

**I. osnovna šola Celje**  
**Vrunčeva ulica 13, 3000 Celje**



**VPLIV IN OBVLADOVANJE ŠKODLJIVIH  
MIKROORGANIZMOV V VODOVODNIH CEVEH  
I. OSNOVNE ŠOLE CELJE**

Raziskovalna naloga

Avtorja:

Tim Škrinjar, 9.a

Maj Lorger, 9.a

Mentorica:

Breda Krajnc, učit. mat., nar. in fiz.

Mestna občina Celje, Mladi za Celje

Celje, 2024

# KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	1
1.1	Opredelitev raziskovalnega problema .....	1
1.2	Namen in cilji .....	1
1.3	Hipoteze .....	2
2	TEORETIČNI DEL .....	3
2.1	Splošno o pitni vodi .....	3
2.2	Zakonodaja in smernice .....	4
2.3	Interni vodovodni sistem.....	4
2.4	Bakterije in korozija .....	5
2.5	Vrste materialov.....	7
2.6	Vpliv materialov na bakterije.....	8
2.6.1	Vpliv materialov na razmnoževanje Legionelle .....	8
2.7	Biofilm in korozija.....	9
2.8	Mikroorganizmi, ki povzročajo korozijo .....	10
2.8.1	Bakterije Pseudomonas spp.....	10
2.8.2	Bakterija Thiobacillus .....	11
2.8.3	Bakterije Desulfovibrio spp.....	11
2.8.4	Bakterija Clostridium perfringens .....	12
2.8.5	Bakterija Legionella.....	12
3	METODE DELA .....	14
3.1	Pregled literature .....	14
3.2	Ogled objekta in pregled dejanskega stanja .....	14
3.3	Meritve.....	18
3.3.1	Opis meritne opreme.....	19
3.4	Vzorčenje .....	19
3.5	Priprava informativnega letaka .....	20
4	REZULTATI .....	22
4.1	Pregled stanja.....	22
4.1.1	Priprava vzorca .....	24
4.1.2	Metalografska preiskava .....	24
4.1.3	Ugotovitve in zaključek pregleda stanja .....	25

4.2	Prve meritve .....	26
4.3	Mikrobiološko preskušanje .....	27
5	ODGOVORI NA HIPOTEZE .....	30
6	ZAKLJUČEK .....	31
7	VIRI IN LITERATURA .....	32
8	PRILOGA – IZJAVA .....	38

## KAZALO SLIK

Slika 1: Bojler v kotlovnici na Kosovelovi ul. 14 .....	15
Slika 2: Bojler v kotlovnici na Kosovelovi ul. 14 .....	15
Slika 3: Cevi za glasbeno učilnico in klet, na Vrunčevi ul. 13.....	15
Slika 4: Cevi za glasbeno učilnico in klet, na Vrunčevi ul. 13.....	15
Slika 5: Cevi v kotlovnici v veliki telovadnici.....	16
Slika 6: Cevi v kotlovnici v veliki telovadnici.....	16
Slika 7: Cevi v kotlovnici v veliki telovadnici.....	16
Slika 8: Zarjaveli del vodovoda, skozi katerega je puščala voda .....	16
Slika 9: Zarjaveli del vodovoda z drugega zornega kota .....	16
Slika 10: Sušenje avle v veliki telovadnici.....	17
Slika 11: Sušilni stroji v hodniku velike telovadnice .....	17
Slika 12: Sušilne cevi v hodniku velike telovadnice .....	17
Slika 13: Luknja skozi katero so sušili.....	17
Slika 14: Plastenka za odvzemanje vzorcev vode .....	19
Slika 15: Kolorimeter.....	19
Slika 16: Analiziranje koncentracije klora v vodi s korolimetrom .....	20
Slika 17: Odvzem vzorca št. 1 v prostoru prezračevalnega sistema v veliki telovadnici.....	20
Slika 18: Odvzemanje vzorecv vode v garderobi velike telovadnice.....	20
Slika 19: Prednja stran letaka .....	21
Slika 20: Zadnja stran letaka .....	21
Slika 21: Prejeti spojni element (T-kos) IMK št. 686 .....	22
Slika 22: Prikaz luknje v T-kosu.....	22
Slika 23: Prikaz luknje v T-kosu.....	22
Slika 24: Prikaz oznake elementa.....	23
Slika 25: T-kos v vzdolžnem prerezu .....	23
Slika 26: Prikaz razlike v izgledu površine .....	24
Slika 27: Prikaz razlike v izgledu površine .....	24
Slika 28: Odvzeti preskušanec za metalografijo št. 686.1 .....	24
Slika 29: Prikaz preskušanca št. 686.1 na mikroskopski ravni.....	24

## **KAZALO TABEL**

Tabela 1: Število pip v posameznih delih šole .....	18
Tabela 2: Koncentracija klora na posameznem odvzemnem mestu.....	26
Tabela 3: Ustreznost posameznih vzorcev pitne vode glede na mikrobiološke analize .....	27

## **POVZETEK**

Številne šole se že leta soočajo s prisotnostjo bakterij v interni vodovodni napeljavi. Obvladovanje škodljivih bakterij ne temelji zgolj na poznavanju bakterij, temveč tudi na prepoznavanju tveganj za razmnoževanje le-teh. Največji vpliv na razmnoževanje bakterij imata temperatura vode in vrsta materiala interne vodovodne napeljave; tveganje se s starostjo in nepravilnim vzdrževanjem napeljave stopnjuje.

Namen raziskovalne naloge je ugotoviti količino škodljivih mikroorganizmov v interni vodovodni napeljavi. Namen naloge je seznaniti in ozavestiti učence, starše in učitelje o kakovosti vode in njenem vplivu na zdravje. Metode dela: pregled strokovne in znanstvene literature iz strokovnega področja vpliva materialov na razmnoževanje bakterij ter vzorčenje in mikrobiološke preiskave pitne vode.

Cilj raziskovalne naloge je identificirati morebitno prisotnost mikroorganizmov v interni vodovodni napeljavi osnovne šole in razumeti vpliv materialov, higiene in prisotnosti mikroorganizmov na korozijo vodovodnih cevi.

Po vzorčenju sva ugotovila, da je v vodovodni napeljavi I. OŠ Celje koncentracija prostega klora nižja od minimalne vrednosti (0,2 mg/L) predpisane v WHO (2022). Prav tako je v kletnih prostorih koncentracija bakterije *Clostridium perfringens* višja od določene vrednosti (0 cfu/100 mL), v ostalih delih šole, razen v kotlovnici, z bakterijo ni bilo problemov.

**Ključne besede:** škodljivi mikroorganizmi, interna vodovodna napeljava, korozija, biofilm, pitna voda.

## **ZAHVALA**

Iskreno se zahvaljujeva najini mentorici in učiteljici ge. Bredi Krajnc, ki nama je bila pri načrtovanju, izdelavi ter pri usmerjanju raziskovalne naloge v zelo veliko pomoč.

Prav tako se za vso podporo in pomoč pri terenskem delu ter izvajanju meritev zahvaljujeva Inštitutu za sanitarno inženirstvo, saj so naju poučili o pravilni tehniki odvzemanja vzorcev pitne vode in o uporabi merilnih naprav ter nama le-te, za potrebe raziskovalne naloge, tudi posodili.

# 1 UVOD

## 1.1 Opredelitev raziskovalnega problema

Za raziskovalno nalogo sva imela v mislih nekaj v povezavi z ekologijo, še posebej v povezavi s pitno vodo. Vendar je bila ta tema presplošna in na naši šoli že raziskana. Potem sva pomislila na lansko puščanje cevi v veliki dvorani in se odločila, da stvar raziščeva in o tem piševa v raziskovalni nalogi. Glede na to, da je telovadnica relativno nova in tamkajšnje vodovodne cevi že puščajo, sva sklepala, da je verjetno prišlo do napake pri njihovi izgradnji in polaganju. Po tem, ko sva se poglobila, sva ugotovila, da je bil eden izmed faktorjev bakterija *Clostridium perfringens*. Zato sva želela raziskati stari del šole in opaziti morebitne pomankljivosti v vodovodnih ceveh in predlagati ukrepe za vzdrževanje in izboljšanje stanja. Gre namreč za starejšo zgradbo in za prav tako star vodovodni sistem, zaradi česar lahko sklepamo, da je ta podvržen koroziji.

Znotraj vodovodnega sistema se lahko pojavijo patogeni mikroorganizmi in skupaj s korozijo spremenijo stanje pitne vode. Voda, ki se pretaka po neoskrbovanih in korodiranih vodovodnih ceveh predstavlja tveganje za zdravje.

Poznavanje sestave vode, vodovodnega sistema in materialov iz katerih je zgrajen, je ključnega pomena za preprečevanje okužb z raznimi patogenimi bakterijami ali strupenimi snovmi. Vsled tega sva se odločila, da bova raziskala stanje pitne vode na najini osnovni šoli.

## 1.2 Namen in cilji

Namen raziskovalne naloge je ugotoviti skladnost pitne vode internega vodovodnega sistema I. osnove šole Celje in o tem obvestiti vrstnike. Namen je tudi kvantitativno določiti morebitno prisotne škodljive mikroorganizme in predlagati ukrepe za izboljšanje stanja.

Glavni cilji raziskovalnega dela so:

- Identificirati mikroorganizme, prisotne v vodovodnih sistemih šole.
- Informirati najine vrstnike o kakovosti pitne vode in njenem vplivu na dobrobit človeka.
- Razumeti povezavo med materiali vodovodnih cevi, higieno ter prisotnostjo mikroorganizmov.

### **1.3 Hipoteze**

Na podlagi ciljev sva postavila 2 hipotezi:

1. HIPOTEZA: Pitna voda v I. OŠ Celje vsebuje povzročitelje korozije.
2. HIPOTEZA: Bakterije v pitni vodi lahko povzročijo poškodbe vodovodnih cevi.

## **2 TEORETIČNI DEL**

### **2.1 Splošno o pitni vodi**

Za ohranjanje javnega zdravja je bistveno, da je pitna voda zdravstveno primerna in dostopna. Pomanjkljiva oskrba s pitno vodo in njena neustrezna kakovost imata resne negativne posledice za zdravje (Hunter idr., 2010; WHO, 2022). Kontaminirana voda in pomanjkljiva sanitarna ureditev prispevata k širjenju bolezni, kot so kolera, diareja, dizenterija, hepatitis A, tifus in otroška paraliza (WHO, 2022).

