dušas galviņās veidojas labvēlīgi apstākļi legionellu baktērijām (veidojas aplikums, uzkrājas dažādi nosēdumi, kā arī veidojas bioplēve).

Balstoties uz Dzīvokļu īpašnieku kooperatīvās sabiedrības “Bāka-2” apkopotajiem datiem par legionellu baktēriju koncentrācijām atsevišķos dzīvokļos divās ēkās Rīgā pēc iekšējo ūdensvadu tīklu skalošanas un dezinfekcijas, var izdarīt secinājumu, ka skalošana un dezinfekcija ir nodrošinājusi legionellu iznīcināšanu karstajā ūdenī abās ēkās, taču divu nedēļu laikā legionellu koncentrācijas atkal ir sākušas pieaugt (6.un 7.attēls). Ēkā, kurā ienākošajam ūdenim tika uzstādīts papildu attīrīšanas filtrs fosfora savienojumu daudzuma samazināšanai,

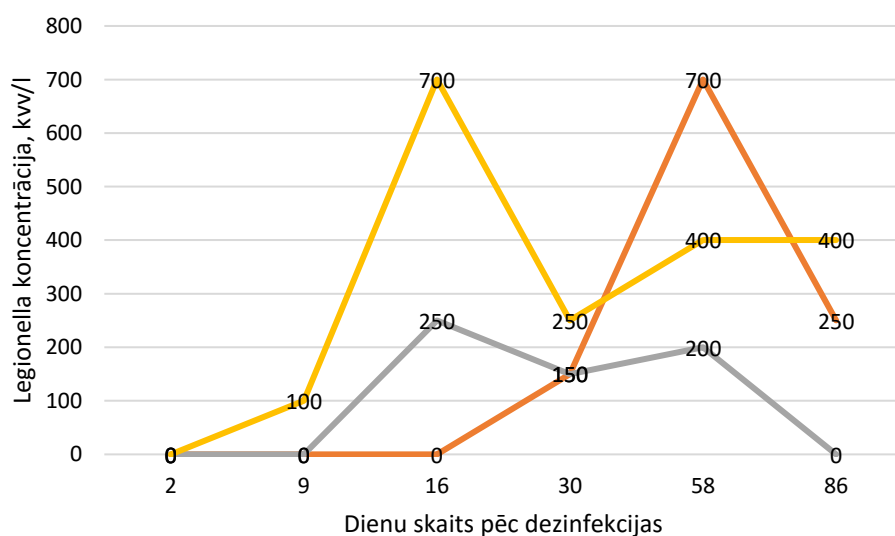
¹² Dzīvokļu īpašnieku kooperatīvās sabiedrības “Bāka-2” 12.01.2023 iesniegums Nr.4/23nk (DVS Namejs reģ.Nr.1136)

legionellu baktēriju koncentrācija caurmērā ir zemāka, kas apliecina šādu filtru darbības efektivitāti legionellu izplatības riska samazināšanai.

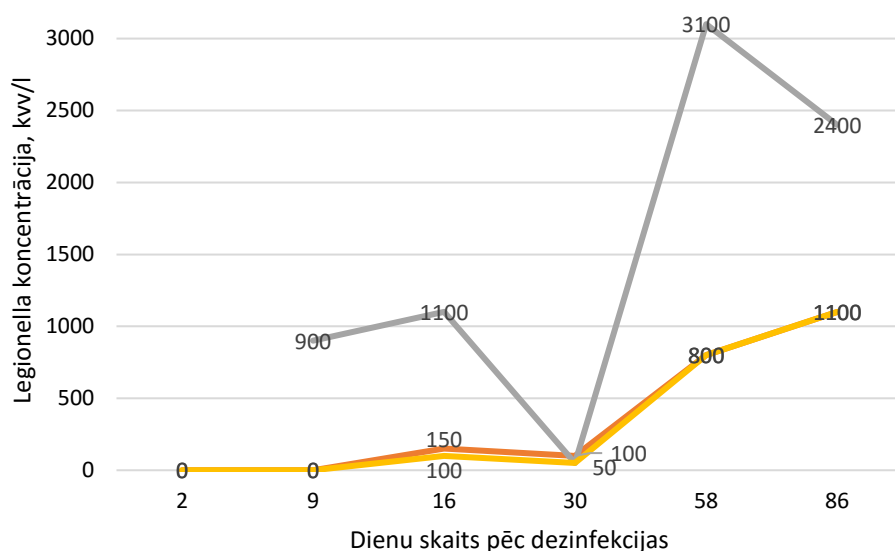
Zināms legionellu baktēriju koncentrācijas kritums ir vērojams 30.dienā pēc dezinfekcijas abās ēkās (augusta pirmajā nedēļā). Konkrēti tā iemesli nav skaidri, bet iespējams, ka to var daļēji izskaidrot ar iedzīvotāju atgriešanos no atvaļinājumiem un intensīvāku ūdens patēriņu, kā rezultātā baktērijas no ūdensvada tīkla ir izskalojušās.

