

**UNIVERZITET PRIVREDNA AKADEMIJA
U NOVOM SADU
FAKULTET ZA EKONOMIJU I INŽENJERSKI MENADŽMENT
U NOVOM SADU**

**ANALIZA STANJA I MODEL REŠENJA ZA POVEĆANJE
KVALITETA PIJAĆE VODE U MAČVANSKOM OKRUGU**

DOKTORSKA DISERTACIJA

**Mentor:
Prof. dr Marijana Carić
Prof. dr Radivoj Prodanović**

**Kandidat:
MSc. Goran Zarić**

Novi Sad, 2022. godina

Doktorska disertacija

**UNIVERZITET PRIVREDNA AKADEMIJA
U NOVOM SADU
FAKULTET ZA EKONOMIJU I INŽENJERSKI MENADŽMENT
U NOVOM SADU**

KLJUČNI PODACI O ZAVRŠNOM RADU

Vrsta rada:	Doktorska disertacija
Ime i prezime autora:	Goran Zarić
Mentor (titula, ime, prezime, zvanje, institucija)	Prof. dr Marijana Carić, redovni profesor, Univerzitet Privredna akademija u Novom Sadu, Fakultet za ekonomiju i inženjerski menadžment u Novom Sadu Prof. dr Radivoj Prodanović, vanredni profesor, Univerzitet Privredna akademija u Novom Sadu, Fakultet za ekonomiju i inženjerski menadžment u Novom Sadu
Naslov rada:	Analiza stanja i model rešenja za povećanje kvaliteta pijaće vode u mačvanskom okrugu
Jezik publikacije (pismo):	Srpski, latinica
Fizički opis rada:	Stranica: 145 Poglavlja: 7 Referenci: 299 Tabela: 9 Slika: 10 Grafikona: 19 Priloga: 3
Naučna/umetnička oblast:	Industrijsko inženjerstvo / Inženjerski menadžment
Predmetna odrednica, ključne reči:	Voda za piće, Mikrobiološki indikatori, Kvalitet vode, Bezbednost vode
Izvod (apstrakt ili rezime) na jeziku završnog rada:	Cilj doktorske disertacije bio je praćenje promena osnovnih mikrobioloških parametara u vodi za piće u letnjem i zimskom periodu i utvrđivanje uticaja sezonske promenljivosti na mikrobiološki kvalitet vode za piće u distributivnom sistemu Mačvanskog okruga, kao i iznalaženje potencijalnog modela za

Doktorska disertacija

	<p>rešenje povećanja kvaliteta vode. Uzorci vode za piće su uzorkovani svakodnevno iz vodovodne mreže JKP „Izvor“, Vladimirci, tokom letnjeg i zimskog perioda. Uzorci su uzorkovani u kontrolnim tačkama 1 i 2, kao i u tački 3 vodovodne mreže na teritoriji grada Novog Sada. U uzorcima vode analizirani su osnovni mikrobiološki indikatori, koji su obuhvatali određivanje ukupnog broja: aerobnih mezofilnih bakterija (AMB), koliformnih bakterija, koliformnih bakterija fekalnog porekla, enterokoke fekalnog porekla, sulfitoredujuće klostridije, <i>Proteus</i> spp. i <i>Pseudomonas aeruginosa</i>. Izvedeno je i merenje dnevne temperature vode za piće u kontrolnim tačkama pojedinačno po mernim mestima, kao i utvrđivanje prosečne vrednosti temperature vode za piće za letnji i zimski period.</p> <p>Prosečan porast temperature vode za piće u letnjem periodu u odnosu na zimski iznosio je od 3,05 do 5,67 °C u zavisnosti od posmatranih tačaka vodovodne mreže.</p> <p>Povećanje temperature ispitivanih uzoraka vode za piće u letnjem periodu uticalo je na veću zastupljenost uzoraka sa povećanim brojem AMB (6,49% - 9,2%), ukupnih koliformnih bakterija (0,4% - 1,11%), koliformnih bakterija fekalnog porekla (0,65%), enterokoka fekalnog porekla (0,69%) i <i>P. aeruginosa</i> (0,85%) u odnosu na posmatrani zimski period.</p> <p>Sulfitoredujuće klostridije i <i>Proteus</i> vrste nisu identifikovane ni u jednoj ispitivanoj tački vodovodne mreže tokom oba perioda ispitivanja.</p> <p>Dobijeni rezultati ukazuju na prisustvo sezonske promenljivosti mikrobioloških pokazatelja analizirane vode za piće uzorkovane iz vodovodne mreže JKP „Izvor“, Vladimirci, u distributivnom sistemu Mačvanskog okruga.</p>
Datum odbrane: (Popunjava naknadno odgovarajuća služba)	
Članovi komisije: (titula, ime, prezime, zvanje, institucija)	<p>Prof. dr Marijana Carić, redovni profesor, Univerzitet Privredna akademija u Novom Sadu, Fakultet za ekonomiju i inženjerski menadžment u Novom Sadu - mentor i predsednik komisije.</p> <p>Prof. dr Radivoj Prodanović, vanredni profesor, Univerzitet Privredna akademija u Novom Sadu, Fakultet za ekonomiju i inženjerski menadžment u Novom Sadu - mentor.</p> <p>Prof. dr Dragoljub Cvetković, redovni profesor, Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet - član komisije.</p>

Doktorska disertacija

Napomena:	Autor doktorske disertacije potpisao je sledeće Izjave: <ol style="list-style-type: none">1. Izjava o autorstvu,2. Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada i3. Izjava o korišćenju. Ove Izjave se čuvaju na fakultetu u štampanom i elektronskom obliku.
UDK:	628.1.033:628.16(497.11 Mačva)(043.3)

Doctoral dissertation

**UNIVERSITY BUSINESS ACADEMY IN NOVI SAD
FACULTY OF ECONOMICS AND ENGINEERING MANAGEMENT
IN NOVI SAD**

KEY WORD DOCUMENTATION

Document type:	Doctoral dissertation
Author:	Goran Zarić
Menthor (title, first name, last name, position, institution)	Prof. dr Marijana Carić, Full professor, University Business Academy in Novi Sad, Faculty of Economics and Engineering Management in Novi Sad Prof. dr Radivoj Prodanović, Associate professor, University Business Academy in Novi Sad, Faculty of Economics and Engineering Management in Novi Sad
Title:	Analysis of the Situation and Solution Model for Improving the Quality of Drinking Water in Macvan District
Language of text (script):	Serbian language, latin
Physical description:	Pages: 143 Chapters: 7 References: 299 Tables: 9 Illustrations: 10 Graphs: 19 Appendices: 3
Scientific/artistic field:	Industrial Engineering / Engineering Management
Subject, Key words:	Drinking Water, Microbiological Indicators, Water Quality, Water Safety
Abstract (or resume) in the language of the text:	The aim of this doctoral dissertation was to monitor the changes of basic microbiological parameters in drinking water in summer and winter period, and to determine the impact of seasonal variability on the microbiological quality of drinking water in the Macvan district, as well as finding a potential model for a

Doctoral dissertation

	<p>solution to increase water quality. Drinking water samples were sampled daily from the water supply network of public company “Izvor” in Vladimirci, Macvan district, during the summer and winter period. The samples were sampled at the control points of 1 and 2, and at the point where the distribution lines of the potable water as point 3 in Novi Sad. The basic microbiological indicators were analyzed in the water samples, which included the determination of the total number of aerobic mesophilic bacteria (AMB), coliform bacteria, coliform bacteria of fecal origin, enterococci of fecal origin, sulfite-reducing clostridia, <i>Proteus</i> spp. and <i>Pseudomonas aeruginosa</i>. The measurement of the daily temperature of drinking water in the control points was performed individually by water intakes, as well as the determination of the average value of the temperature of drinking water for the summer and winter period.</p> <p>The average increase in the temperature of drinking water in the summer period in relation to the winter period was 3.05 up to 5.67 °C, depending on the observed points of the water supply network.</p> <p>This increase in the temperature of the tested drinking water samples in the summer period affected the higher prevalence of samples with increased number of AMB (6.49% - 9.2%), total coliform bacteria (0.4% - 1.11%), coliform bacteria of fecal origin (0.65%), enterococci of fecal origin (0.69%) and <i>P. aeruginosa</i> (0.85%) in relation to the observed winter period.</p> <p>Sulfite-reducing clostridia and <i>Proteus</i> sp. were not identified at either point in the water supply network during both study periods.</p> <p>The obtained results indicate the presence of seasonal variability of microbiological indicators of the analyzed drinking water sampled from the water supply network of public company “Izvor” in Vladimirci, the Macvan district.</p>
Defended: (The faculty service fills later.)	
Thesis Defend Board: (title, first name, last name, position, institution)	<p>Prof. dr Marijana Carić, Full professor, University Business Academy in Novi Sad, Faculty of Economics and Engineering Management in Novi Sad, mentor and president of the PhD Commission.</p> <p>Prof. dr Radivoj Prodanović, Associate professor, University Business Academy in Novi Sad, Faculty of Economics and Engineering Management in Novi Sad, mentor.</p>