Pitna voda predstavlja končni izdelek postopka od vira do uporabnika, ki zahteva stalno spremljanje za zagotavljanje kakovosti in zdravstvene ustreznosti ter varovanje javnega zdravja. Poudarek je na celovitem pristopu k oskrbi z vodo, ki upošteva medsebojne povezave med količino, zdravstveno kakovostjo vode in družbenimi vidiki, ki so ključni pri odločanju o kakovosti vode. Upravljalci vodovodnih sistemov se pri tem soočajo s številnimi izzivi, saj je obseg tveganj v oskrbnih sistemih kompleksen in zajema tehnične, biološke ter človeške vidike v obsežnem in raznolikem sistemu (Dover, 2015).

V pravnem kontekstu je v Republiki Sloveniji pitna voda opredeljena kot neodtujljiva pravica. To vključuje, da so občine dolžne vsakemu prebivalcu Slovenije zagotoviti dostop do pitne vode. Kljub temu ta zahteva ne pomeni, da je treba vsem območjem, kjer ni ekonomsko upravičeno, zagotoviti javno oskrbo s pitno vodo. V takšnih situacijah se uporablja pristop samooskrbe za oskrbo z pitno vodo (URS, 1991).

V okolju se soočamo z novimi negotovostmi, ki vplivajo na vodovodne sisteme. Zaradi podnebnih sprememb in povečanja populacije se srečujemo z izzivi, kot so pomanjkanje vode, pogostejše in intenzivnejše ekstremne vremenske razmere ter naraščajoča urbanizacija. Zdravstveno ustreznost pitne vode ogrožajo različni dejavniki, kot so napake v delovanju vodovodnih sistemov, nesreče, povezane z onesnaženjem, ter zlonamerne grožnje. Pomembno je učinkovito obvladovanje tveganj, ki se osredotoča na identifikacijo, oceno in nadzor tveganj ter izvajanje ukrepov za zaščito pitne vode in pripadajočih storitev. Tako je zagotavljanje zdravstvene ustreznosti pitne vode odvisno od celovite ocene in obvladovanja tveganj od zajetja do končne točke porabe. Če se izvede pravilna ocena in obvladovanje tveganj, bi morala pitna voda izpolnjevati sprejemljive standarde ali dopustne ravni tveganj (Dover, 2015; Kopše Zorko, 2021).

Za zagotavljanje zdravstveno ustreznosti pitne vode je ključen celovit pristop k analizi in obvladovanju tveganj v oskrbi s pitno vodo. Ta pristop vključuje sistematično oceno tveganja v celotnem sistemu oskrbe s pitno vodo – od vira do končnega uporabnika,

prepoznavanje načinov za obvladovanje teh tveganj ter določitev metod za zagotavljanje, da so preventivni ukrepi učinkoviti (WHO, 2022).

## 2.2 Zakonodaja in smernice

Uredba o pitni vodi (Uradni list RS št. 61/23) opredeljuje pitno vodo kot vodo v njenem izvornem stanju ali po obdelavi, ki je primerna za pitje, kuhanje, pripravo hrane ali druge gospodinjske namene. To velja ne glede na izvor vode, ali je pridobljena iz vodovodnega sistema, cisterne ali kot vnaprej pripravljena voda. Prav tako ta opredelitev vključuje vodo, ki se uporablja v procesih proizvodnje ali prometa živil. Pitna voda, po Uredbi o pitni vodi, za zdravstveno ustrezno vodo velja, kadar:

- ne vključuje mikroorganizmov, parazitov ali njihovih razvojnih stopenj v količinah, ki bi lahko ogrozile zdravje ljudi,
- ne obsega snovi v koncentracijah, ki bi lahko same ali v kombinaciji z drugimi snovmi predstavljale tveganje za zdravje ljudi.

Leta 2010 so Združeni narodi priznali dostop do pitne vode kot temeljno človekovo pravico. V letu 2016 je Slovenija v Ustavo Republike Slovenije (RS) vključila 70.a člen, ki zagotavlja vsakemu prebivalcu RS pravico do pitne vode. Potrebno je poskrbeti, da je pitna voda dostopna v skladu z obstoječo infrastrukturo, ki vključuje dostop do vodovodnega sistema, javnih in lokalnih vodovodov ter oskrbo z pitno vodo (URS, 1991).

Svetovna zdravstvena organizacija (SZO) je predstavila smernice za kakovost pitne vode, ki služijo kot osnova za oblikovanje nacionalnih standardov glede kakovosti pitne vode. Glavni namen teh smernic je zagotoviti pitno vodo, ki je zdravstveno primerna. V ospredju so tri ključni cilji:

- orientacijske vrednosti za zdravstveno ustrezno pitno vodo,
- preprečevanje, prepoznavanje ter zaščita pred zdravstvenimi tveganji,
- nadzor in kontrola za zagotavljanje zdravstveno ustrezne pitne vode (WHO, 2022).

Smernice SZO so temeljite in pogosto podrobnejše od nacionalnih predpisov držav v razvoju. Zaradi tega se pogosto uporabljajo kot osnovni ali celo edini standard za zagotavljanje kakovosti pitne vode (WHO, 2022).

## 2.3 Interni vodovodni sistem

Interna vodovodna napeljava zajema cevovod, napeljavo, opremo, naprave in sestavne dele znotraj infrastrukture, ki je namenjena distribuciji vode in zagotavljanju

različnih vodovodnih potreb. Ti sestavni deli so vgrajeni med priključkom na sistem za oskrbo s pitno vodo in mesti uporabe pitne vode. Sistem omogoča oskrbo s čisto pitno vodo za domačo rabo - pitje, kuhanje, kopanje, umivanje... in z nepitno vodo - zatiranje požarov, zalivanje, namakanje ter varno odvajanje odpadne vode (Hairston in Brantley, 2018).

Interno vodovodno napeljavo, vključno z elementi uporabe (pipe) je potrebno redno in pravilno vzdrževati:

- Na vsaki pipi mora voda pred prvo uporabo tega dne teči vsaj 2 minuti (enakomeren, srednje močen curek, debeline svinčnika) oziroma toliko časa, da se temperatura vode na izlivki ustali (NIJZ, 2023).
- Na vsakih 14 dni je treba na vseh pipah odstraniti in očistiti mrežice ali druge nastavke. Za čiščenje se smatra spiranje z vodo, ki teče po tem sistemu in po potrebi odstranjevanje vodnega kamna (NIJZ, 2023).
- Na mestih, kjer v napeljavi ni rednega pretoka vode, je potrebno izvajati tedensko izpiranje do stabilizacije temperature vode (NIJZ, 2023).

Evidentirati je treba tudi slepe rokave interne vodovodne napeljave in jih odstraniti oz. skozi njih vzpostaviti pretok. Do takrat je treba enkrat na teden spirati vodo iz slepih rokavov (NIJZ, 2023).

## 2.4 Bakterije in korozija

Korozija v internem vodovodnem sistemu pomeni razapljanje materialov, ki so prisotni v distribucijskem omrežju, rezervoarjih, ceveh, ventilih in črpalkah. Degradacija (razkroj) povzroča mehanske poškodbe, zaradi česar lahko pride do puščanja cevi in poslabšanja kemijske in mikrobiološke kakovosti vode. Korozija cevi in sestavnih elementov povzroča naraščanje koncentracije nekaterih spojin v vodi, posebej svinca in bakra. Pri nadzoru in obvladovanju korozije je pomembno spremeljanje naslednjih parametrov: koncentracije kalcija, hidrogenkarbonata, karbonata, raztopljenega kisika in pH vrednosti (Kopše Zorko, 2021).

Dejavniki, ki vplivajo na korozijo znotraj vodovodnega sistema so: pH vrednost, koncentracija raztopljenega kisika in ostalih plinov ter vseh topljencev, vrsta in količina raztopljenih mineralov, prisotnost kloridov, nitratov, sulfatov, pretok in temperatura vode, prisotnost bakterij in organski materialov (Hussein Farh idr., 2023; Revie Winston in Uhlig, 2008).

Bakterije na nastanek korozije ne vplivajo neposredno, njihov učinek je posreden. Koroziji, ki jo povzročajo mikroorganizmi, predvsem bakterije, pravimo mikrobiološka vplivana korozija. Obstaja več načinov, kako bakterije prispevajo h koroziji cevi:

- **BAKTERIJSKI METABOLIZEM:** Nekatere bakterije lahko proizvajajo korozivne spojine kot stranske produkte svojega metabolizma (npr. bakterije kot so *Clostridium spp.* in *Fusarium spp.* lahko proizvajajo kisline, ki znižajo pH okolja in s tem raztapljajo kovine ter prispevajo k koroziji).
- **BAKTERIJSKI IZLOČKI:** Bakterije lahko izločajo snovi, ki lahko spremenijo kemijsko sestavo okolja znotraj cevi. Te spremembe lahko vplivajo na korozivne lastnosti vode ali vlage, ki pridejo v stik s cevmi.
- **BAKTERIJSKE KOLONIJE:** Bakterije se lahko primejo in naselijo na površini cevi ter tvorijo biofilme. Ti lahko ustvarijo mikrookolje, ki je ugodno za korozijo; na primer z zadrževanjem vode, kisika in drugih snovi, ki lahko pospešujejo proces razkroja.
- **ELEKTROKEMIJSKI PROCESI:** Bakterije lahko sodelujejo pri elektrokemijskih procesih, ki so ključni pri degradaciji kovin. Nekatere bakterije lahko na primer vplivajo na električno prevodnost okolja, kar lahko vpliva na potek elektrokemijskih reakcij, vključenih v korozijo (Pal in Lavanya, 2022).

Te pojave pa posredno povzročajo različne bakterije, npr.:

- **ŽVEPLOVE BAKTERIJE:** so anaerobni mikroorganizmi, ki sodelujejo pri procesu redukcije sulfata. Bakterije v odsotnosti kisika organske snovi oksidirajo s pomočjo sulfata in ga pretvarjajo v sulfide. Ti sprožijo tvorbo kovinskih sulfidov, ki prispevajo k koroziji kovin. Mednje uvrščamo: *Desulfovibrio spp.* in *Desulfomonas spp.*
- **ŽELEZO REDUCIRAJOČE BAKTERIJE:** so aerobne bakterije, ki tvorijo vodikov sulfid in znižujejo raven železa. Sem sodijo bakterije rodu *Shewanella spp.*, *Geothermobacter spp.*, *Pseudomonas spp.* in *Desulfovibrio spp.*, ki lahko prispevajo k koroziji železa in drugih kovin.
- **ŽELEZO OKSIDIRAJOČE BAKTERIJE:** so aerobne bakterije, ki tvorijo rjo, železove okside. Takšne so *Gallionella spp.* in *Leptothrix spp.*
- **NITRIFICIRAJOČE BAKTERIJE:** so bakterije, ki izvajajo proces nitrifikacije, kot so *Nitrosomonas* in *Nitrobacter*, lahko proizvajajo kisline kot stranske produkte, kar lahko povzroči korozijo kovin.
- **BAKTERIJE POVEZANE Z MANGANOM:** so aerobne bakterije, ki sodelujejo pri odlaganju mangana na površini kovine in pri tvorbi biofilma.
- **BAKTERIJE, KI TVORIJO BIOFILME:** Različne vrste bakterij lahko tvorijo biofilme in sluz na površinah cevi. Te bakterijske kolonije lahko ustvarijo mikrookolje, ki je ugodno za korozijo (npr. *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus epidermidis*, *Bacillus subtilis*, *Clostridium spp.*, *Bacillus spp.* *Desulfovibrio spp.*, *Pseudomonas spp.*) (Kip in van Veen, 2015; Qiu idr., 2018). Sluz, ki jo proizvedejo bakterije, ima ključen pomen, ker ohranja strukturo in stabilnost biofilma. Želatinast polimer, znan kot zunajcelična polimerna snov, je

sestavljen iz polisaharidov, proteinov, odmrlih celic in netopnih substanc (Hemdan idr., 2021; Pintarič, 2010).