3.tabula. Legionellu baktēriju analīžu rezultāti pēc veiktās iekšējo ūdensvadu tīklu dezinfekcijas (DzĪKS "Bāka-2" sniegtā informācija)

Ēka	Dzīvokļu skaits, kur ņemti paraugi	Papildu attīrīšanas efektivitāte	Legionella pneumophila, kvv/l			L. pneumophila serogrupa
			Dzīvokļi	Karstā ūdens cirkulācijas atgaita	Ūdens ievads ēkā	
Paraugu ņemšanas datums: 13.07.2022.						
Ēka Nr. 1	5	100%	0	0	0	-
Ēka Nr. 2	2	-	0	0	0	-
Paraugu ņemšanas datums: 20.07.2022.						
Ēka Nr. 1	4	79%	75±95	150	0	2
Ēka Nr. 2	3	-	300±520	0	0	3
Paraugu ņemšanas datums: 27.07.2022.						
Ēka Nr. 1	3	72%	315±355	200	0	2, 3
Ēka Nr. 2	3	-	450±565	100	0	2, 3
Paraugu ņemšanas datums: 10.08.2022.						
Ēka Nr. 1	3	65%	185±55	100	0	2, 3
Ēka Nr. 2	3	-	65±30	50	0	1, 3
Paraugu ņemšanas datums: 07.09.2022.						
Ēka Nr. 1	4	66%	475±220	3100	0	2, 3
Ēka Nr. 2	3	-	1565±1330	100	0	1, 3
Paraugu ņemšanas datums: 05.10.2022.						
Ēka Nr. 1	3	70%	215±200	50	0	1, 2, 3
Ēka Nr. 2	3	-	1535±750	1200	0	2



6.attēls. Legionellu baktēriju koncentrācijas dinamika Rīgā, ēkas Nr.1 trīs dzīvokļos pēc veiktās ūdens iekšējo tīklu dezinfekcijas



7.attēls. Legionellu baktēriju koncentrācijas dinamika Rīgā, ēkas Nr.2 trīs dzīvokļos pēc veiktās ūdens iekšējo tīklu dezinfekcijas

Ēkas iekšējo tīklu cauruļvadu skalošana un dezinfekcija ir efektīvs legionellu baktēriju ierobežošanas pasākums, bet tas negarantē ilgstošu turpmāko aizsardzību pret legionellu savairošanās risku. Papildu ūdens attīrīšanas tehnoloģijas barības vielu samazināšanai ūdenī kombinācijā ar skalošanu un dezinfekciju var palīdzēt ierobežot strauju legionellu baktēriju koncentrācijas pieaugumu karstā ūdens izdales vietā dzīvoklī pēc dezinfekcijas, tomēr informācija par baktēriju daudzuma dinamiku karstā ūdens cirkulācijas atgaitā ir pretrunīga.

Zinātniskajā literatūrā tiek minētas dažādas fizikālās un ķīmiskās dezinfekcijas metodes, lai kontrolētu legionellu baktēriju piesārņojumu - hlorēšana, ozonēšana, jonizācija ar vara un sudraba joniem, UV starojums, filtrs ūdens izdales vietā (krānā un dušas klausulē), termālā apstrāde (termošoks), virsmu apstrāde ar ūdeņraža peroksīdu, tomēr tiek arī atzīts, ka pagaidām vienu visefektīvāko procedūru nav iespējams definēt¹³. Dezinfekcijas efektivitāti lielā mērā var ietekmēt bioplēves atrašanās vieta ūdensapgādes sistēmas cauruļvados.