Doctoral dissertation

	Prof. dr Dragoljub Cvetković, Full professor, University of Novi Sad, Faculty of Technology in Novi Sad - member of the Commission.
Note:	The author of the doctoral dissertation signed the following statements: <ol style="list-style-type: none">1. Statement of authorship,2. Statement on the identity of the printed and electronic versions doctoral thesis and3. Statement of use. These Statements are kept at the faculty in printed and electronic form.
UDC:	628.1.033:628.16(497.11 Mačva)(043.3)

Doktorska disertacija

Goran Zarić

SPIŠAK PUBLIKOVANIH RADOVA U KOJIMA JE PRIKAZAN DEO REZULTATA DOKTORSKE DISERTACIJE

1. **Zarić G.**, Cocoli S., Šarčević Đ., Vještica S., Prodanović R., Puvača N., Carić M. **(2022)**. *Escherichia coli* as Microbiological Quality Water Indicator: A High Importance for Human and Animal Health. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*. In press **(M23)**
2. **Zarić G.**, Carić M., Prodanović R., Puvača N., Vapa Tankosić J. **(2022)**. Legislative and Legal Framework of Drinking Water Quality in Serbia in Comparison to European Union – Water Policy. *Journal of Agronomy, Technology and Engineering Management*. In press **(M54)**
3. Jovičić M., **Zarić G.**, Milovanović D. **(2012)**. *Značaj informatičkih tehnologija u menadžmentu kvalitetom*. Nacionalna konferencija o kvalitetu života. Narodna biblioteka Srbije, Beograd. **(M63)**

Doktorska disertacija

SADRŽAJ

KLJUČNI PODACI O ZAVRŠNOM RADU	I
KEY WORD DOCUMENTATION	III
SPISAK PUBLIKOVANIH RADOVA U KOJIMA JE PRIKAZAN DEO REZULTATA DOKTORSKE DISERTACIJE	VI
SADRŽAJ.....	VII
IZVOD	9
SUMMARY	10
1. UVOD	11
2. PREGLED LITERATURE.....	13
2.1. Hemijska i fizička svojstva vode	14
2.2. Kruženje vode u prirodi	15
2.3. Značaj vode.....	16
2.4. Higijenski i epidemiološki značaj vode za piće.....	17
2.5. Izvori vode za piće.....	18
2.6. Proizvodnja vode za piće.....	20
2.7. Zagađenje i putevi kontaminacije voda	23
2.8. Higijenska ispravnost vode	24
2.9. Mikrobiološki kvalitet vode	27
2.10. Biološki postupci prečišćavanja vode	43

Doktorska disertacija

3. RADNA HIPOTEZA, CILJ I ZADACI ISTRAŽIVANJA	48
3.1. Radna hipoteza.....	48
3.2. Cilj istraživanja	48
3.3. Zadaci istraživanja	49
4. MATERIJAL I METODE RADA.....	50
4.1. Uzorci vode za piće.....	50
4.1.1. Hranjive podloge, rastvori i hemikalije	51
4.2. Uzorkovanje i transport uzoraka vode za piće	51
4.3. Određivanje fizičkih, fizičko-hemijskih i hemijskih parametara u vodi za piće	52
4.4. Određivanje osnovnih mikrobioloških pokazatelja u vodi za piće	54
4.4.1. Ukupan broj aerobnih mezofilnih bakterija	54
4.4.2. Određivanje ukupnog broja koliformnih bakterija	55
4.4.3. Određivanje fekalnih koliformnih bakterija	57
4.4.4. Određivanje <i>Escherichia coli</i>	58
4.4.5. Određivanje <i>Proteus</i> spp.	59
4.4.6. Određivanje fekalnih enterokoka	60
4.4.7. Određivanje sulfitoredukujućih klostridija	61
4.4.8. Odrađivanje <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	62
4.5. Statistička obrada rezultata	63
5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA SA DISKUSIJOM	64
6. ZAKLJUČAK.....	94
LITERATURA.....	97
BIOGRAFIJA.....	138
PRILOG 1.....	139
PRILOG 2.....	140
PRILOG 3.....	141

IZVOD

Cilj doktorske disertacije bio je praćenje promena osnovnih mikrobioloških parametara u vodi za piće u letnjem i zimskom periodu i utvrđivanje uticaja sezonske promenljivosti na mikrobiološki kvalitet vode za piće u distributivnom sistemu Mačvanskog okruga, kao i iznalaženje potencijalnog modela za rešenje povećanja kvaliteta vode. Uzorci vode za piće su uzorkovani svakodnevno iz vodovodne mreže JKP „Izvor”, Vladimirci, tokom letnjeg i zimskog perioda. Uzorci su uzorkovani u kontrolnim tačkama 1 i 2, kao i u tački 3 vodovodne mreže na teritoriji grada Novog Sada. U uzorcima vode analizirani su osnovni mikrobiološki indikatori, koji su obuhvatali određivanje ukupnog broja: aerobnih mezofilnih bakterija (AMB), koliformnih bakterija, koliformnih bakterija fekalnog porekla, enterokoke fekalnog porekla, sulfitoredukujuće klostridije, *Proteus* spp. i *Pseudomonas aeruginosa*. Izvedeno je i merenje dnevne temperature vode za piće u kontrolnim tačkama pojedinačno po mernim mestima, kao i utvrđivanje prosečne vrednosti temperature vode za piće za letnji i zimski period.

Prosečan porast temperature vode za piće u letnjem periodu u odnosu na zimski iznosio je od 3,05 do 5,67 °C u zavisnosti od posmatranih tačaka vodovodne mreže.

Povećanje temperature ispitivanih uzoraka vode za piće u letnjem periodu uticalo je na veću zastupljenost uzoraka sa povećanim brojem AMB (6,49% - 9,2%), ukupnih koliformnih bakterija (0,4% - 1,11%), koliformnih bakterija fekalnog porekla (0,65%), enterokoka fekalnog porekla (0,69%) i *P. aeruginosa* (0,85%) u odnosu na posmatrani zimski period.

Sulfitoredukujuće klostridije i *Proteus* vrste nisu identifikovane ni u jednoj ispitivanoj tački vodovodne mreže tokom oba perioda ispitivanja.

Dobijeni rezultati ukazuju na prisustvo sezonske promenljivosti mikrobioloških pokazatelja analizirane vode za piće uzorkovane iz vodovodne mreže JKP „Izvor”, Vladimirci, u distributivnom sistemu Mačvanskog okruga.

SUMMARY

The aim of this doctoral dissertation was to monitor the changes of basic microbiological parameters in drinking water in summer and winter period, and to determine the impact of seasonal variability on the microbiological quality of drinking water in the Macvan district, as well as finding a potential model for a solution to increase water quality. Drinking water samples were sampled daily from the water supply network of public company "Izvor", Vladimirci in Macvan district, during the summer and winter period. The samples were sampled at the control points of 1 and 2, and at the point where the distribution lines of the potable water as point 3 in Novi Sad. The basic microbiological indicators were analyzed in the water samples, which included the determination of the total number of aerobic mesophilic bacteria (AMB), coliform bacteria, coliform bacteria of fecal origin, enterococci of fecal origin, sulfite-reducing clostridia, *Proteus* spp. and *Pseudomonas aeruginosa*. The measurement of the daily temperature of drinking water in the control points was performed individually by water intakes, as well as the determination of the average value of the temperature of drinking water for the summer and winter period.

The average increase in the temperature of drinking water in the summer period in relation to the winter period was 3.05 up to 5.67 °C, depending on the observed points of the water supply network.

This increase in the temperature of the tested drinking water samples in the summer period affected the higher prevalence of samples with increased number of AMB (6.49% - 9.2%), total coliform bacteria (0.4% - 1.11%), coliform bacteria of fecal origin (0.65%), enterococci of fecal origin (0.69%) and *P. aeruginosa* (0.85%) in relation to the observed winter period.

Sulfite-reducing clostridia and *Proteus* sp. were not identified at either point in the water supply network during both study periods.

The obtained results indicate the presence of seasonal variability of microbiological indicators of the analyzed drinking water sampled from the water supply network of public company "Izvor", Vladimirci in the Macvan district.

1. UVOD

Za opstanak, odnosno održavanje života svih živih organizama na planeti, biljnih i životinjskih vrsta, voda je esencijalni i nezamenljivi element, te je neophodan njen zadovoljavajući kvalitet, visoka zdravstvena bezbednost, kao i da je bude u dovoljnim količinama (Hardberger, 2005; Karr & Chu, 2000). Svetska zdravstvena organizacija (WHO) zdravstvenu bezbednost pijaće vode, kao i vodosnabdevanje, odnosno distribuciju vode svrstava u osnovne faktore zdravstvenog stanja populacije jedne zemlje (Pittet et al., 2008).

Zbog velikog epidemiološkog značaja vode, čiji je uticaj direktan, jer se preko nje mogu preneti različite zarazne bolesti ili uneti štetne i opasne hemijske materije, neophodno je u cilju zaštite zdravlja ljudi kontrolisati kvalitet vode za piće (Du et al., 2021; Usman et al., 2019; H. Wang & Yu, 2014). Zato se voda iz prirodnih izvora mora prečišćavati i dezinfikovati, pre nego bude puštena u vodovodni sistem. Voda iz sistema javnog snabdevanja podleže kontinuiranim proverama, a njenu higijensku ispravnost, odnosno zdravstvenu bezbednost, regulišu pravilnici.