Za preprečevanje korozije, ki jo povzročajo bakterije, je pomembno redno vzdrževanje in čiščenje sistemov cevi ter uporaba ustrezne zaščite, kot so premazi in inhibitorji korozije. Prav tako je treba paziti na nadzor bakterijskih populacij in preprečevanje tvorbe biofilmov na površinah cevi (Hemdan idr., 2021).

Smernice Svetovne zdravstvene organizacije (SZO) narekujejo, da mora biti minimalna koncentracija rezidualnega prostega klorja vsaj 0,2 mg/L (WHO, 2022). Rezidualni klor je v večini dezinficirane pitne vode, namenjene za uporabo, prisoten v koncentracijah od 0,2 do 0,5 mg/L (WHO, 2013), ker je znanstveno dokazano, da lahko ohranjanje rezidualnega klorja v takih koncentracijah zmanjša hitrost rasti in tvorbe biofilma v vodovodnem sistemu (Chowdhury, 2012). Podobne kriterije ima Uredba o pitni vodi (Ur. list RS, št. 61/23), ki zahteva, da mora v vodi ostati od 0,3 do 0,5 mg/L prostega klorja; njegova koncentracija je lahko tudi nižja, če upravljaavec vodovoda zagotavlja mikrobiološko skladnost oziroma ustrezost pitne vode (NIJZ, 2014).

## 2.5 Vrste materialov

Vodovodne cevi so napeljave znotraj internega vodovodnega sistema, ki prenašajo vodo v različne dele stavbe in olajšajo odstranjevanje odpadne vode (Hairston, J. E. in Brantley E., 2018).

Poznamo več vrst internalnih vodovodnih cevi, ki se uporabljajo za distribucijo pitne vode do različnih točk uporabe. Vodovodne cevi so izdelane iz različnih materialov, vendar so se skozi čas nekateri izkazali za bolj, nekateri pa za manj uporabne. Danes se materiali kot sta azbestni cement (nevarnosti azbestnih vlaken) in galvanizirano jeklo (težave s korozijo) več ne uporabljajo. Vedno manj sta pri izdelavi vodovodnih cevi aktualna beton in armiran beton (težka konstrukcija, velika masa). Standardno se na tem področju uporablja materiali, ki definirajo vrsto vodovodnih cevi:

- Lito železne pocinkane cevi
- Lito železne pocinkane cevi s kombinacijo PVC materialov
- PVC cevi
- Bakrene cevi
- Bakrene cevi s kombinacijo PVC materialov
- Lito železne pocinkane cevi v kombinaciji z bakreno napeljavo (Kopše Zorko, 2021; Learbuch idr., 2021)

Baker se zaradi svoje vzdržljivosti in odpornosti proti koroziji pogosto uporablja.

Široko uporabnost so tudi na tem področju z leti pridobili polimeri, ker so cenovno ugodni, lahki, odporni proti koroziji, fleksibilni, v večini odporni na temperaturne spremembe in enostavni za namestitev. Prednost uporabe plastičnih mas za izdelavo vodovodnih cevi je tudi manša stopnja formacije biofilma na polimerni površini kot pa na kovinski (Hemdan idr., 2021).

- PVC (polivinilklorid) in CPVC (kloriran PVC)
- PEX (premreženi polietilen)
- ABS (akrilonitril butadien stiren)
- PB (polibuten)
- PE (polietilen)
- PP (polipropilen)
- PSP (jeklo-plastika kompozit)
- PAP (aluminij-plastika kompozit) (Hemdan idr., 2021; Ji idr., 2015; Learbuch idr., 2021; Yu idr., 2010)

## 2.6 Vpliv materialov na bakterije

Na razvoj, rast in reprodukcijo bakterij v vodovodnih ceveh vplivajo tudi lastnosti materialov, ki gradijo ta sistem. Med najbolj pomembnimi so površinske lastnosti materialov, poroznost, sestava, kemijske lastnosti, temperatura in vlaga.

Najvplivnejša površinska lastnost je hrapavost podlage, ker je od tega odvisen oprijem bakterij. Grob ali hrapav material omogoča lažjo pritrditev mikroorganizmom. S pritrditvijo bakterij na podlago se začne tvoriti biofilm.

Materiali so zgrajeni iz različnih snovi, ki zavirajo ali pospešujejo reprodukcijo. Pomembni so materiali s protimikrobnimi premazi, ker ti, kljub uspešni vezavi bakterij na površino, onemogočajo rast biofilma.

Pore in mikropore služijo kot zaklonišča mikroorganizmov. Luknjice v materialu predstavljajo idealna mesta za razmnoževanje bakterij, ker so tam zaščitene pred okoljskimi vplivi in z lažje tvorijo kolonije.

Od hidrofobnosti materialov je odvisen oprijem bakterij. Materiali z lipofilno površino so bolj podvrženi kontaminaciji in tvorbi biofilma, ker se na nepolarne površine bakterije lažje vežejo. (Learbuch idr., 2021; Tran idr., 2021).

### 2.6.1 Vpliv materialov na razmnoževanje *Legionelle*

Cevi iz različnih materialov, različno vplivajo na razvoj in razmnoževanje *Legionelle*. Snovi iz katerih so lahko cevi zgrajene in imajo nizko število bakterij *Legionella spp.* so materiali iz plastičnih mas (PEX in PVC), materiali cevi z višjo oz. visoko vrednostjo

*Legionelle* pa so lito železne cevi, ki so lahko tudi v kombinaciji s PVC materiali (Kopše Zorko, 2021).

## 2.7 Biofilm in korozija

Biofilmi so skupnosti mikroorganizmov, ki so pritrjeni na površino in imajo pomembno vlogo pri povzročanju bakterijskih okužb. Bakterije v biofilmu so v primerjavi z drugimi bakterijami za več velikostnih razredov bolj odporne proti antibiotikom. Danes še ne poznamo zdravil, ki bi delovala posebej proti bakterijskim biofilmom. Verjetno se razlog skriva v tem, da je bilo do nedavnega nastajanje biofilma slabo poznano (Rabin idr., 2015).

Organizmi v biofilmih po navadi postanejo bolj odporni na antibiotike in razkužila, s tem pa omogočajo nadaljnje širjenje patogenih organizmov. Zelo močni proizvajalci biofilma so bakterije rodu *Acinetobacter spp.* in *Pseudomonas spp.*, malo manj dobro biofilm tvorijo bakterije rodu *Klebsiella spp.* in *Escherichia coli*. *Staphylococcus aureus* in bakterije rodu *Aeromonas spp.* so označeni kot šibki proizvajalci biofilma (Mahapatra idr., 2015). Raziskovalci menijo, da se 95% vseh bakterij v vodovodnem sistemu nahaja v biofilmu na površinah cevi, medtem ko se jih le 5% aktivno prenaša z vodnim tokom (Hemdan idr., 2021).

Oblikovanje biofilma je zaščiten način rasti, zaradi katerega so bakterijske celice manj občutljive na dezinfekcijska sredstva, visoko temperaturo, pH in pritisk ter UV sevanje, kar patogenom omogoča preživetje, širjenje in kolonizacijo v neugodnih okoljih (Del Pozo, 2018; Hemdan idr., 2021). Z biofilmi so povezani tudi oportunistični patogeni, vključno s *Pseudomonas aeruginosa*, *Legionella pneumophila* in *Mycobacterium avium* (Mahapatra idr., 2015).

Korozija je rezultat vrste kemičnih, fizikalnih in (mikro)bioloških procesov, ki povzročajo propadanje materialov. Zaradi neučinkovitosti kemično proizvedenih zatiralcev, so potrebne za okolje neškodljive strategije za nadzor korozije. Nanjo vplivajo zapleteni procesi mikroorganizmov, ki izvajajo različne elektrokemične reakcije in izločajo presnovke, ki imajo lahko sekundarne učinke (Kip in van Veen, 2015). Po ugotovitvah (Conforte idr., 2023) prisotnost biofilma vpliva na povečanje procesa korozije. Poleg tega pa jo lahko tako pospeši kot tudi zavira (Wang idr., 2011).

Zaviranje korozije pod mikrobiološkim vplivom je zaviranje korozije, ki jo neposredno ali posredno povzroča delovanje mikrobov (Lou idr., 2021). Zaradi prisotnosti biofilmov se lahko sproščajo jedki stranski produkti, kot so organske kisline in kovinski ioni, ki lahko pospešijo razkroj cevi. Biofilmi lahko spremenijo lokalno mikrookolje z različnimi

ravnimi kisika, pH in razpoložljivostjo hranil, kar vodi do elektrokemičnih reakcij, ki prispevajo h koroziji (Liu idr., 2016).

Mikrobiološko pogojena korozija (MIC) lahko prispeva k nastanku koroziskih celic na površinah kovin. Najpomembnejše vrste bakterij, povezane s kovinami, so sulfat-reducirajoče bakterije (SRB), bakterije, ki oksidirajo žveplo (SOB), bakterije, ki oksidirajo oz. reducirajo železo (IOB/IRB), ter bakterije, ki izločajo organske kisline in sluz. Povezava med kovinskimi površinami, koroziskimi produkti in bakterijskimi celicami ter presnovki lahko povzroči biokorozijo. Pod posebnimi pogoji lahko biofilmi kovino tudi zaščitijo pred korozijo, ker ovirajo raztopljanje koroziskih produktov. Razkužila, ki se uporablja v vodovodnih sistemih, lahko povzročijo korozijo kovin, prisotnost biofilma pa lahko vpliva tako na korozijo kot na učinkovitost razkužila (Wang idr., 2011).

Dokazano je, da natrijev ali kalcijev hipoklorit slabo vplivata na biofilm. Za odstranjevanje in preprečevanje biofilma iz vodovodnih cevi učinkovito delujejo klorov dioksid, ozon in UV dezinfekcija (Mahapatra idr., 2015).