Bioplēves veidošanās ūdensapgādes sistēmā

Legionellu baktēriju savairošanās risks ir saistīts ar bioplēves veidošanos uz cauruļvadu un ūdens tvertņu iekšējām virsmām. Bioplēves (dažreiz lieto arī apzīmējumu “biofilma” kā tiešu tulkojumu no angļu valodas) jeb dažādu mikroskopisku bioloģisko organismu apauguma veidošanās uz cauruļvadu iekšējām virsmām ir dominējošais mikroorganismu augšanas veids dzeramā ūdens sadales tīklos. Bioplēvē ietilpst arī ārpusšūnu polimēru vielas (*extracellular polymeric substances* (EPSs)), kas bioplēvi aizsargā to no nelabvēlīgiem apkārtējās vides apstākļiem. Bioplēve ir relatīvi stabila sistēma, bet tās veidošanās ir potenciāls bakteriālā piesārņojuma avots, jo dažādu iemeslu dēļ tai atraujoties no virsmas un nonākot ūdens plūsmā,

¹³ Lee S., Crespi S., Kuznetsov J. *et al.* European Technical Guidelines for the Prevention, Control and Investigation of Infections Caused by Legionella Species. 2017. <https://ecdc.europa.eu/en/publications-data/european-technical-guidelines-prevention-control-and-investigation-infections>

daudzās gadījumos tiek ietekmēta dzeramā ūdens garša un smarža. Bez tam bioplēve veicina cauruļvadu koroziju.

Salīdzinot ar ūdens tilpumā brīvi dzīvojošajiem (planktoniskajiem) mikroorganismiem, mikroorganismi bioplēvē kopumā ir labāk aizsargāti pret dažādiem faktoriem, t.sk. pret dezinfekcijas līdzekļu iedarbību, ūdens plūsmas ātruma ietekmi un termisko apstrādi.

Baktēriju paaugstinātā rezistence bioplēvē daļēji ir saistīta ar to ražoto ārpusšūnu polimēru vielām (EPSs). EPSs var uzglabāt barības rezerves, kā arī saistīt un inaktivēt dezinfekcijas līdzekļus, piemēram, hloru un hloramīnus. Specifiski EPSs komponenti, piemēram, eksopolisaharīdi, ko veido *Pseudomonas aeruginosa* baktērijas, palielina polimēra matricas elastību un veido šķērssavienojumus, kas, papildus aizsardzībai pret ūdens plūsmas spriegumu, iespējams, veicina citu mikrokoloniju veidošanos.

Bioplēves veidojas, izejot virkni attīstības stadiju (8.attēls), kuru laikā baktērijas izdala specifiskas vielas – peptīdus, kas kā signālmolekulas nodrošina sakarus gan vienas baktēriju sugas ietvaros, gan starp dažādu baktēriju sugu pārstāvjiem, veidojot bioplēvi kā sarežģītu bioloģisku sistēmu, kas koordinē šūnu agregāciju (apvienošanos) un savas reakcijas uz ārējās vides mainīgo iedarbību, t.sk. EPSs sintēzi¹⁴. Nelīdzena cauruļvadu iekšējā virsma, kas bojāta korozijas rezultātā, ir mikroorganismu kolonizāciju veicinošs faktors.