Najčešći, odnosno najzastupljeniji zdravstveni rizik povezan sa vodom za piće je kontaminacija patogenim mikroorganizmima, koji kod čoveka izazivaju različita oboljenja, od blagih gastroenteritisa do ozbiljnih dijareja, tifusa, kolere, žutice ili dizenterije (Puvača & de Llanos Frutos, 2021). Najveću opasnost u vodi za piće predstavljaju mikroorganizmi humanog porekla, kao što su fekalije (Wingender & Flemming, 2011). Voda se može zagaditi fekalijama iz urbane kanalizacije i iz

Doktorska disertacija

septičkih jama, ako one dospeju u podzemne rezervoare vode za piće (Paruch & Mæhlum, 2012).

Rezultati praćenja i merenja kvaliteta vode, kako neprerađene vode, tako i vode za piće, predstavljaju proveru koliko uspešno funkcionišu sve barijere i primenjene preventivne mere (Hrudey et al., 2006; Rodriguez et al., 2009). Higijenska ispravnost vode za piće utvrđuje se sistematskim monitoringom, čiji je broj i obim određen Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode za piće (Schwemlein et al., 2016).

Vrsta i broj određenih mikroorganizama - indikatora mikrobiološke kontaminacije vode za piće u skladu sa propisanim zakonskim normama, određuje ispravnost i pogodnost vode za piće (Bartram et al., 2014). Na stanje vode sa biološkog aspekta utiče pre svega pravilna prerada vode i održavanje određene koncentracije rezidualnog hlora u sistemu (Oteng-Peprah et al., 2018). Međutim i fizički parametri poput temperature, mogu da utiču na rast mikroorganizama (Stanaszek-Tomal, 2020). Zato praćenje sezonske promenljivosti mikrobioloških parametara može da pruži informacije o stanju kvaliteta i promenama vode tokom cele godine (Horvat et al., 2021; Singh et al., 2004). U skladu sa tim, mogu da se primene dodatne mere predostrožnosti i da se te promene u vodi održavaju na nivou dozvoljenih granica.

Na osnovu gore navedenog, cilj ovog doktorskog rada bio je da se ispita uticaj sezonskih promena temperature na mikrobiološke indikatore u vodi za piće u distributivnom sistemu Mačvanskog okruga.

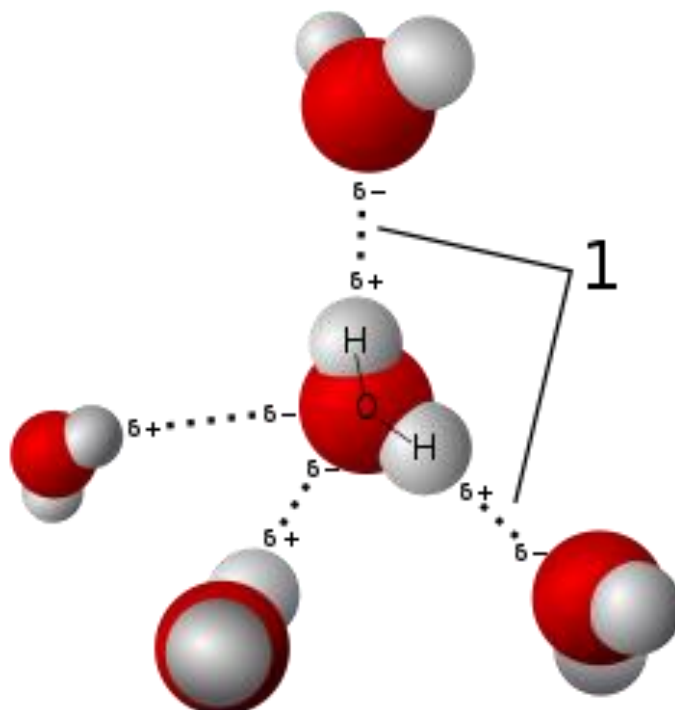
2. PREGLED LITERATURE

Od davnina se govorilo da je voda osnovni princip i izvor svega što postoji, kao i da je iz vode sve nastalo i da se u vodu sve vraća (Blackstock, 2001). Voda je beskonačna, večna materija, koja se kreće, zgušnjava i razređuje i tako nastaju sve pojave. Gde nema vode, tu nema ni života (Ball, 2017; Chaplin, 2001). Voda je prva potreba čoveka, koju on mora trajno da obezbedi, pre nego što počne da gradi svoje stanište. Stari Egipćani i stanovnici Mesopotamije su, takođe, prepoznali da je voda ključni uslov opstanka civilizacije. Najstariji poznati bunari potiču iz Mesopotamije (oko 4 000 godine p.n.e), a prva vodovodna mreža izgrađena je u Jerusalimu za vreme Solomona, 1000 god. p.n.e. (Henze, 2000). Voda je najrasprostranjenija materija na Zemlji, osnovni uslov života i mesto, gde je nastao život (Miller & Urey, 1959).

Voda predstavlja izvor života, jer su iz nje proizišli najstariji organizmi (Wald, 1964). Kada su prvobitni organizmi krenuli iz okeana da žive na kopnu, glavni faktor za njihovo preživljavanje bilo je upravo sprečavanje dehidracije. Voda je živim organizmima neophodna za opstanak, jer je osnovna materija za obavljanje svih fizičko-hemijskih procesa u organizmu. Pored navedene osnovne gradivne funkcije svih živih bića značaj vode ogleda se i u održavanju lične higijene, za pripremu hrane kako u prehrambenoj industriji, tako i u domaćinstvima, neophodna je u poljoprivredi, u energetici kao i u svim granama industrije (Hamdy et al., 2003; Rijsberman, 2006). Procenjeno je da čovečanstvo potroši na godišnjem nivou 4 000 km³ vode (Hogeboom et al., 2020). Od ukupne količine vode najviše se potroši u poljoprivredi, potom industriji i domaćinstvu (Flörke et al., 2013; Gulati & Bathla, 2001; Yu et al., 2010; Zhong et al., 2018).

2.1. Hemijska i fizička svojstva vode

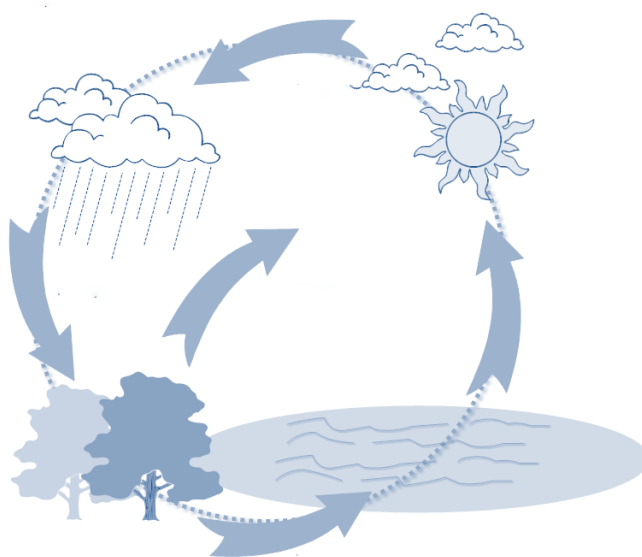
Voda ima vrlo jednostavnu atomsku strukturu. Ona je jedinjenje koje sadrži dva atoma vodonika vezana za jedan atom kiseonika (Slika 1). Priroda atomske strukture vode omogućuje da njeni molekuli imaju jedinstvena elektrohemijska svojstva. Vodonična strana molekula vode ima blago pozitivno naelektrisanje (Paesani & Voth, 2009). Na drugoj strani molekula postoji negativno naelektrisanje. Ovaj molekularni polaritet dovodi do toga da je voda dobar rastvarač i odgovoran je za njen snažni površinski napon (Y. Wang et al., 2018). Voda je jedina supstanca na Zemlji, koja postoji u sva tri fizička stanja materije: u čvrstom, tečnom i gasovitom stanju. Tečna voda je univerzalni rastvarač. U stanju je da rastvori veliki broj različitih hemijskih jedinjenja (M. V. Fedorov & Kornyshev, 2014).



Slika 1. Polarnost molekula vode.

2.2. Kruženje vode u prirodi

Utvrđeno je da više od 70% površine planete Zemlje zauzima voda (Pekel et al., 2016). Na Zemlji se nalazi oko 1,4 milijarde km³ vode, od kojih je tek oko 0,8% od ukupne količine dostupno za ljudsku upotrebu. Od ukupnih zaliha vode na zemlji 97,5% pripada slanim vodama, a 2,5% slatkim vodama u koje spadaju reke i jezera (< 1%). Voda mora i okeana, kopna i atmosfere se pod uticajem Sunca i Zemljine težine nalazi u stalnom kruženju - hidrološki ciklus (Slika 2). Voda u prirodi stalno kruži i prolazi kroz cikluse eksploatacije, upotrebe, ispuštanja nakon korišćenja i povratka u ciklus u vidu atmosferske ili tekuće vode (Richardson & Wilson, 2002). Međutim, voda se u toku ciklusa kruženja menja, odnosno opterećuje se štetnim materijama i zagađivačima biološkog, hemijskog ili radiološkog porekla. Kao osnovni ciljevi koncepta održivog razvoja ističu se očuvanje preostalih zaliha čiste vode i smanjenje zagađenja tokom njene eksploatacije, budući da sva živa bića na Zemlji direktno zavise od dostupnosti vode, njenog kvaliteta i zdravstvene bezbednosti (Richardson & Wilson, 2002; Stocker & Wright, 1991).