Klor lahko v vodovodni sistem dodajamo v obliki tablet ali v tekočini. Klor se danes vedno manj uporablja, saj se poleg obstoječih alternativnih razkužil (kloramin, klorov dioksid, ozon) uvaja dezinfekcija z ultravijolično svetlobo (Chowdhury, 2012).

V interni vodovodni napeljavi lahko nizke koncentracije dezinfekcijskih sredstev vplivajo na formacijo biofilma in na razmoževanje mikroorganizmov (Hemdan idr., 2021).

Visok pretok vode lahko spodbuja gibanje mikroorganizmov in njihovo pritrditve na površino vodovodnih cevi ter difuzijo hranilnih snovi v biofilm (Hemdan idr., 2021). V nasprotju s tem je dejstvo, da biofilm nastaja na mestih, kjer je pretok vode manjši oz. je občasno prekinjen (Pitarič, 2010).

## 2.8 Mikroorganizmi, ki povzročajo korozijo

### 2.8.1 Bakterije *Pseudomonas spp.*

Bakterije iz rodu *Pseudomonas spp.* so gram-negativne, aerobne, imajo paličasto obliko in jih je več kot 140 vrst; večina od njih je saprofitskih (Iglewski, 1996). Nahajajo se tako v tleh in vodi kot tudi v rastlinah in živalih. V širini merijo od 0,5 do 0,8 µm, od 1,5 do 3,0 µm pa v dolžini. Gibljivost omogoča en sam polarni biček. Ta pripomore tudi k pritrditvi bakterij in s tem spodbudi njihovo kolonizacijo.

Lahko razgradijo različne organske snovi, kot so nafta in drugi ogljikovi hidrati. Sposobne so tvoriti biofilm in odpornost proti številnim antibiotikom, kar predstavlja problem zlasti v kontekstu bolnišničnih okužb. Znane so za povzročitelje bolezni pri ljudeh in so povezane s priložnostnimi okužbami.

Dokazano je, da ta razjedajo različne materiale - jeklo, nerjaveče jeklo in celo visoko entropijsko zlitino. Ugotovili so tudi, da te bakterije ne proizvajajo in izločajo organskih kislin, ki bi povzročile korozijo z znižanjem pH vrednosti. V študiji so dokazali, da so pH medija celo zvišale. Izločajo pa drugo snov, ki izredno pospešuje degradacijo (Li idr., 2022).

### 2.8.2 Bakterija *Thiobacillus*

Bakterije rodu *Thiobacillus* lahko zasedajo ekstremna okolja, zlasti okolja z nižjim pH. Rade se naselijo na območje bogato z žveplom in železom ter tvorijo interakcijo s težkimi kovinami, kar jim omogoča preživetje tudi ob pomanjkanju hrani. Te bakterije se lahko pojavljajo v hidrotermalnih vrelcih, ceveh in povsod, kjer je vir žveplovih plinov. Za svoje metabolne procese kot vir energije uporabljajo žveple, sulfide, politionate, tiosianate in tiosulfate. Korozijo povzročajo s tvorbo kislin.

*Thiobacillus* ima pomembno vlogo in široko uporabo na področju čiščenja odpadnih vod, kmetijstva in vzdrževanja geomikrobiološkega kroga (Kumar idr., 2020).

### 2.8.3 Bakterije *Desulfovibrio spp.*

Bakterije rodu *Desulfovibrio* so gram-negativne bakterije in sodijo v raznoliko skupino sulfat-reducirajočih (SRB), gibljivih in anaerobnih bakterij. Teh je več kot 30 vrst in so ključne za kroženje žvepla v naravi. S svojim metabolizmom lahko povzročijo nastanek vodikovega sulfida, ki vodi do degradacije različnih kovin in materialov, zlasti v industrijskih sistemih in cevovodih.

Nekatere od teh občasno povzročajo različne okužbe pri ljudeh, a niso patogene. Bakterije iz tega rodu so prisotne v naravnem okolju ter se nahajajo v prebavnih sistemih živali (ovce, psi, prašiči, hrčki). Izolirane so bile tudi iz raznolikih okoljskih vzorcev - blato, slana voda, komunalne odplake ter industrijski in sladkovodni sedimenti (Goldstein idr., 2003).

#### 2.8.4 Bakterija *Clostridium perfringens*

Bakterije iz rodu *Clostridium spp.* so anaerobni mikroorganizmi, ki lahko proizvajajo jedke presnovne produkte, kot so organske kisline in vodikov sulfid. Za te snovi je značilno, da lahko pospešijo proces korozije nekaterih kovin. Sposobne so tvoriti tudi biofilm, ki sproži oz. spodbuja nastanek biokorozije (Richiardi idr., 2023).

*Clostridium perfringens* je hitro rastoči patogen, za katerega je znano tudi, da izloča več kot 20 virulentnih toksinov (strupeno snov, ki jo proizvaja mikroorganizem). V zadnjem stoletju je bil povezan s črevesnimi boleznimi pri živalih in ljudeh (Kiu in Hall, 2018). Bakterije iz rodu *Clostridium perfringens* so gram-pozitivne anaerobne bakterije. V naravi so zelo razširjene, zlasti v zemlji ter prebavilih ljudi in živali. *C. perfringens* povzroča plinsko gangreno (vrsta bakterijske okužbe) in zastrupitve s hrano ter proizvaja zunajcelične encime in toksine, ki naj bi delovali sinergistično (ko dve ali več snovi ali organizmov sodelujejo na način, da skupaj dosežejo učinek, ki je večji od vsote njihovih posameznih učinkov) in prispevali k njegovi patogenezi (Ohtani in Shimizu, 2016). *Clostridium perfringens* povzroča tudi številne bolezni pri ljudeh in živalih, saj je sposoben proizvajati močne proteinske toksine (Rood idr., 2018).

*C. perfringens* (vključno s sporami), poleg fekalnih streptokokov, enterokokov in koliformnih bakterij, uvrščamo med indikatorske parametre. Njihova prisotnost in količina v pitni vodi služi kot ocena stopnje onesnaženosti vode in ne kot neposredna nevarnost za zdravje (Chowdhury, 2012).

Vsebnost *C. perfringens* brez *E. coli*, ocenujemo kot svežo kontaminacijo, če so sami ali skupaj z enterokoki brez *E. coli*, je onesnaženje staro in ne predstavlja velikega tveganja (NIJZ, 2023).

#### 2.8.5 Bakterija *Legionella*

Bakterije rodu *Legionella* so paličaste aerobne, nesporogene in gram-negativne bakterije. Legionele so dolge so od 2 do 3 µm in široke od 0,3 do 0,9 µm (Dover, 2015). Imajo fimbrije, večina vrst pa je gibljiva zaradi enega polarnega bička. Bakterije *Legionella* so najpogosteji dejavnik povezan z izbruhi bolezni, ki so povezane s pitno vodo in predstavljajo stalno tveganje za pojav obolenj (National Research Council, 2006). Poznamo več kot 60 vrst bakterij rodu *Legionella*, *Legionella pneumophila* pa je bakterija, ki v 98 % odgovorna za pojav legionarske bolezni (Jereb idr., 2022; WHO, 2022).

Bakterije *Legionella pneumophila* živijo in se razmnožujejo v vodnih sistemih pri temperaturi od 20 do 50°C. Idealno temperaturno območje za razmnoževanje teh

bakterij je od 35 do 42°C. Poleg ugodne temperature bakterije za svojo rast potrebujejo tudi kisik, primerno pH-vrednost ter hraniila. Pogoje za pospešeno razmnoževanje bakterij predstavljajo topli vodovodni sistemi, masažne kadi, termalni bazeni, zdravstvena in druga oprema, pri katerih prihaja do pršenja aerosolov (Bilban, 2015; WHO, 2022).

### **3 METODE DELA**

#### **3.1 Pregled literature**

Teoretičnega dela raziskovanja sva se lotila tako, da sva najprej obiskala Osrednjo knjižnico Celje, kjer sva si izposodila gradivo iz strokovne literature. Uporabne in zanesljive podatke sva iskala na spletnem portalu Google učenjak, kjer so objavljeni strokovni in znanstveni članki.

Uporabila sva tudi gradivo v angleščini, predvsem članke, do katerih sva dostopala preko baz podatkov kot so SpringerLink, PubMed in MDPI.

Pri raziskovalnem delu so pripomogle tudi druge verodostojne spletne strani kot sta WHO in NIJZ.

Vso uporabno literaturo sva povzela in tisto v angleškem jeziku prevedla ter jo uporabila pri pisanju raziskovalne naloge. Orodje, ki sva ga pri izdelavi raziskovalne naloge uporabila je Microsoft Office.

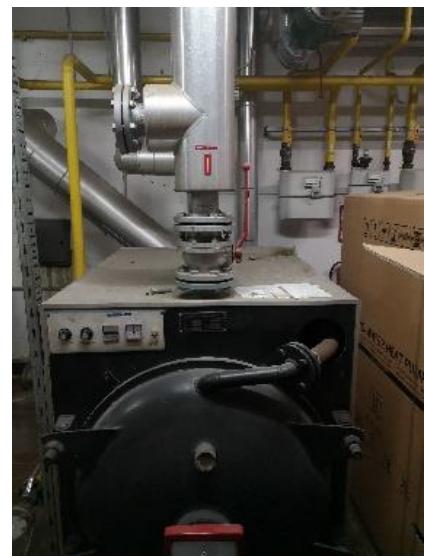
#### **3.2 Ogled objekta in pregled dejanskega stanja**

S šolskim skrbnikom sva si ogledala shemo šolskega vodovodnega sistema, ki je razdeljen na tri dele: vodovod I. dela šole (1. do 3. razreda), vodovod 2. dela šole (4. do 9. razreda) ter vodovod za telovadnico. Vse dele šolske vodovodne napeljave sva si od blizu ogledala in raziskala, kateri elementi ga gradijo, iz kakšnih materialov je sestavljen in za kako star sistem gre.

Prvi del šole: Vodovodna napeljava prvega dela šole, ki se nahaja na Kosovelovi ulici 14, je stara več kot 30 let. Kotlovnica je sestavljena iz dveh delov. Bojler na levi strani je od sosednje stavbe, bojler na desni pa od objekta na Kosovelovi 14.



Slika 1: Bojler v kotlovnici na Kosovelovi ul. 14



Slika 2: Bojler v kotlovnici na Kosovelovi ul. 14

## Drugi del šole:

Vodovodna napeljava v starem delu šole, na Vrunčevi ulici 13, je stara nekaj čez 30 let, a je oblečena le 8 let; pred 10 leti se je namreč vodovodni sistem pokvaril in so ga morali menjati. Spodnji sliki prikazujeta vodovodne cevi za topli in hladni vod, ki se nahajajo v glasbeni učilnici oz. kleti. Na levi strani prve slike je cev, po kateri navzdol teče topla voda, ohlajena voda pa po desni cevi na isti sliki teče navzgor.