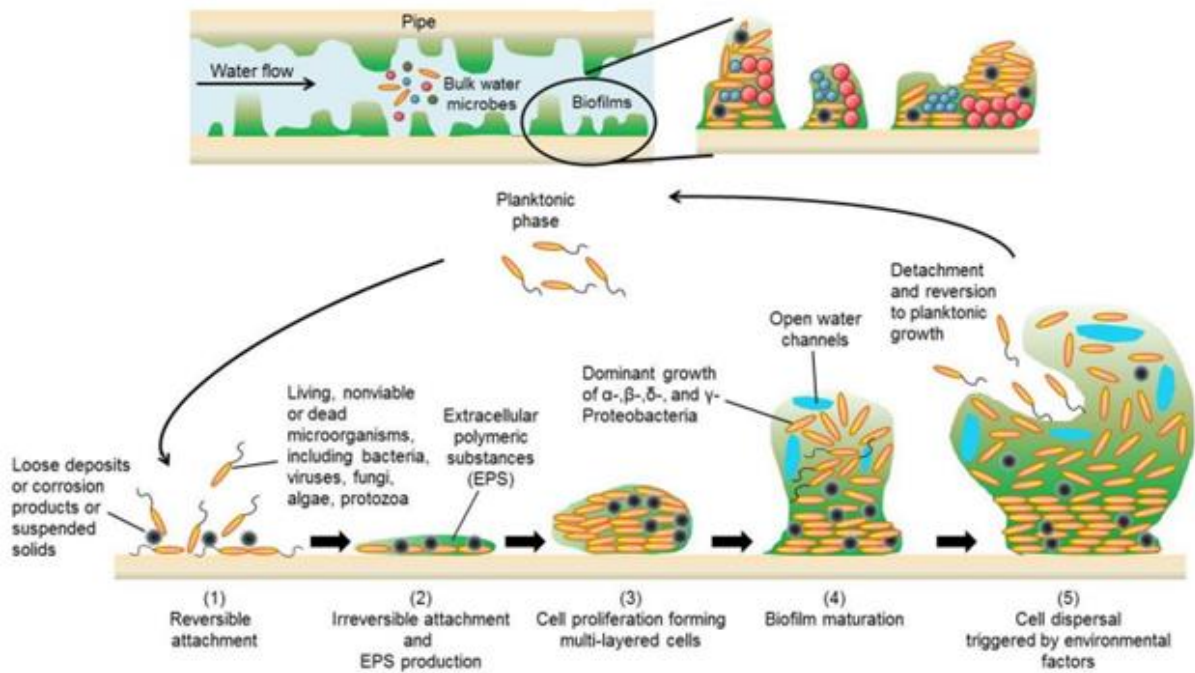
Ūdens sadales sistēmās bioplēve sastāv galvenokārt no želatīnveidīgas ūdens matricas, kas var aizņemt līdz 99 % no kopējā tilpuma, savukārt mikroorganismi faktiski veido tikai 2–5% no bioplēves tilpuma. EPSs veido 50 – 90 % no bioplēves kopējā organiskā oglekļa daudzuma un parasti sastāv no polisaharīdiem un olbaltumvielām, kā arī no nukleīnskābēm, lipīdiem u.c. vielām dažādā daudzumā. Bioplēvē var tikt iekļautas arī neorganiskas daļiņas, piemēram, cauruļvadu korozijas produkti, suspendētās cietās vielas un smiltis, tādējādi palielinot bioplēves mehānisko izturību.

Baktērijas parasti ir dominējošās bioplēves sistēmas sastāvdaļas dzeramā ūdens apgādes sistēmās, ņemot vērā to lielo augšanas ātrumu, salīdzinoši mazo izmēru un adaptācijas spējas mainīgiem vides apstākļiem, kā arī spēju ražot EPSs. Bez tam dzeramā ūdens sistēmās bioplēvēs var būt arī vīrusi, pavedienuveida sēnes, aļģes un vienšūņi.

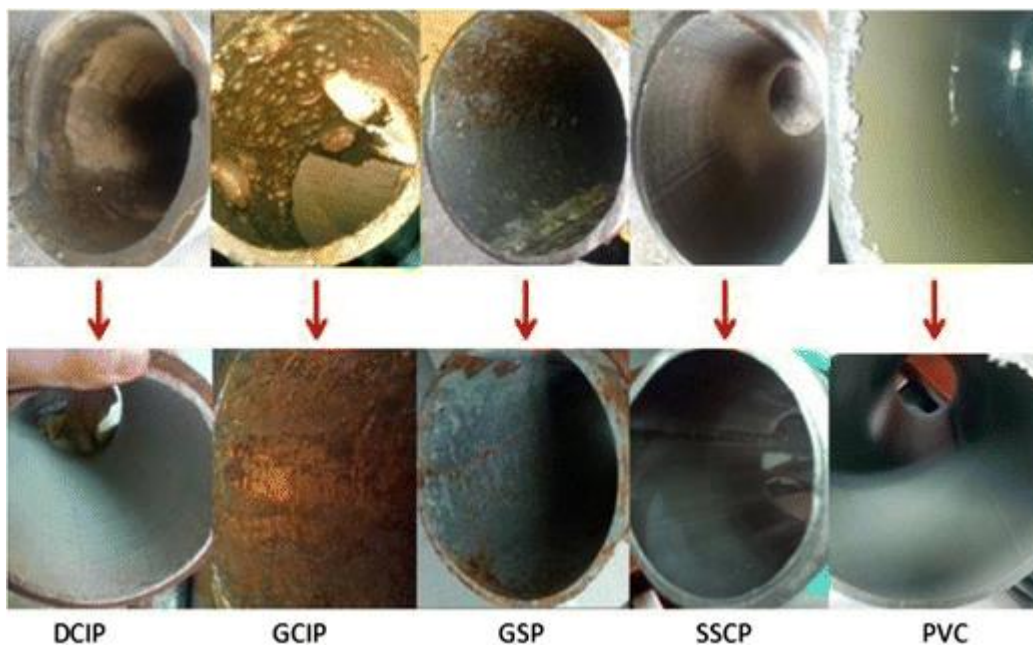
Ārvalstīs veiktie pētījumi rāda, ka bioplēves veidojas uz visdažādākajiem cauruļvadu materiāliem, kā tas redzams 9.attēlā¹⁵.