Slika 2. Ciklus vode u prirodi.

2.3. Značaj vode

Oko 70% čovekove telesne mase čini telesna tečnost, koja obezbeđuje metabolizam i funkcionalnost tela, dok voda u telu ima funkciju razgradnje materija i njihov transport kroz organizam (Tabela 1). Uz pomoć vode odvija se varenje i apsorpcija unetih materija i kiseonika u organizam, kao i izbacivanje nepoželjnih proizvoda metabolizma (Benelam & Wyness, 2010). Voda u organizmu održava krvni pritisak, gustinu krvi, neophodna je za funkciju mišića i organa (Wilcock et al., 2006). U slučaju gubitka vode iz organizma, procenjeno je da su četiri dana optimalno vreme za održavanje života. Usled gubitka vode u organizmu dolazi do fizioloških poremećaja, pa i do letalnog ishoda ukoliko organizam ne zadovolji svoje potrebe za izgubljenom vodom (Ferry, 2005; Naghii, 2000; von Duvillard et al., 2004). Zvanična preporuka o potrebama vode, koju je objavila Evropska agencija za sigurnost hrane 2010. godine iznosi 2,5 l/dan za muškarce i 2 l/dan za žene (EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies (NDA), 2010).

Tabela 1. Udeo vode u odabranim organima, tkivima i telesnim tečnostima, %.

	Sadržaj vode
Mozak	76 - 80
Krv i krvna plazma	82
Pluća	90
Mišići	75 - 78
Kosti	25
Masno tkivo	10 -15
Zubi	2

Uloga vode je nezamenjiva u živom organizmu, ali njen značaj se ogleda i u održavanju lične i opšte higijene, u proizvodnji hrane, u poljoprivredi i svim granama

Doktorska disertacija

industrije (Bogardi et al., 2012). S obzirom da voda učestvuje u svim procesima proizvodnje hrane u prehrambenoj industriji, ali i u ugostiteljstvu, kuhinjama društvene ishrane i domaćinstvima, ona ima veliki sanitarni i ekonomski značaj i samim tim je važna za privredni život svake zemlje (Hutton et al., 2007). U prehrambenoj industriji primenjuje se u tehnološkim procesima proizvodnje hrane, za procese pasterizacije ili sterilizacije ili se koristi u obliku vodene pare za vreme blanširanja, za higijenu i sanitaciju pogona (Niemczynowicz, 1999). Voda zauzima značajno mesto u prehrambenoj industriji, posebno u preradi voća i povrća, proizvodnji alkoholnih i bezalkoholnih pića, proizvodnji piva, proizvodnji šećera, proizvodnji skroba, proizvodnji kvasca. Koristi se i u mlekerskoj industriji, u klanicama, uljarama. Značajno je istaći, da kada je u pitanju prehrambena industrija, voda mora biti odgovarajućeg kvaliteta, a ponekad se voda iz vodovoda mora dodatno obraditi, kao mera sigurnosti ili zbog zahteva procesa (Rosegrant et al., 2002). Kvalitet vode se prilagođava vrsti prehrambene industrije. Kada se voda koristi kao sastojak hrane, ona mora biti bez neželjenih mirisa, ukusa, boje i nečistoća, koje mogu biti štetne za potrošače i kvalitet proizvoda i direktno uticati na kvalitet proizvoda (Bhagwat, 2019).

2.4. Higijenski i epidemiološki značaj vode za piće

Voda predstavlja medijum kojim se lako prenose mikroorganizmi koji mogu imati štetno delovanje na zdravlje čoveka (Ana Maria de Roda Husman, 2013; Vaerewijck et al., 2005). Hidričke bolesti su posledica konzumiranja neobrađene ili neadekvatno obrađene vode za piće ili vode, koja je naknadno kontaminirana u distributivnom sistemu (Blackburn et al., 2004, pp. 2001–2002; Gleeson & Gray, 2003; Levy et al., 1998, pp. 1995–1996; Liang et al., 2006, pp. 2003–2004).

Doktorska disertacija

U vodi mogu biti prisutni:

- Bakterije: *Echerichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Vibrio cholerae*, *Aeromonas* spp., *Salmonella* spp., i dr. (Allen et al., 2004)
- Virusi: adenovirus, rotavirus, hepatovirus, parvovirus, enterovirusi, noro virus (Gall et al., 2015)
- Paraziti: *Entamoeba hystolitica*, *Giardia intestinalis*, *Cryptosporidium parvum* (Hikal, 2020; Omarova et al., 2018)
- Nematode: *Dracunculus medinensis* (Kos et al., 2020)
- Cijanobakterije: *Spirulina*, *Nostoc*, *Microcystis*, *Anabaena*, *Oscillatoria* (Cheung et al., 2013).

Vodom se mogu prenositi uzročnici zaraznih bolesti poput: trbušnog tifusa, paratifusa, bacilarne dizenterije, kolere, bruceloze, leptospiroze, tularemije, poliomijelitisa, hepatitisa A i E (Gerardi & Zimmerman, 2005). Neobrađena ili nedovoljno obrađena voda za piće je glavni uzrok oboljenja u zemljama u razvoju (Pavlov et al., 2004). Svake godine približno 3,4 miliona ljudi, uglavnom dece, umire od bolesti povezanih sa vodom (Malhotra et al., 2015; Osiemo et al., 2019).

2.5. Izvori vode za piće

Grčki lekar Hipokrat je rekao: „Voda mnogo doprinosi zdravlju“. Hipokrat se više usredsredio na odabiru što čistijeg izvorišta vode, nego na prečišćavanju manje prihvatljivih izvora (Hall & Dietrich, 2000). Takvo gledište se u principu zadržalo i do danas. Društva da bi obezbedila ispravnu pijaću vodu, moraju na različite načine da rešavaju probleme vodosnabdevanja. U cilju dobijanja dovoljne količine vode za piće, koriste se podzemne, površinske i atmosferske vode. Da bi snabdevanje stanovništva

Doktorska disertacija

zdravstveno ispravnom vodom bilo moguće, neophodno je na prvom mestu izvršiti pravi odabir izvora vode za piće, kao i obezbediti odovarajuće zaštitne mere odabranog izvora. Smatra se da je pravilan izbor izvorišta od najveće važnosti za snabdevanje zdravstveno ispravnom vodom za piće, ali isto tako važna je i zaštita izvorišta od kontaminacije (M. Smith & Reed, 1991).

Voda koja se koristi za vodosnabdevanje može da potiče iz različitih izvora, koji su Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode (Sl. list SRJ br. 42/98 i 44/99 i Sl. glasnik RS br. 28/2019) definisani na sledeći način:

- Prirodne vode zatvorenih izvorišta su: higijenski kaptirana prirodna vrela i izvori (česme);
- Podzemne vode, koje na površinu izbijaju pod povećanim pritiskom (arteški bunar) ili se mehanički izvlače pomoću zatvorenih higijenskih sistema (subarteški bunari), podzemne vode higijenski kaptirane za vodovodne sisteme;
- Prirodne vode otvorenih izvorišta su: nekaptirana vrela, izvori; vodotoci I i II klase, jezera i akumulacije, ako se koriste za snabdevanje vodom za piće; kopani bunari i cisterne;
- Akumulacije - veštački izgrađen sistem za sakupljanje vode, koja se koristi za javno snabdevanje stanovništva vodom za piće posle odgovarajućeg prečišćavanja i dezinfekcije.

Pre izbora novog prirodnog izvorišta vode namenjenog za piće, važno je utvrditi da li je kvalitet vode zadovoljavajući i da li se voda može preraditi za piće, kao i da li je izvor dovoljno izdašan da bi se koristio u kontinuitetu, ako se uzmu u obzir dnevne i sezonske varijacije, kao i predviđeni rast potrošnje za neki naredni period (Horvat et al., 2021; Malhotra et al., 2015; Osiemo et al., 2019).

2.6. Proizvodnja vode za piće

Sirova voda, odnosno voda koja se putem izvora koristi za potrebe snabdevanja stanovništva nikad nije u potpunosti čista. Ona uvek sadrži, manje ili više, različite materije u rastvorenom i suspendovanom stanju, a koje su unešene sa površine litosfere, ili kroz atmosferu. U vodi, takođe, mogu da se nađu, unešene različite vrste zagađenja. Da bi se utvrdilo prisustvo pojedinih supstanci u sirovoj vodi, potrebno je propisno uzeti uzorke vode i izvršiti odgovarajuće analize čije je rezultate potom potrebno uporediti sa važećim standardima vode za piće (Cook et al., 2001; Ort et al., 2010; Young et al., 1996).