Slika 4: Cevi za glasbeno učilnico in klet, na Vrunčevi ul. 13



Slika 3: Cevi za glasbeno učilnico in klet, na Vrunčevi ul. 13

## Vodovod velike telovadnice:

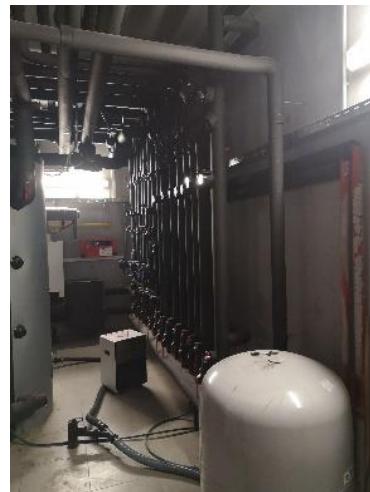
Vodovod v telovadnici je star približno 5 let in je narejen iz PVC cevi. Pri izgradnji napeljave je prišlo do napake – obtočna črpalka je bila premočna. Ta je namesto od 2 do 2,5 bara črpala 4 bare.



Slika 6: Cevi v kotlovnici v veliki telovadnici



Slika 5: Cevi v kotlovnici v veliki telovadnici



Slika 7: Cevi v kotlovnici v veliki telovadnici

Spodnji sliki prikazujeta spojni element, na katerem je prišlo do vidne okvare – luknjice – skozi katero je stekala voda. Desna slika pa prikazuje notranjo površino cevi, ki je prekrita z umazanjem oz. biofilmom.



Slika 8: Zarjaveli del vodovoda, skozi katerega je puščala voda

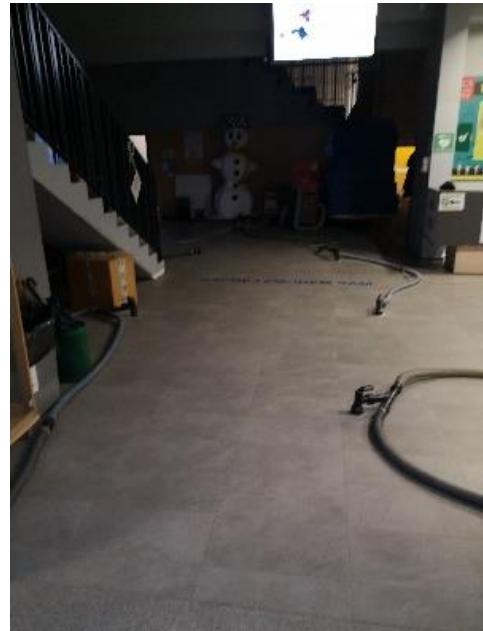


Slika 9: Zarjaveli del vodovoda z drugega zornega kota

Za sušenje hodnika in garderob v območju telovadnice so uporabili cevi, prikazane na spodnjih slikah.



Slika 11: Sušilni stroji v hodniku velike telovadnice



Slika 10: Sušenje avle v veliki telovadnici



Slika 13: Luknja skozi katero so sušili



Slika 12: Sušilne cevi v hodniku velike telovadnice

*Tabela 1: Število pip v posameznih delih šole*

	Št. pip	Št. učilnic	Št. kabinetov	Št. tušev	Št. garderob
Vrunčeva ulica	57	29	16	2	2
Kosovelova ulica	43	11	9	/	/
Telovadnica	21	/	/	9	4
Kuhinja	15	/	/	/	/

### 3.3 Meritve

V I. osnovni šoli Celje (objekt na Vrunčevi ulici 13), sva, 26. 1. 2024, na različnih odvzemnih mestih, odvzela deset vzorcev pitne vode. Vzorce sva odvzela na izlivkah pip v sanitarijah, garderobi, učilnici in kotlovnici. Ob vzorčenju sva s pomočjo prenosnega colorimetra HACH DR/890 izmerila tudi koncentracijo prostega klora.

#### Merjenje koncentracije prostega klora v pitni vodi

1. Kolorimeter sva s tipko »EXIT« prižgala.
2. Merilniku sva nastavila ustrezni program za merjenje prostega klora – pritisnila sva tipko »PRGM« in izbrala program št. 9 ter stisnila »ENTER«.
3. Delovanje merilnika sva preverila z referenčnim materialom (RM); vstavila sva slepo probo, ki ima vrednost 0,00 mg/L Cl<sub>2</sub> in pritisnila tipko »ZERO«. Za njim sva ostalim trem RM izmerila vrednosti, pri čemer sva pritisnila na tipko »READ« in jih primerjala s standardnimi vrednostmi. Prvi standard ima vrednost 0,20 mg/L Cl<sub>2</sub>, drugi 0,86 mg/L in tretji 1,56 mg/L Cl<sub>2</sub>.
4. Po uspešnem preverjanju sva pripravila slepo probo, to je kiveta z 10 mL destilirane vode.
5. Slepoo probo sva vstavila v merilnik in pritisnila tipko »ZERO«. S tem sva merilnik pripravila na realne vzorce.
6. V kiveto sva natočila 10 mL pitne vode, ji dodala reagent za merjenje prostega klora (DPD Free Chlorine) in jo za 20 s dobro pretresla, da se je kemikalija raztopila.
7. S staničevino sva kiveto obrisala, jo vstavila v merilnik, pokrila s pokrovčkom in stisnila tipko »READ«.
8. Izmerjeno vrednost, ki jo je izpisal merilnik, sva prepisala na terenski list.
9. Korake od 5. do 8. sva ponovila za vseh 10 vzorcev.
10. Kolorimeter sva s pritiskom tipke »EXIT« ugasnila in pospravila v kovček.

### 3.3.1 Opis merilne opreme

Pri merjenju koncentracije prostega klorja sva uporabila prenosni colorimeter HACH DR/890. Merilno območje za prosti klor je od 0 do 2,00 mg/L, za klorov dioksid je od 0 do 5,00 mg/L in za skupni klor od 0 do 2,00 mg/L.

Pri vzorčenju sva uporabila sterilno zapakirano 500 mL embalažo za enkratno uporabo. Ima veljaven rok uporabe, ki je skupaj z LOT-om serije zabeležen na zunani strani embalaže. Embalaža je iz polietilena in ima dodan reagent (natrijev tiosulfat), s katerim zagotovimo mikrobiološko kakovost vode.

Hladilna torba s hladilnimi telesi je služila transportu vzorcev v laboratorij za mikrobiološko preskušanje. Temperatura v hladilni torbi znaša cca 4°C.

Ostali pripomočki: pisalo, marker in terenski zapisnik.



Slika 15: Kolorimeter



Slika 14: Plastenka za odvzemanje vzorcev vode

## 3.4 Vzorčenje

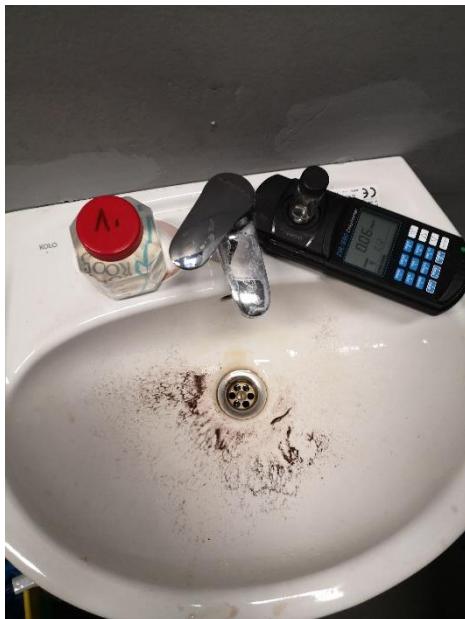
Na vzorčenje sva se predhodno pripravila in določila ustrezena odvzemna mesta. Pred samim vzorčenjem sva bila pozorna na stanje v katerem je bila embalaža. Naredila sva vizualni pregled embalaže, preverila njeni čistost in morebitne poškodbe. Na vsako embalažo sva napisala številko vzorca.

Vzorci so namenjeni za mikrobiološko preskušanje, zato embalaže nisva spirala, saj ta vsebuje reagent. Pazila sva, da nisva med postopkom vzorčenja ali pri zapiranju z zamaški vzorcev onesnažila.

Po končanem vzorčenju sva vzorce zložila v hladilno torbo, priložila izpolnjen terenski zapisnik in vse skupaj dostavila v laboratorij.



Slika 18: Odvzemanje vzorecv vode v garderobi velike telovadnice



Slika 17: Odvzem vzorca št. 1 v prostoru prezračevalnega sistema v veliki telovadnici



Slika 16: Analiziranje koncentracije klorja v vodi s korolimetrom

### 3.5 Priprava informativnega letaka

Informativni letak govori o pomenu pitne vode in o čistosti vodovodnega sistema z namenom uzaveščenja o pomenu pitne vode ter čistosti vodovodnih sistemov v šoli. Pripravila sva ga s pomočjo že znane literature in programa Canva, na katerem sva vse skupaj grafično oblikovala, da letak bolj pritegne pogled.

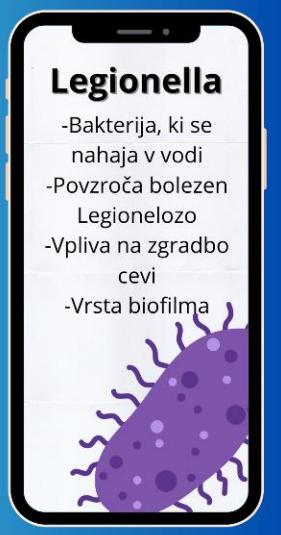
# PITNA VODA

## Pomen pitne vode

Je zelo pomembna za življenje  
vseh živih bitij na Zemlji  
Brez nje ne moremo živeti

## Problemi

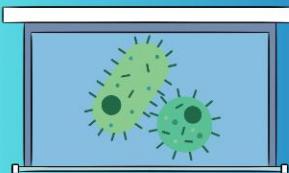
Slaba oskrba s pitno vodo  
Bakterije (Legionella)  
Premalo pitne vode po svetu



Slika 19: Prednja stran letaka

## Kaj je biofilm in kako nastane?

-So heterogene mikrobne združbe, ki so se uspele prilagoditi različnim življenjskim razmeram  
-Vidimo ga kot plast umazanje  
-Nastane z slabim vzdrževanjem vodovodnih cevi



## Kaj je korozija?

-Rezultat vrste kemičnih, fizikalnih in (mikro)bioloških procesov, ki povzročajo propadanje materialov (rja)  
-Povzroča jo lahko tudi biofilm



Slika 20: Zadnja stran letaka

## 4 REZULTATI

### 4.1 Pregled stanja

Dne 1. 3. 2023 je bil s strani IMK (Inštitut za metalne konstrukcije) vizualno pregledan kontrolni vzorec št. 686 – poškodovan spojni element.