¹⁴ Liu S., Gunawan C., Barraud N. *et al.* Understanding, Monitoring, and Controlling Biofilm Growth in Drinking Water Distribution Systems. *Environ. Sci. Technol.* 2016, 50, 17, 8954–8976 <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.6b00835>

¹⁵ Ren H., Wang W., Liu Y. *et al.* Pyrosequencing analysis of bacterial communities in biofilms from different pipe materials in a city drinking water distribution system of East China. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2015, 99 (24), 10713–10724. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-015-6885-6>



8.attēls. Bioplēves dzīves cikls dzeramā ūdens apgādes sistēmā (pēc Liu S., Gunawan C., Barraud N. *et al.*, 2016)



9.attēls. Bioplēves veidošanās uz dažādu materiālu cauruļvadu virsmām (Ren H., Wang W., Liu Y. *et al.*, 2015)

Piezīmes: DCIP- kaļamā ķeta¹⁶ (čuguna) caurule (*ductile cast iron pipe*)

¹⁶ Čuguns jeb ķets ir dzelzs un oglekļa sakausējums, kas satur 2.0 līdz 4.3% oglekļa. Čugunu vai ķetu iedala divās pamatgrupās - parastais vai pelēkais čuguns un kaļamais vai plastiskais čuguns. Vārds čuguns mūsu leksikā ir ienācis no krievu valodas, un lai gan tā pareizais latviskais nosaukums ir “ķets”, sadzīvē un arī tehniskajā literatūrā izplatītākais apzīmējums ir “čuguns” <http://www.etp.lv/index.php/par-mums-1>

GCIP- pelēkā ķeta (čuguna) caurule (*gray cast iron pipe*)
GSP- cinkota tērauda caurule (*galvanised steel pipe*)
SSCP- nerūsējošā tērauda caurule (*stainless steel clad pipe*)
PVC- polivinilhlorīda caurule (*polyvinyl chloride*)

Noteiktas dzeramā ūdens fizikāli ķīmiskās īpašības sadales sistēmā var veicināt bioplēves augšanu un ietekmēt tās īpašības. Augsts organisko vielu saturs slikti attīrītā dzeramajā ūdenī vai cauruļvadu bojājumu gadījumā, kad piesārņojums nokļūst cauruļvados no ārienes sūces rezultātā, rada labvēlīgus apstākļus bioplēves augšanai. Līdzīgu ietekmi rada arī organisko vielu migrācija no polimēru materiālu caurulēm, tām degradējoties vai oksidēšanās rezultātā.

Arī paaugstinātas fosfātu un slāpekļa savienojumu (amonija, nitrītu un nitrātu savienojumi) koncentrācijas ir bioplēves augšanu veicinošs faktors. Jāatzīmē, ka nereti fosfātus pievieno dzeramajam ūdenim, lai to mīkstinātu. Savukārt augstas slāpekļa savienojumu koncentrācijas rodas gan nepietiekamas ūdens attīrīšanas rezultātā, gan arī kā blakus produkti, ja ūdens dezinfekcijai izmanto hloramīnu.

Ūdens pH līmenis var ietekmēt dezinfekcijas sekmes, ja dezinfekcijai izmanto hloramīnu, jo pH līmenis >8.3 pH veicina nitrificējošo baktēriju augšanu bioplēvē, kas slāpekli saturošo dezinfektantu sadala un inaktivizē.

Liela nozīme ir ūdens temperatūrai, jo bioplēve slikti aug tai nepiemērotos temperatūras apstākļos, kas parasti ir augsta ūdens temperatūra un zema ūdens temperatūra.

Liels ūdens plūsmas ātrums cauruļvadā veicina plānāku un blīvāku bioplēvju veidošanos, kuras tik viegli neatraujas no virsmas un līdz ar to nerada ūdens sekundāro piesārņojumu ar mikroorganismiem, bet pretējs efekts ir lēnas ūdens plūsmas apstākļos, kuru rezultātā izveidojas porains un mehāniskai iedarbībai mazāk noturīgs bioloģiskais apaugums.