Voda za pojedine svrhe se mora "proizvoditi", jer sirova voda, po svojim karakteristikama i po kvalitetu, u najvećem broju slučajeva nije prihvatljiva za određenu namenu (Ghaffour et al., 2013). Da bi mogla da se koristi voda treba da ispunjava sledeće uslove: da je bez prisustva patogenih mikroorganizama, bez štetnih materija, bez štetnih gasova, bez toksičnih metabolita biološkog porekla, bez korozivnog dejstva, bez mirisa, da bude odgovarajućeg ukusa, dovoljno meka, dovoljno hladna i da je ima u dovoljnim količinama (Ramírez-García et al., 2019; Sciacca & Conti, 2009).

Postrojenja za pripremu vode nose naziv "Fabrike vode". Koja će tehnologija biti upotrebljena za pripremu vode, zavisi od kvaliteta vode izvorišta i traženog kvaliteta finalne vode. Narušavanje kvaliteta sirove vode se poslednjih godina sve intenzivnije dešava, i stoga standardne metode prerade, ne mogu da obezbede neophodan kvalitet krajnjeg proizvoda (Fritzmann et al., 2007). Iz tog razloga, u novije vreme, usavršavaju se postojeće i uvode nove tehnologije pripreme vode za piće (Gwenzi et al., 2017).

Fabrike za proizvodnju vode treba da imaju uveden sistem za Analizu Opasnosti i Kritične Kontrolne Tačke (HACCP), kojim se kontrolišu i definišu operacije koje odgovaraju specifičnim uslovima proizvodnje i imaju za cilj da osiguraju bezbednost vode u svakom procesnom koraku (Buchanan & Whiting, 1998). HACCP je priznat od strane WHO, kao najefikasnije sredstvo u kontroli bolesti izazvanih hranom u koju svrstavamo i vodu (Bartram et al., 2014).

Doktorska disertacija

Postupci obrade vode (Slika 4) obuhvataju sledeće korake:

1. Bistrenje

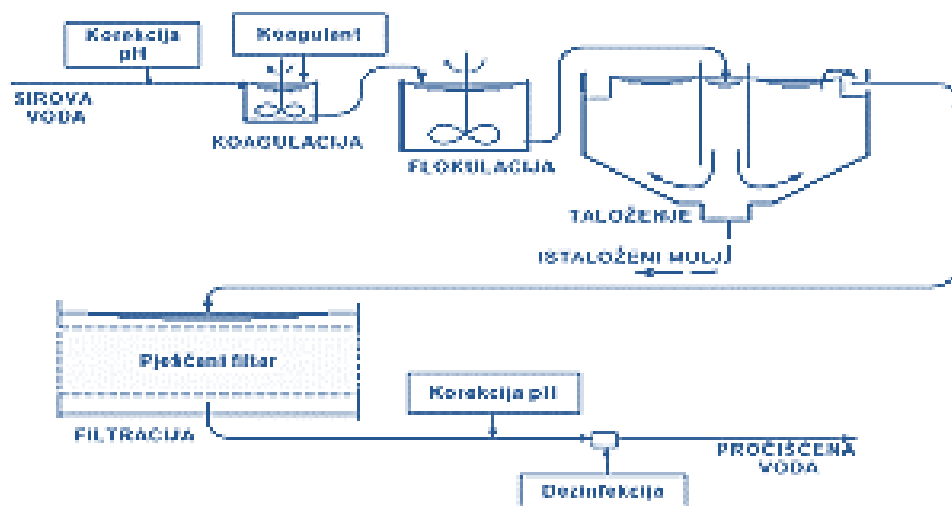
- Prirodna sedimentacija
- Flokulacija (koagulacija)
- Centrifugalno taloženje
- Filtracija kroz šljunčane i peščane filtre
- Flotacija

2. Izdvajanje mineralnih sastojaka

3. Uklanjanje rastvorenih gasova

4. Dezodorizacija

5. Dezinfekcija



Slika 4. Primer postupka prečišćavanja sirove vode u vodu za piće.

Bistrenjem se kao prvim korakom u preradi vode uklanjaju mutnoće uz upotrebu različitih fizičkih (mehaničkih) postupaka: sedimentacija, flokulacija, centrifugiranje, filtracija, aeracija, ali i mnogi drugi. Koji će se postupak primeniti zavisi od karakteristika otpadne vode i traženog stepena prečišćavanja.

Doktorska disertacija

Široko utemeljene metode za prečišćavanja vode pomoću kojih se vrši uklanjanje makrosuspendovanih i mikrosuspendovanih čestica iz vode, bilo da su organskog ili neorganskog porekla, nazivaju se mehaničke metode prečišćavanja.

Procesom prirodne sedimentacije suspendovane čestice se talože usled gravitacije.

Termini koagulacija i flokulacija se ponekad zamenjuju i koriste dvosmisleno što nije preporučljivo. Koagulacija je proces u toku kojeg koloidne čestice dispergovane u vodi gube stabilnost i sjedinjavaju se formirajući agregate, koji potom pod dejstvom sile počinju da se talože. Flokulacija je proces sjedinjavanja čestica nastalih koagulacijom usled čega se formiraju veći koagulati. Najčešće korišćeni koagulanti su aluminijum sulfat, aluminijum hlorid, gvožđe sulfat i gvožđe hlorid (Busuladžić, 2009).

Centrifugiranje je metoda za izdvajanje čestica iz suspenzije usled delovanja centrifugalne sile. Filtracija je proces kojim se odstranjuju preostale čestice upotrebom različitih filtera (šljunčani, peščani).

Flotacija je postupak isplivavanja čestica na površinu zajedno sa mehurovima vazduha nakon čega se uklanjaju.

Izdvajanje mineralnih sastojaka uklanjaju se bikarbonati ili se smanjuje ukupna tvrdoća vode.

Uklanjanjem rastvorenih gasova iz vode vrši se odstranjivanje kiseonika, ugljendioksida (CO_2), amonijaka (NH_4) i drugih gasova.

Dezodorizacija je proces kojim se uklanjaju organske i neorganske materije koje dovode do pojave neprijatnog mirisa i ukusa vode.

Dezinfekcija je krajnji proces kojim se vrši uništenje bakterija, virusa i protozoa u cilju sprečavanja prenosa bolesti putem vode. Za dezinfekciju vode koriste se fizičke, hemijske i biološke metode. U praksi se najčešće primenjuje hemijska metoda upotrebom hlora, što zbog svoje najveće efikasnosti, tako i zbog mogućnosti naknadnog delovanja u distribucionoj mreži, čime se sprečava razvoj mikroorganizama (Busuladžić, 2009).

Koji će se procesi u tehnologiji vode koristiti može se sagledati tek nakon što budemo upoznati sa kvalitativnim karakteristikama vode koja ulazi u proizvodni

Doktorska disertacija

proces i sa zahtevima koje prerađena voda treba ispuniti. S tim u vezi, mogu se upotrebiti različiti procesi prerade vode, koje daju iste efekte (Olajire, 2020).

Da bi se obezbedila ispravna voda za piće, potrebno je stalno praćenje kvaliteta vode na ključnim tačkama u vodosnabdevanju (izvorište, faze prerade, rezervoari i distributivna mreža) određivanjem najznačajnijih fizičko-hemijskih i mikrobioloških parametara (Chilundo et al., 2008; Obi et al., 2007; Palamuleni & Akoth, 2015; Sasakova et al., 2018; Zamxaka et al., 2004).

Klašnja (2000) u svom radu posebno potencira značaj vode za proizvodne procese u prehrambenoj industriji. On se bavio problematikom sistema vodosnabdevanja i uticajem otpadnih voda prehrambene industrije na životnu sredinu. Klašnja (2000), kao najvažnije aspekte upravljanja vodom, kao resursom za industriju, navodi obezbeđenje dostupnosti vode za prehrambenu industriju; upravljanje kvalitetom vode i načinima pripreme vode za upotrebu (higijenski standardi, zdravstvena bezbednost vode; poboljšanje kvaliteta dostupne vode), kao i odgovorno upravljanje otpadnom vodom iz prehrambene industrije (smanjivanje količine otpadne vode, prečišćavanje itd.),

2.7. Zagađenje i putevi kontaminacije voda

Ljudskom aktivnošću dolazi do zagađivanja vodenih izvora i na taj način se umanjuje upotrebljivost vode kao resursa (Ako et al., 2012). Zagađivanje vode predstavlja kvalitativnu i kvantitativnu promenu njenih fizičkih, hemijskih i bioloških svojstava (de Paul Obade & Moore, 2018; Sadiq et al., 2007). Zagađenost voda je najviše posledica antropogenog uticaja i sve više predstavlja opšti-međunarodni problem (Trouwborst, 2007).

U današnje vreme kao najveći zagađivači voda izdvajaju se:

- gradske otpadne vode iz kanalizacije (Azizullah et al., 2011),
- otpadne vode industrije (Bhatti et al., 2011),
- proizvodi hemijske industrije (Alemayehu, 2000),
- nafta i njeni derivati (Knight et al., 1999),

Doktorska disertacija

- deponije industrijskog komunalnog otpada (Jaskelevičius & Lynikiene, 2009).