Slika 21: Prejeti spojni element (T-kos) IMK št. 686

Vizualna preiskava je zajemala pregled zunanje in notranje površine; do notranje površine so dobili vpogled po izvedenem vzdolžnem razrezu na dva dela.

Analize **zunanje** površine elementa so pokazale luknjico (na sliki 22 in 23 označena s puščico). Oblika luknje ni pravilne oblike (npr. krog), robovi so nazobčani (niso gladki).



Slika 22: Prikaz luknje v T-kosu



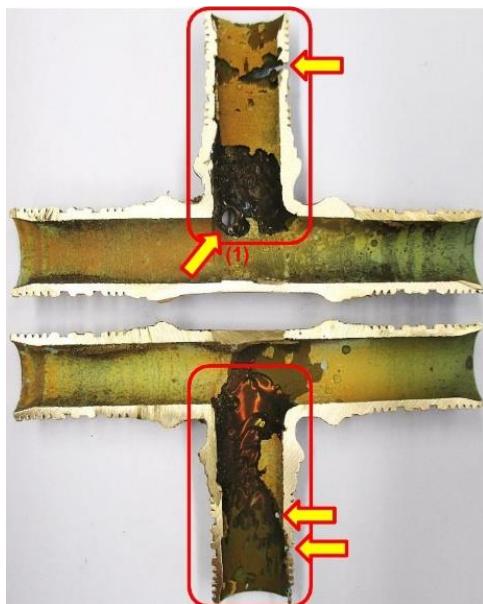
Slika 23: Prikaz luknje v T-kosu

Slika 24 prikazuje oznako elementa, ki se nahaja na nasprotni strani luknje.



Slika 24: Prikaz oznake elementa

Analize **notranje** površine elementa so pokazale, da je na notranji površini poleg luknje, opažene na zunanji površini (označena s puščico št. 1), opaženih še več lukenj na drugih mestih (označene s puščicami). Vse so omejene le na en priključek (obkrožen z rdečo črto, vertikala črke T) (vse vidno na sliki 25).



Slika 25: T-kos v vzdolžnem prerezu

Notranja površina priključka je prekrita z nanosi iz medija in je hrapava, mat. Za razliko od te površine, je površina v okolici lukenj brez nanosov ter je gladka, sijajna (kovinski sijaj). Druga in tretja slika prikazujeta razliko v izgledu površin (sliki 26, 27).



Slika 27: Prikaz razlike v izgledu površine



Slika 26: Prikaz razlike v izgledu površine

#### 4.1.1 Priprava vzorca

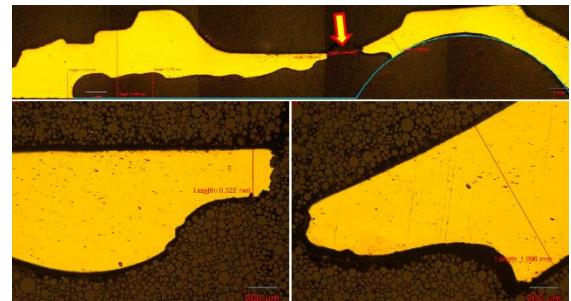
Iz kontrolnega vzorca št. 686 je bil po vizualnem pregledu s postopki hladnega reza in mehanske obdelave, za potrebe preiskav, na IMK odvzet še dodatni manjši preskušanec.

#### 4.1.2 Metalografska preiskava

S strani IMK dodatno odvzet, za ugotavljanje mehanizma odpovedi spojnega elementa oz. kontrolnega vzorca št. 686. Preiskave so zajemale posebno tehniko metalografije, in sicer optično mikroskopijo, pri čemer so uporabili mikroskop Olympus BHM. Preiskano je bilo področje luknje. Pri pripravi makro/mikro brusov je bilo uporabljenno fino brušenje in poliranje.



Slika 28: Odvzeti preskušanec za metalografijo št. 686.1



Slika 29: Prikaz preskušanca št. 686.1 na mikroskopski ravni

V okolini opažene luknje (označena s puščico, slika 28) je na notranji strani elementa opažena obsežnejša izjeda (erozija). V povprečju je material izjeden v globino cca. 1,2 mm. Ocenjena prvotna debeline stena na mestu luknje naj bi bila cca. 2,1 mm.

Dva detajla pri večji povečavi prikazujeta izgled površine na mestu luknje (leva in desna stran luknje). Površina luknje ni pravilnih oblik.

#### 4.1.3 Ugotovitve in zaključek pregleda stanja

Na podlagi izvedenih preiskav in njihovih rezultatov je IMK oblikoval naslednje ugotovitve:

- Z vizualno kontrolo zunanje površine so ugotovili, da izgled luknje ni pravilne oblike in zato sklepajo, da luknja ni posledica mehanske poškodbe oz. obdelave (npr. vrtanja).
- Na osnovi vizualne kontrole notranje površine je opaženih več lukenj, kjer je tudi drugačen izgled notranje površine (kovinski sijaj) kot drugod po elementu (nanosi iz medija, oksidacija).
- Metalografska analiza je izvedena na prerezu skozi sredino luknje. Vidno je, da luknja ni posledica napake v materialu (npr. lunker, poroznost). V okolini luknje je obširnejša izjeda.

Temeljni vzrok za odpoved spojnega elementa je izjeda (erozija) materiala zaradi elektro(kemičnega) procesa. Nastanek luknje ni posledica napake v materialu ali zunanje mehanske poškodbe (npr. vrtanje).

## 4.2 Prve meritve

Na I. osnovni šoli Celje je bilo v petek, 26. 1. 2024, odvzetih 10 vzorcev pitne vode, na katerih so bile izvedene laboratorijske preskušnje na mikrobiološke parametre. Na vseh odvzemnih mestih sva s pomočjo kolorimetra izmerila tudi koncentracijo prostega klora v pitni vodi. Le-ta se uporablja za dezinfekcijo vode, z namenom vodo dokončno pripraviti primerno za pitje ter preprečiti širjenje nalezljivih bolezni z mikrobiološko onesnaženo vodo. V tabeli 2 so zbrani rezultati teh meritev.

Tabela 2: Koncentracija klora na posameznem odvzemnem mestu

Št. vzorca	Odvzemno mesto	Koncentracija Cl <sub>2</sub> [mg/L]
1	Pipa v kotlovnici – velika telovadnica	0,06
2	Pipa – moški WC v veliki telovadnici	0,06
3	Pipa – moški WC – 1. nadstropje	0,09
4	Pipa – ženski WC – 1. nadstropje	0,12
5	Pipa – moški WC – 2. nadstropje	0,02
6	Pipa – ženski WC – 2. nadstropje	0,12
7	Pipa – moški WC – 3. nadstropje	0,10
8	Pipa – ženski WC – 3. nadstropje	0,16
9	Pipa – učilnica tehnike	0,13
10	Pipa - moška garderoba – velika telovadnica	0,04

### 4.3 Mikrobiološko preskušanje

V tabeli 3 so zbrani rezultati mikrobioloških preskušanj vzorcev pitne vode.

*Tabela 3: Ustreznost posameznih vzorcev pitne vode glede na mikrobiološke analize*

Št.	Odvzemno mesto	Parameter	<sup>1</sup> Rezultat	<sup>2</sup> Kriterij	Skladnost
1	Pipa v kotlovnici – velika telovadnica	<i>Clostridium perfringens</i>	340 cfu/100 mL	0 cfu/100 mL	NESKLADEN
2	Pipa – moški WC - velika telovadnica		180 cfu/100 mL	0 cfu/100 mL	NESKLADEN
3	Pipa – moški WC – 1. nadstropje		0 cfu/100 mL	0 cfu/100 mL	SKLADEN
4	Pipa – ženski WC – 1. nadstropje		0 cfu/100 mL	0 cfu/100 mL	SKLADEN
5	Pipa – moški WC – 2. nadstropje		0 cfu/100 mL	0 cfu/100 mL	SKLADEN
6	Pipa – ženski WC – 2. nadstropje		0 cfu/100 mL	0 cfu/100 mL	SKLADEN
7	Pipa – moški WC – 3. nadstropje		0 cfu/100 mL	0 cfu/100 mL	SKLADEN
8	Pipa – ženski WC – 3. nadstropje		0 cfu/100 mL	0 cfu/100 mL	SKLADEN
9	Pipa – učilnica tehnika		340 cfu/100 mL	0 cfu/100 mL	NESKLADEN
10	Pipa - moška garderoba – velika telovadnica		0 cfu/100 mL	0 cfu/100 mL	SKLADEN

<sup>1</sup>Rezultati se nanašajo izključno na preskušan vzorec.

<sup>2</sup>Kriteriji za zahtevane parametre so povzeti po Uredbi o pitni vodi (Uradni list RS, št. 61/2023, priloga 1).

#### 4.3.1 Interpretacija rezultatov

Iz tabele 2 je razvidno, da je koncentracija klora v pitni vodi najvišja v 3. nadstropju, in sicer na ženskih sanitarijah, medtem ko je najnižja na moških sanitarijah v 2. nadstropju. Iz teh vrednosti ni mogoče razbrati nikakršnega vzorca, po katerem se giblje koncentracija klora, lahko pa opazimo, da je nižja na moških sanitarijah kot na ženskih. To bi lahko povezali s samo pozicijo sanitarij, saj so vsaka na svojem »krilu« šole. Na osnovi smernic, ki jih predpisuje SZO lahko povzamemo, da je koncentracija rezidualnega klora v vodovodni napeljavi I. OŠ Celje prenizka. Na podlagi rezultatov mikrobioloških oz. indikatorskih preskušanj pa lahko sklepava, da to predstavlja problem. Preostali klor bi naj oksidiral organske snovi v vodi, vendar se te ob nizkih koncentraciji klora kopijo v vodovodnem sistemu in predstavljajo hrnilna sredstva za bakterije. Bakterije, kot je *Clostridium perfringens*, organske snovi presnavljajo in proizvajajo korozivne produkte metabolizma.

Vrednosti rezultatov v tabeli 3 prikazujejo, da so trije vzorci pitne vode, št. 1, 2 in 9, presegali kriterij oz. mejno vrednost za parameter *Clostridium perfringens*, ki po Uredbi o pitni vodi znaša 0 cfu/100 mL. Njena koncentracija v pitni vodi iz 2. in 9. odvzemnega mesta je v obeh primerih znašala 340 cfu/100 mL. To je zanimiv podatek, saj se ti dve vzorčni mesti nahajata v istem nadstropju, kar nam pove, da cevi v kleti šole vsebujejo povzročitelje korozije.