Īpaši labvēlīgus apstākļus bioplēvju augšanai rada čuguna un tērauda cauruļvadu korozija. Bez tā, ka poraina un nelīdzena virsma veicina mehānisku mikroorganismu pieķeršanos pie virsmas un tās kolonizāciju, izdalītie korozijas produktu kalpo kā barības vielas dzelzi oksidējošo un reducējošo baktēriju augšanai, kā arī reakcijā ar ūdenī esošām organiskām vielām veidojas kompleksi savienojumi, kas reaģē ar dezinfekcijas līdzekļiem un samazina to efektivitāti. Uz korodētām virsmām veidojas bioplēves ar jo īpaši lielu biomasu un mikroorganismu daudzveidību.

Dažādu faktoru ietekme uz bioplēves augšanu ilustrēta 10.attēlā.

Legionellu baktēriju iekļaušanos bioplēvē pēc to savairošanās ūdenī dzīvojošos vieniņos (amēbās) nosaka sarežģīta mijiedarbība ar citām bioplēvi veidojošām baktērijām un citiem faktoriem¹⁷. Piemēram, *Pseudomonas aeruginosa* var kavēt kolonizāciju ar legionellu baktērijām. Legionellas labi pieķeras pie dažādām plastmasām, bet slikti pie vara caurulēm. Divvērtīgie katjoni ūdenī veicina kolonizāciju ar legionellām, bet ūdenī esošās nanodaļiņas un vara savienojumi to kavē. Organiskā oglekļa klātbūtne ūdenī var veicināt legionellu baktēriju saturošas bioplēves veidošanos zemākā temperatūrā (+20°C), nekā ir optimāli parastie bioplēves augšanas apstākļi. Savukārt Legionella ģints ietvaros *L.pneumophila* izdala virsmas aktīvu vielu, kas ir toksiska citām ģintīs sugām un tādējādi kavē to iekļūšanu bioplēvē.

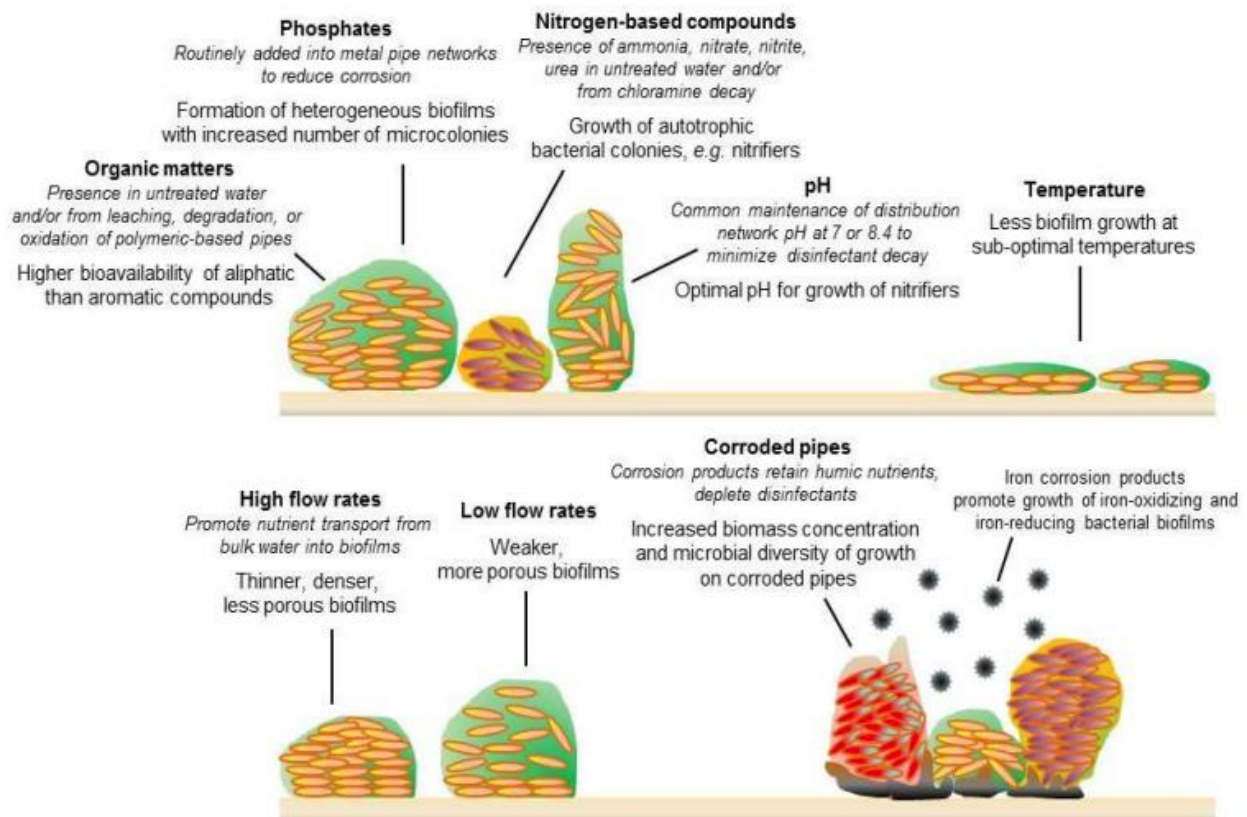
S. Liu ar līdzautoriem kritiski izvērtēja vairāku pētījumu rezultātus par bioplēves augšanu ūdensapgādes sistēmās un faktoriem, kas to veicina, kā arī ieteikumus par dažādām tehnoloģijām, lai uzraudzītu un ierobežotu bioplēves augšanu, un secina¹⁸:

¹⁷ Abdel-Nour M., Duncan C., Low D. E *et al.* Biofilms: the stronghold of Legionella pneumophila. *Int. J. Mol. Sci.* 14, 21660–21675. (2013) <https://doi.org/10.3390/ijms141121660>

¹⁸ Liu S., Gunawan C., Barraud N. *et al.* Understanding, Monitoring, and Controlling Biofilm Growth in Drinking Water Distribution Systems. *Environ. Sci. Technol.* 2016, 50, 17, 8954–8976 <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.est.6b00835>

- temperatūras svārstības potenciāli ietekmē ne tikai sākotnējo mikroorganismu piesaisti virsmai, bet arī bioplēves augšanas ātrumu;
- bioplēves augšanas ātrums ir unikāls katram bioplēves veidojošo mikroorganismu tipam (piemēram, amoniju oksidējošās baktērijas labāk aug bioplēvē tipiskā vasaras temperatūrā +22⁰C, salīdzinot ar +12⁰C rudenī, bet pretējs efekts novērots patogēnajai baktērijai *Vibrio cholerae*);
- pie spēcīgākas un turbulentas dzeramā ūdens plūsmas bioplēve veidojas plānākas un blīvākas, bet zemākas ūdens plūsmas ātruma režīmā bioplēve ir poraināka un brīvāk (vaļīgāk) piestiprināta pie virsmas;
- papildu iepriekš zināmajai tendencei, ka uz korozijai pakļautām metāla cauruļu virsmām notiek ievērojama bioplēves augšana, ir atklāts, ka arī no populārāko polimēru materiālu caurulēm izskalojas bioplēves augšanu veicinoši organiskie savienojumi;
- bioplēves augšanas ierobežošanas tehnoloģijas tagad virzās uz biomasas pieauguma uzraudzību sadales tīklos, tostarp optisko šķiedru tehnoloģijām, kas spēj atšķirt biomasu no ķīmisko vielu nogulumiem;
- bioplēves augšanas pārvaldībai ūdens sadales sistēmās ir nepieciešama integrēta pieeja, sākot no ūdens attīrīšanas pirms ūdens ievadīšanas sadales tīklos, līdz bioplēves potenciāli ierobežojošu ekspluatācijas apstākļu ieviešanai un visbeidzot, izvēloties pieejamos paņēmienus aktīvai bioplēves ierobežošanai – tradicionālie pasākumi ir dezinfekcija ar hlora un hloramīna preparātiem, tīklu skalošana un barības vielu samazināšana ūdenī.

Extent and characteristics of biofilm growth



10.attēls. Ūdens īpašību un ūdens apgādes sistēmas ekspluatācijas apstākļu ietekme uz bioplēves veidošanos

(pēc Liu S., Gunawan C., Barraud N. *et al.*, 2016)

Pētījums par mikroorganismu sastāva dinamiku ūdens sadales tīklos pozitīvi novērtē atkārtotas cauruļvadu skalošanas ietekmi uz bioloģiskā apauguma samazināšanu, jo, radot selektīvu ūdens spiedienu uz bioplēvi, tās daļas atdalās no kopējās struktūras, nonāk ūdens plūsmā un tiek izskalotas no ūdensvadu tīkliem¹⁹.