Kao glavni izvor kontaminacije voda smatraju se neprečišćene i komunalne otpadne vode (Preisner, 2020). Voda se takođe zagađuje i sve intezivnijom poljoprivrednom proizvodnjom zbog primene pesticida i veštačkih đubriva (World Health Organization et al., 2020).

Podzemne vode među prirodnim resursima zauzimaju posebno mesto i zbog toga je njihova zaštita i briga o njima prioritet (Lapworth et al., 2012). Kada se jednom podzemna voda zagadi, posledice su dugotrajne, a njihovo prečišćavanje povlači za sobom ogromne troškove, iz tog razloga od velikog značaja je sprečiti da dođe do njihovog zagađenja. Iako su podzemne vode bolje zaštićene od kontaminacije od površinskih voda, mogućnosti zagađenja su, takođe, brojna i raznovrsna, pre svega pod uticajem antropogenog faktora, ali i prirodnih procesa (Postel, 2003). Do sada je naučno dokazano da su zagađenost podzemnih i površinskih voda u direktnoj korelaciji i da su u velikoj meri rezultat kontaminacije otpadnih voda iz naselja i industrije, zemljišta, ali i usled spiranja zagađenja sa poljoprivrednih površina i saobraćajnica (Lamastra et al., 2016; Shankar et al., 2011; V. & Mandar V., 2009).

2.8. Higijenska ispravnost vode

Higijenska ispravnost vode za piće ne sme da se dovodi u pitanje, odnosno voda za piće mora zadovoljavati propisane zahteve u pogledu mikrobioloških, fizičko-hemijskih, hemijskih i radioloških karakteristika (Antonić et al., 2011). U Republici Srbiji je higijenska ispravnost vode za piće definisana Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode za piće (Sl. list SRJ", br. 42/98 i 44/99 i "Sl. glasnik RS", br. 28/2019), koji je napravljen na osnovu rezultata naučnih istraživanja o uticaju pojedinih komponenti, koje voda za piće može da sadrži.

Osnovni zadatak nadležnih struktura je obezbediti stabilno snabdevanje stanovništva higijenski ispravnom, odnosno zdravstveno bezbednom vodom za piće (Gleick, 1993, 1998). Svi ljudi, bez obzira na stepen njihovog ekonomskog, socijalnog ili pak kulturnog razvoja, imaju pravo na pristup dovoljnim količinama kvalitetne

Doktorska disertacija

vode za piće, radi zadovoljavanja njihovih osnovnih životnih potreba (Hildering, 2004; Oliveira, 2017).

Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće (Službeni list SRJ, br. 42/98 i 44/99 i "Sl. glasnik RS", br. 28/2019) Republike Srbije, kako je navedeno u članu 1:" Propisuje higijensku ispravnost vode za piće, koja se distribuira kroz vodovodni sistem za potrebe stanovništva, ili za proizvodnju prehrambenih proizvoda namenjenih tržištu". Osnovni parametri kvaliteta pijaće vode, koji su predmet rigoroznih kontrola, su fizičke, hemijske i mikrobiološke prirode.

Osnovni fizički parametri kvaliteta pijaće vode su:

- temperatura vode,
- boja,
- miris,
- ukus,
- mutnoća,
- suspendovane materije.

Od hemijskih pokazatelja kvaliteta najčešće se ispituju:

- reakcija vode (pH), alkalitet i aciditet,
- sadržaj rastvorenih gasova,
- tvrdoća vode,
- hemijska (HPK) i biohemijska (BPK) potrošnja kiseonika,
- sadržaj makronutrijenata: različitih formi azota (ukupni azot, amonijak, nitriti, ukupni azot po Kjeldahlu) i fosfora (ukupni fosfor, ortofosfati),
- teški metali.

Mikrobiološki pokazatelji obuhvataju pregled sledećih parametara:

- ukupnih koliformnih bakterija,
- koliformnih bakterija fekalnog porekla,
- ukupnog broja aerobnih mezofilnih bakterija,
- Enterokoka fekalnog porekla,
- *Proteus* vrsta,
- sulfitoredujućih klostridija,

Doktorska disertacija

- *Pseudomonas aeruginosa*,
- Enterovirusa,
- Bakteriofaga,
- Crevnih protozoa i helmita i njihovih razvojnih oblika,
- Feruginoza.

Tabela 2. Mikrobiološki pokazatelji po vrstama laboratorijskih pregleda (Sl. list SRJ br. 42/98 i 44/99 i Sl. glasnik RS br. 28/2019).

Osnovni	Periodični	Novi zahvati vode	Higijensko epidemiološke indikacije
1. Ukupne koliformne bakterije	1. Ukupne koliformne bakterije	1. Ukupne koliformne bakterije	1. Ukupne koliformne bakterije
2. Koliformne bakterije fekalnog porekla	2. Koliformne bakterije fekalnog porekla	2. Koliformne bakterije fekalnog porekla	2. Koliformne bakterije fekalnog porekla
3. Ukupan broj aerobnih mezofilnih bakterija	3. Ukupan broj aerobnih mezofilnih bakterija	3. Ukupan broj aerobnih mezofilnih bakterija	3. Ukupan broj aerobnih mezofilnih bakterija
4. Streptokoke fekalnog porekla	4. Streptokoke fekalnog porekla	4. Streptokoke fekalnog porekla	4. Streptokoke fekalnog porekla
5. Sulfitoredukujuće klostridije	5. Sulfitoredukujuće klostridije	5. Sulfitoredukujuće klostridije	5. Sulfitoredukujuće klostridije
6. <i>Proteus</i> vrste	6. <i>Proteus</i> vrste	6. <i>Proteus</i> vrste	6. <i>Proteus</i> vrste
7. <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	7. <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	7. <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	7. <i>Pseudomonas aeruginosa</i>
-	8. Enterovirusi ¹⁾	8. Enterovirusi ³⁾	8. Patogeni mo. prema higijensko-epidemiol. indikacijama
-	9. Bakteriofagi ¹⁾	9. Feruginoze ²⁾	9. Enterovirusi ¹⁾
-	10. Crevne protozoe i helminti i njihovi razvojni oblici	10. Bakteriofagi ³⁾	-
-	-	11. Crevne protozoe ³⁾ i helminti i njihovi razvojni oblici	-

Doktorska disertacija

- 1) *Samo iz površinskih voda, prema higijensko-epidemiološkim indikacijama.*
- 2) *Kvalitativno, ako u vodi ima gvožđa i mangana iznad MDK.*
- 3) *Iz površinskih voda, voda izdani i karstnih vrela.*

Higijenska ispravnost pijaće vode najčešće se utvrđuje:

- osnovnim pregledom,
- proširenim pregledom,
- periodičnim pregledom,
- za nove vodozahvate,
- na osnovu higijensko-epidemiološke indikatora.

Za svaki pregled vode iz sistema javnog snabdevanja uzorci se uzimaju (Sl. list SRJ br. 42/98 i 44/99 i Sl. glasnik RS br. 28/2019):

- 1) iz svakog izvorišta - ako su izvorišta direktno vezana na vodovodnu mrežu, ili iz sabirnog voda, odnosno iz rezervoara sirove vode - ukoliko su oni povezani i čine jedan sistem;
- 2) iz rezervoara pijaće vode;
- 3) iz vodovodne mreže, a broj kontrolnih tačaka određuje se na osnovu broja ekvivalentnih stanovnika.

2.9. Mikrobiološki kvalitet vode

Većina zdravstvenih problema koji su uzrokovani vodom su posledica mikrobne kontaminacije, koja može biti bakterijska i virusna (Akpor et al., 2014; Ashbolt, 2015; James & Joyce, 2004; Pedley & Howard, 1997).

Da bi se obezbedila voda za piće željenog kvaliteta, neophodan je kontinuirano praćenje kvaliteta vode u više tačaka (Khalil & Ouarda, 2009).

Doktorska disertacija

Monitoring kvaliteta vode obuhvata kontrolu:

1. Izvorišta,
2. Rezervoare,
3. Distributivnu mrežu.

Važnu stavku monitoringa kvaliteta vode čini i prerada i dezinfekcija voda (rad fabrike vode), koja se u važećem Pravilniku ne izdvaja kao posebna stavka, ali svakako se prati i proverava.

Na svakoj od ovih tačaka moguća je kontaminacija. Kompletna analitička procedura treba da sadrži informacije o rukovanju uzorcima (prikupljanje, transport i skladištenje), pripremi uzoraka (koncentrat i odvajanje), analizi (metode za identifikovanje i kvantifikovanje komponenti), analitičkoj kontroli kvaliteta (kriterijumi) i izveštavanju analitičkih rezultata (Sliva & Dudley Williams, 2001).

Mikrobiološka ispitivanja su vrlo specifična, jer se mikroorganizmi u vodi nalaze neravnomerno raspoređeni, često vezani za druge čvrste supstance i njihova prosečna koncentracija ne može biti pokazatelj njihove infektivne doze, za razliku od hemijskih parametara, čija se koncentracija direktno podudara sa negativnim posledicama (Adamowicz et al., 2011). Ono što je još karakteristika mikroorganizama u vodi je da nemaju kumulativno dejstvo, a verovatnoća za nastanak infekcije zavisi od osobina patogenog mikroorganizma i imuniteta domaćina (Aparna & Yadav, 2008). Za razliku od fizičko-hemijskih pokazatelja, koji ukazuju na trenutno stanje vode, bioindikator su veoma dobri pokazatelji dugotrajnijeg kvaliteta vode (Yoder & Rankin, 1998).