Prisotnost *Clostridium perfringens* (vključno s sporami) lahko nakazuje tudi na možnost, da je pitna voda onesnažena s fekalijami, ker jo uvrščamo med indikatorske parametre. Iz tega sklepava, da so lahko v vodi prisotne tudi druge fekalne bakterije kot so enterokoki, streptokoki, *Escherichia coli* ter koliformne bakterije. Samo iz podatka o prisotnosti bakterije *C. perfringens* ne moreva trditi, da gre za urgetno stanje.

Manafi idr. (2013) so testirali seve *Clostridium perfringens* in ugotovili, da so vsi tvorili zeleno obarvane kolonije, medtem ko so druge bakterijske vrste tvorile modre, bele in vijolične kolonije. Potemtakem lahko trdiva, da obstaja velika verjetnost, da so v zelenkasto obarvanem biofilmu, na notranji površini cevi, ki ga prikazuje slika 9, prisotne bakterije rodu *Clostridium spp.* oziroma natančneje vsi sevi bakterijske vrste *Clostridium perfringens*. Z vizualnim pregledom zarjavelega spojenga elementa (slika 9) sva prav tako potrdila vsebnost bakterije *C. perfringens*. Predpostavlja tudi, da gre za heterogen mikrobiom.

Lahko si razlagava, da je zaradi nizke koncentracije rezidualnega klora *Clostridium perfringens* z luhkoto uspevala v vodovodnem sistemu in na površinah cevi, morebiti z drugimi mikroorganizmi in organskimi snovmi, tvorila zeleno obarvane obloge. Na mestih, kjer je nastal biofilm, je verjetno prišlo do lokalne korozije oz. biokorozije (MIC), kar je pospešilo degradacijo materialov vodovodne napeljave. Predvidevava, da je

luknjica, skozi katero je odtekala voda (slika 9), nastala zaradi različnih dejavnikov: starost in obraba elementov vodovodnega sistema, povišan pretok vode, prisotnost posrednih povzročiteljev korozije in biofilm, ki so vplivali na korozijo. Na podlagi študije, ki so jo opravili Ramos Monroy idr. (2019), meniva, da je imel velik vpliv na degradacijo materiala prav biofilm in prej omenjena bakterija. Ramos Monroy idr. (2019) so raziskovali proces korozije, ki jo povzročajo anaerobne bakterije rodu *Clostridium* in ugotovili, da je bila največja stopnja korozije dosežena, ko so bakterije na kovinski površini tvorile biofilm.

Iz ugotovitev: i) koncentracija prostega klora je prenizka, ii) trije vzorci pitne vode so bili pozitivni na bakterijo *C. perfringens* in iii) notranje površine cevi vsebujejo biofilm, lahko sklepava, da obstaja možnost, da so v ceveh prisotni tudi drugi mikroorganizmi in organske snovi oz., da vodovodni sistem predstavlja okolje ugodno za razmnoževanje patogenih bakterij, kar predstavlja tveganje za zdravje.

## 5 ODGOVORI NA HIPOTEZE

Hipotezo 1, ki pravi, da pitna voda v I. OŠ Celje vsebuje povzročitelje korozije, potrjujeva, saj so rezultati mikrobioloških preskušanj pokazali, da trije vzorci pitne vode vsebujejo bakterijo *Clostridium perfringens*.

Hipotezo 2, ki pravi, da bakterije v pitni vodi lahko povzročijo poškodbe vodovodnih cevi, potrjujeva, saj bakterije sicer same po sebi ne morejo narediti škode, le-to lahko naredijo le v kombinaciji z drugimi dejavniki kot je na primer pojav rje v sistemu.

## 6 ZAKLJUČEK

Raziskovalno nalogu sva začela delati z željo po raziskovanju in odkrivanju novih stvari – tokrat na področju bakterij v vodovodnem sistemu I. OŠ Celje. Najprej sva se lotila teoretičnega dela raziskovalne naloge, in sicer v začetku meseca oktobra 2023. Podatke sva zbirala skupaj v knjižnici, pri urah raziskovalne naloge ali pa doma. Uporabljala sva Google in Google Učenjak. Večina podatkov z Googla in Google Učenjaka je bilo preveč osnovnih, zato sva se lotilo bolj strokovnih oz. znanstvenih člankov. Te sva iskala predvsem na spletnih portalih kot so PubMed, Open Science, Izum, SciSpace, ScienceDirect, NACE International ter ASM International. Letos iz knjižne literature nisva izhajala.

Na osnovi vseh ugotovitev lahko predpostaviva da nam prisotnost bakterije *Clostridium perfringens* podaja zgolj informacijo o stanju in urejenosti celotnega vodovodnega sistema v I. osnovni šoli Celje, ni pa zadosten in verodostojen pokazatelj, da je voda neposredno nevarna za zdravje. Zaradi tega ne moreva trditi, da uživanje vode iz vodovodnega sistema I. OŠ Celje predstavlja tveganje za zdravje.

V nadaljnjih raziskavah bi lahko opravili še dodatne in razširjene laboratorijske preskušnje pitne vode (na več mikrobioloških parametrov), ki dajejo neposreden vpogled v kvaliteto pitne vode, ustreznosti vodovodne napeljave in informacijo o zdravstveni skladnosti. Z mikrobiološkimi parametri bi lahko opredelili obseg in stopnjo onesnaženosti vode z mikroorganizmi.

Ob koncu raziskovalne naloge lahko poveva, da sva se ogromno naučila o različnih bakterijah, o vplivu prisotnosti biofilma na korozijo in njunim vplivom na čistočo vodovodnega sistema. Prav tako sva se naučila meriti koncentracijo prostega klora in vzorčiti pitno vodo za mikrobiološke preskušnje. Tudi tokrat meniva, da je bila raziskovalna naloga dobra izkušnja in vredna vloženega truda. Najbolj zanimiv nama je bil praktičen del, predvsem merjenje koncentracije klora s posebno merilno napravo.

Raziskovalno nalogu bi lahko izboljšala tako, da bi se udeležila kakšnih predavanj ali seminarjev na temo pitne vode in objektne higiene. V eksperimentalnem delu naloge bi lahko skozi daljše obdobje merila tudi temperaturo, pH, trdoto vode, elektroprevodnost, kisik v vodi in s tem pridobila dodatne informacije o stanju vodovodnega sistema in kvaliteti vode v vodovodnem sistemu.

## 7 VIRI IN LITERATURA

Arnone, R. D. in Walling, J. P. (2007). Waterborne pathogens in urban watersheds. *Journal of Water and Health*, 5(1), 149–162.

<https://doi.org/10.2166/wh.2006.001>

Bilban, M. (2015). Legionela. Delo in varnost, 60(6), 41-51.

<https://www.dlib.si/stream/URN:NBN:SI:doc-CAVAD5WZ/6f491a39-efda-4b35-8006-d49caeb2da97/PDF>

Chowdhury, S. (2012). Heterotrophic bacteria in drinking water distribution system: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(10), 6087–6137. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2407-x>

Conforte, J. J., Sousa, C. A., da Silva, A. C. R., Ribeiro, A. V., Duque, C. in Assunção, W. G. (2023). Effect of Enterococcus faecalis Biofilm on Corrosion Kinetics in Titanium Grade 4 Alloys with Different Surface Treatments. *Materials*, 16(13). <https://doi.org/10.3390/ma16134532>

Del Pozo, J. L. (2018). Biofilm-related disease. *Expert Review of Anti-Infective Therapy*, 16(1), 51–65. <https://doi.org/10.1080/14787210.2018.1417036>

Dover, M. (2015). *Legionele v sistemu za oskrbo s pitno vodo–pregled dejavnikov tveganja in ukrepov* [Magistrsko delo, Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemski vede in Medicinska fakulteta]. DKUM. <https://dk.um.si/Dokument.php?id=70169&lang=slv>

Edberg, S.C. (Yale University School of Medicine, New Haven, CT. (USA)), Leclerc, H., in Robertson, J. (1997). Natural protection of spring and well drinking water against surface microbial contamination. II. Indicators and monitoring parameters for parasites. *Critical Reviews in Microbiology*, 23(2), 179–206. <https://doi.org/10.3109/10408419709115135>

Goldstein, E. J. C., Citron, D. M., Peraino, V. A. in Cross, S. A. (2003). Desulfovibrio desulfuricans bacteremia and review of human Desulfovibrio infections. *J Clin Microbiol*, 41(6):2752-4. <https://doi.org/10.1128/jcm.41.6.2752-2754.2003>

Hirston, J. E. in Brantley E. (2018). Water Corrosivity and Your Plumbing System. *Water Well Programme*. <https://www.aces.edu/blog/topics/private-well-program/water-corrosivity-and-your-plumbing-system/>

Hemdan, B. A., El-Taweel, G. E., Goswami, P., Pant, D. in Sevda, S. (2021). The role of biofilm in the development and dissemination of ubiquitous pathogens in drinking water distribution systems: an overview of surveillance, outbreaks, and prevention. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 37(2).

<https://doi.org/10.1007/s11274-021-03008-3>

Hunter, P. R., MacDonald, A. M. in Carter, R. C. (2010). Water Supply and Health. *PLoS Medicine*, 7(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000361>

Hussein Farh, H. M., Ben Seghier, M. E. A., Taiwo, R. in Zayed, T. (2023). Analysis and ranking of corrosion causes for water pipelines: a critical review. *npj Clean Water*, 6(65). <https://doi.org/10.1038/s41545-023-00275-5>

Iglewski, B. H. (1996). *Medical Microbiology*. University of Texas, Medical Branch at Galveston. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK8326/>

Jereb, G., Eržen, I., Oder, M. in Poljšak, B. (2022). Phosphate drinking water softeners promote Legionella growth. *Journal of Water and Health*, 20(7), 1084–1090. <https://doi.org/10.2166/wh.2022.055>

Ji, P., Parks, J., Edwards, M. A. in Pruden, A. (2015). Impact of water chemistry, pipe material and stagnation on the building plumbing microbiome. *PloS One*, 10(10), 0–23. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141087>

Kip, N. in van Veen, J. A. (2015). The dual role of microbes in corrosion. *The ISME Journal*. <https://www.nature.com/articles/ismej2014169>

Kiu, R. in Hall, L. J. (2018). An update on the human and animal enteric pathogen Clostridium perfringens. *Emerging Microbes & Infections*, 7(1), 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41426-018-0144-8>

Kopše Zorko, K. (2021). *Vpliv materialov na število bakterij Legionella spp. v vodovodnih sistemih : magistrsko delo* [Magistrsko delo, Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta]. Repozitorij UL. <https://repositorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?lang=slv&id=128683> (1. 12. 2023).