Kopsavilkums

1. Legionellu baktērijas ir sastopamas ūdensapgādes sistēmās neatkarīgi no ēkas vecuma vai cauruļvadu materiāla.
2. Liela nozīme, lai kontrolētu legionellu savairošanos, ir jauno ūdens sadales tīklu atbilstoši tehniskai projektēšanai, lai projektētā jauda atbilstu sagaidāmajam ūdens patēriņa apjomam, kā arī jauno un esošo tīklu optimālai ekspluatācijai.
3. Legionellu baktēriju augšanai optimālā ūdens temperatūra ir no +20°C līdz +45°C. Līdz ar to noteiktas karstā ūdens temperatūras uzturēšana sadales tīklos ierobežo bioplēves augšanu uz cauruļvadu iekšējām virsmām un ar to saistīto legionellu baktēriju savairošanos. Tomēr ūdens temperatūra parauga ņemšanas brīdī pilnībā neatspoguļo pastāvīgo temperatūras režīmu cauruļvadu sistēmā, tādēļ augstas legionellu koncentrācijas var tikt konstatētas arī karstajā ūdenī, kura temperatūra pārsniedz +50°C, un aukstajā ūdenī, kura temperatūra ir zemāka par +20°C grādiem.
4. Tā kā legionellu baktēriju savairošanās ūdensapgādes sistēmā ir cieši saistīta ar bioplēves izveidošanos uz cauruļvadu iekšējām virsmām, legionellu sekmīga kontrole ir atkarīga no bioplēves augšanas ierobežošanas un apkaršanas integrētu pasākumu sekmēm.
5. Bioplēve ir dažādu mikroskopisku bioloģisko organismu, galvenokārt baktēriju, apauguma veidošanās uz cauruļvadu iekšējām virsmām, un tā ir dominējošais mikroorganismu augšanas veids dzeramā ūdens sadales tīklos.
6. Salīdzinot ar ūdens tilpumā brīvi dzīvojošajiem (planktoniskajiem) mikroorganismiem, mikroorganismi bioplēvē kopumā ir labāk aizsargāti pret dažādiem faktoriem, t.sk. pret dezinfekcijas līdzekļu iedarbību, ūdens plūsmas ātruma ietekmi un termisko apstrādi.
7. Neattīrīta vai nepietiekami attīrīta ūdens piesārņojums ar organiskajām vielām, paaugstinātas fosfātu un slāpekļa savienojumu koncentrācijas ir bioplēves augšanu veicinošs faktors. Īpaši labvēlīgus apstākļus bioplēvju augšanai rada čuguna un tērauda cauruļvadu korozija.
8. Ēkas iekšējo tīklu cauruļvadu skalošana un dezinfekcija ir pietiekami efektīvs legionellu baktēriju ierobežošanas pasākums, bet tas negarantē ilgstošu turpmāko aizsardzību pret legionellu savairošanās risku. Dzīvokļu īpašnieku kooperatīvās sabiedrības "Bāka-2" iniciētais pētījums rāda, ka divu nedēļu laikā legionellu koncentrācijas atkal sāk pieaugt, bet tas notiek lēnāk, ja ieejošajam ūdenim tiek veikta papildu attīrīšana ar filtru, samazinot tā fosfātu koncentrāciju.
9. Atkārtotai cauruļvadu skalošanai ir pozitīva ietekme uz bioloģiskā apauguma samazināšanu, jo, radot selektīvu ūdens spiedienu uz bioplēvi, tās daļas atdalās no kopējās struktūras, nonāk ūdens plūsmā un tiek izskalotas no ūdensvadu tīkliem.
10. Skalošanai sekojoša dezinfekcija, ko pēc tam papildina periodiska karstā ūdens temperatūras paaugstināšana (termiskais šoks) virs +60°C, un, ja iespējams, sasniedzot

¹⁹ Douterelo I., Husband S., Loza V., Boxall J. Dynamics of Biofilm Regrowth in Drinking Water Distribution Systems. ASM Journals, Applied and Environmental Microbiology. Vol. 82, No. 14. 2016. <https://doi.org/10.1128/AEM.00109-16>

+70⁰C temperatūru, pie kuras legionellu baktērijas praktiski 100 % aiziet bojā, var dot labākās sekmes cīņā pret legionellu savairošanos ūdensapgādes sistēmās. Tomēr paralēli jānodrošina arī ūdensapgādes tīklu optimāla ekspluatācija, novēršot ūdens sastāvēšanās (stagnācijas) iespējas cauruļvados.

Materiālu sagatavoja:

Veselības inspekcijas Sabiedrības veselības departamenta Vides veselības nodaļa,
vide@vi.gov.lv