Kada je u pitanju javno zdravlje, nemaju svi patogeni koji se nađu u vodi za piće isti negativan uticaj. Neki od njih predstavljaju posebnu opasnost i ozbiljan rizik po zdravlje kao što su: *Escherichia coli*, *Salmonella* sp., *Shigella* sp., *Vibrio cholerae*, *Yersinia enterocolitica*, *Campylobacter jejuni*, neki virusi i paraziti (*Giardia* sp., *Cryptosporidium* sp., *Entamoeba histolytica*, *Dracunculus* sp.) i njihovo uklanjanje iz vode predstavlja prioritet (Puvača & de Llanos Frutos, 2021).

Najveću opasnost po zdravlje ljudi, kao što je već ranije napomenuto, predstavlja kontaminacija vode za piće fekalnim materijama, zato je za procenu higijenske ispravnosti vode, potvrda da su prisutne koliformne bakterije u vodi, zapravo potencijalna sumnja da je voda kontaminirana patogenima (Puvača & de

Doktorska disertacija

Llanos Frutos, 2021). Zagađenje vode za piće fekalijama najčešće se realizuje tako što u podzemne rezervoare vode dospeju kanalizacione vode i mulj, te otpadne vode iz domaćinstava, koje se sakupljaju putem septičkih jama, ali zagađenje može nastati i putem površinskih voda u slučaju obilnih padavina (velike količine kiše, poplave, topljenja snega i sl.) (Rizak & Hruđey, 2008).

Neke heterotrofne bakterije, kao što su *Pseudomonas* sp., *Aeromonas* sp., *Bacillus* sp. i *Klebsiella* sp., koje su česte u vodi za piće, mogu da poseduju faktor virulencije, te se iz tog razloga moraju smatrati kao potencijalni izvor zdravstvenih problema, prvenstveno za populaciju sa smanjenim imunitetom (Bujnakova et al., 2022).

Upotreba indeksnih i indikatorskih organizama za procenu mikrobiološkog i sanitarnog kvaliteta voda dobro je uspostavljena i u praksi je već dugo (Busta et al., 2003).

U realnom vremenu nije moguće testirati vodu na sve moguće patogene mikroorganizme. Danas se u praksi vrši ispitivanje osnovnih mikrobioloških indikatora u pijaćoj vodi, kako bi se utvrdio eventualni rizik za javno zdravlje po osnovu potrošnje vode (Edberg et al., 2000).

Prema Pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode za piće ("Sl. list SRJ", br. 42/98 i 44/99 i „Sl. glasnik RS”, br. 28/2019) u osnovne mikrobiološke pokazatelje se ubrajaju:

- ukupan broj koliformnih bakterija,
- koliformne bakterije fekalnog porekla,
- ukupan broj aerobnih mezofilnih bakterija,
- enterokoke fekalnog porekla,
- sulfitoredukujuće bakterije,
- *Proteus* vrste,
- *Pseudomonas aeruginosa*.

Osnovni pregled vode, koji se najčešće sprovodi, ukazuje na prve pokazatelje neispravnosti vode za piće (J. P. S. Cabral, 2010). Kod ovog pregleda mogu se ispitivati i specifični parametri, koji se eventualno očekuju. Ukoliko rutinski pregled pokaže da je vrednost nekog parametra iznad dozvoljene vrednosti, odnosno ukaže na moguću neispravnost, pristupa se periodičnom pregledu, ili nekom specifičnom pregledu po

Doktorska disertacija

indikaciji. Periodični pregled daje obaveštenje da li su zadovoljene sve propisane vrednosti pokazatelja (J. P. S. Cabral, 2010).

Koliformne bakterije se opisuju, kao fakultativne anaerobne, Gram-negativne bakterije koje ne formiraju spore, štapićastog su oblika, stvaraju gas i kiseline tokom fermentacije laktoze na 35 °C, 48 h. Grupa uključuje termotolerantne koliformne bakterije i bakterije fekalnog porekla, kao i neke bakterije, koje mogu biti izolovane iz okoline. Koliformne bakterije pripadaju porodici *Enterobacteriaceae*, a uključuju *E. coli* (Slika 5), *Enterobacter*, *Klebsiella* i *Citrobacter* (Leung et al., 2003). Na oksidaza testu daju negativnu reakciju, a osobina da fermentišu laktozu ih izdvaja od ostalih pripadnika porodice *Enterobacteriaceae*. Koliformne bakterije su grupa indikatorskih mikroorganizama, koji se najduže koriste za procenu mikrobiološkog kvaliteta vode za piće i otpadnih voda (Pujalte et al., 1999). Ukupan broj koliformnih oblika daje opštu indicaciju sanitarnog stanja vodovoda.



Slika 5. Rast *E. coli* na podlozi krvni agar.

Doktorska disertacija

Koliformne bakterije su primarno nepatogene, raširene u prirodi i normalno se nalaze u donjem intestinalnom traktu čoveka i toplokrvnih životinja, gde imaju ulogu u pravilnoj probavi hrane (Gaggia et al., 2010). Koliformi se smatraju indikatorskim organizmima, jer njihovo prisustvo u vodi za piće može na vreme da signalizira na prisustvo patogenih organizama. Oni zapravo alarmiraju nadležne odgovorne strukture za vodosnabdevanje da se obavezno primene preventivne mere, kako ne bi došlo do neželjenih efekata (Byappanahalli et al., 2012). Ukoliko se utvrdi da u vodi za piće ima koliformnih mikroorganizama, nadležni su dužni da utvrde na kom delu vodovodnog sistema je izvor zagađenja, te da adekvatno i efikasno deluju da bi se obezbedila kvalitetna i zdravstveno bezbedna voda za piće (Saxena et al., 2014).

Koliformne bakterije se svrstavaju u indikatorke organizme iz sledećih razloga:

- 1) koliformi su stalno prisutni u crevima čoveka u velikom broju,
- 2) prisustvo koliformnih mikroorganizama direktno je povezano sa prisustvom patogenih bakterija, iako koliformne bakterije normalno žive duže od crevnih patogena,
- 3) koliformne bakterije je lako izolovati u laboratorijskim uslovima,
- 4) koliformne bakterije su primarno nepatogene i njima se lako rukuje (Somaratne & Hallas, 2015).

Kada je reč o *Enterobacter* spp. bakterijama, to su bakterije prečnika 0,6-1,0 μm i dužine 2-3 μm . Stvaraju kiselinu nakon fermentacije glukoze, negativni su na metil crveno, a na Voges-Proskauer test (VP) pokazuju pozitivnu reakciju. Optimalna temperatura za rast im je 30 °C. Karakteristike poput pokretljivosti, kao i određena biohemijska svojstva, uključujući sposobnost sinteze enzima poznatog kao ornitin dekarboksilaza, koriste se za razlikovanje roda *Enterobacter* od vrlo sličnih i blisko povezanih bakterija *Klebsiella*. *Enterobacter* spp. mogu izazvati različita oboljenja, uključujući infekcije očiju i kože, meningitis, bakterijemiju (bakterijska infekcija krvi), upalu pluća i infekcije urinarnog trakta (Sanders & Sanders, 1997; G.-F. Wang et al., 2010; Wąsik & Chmielowski, 2017; B. Zhu et al., 2010).

Klebsiella spp. su nepokretne, obično inkapsulirane štapićaste bakterije. Proizvode lizin dekarboksilazu, ali ne i ornitin dekarboksilazu i generalno su

Doktorska disertacija

pozitivne na VP test, citrat i katalaza test. Pokazuju negativnu reakciju na indol i metil crveno (MR). *Klebsiella* spp. je oportunistička bakterija, koja može da izazove primarnu bakterijemiju, kao i infekciju urinarnog trakta kod ljudi. Čest je uzročnik intrahospitalnih infekcija. U sistemima za distribuciju vode za piće poznato je da kolonizuju podloške u slavinama (Bouza & Cercenado, 2002; Catalán-Nájera et al., 2017; Herridge et al., 2020; Podschun & Ullmann, 1998).

Citrobacter spp. fermentišu glukozu i druge ugljene hidrate. Pokazuju pozitivnu reakciju na katalazu i oksidazu i redukuju nitrate. Većina izolata je pokretna i koristi citrat, kao jedini izvor ugljenika, ali im nedostaje aktivnost ureaze i lizin dekarboksilaze. *Citrobacter* spp. su oportunistički patogeni, kod ljudi mogu dovesti do invazivnih bolesti, uključujući infekcije urinarnog trakta, respiratornog trakta, CNS-a, kože i mekih tkiva (Jacoby et al., 2011; Lavigne et al., 2007; L. Liu et al., 2017; Metri et al., 2013; Samonis et al., 2008).

Fekalne koliformne bakterije su podgrupa ukupnih koliformnih bakterija. Ove bakterije ispunjavaju sve kriterijume, koji se koriste za definisanje ukupnih koliformnih bakterija, uključujući zahtev da rastu i fermentišu laktozu sa proizvodnjom kiseline na 44,5 °C. Iz tog razloga, naučno tačan termin za ovu grupu bi bio "termotolerantni koliformi" (Cabral & Marques, 2006; Cooke, 1976; Jamieson et al., 2003).