Kumar, M., Zeyad, M. T., Choudhary, P., Paul, S., Chakdar, H. in Rajawat, M. V. S. (2020). *Beneficial Microbes in Agro-Ecology: Bacteria and Fungi*. <https://doi.org/10.1016/C2020-0-00594-3>

Learbuch, K. L. G., Smidt, H. in van der Wielen, P. W. J. J. (2021). Influence of pipe materials on the microbial community in unchlorinated drinking water and biofilm. *Water Research*, 194. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.116922>

Li, Z., Huang, L., Hao, W., Yang, J., Qian, H. in Zhang, D. (2022). Accelerating effect of pyocyanin on microbiologically influenced corrosion of 304 stainless steel by the *Pseudomonas aeruginosa* biofilm. *Bioelectrochemistry*, 146. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2022.108130>

Liu, S., Gunawan, C., Barraud, N., Rice, S., A., Harry, E., J. in Amal, R. (2016). Understanding, Monitoring, and Controlling Biofilm Growth in Drinking Water Distribution Systems. *Environmental Science & Technology*, 50(17), 8954–8976. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b00835>

Lou, Y., Chang, W., Cui, T., Wang, J., Qian, H., Ma, L., Hao, X. in Zhang, D. (2021). Microbiologically influenced corrosion inhibition mechanisms in corrosion protection: A review. *Bioelectrochemistry (Amsterdam, Netherlands)*, 141, 107883–107883. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2021.107883>

Mahapatra, A., Padhi, N., Mahapatra, D., Bhatt, M., Sahoo, D., Jena, S., Dash, D. in Chayani, N. (2015). Study of biofilm in bacteria from water pipelines. *J Clin Diagn Res*, 9(3). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4413065/>

Manafi, M., Waldherr, K. in Kundt, M. (2013). Evaluation of CP Chromo Select Agar for the enumeration of *Clostridium perfringens* from water. *International Journal of Food Microbiology*, 167(1), 92–95. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2013.06.012>

Nacionalni inštitut za javno zdravje (NIJZ) (1. 7. 2014). Pogosta vprašanja o pitni vodi. [https://nijz.si/wp-content/uploads/2022/11/pogosta\\_vprasanja\\_o\\_pitni\\_vodi.pdf](https://nijz.si/wp-content/uploads/2022/11/pogosta_vprasanja_o_pitni_vodi.pdf)

National Research Council. (2006). *Drinking Water Distribution Systems: Assessing and Reducing Risks*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11728>

NIJZ (24. 7. 2023). *Opisi indikatorskih parametrov, ki jih najdemo v pitni vodi*. <https://nijz.si/wp-content/uploads/2017/02/Indikatori-parametri.pdf>

NIJZ (7. 8. 2023). *Priporočila lastnikom objektov za vzdrževanje interne vodovodne napeljave*. <https://nijz.si/wp-content/uploads/2023/07/Priporocila-za-vzdrzevanje-interne-vodovodne-napeljave.pdf>

Nowicki, S., DeLaurent, Z. R., De Villiers, E. P., Githinji, G., in Charles, K. J. (2021). The utility of Escherichia coli as a contamination indicator for rural drinking water: Evidence from whole genome sequencing [Journal Article]. *PLoS One*, 16(1), 0–23. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0245910>

O'Flaherty, E., Borrego, C. M., Balcázar, J. L. in Cummins, E. (2018). Human exposure assessment to antibiotic-resistant Escherichia coli through drinking water. *The Science of the Total Environment*, 616–617, 1356–1364. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.180>

Ohtani, K. in Shimizu, T. (2016). Regulation of Toxin Production in *Clostridium perfringens*. *Toxins*, 8(7). <https://doi.org/10.3390/toxins8070207>

Pal, M. K. in Lavanya, M. (2022). Microbial Influenced Corrosion: Understanding Bioadhesion and Biofilm Formation. *J Bio Trib Corros*, 8, 76. <https://doi.org/10.1007/s40735-022-00677-x>

Pintarič, Š. (2010). Obstojnost biofilmov. *IJSER*, 4(2). <https://journal.institutisi.si/wp-content/uploads/2010/12/vol4-no-2-obstojnost-biofilmov.pdf>

Qiu, W., Li, W., He, J., Zhao, H., Liu, X., in Yuan, Y. (2018). Variations regularity of microorganisms and corrosion of cast iron in water distribution system. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 74, 177–185. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.03.004>

Rabin, N., Zheng, Y., Opoku-Temeng, C., Du, Y., Bonsu, E. in Sintim, H. O. (2015). Biofilm formation mechanisms and targets for developing antibiofilm agents. *Future Medicinal Chemistry*, 7(4), 493–512. <https://doi.org/10.4155/fmc.15.6>

Ramos Monroy, O. A., Ruiz Ordaz, N., Hernández Gayosso, M. J., Juárez Ramírez, C. in Galíndez Mayer, J. (2019). The corrosion process caused by the activity of the anaerobic sporulated bacterium Clostridium celerecrescens on API XL 52 steel. *Environmental Science and Pollution Research International*, 26(29), 29991–30002. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06064-3>

Revie Winston, R. in Uhlig, H. H. (2008). *Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering*, 4th ed. Canada. [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5955761/mod\\_resource/content/1/CORROSION\\_AND\\_CORROSION\\_CONTROL\\_An\\_Intro%20%20Revie%20and%20Uhlig.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5955761/mod_resource/content/1/CORROSION_AND_CORROSION_CONTROL_An_Intro%20%20Revie%20and%20Uhlig.pdf)

Richiardi, L., Pignata, C., Fea, E., Bonetta, S. in Carraro, E. (2023). Are Indicator Microorganisms Predictive of Pathogens in Water? *Water (Basel)*, 15(16), 2964–2994. <https://doi.org/10.3390/w15162964>

Rood, J. I., Adams, V., Lacey, J., Lyras, D., McClane, B. A., Melville, S. B., Moore, R. J., Popoff, M. R., Sarker, M. R., Songer, J. G., Uzal, F. A., in Van Immerseel, F. (2018). Expansion of the Clostridium perfringens toxin-based typing scheme. *Anaerobe*, 53, 5–10. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2018.04.011>

Tatsing Foka, F. E. in Ateba, C. N. (2019). Detection of Virulence Genes in Multidrug Resistant Enterococci Isolated from Feedlots Dairy and Beef Cattle: Implications for Human Health and Food Safety. *BioMed Research International*, 2019, 5921840–13. <https://doi.org/10.1155/2019/5921840>

Tran, T. T. T., Kannoorpatti, K., Padovanand, A. in Thennadil, S. (2021). A study of bacteria adhesion and microbial corrosion on different stainless steels in environment containing Desulfovibrio vulgaris. *R Soc Open Sci*, 8, 201577. <https://doi.org/10.1098/rsos.201577>

Uredba o pitni vodi: Priloga 1 – Parametri in mejne vrednosti parametrov. (2023). *Uradni list RS*, št. 61/2023. [https://www.uradni-list.si/files/RS\\_2023-061-01848-OB~P001-0000.PDF](https://www.uradni-list.si/files/RS_2023-061-01848-OB~P001-0000.PDF)

Ustava Republike Slovenije (URS). (1991). *Uradni list RS*, št. 33/91-I, 42/97 – UZS68, 66/00 – UZ80, 24/03 – UZ3a, 47, 68, 69/04 – UZ14, 69/04 – UZ43, 69/04 – UZ50, 68/06 – UZ121,140,143, 47/13 – UZ148, 47/13 – UZ90,97,99, 75/16 – UZ70a in 92/21 – UZ62a).

<http://pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=USTA1>

Waideman, M. A., Teixeira, V. P., Uemura, E. H., Stamford, T. M., Guiguet Leal, D. A., Stangarlin-Fiori, L., Rodrigues Ferreira, S. M., Taconeli, C. A., in Beux, M. R. (2020). Enterococci used as complementary indicator of fecal contamination to assess water quality from public schools in the city of Curitiba, Paraná, Brazil. *Brazilian Journal of Food Technology*, 23, 1–12. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.15519>

Wang, H., Hu, C., Hu, X., Yang, M. in Qu, J. (2011). Effects of disinfectant and biofilm on the corrosion of cast iron pipes in a reclaimed water distribution system. *Water research*.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004313541100772X?via%3Dihub>

World Health Organization (WHO). (2022). *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda*. Geneva: World Health Organization. ISBN 978-92-4-004506-4.

WHO. (2013). *Technical notes on drinking-water, sanitation and hygiene in emergencies: Measuring chlorine levels in water supplies*. Geneva: World Health Organization. <https://cdn.who.int/media/docs/default-source/wash-documents/who-tn-11-measuring-chlorine-levels-in-water-supplies.pdf>

Yu, J., Kim, D. in Lee, T. (2010). Microbial diversity in biofilms on water distribution pipes of different materials. *Water Science and Technology*, 61(1), 163–171. <https://doi.org/10.2166/wst.2010.813>

## **8 PRILOGA – IZJAVA**

Mentor/-ica \_\_\_\_\_ v skladu z 20. členom Pravilnika o organizaciji mladinske raziskovalne dejavnosti »Mladi za Celje« Mestne občine Celje, zagotavljam, da je v raziskovalni nalogi z naslovom \_\_\_\_\_, katere avtor/-ica je \_\_\_\_\_:

- besedilo v tiskani in elektronski obliki istovetno,
- pri raziskovanju uporabljeno gradivo navedeno v seznamu uporabljene literature,
- da je za objavo fotografij v nalogi pridobljeno avtorjevo dovoljenje in je hranjeno v šolskem arhivu,
- da sme Osrednja knjižnica Celje objaviti raziskovalno nalogu v polnem besedilu na knjižničnih portalih z navedbo, da je raziskovalna nalogasta nastala v okviru projekta Mladi za Celje,
- da je raziskovalno nalogasto dovoljeno uporabiti za izobraževalne in raziskovalne namene s povzemanjem misli, idej, konceptov ozziroma besedil iz naloge ob upoštevanju avtorstva in korektnem citiranju,
- da smo seznanjeni z razpisni pogoji projekta Mladi za Celje.

Celje, \_\_\_\_\_

žig šole

Podpis mentorja

Podpis odgovorne osebe

### **POJASNILO**

V skladu z 20. členom Pravilnika raziskovalne dejavnosti »Mladi za Celje« Mestne občine Celje je potrebno podpisano izjavo mentorja (-ice) in odgovorne osebe šole vključiti v izvod za knjižnico, dovoljenje za objavo avtorja (-ice) fotografskega gradiva, katerega ni avtor (-ica) raziskovalne naloge, pa hrani šola v svojem arhivu.