E. coli je glavna vrsta u fekalnoj koliformnoj grupi. Ona je najbolji pokazatelj fekalnog zagađenja i mogućeg prisustva patogena. *E. coli* se u skladu sa taksonomskim i funkcionalnim kriterijumima identifikacije enzimski razlikuje od ostalih koliforma zbog nedostatka ureaze i prisustva β -glukuronidaze. Pokazuje pozitivnu reakciju na indol, katalaza testu i MR testu, a negativnu reakciju na ureaza test, VP testu, citrat i oksidaza testu (Cabral & Marques, 2006; Doma et al., 2020; Puvača & de Llanos Frutos, 2021).

E. coli je vrsta koja pripada familiji *Enterobacteriaceae*, Gram-negativna je i broji preko stotinu sojeva. Većina sojeva *E. coli* su nepatogene i nalaze se u crevima ljudi i toplokrvnih životinja, međutim ima sojeva koji mogu izazvati oboljenja. Optimalna temperatura za rast i razvoj *E. coli* je 37 °C, ali dobro se razvija i pri temperaturi od 44 °C, samim tim se svrstava u grupu termotolerantnih koliformnih bakterija. Može se razmnožavati i na temperaturi od 10 °C, a po nekim autorima i na 4 °C pa i niže, ispod

Doktorska disertacija

0 °C. *E. coli* je osjetljiva na hlór i hlorna jedinjenja, dok prema različitim antibioticima i hemoterapeuticima vrlo brzo postaje rezistentna (Edberg et al., 2000; Somaratne & Hallas, 2015).

Identifikovano je nekoliko sereotipova *E. coli* na osnovu različitih faktora virulencije, uključujući: enterohemoragičnu *E. coli* (EHEC), enterotoksigenu *E. coli* (ETEC), enteropatogenu *E. coli* (EPEC), enteroinvazivnu *E. coli* (EIEC), enteroagregativnu *E. coli* (EAEC) i difuzno agregatnu *E. coli* (DAEC) (Edberg et al., 2000; Paruch & Mæhlum, 2012; Puvača & de Llanos Frutos, 2021).

Oboljenja koje izaziva *E. coli* su povezana sa lošim higjenskim uslovima života, kao i lošom higijenom tokom proizvodnje hrane i vode za piće. *E. coli* pripada normalnoj crevnoj flori, međutim, veliki broj bakterijskih infekcija čoveka upravo je izazvan ovom bakterijom i to uglavnom kod ljudi sa oslabljenim imunim sistemom. Infekcije ovom bakterijom mogu biti crevne ili ekstraintestinalne: infekcije urinarnog trakta, sepsa, zapaljenja pluća, upala trbušne maramice, upala slepog creva, itd. (Gross et al., 1988; Karch et al., 2005; Qadri et al., 2005; Sack, 1975).

Samo prisustvo *E. coli* u hrani ili u vodi ne ukazuje direktno na to da su patogeni mikroorganizmi u uzorku, ali ukazuje na to da postoji povećani rizik od prisustva drugih fekalnih bakterija i virusa, od kojih su mnogi patogeni, kao što je *Salmonella* spp. ili virus hepatitisa A, iz tog razloga, *E. coli* se široko koristi kao indikatorski organizam za identifikaciju uzoraka hrane i vode koji mogu sadržati neprihvatljivi nivo fekalne kontaminacije (Li & Gänzle, 2016; Olsvik et al., 1991; Shen et al., 2016).

Prisustvo *E. coli* u izvoru podzemne vode ukazuje na to, da je podzemna voda kontaminirana fekalnim materijama, dok u prečišćenoj vodi za piće prisustvo *E. coli* može signalizirati da je tretman neadekvatan ili da je prečišćena voda postala kontaminirana tokom distribucije (Tropea et al., 2021).

E. coli je najbolji pokazatelj bakteriološkog kvaliteta vode, pre svega zbog dostupnosti pristupačnih, brzih, osjetljivih i specifičnih testova koji su laki za izvođenje. Međutim, ostaje činjenica da je životni vek *E. coli* u vodi kratak, te ona predstavlja najspecifičniji indikator sveže fekalne kontaminacije. Stoga je važno da postoji kontinuirano praćenje *E. coli* kako bi se utvrdio bakteriološki kvalitet vode (Aronsson & Rönner, 2001; López-Gálvez et al., 2010; van Halem et al., 2009).

Doktorska disertacija

Grupa aerobnih mezofilnih bakterija obuhvata aerobne i fakultativno anaerobne bakterije koje na osnovu zahteva u pogledu optimalne temperature za rast i razmnožavanje, pripadaju mezofilnim mikroorganizmima (Nazina et al., 2017; Pikuta & Hoover, 2004).

S obzirom da ne postoji nijedan mikrobiološki parametar na osnovu kojeg se može utvrditi da li sve faze prerade i distribucije vode funkcionišu ispravno u svim situacijama, kao glavni pokazatelj koristi se ukupan broj bakterija. Određivanje ukupnog broja bakterija obuhvata širok spektar heterotrofnih mikroorganizama, uključujući bakterije kao i kvasce i plesni, na osnovu sposobnosti organizama da rastu na obogaćenim podlogama za rast, bez inhibitora, tokom određenog perioda inkubacije i na definisanoj temperaturi.

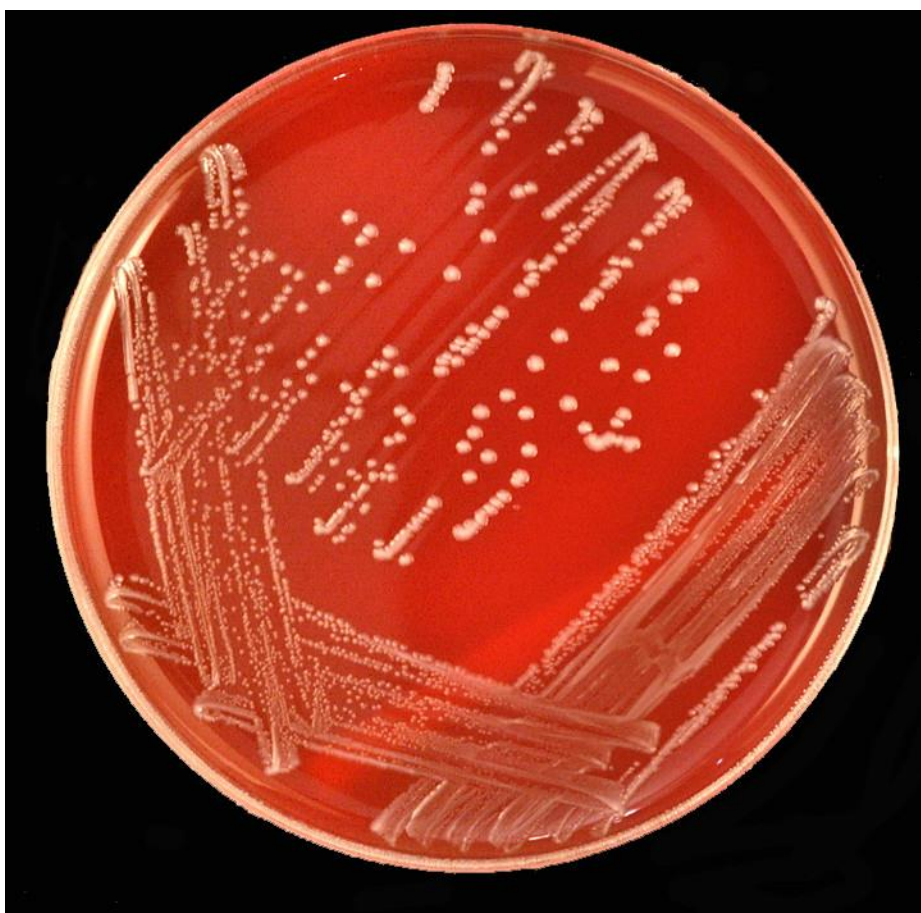
Određivanje ukupnog broja aerobnih bakterija bio je među prvim parametrima koji su se koristili za praćenje bezbednosti prerađene vode za piće. Trenutno je on pokazatelj opšteg kvaliteta vode u distributivnim sistemima (Figueras & Borrego, 2010; Leclerc & Moreau, 2002; Luo et al., 2018).

Povećan ukupan broj aerobnih mezofilnih mikroorganizama ne predstavlja opasnost po zdravlje ljudi, već je pokazatelj uspešnosti procesa prečišćavanja i dezinfekcije vode, kao i vodosnabdevanja stanovništva (Borch et al., 1996; Dumontet et al., 1999; Straub et al., 1993).

Enterococcus spp. je bakteriološki indikator fekalne kontaminacije, koji može da se koristiti u proceni bezbednosti vode za piće. Enterokoke fekalnog porekla su Gram-pozitivne koke, koje se javljaju pojedinačno, u parovima ili lancima (Slika 6). One ne stvaraju spore, oksidaza i katalaza su negativne, i pripadaju D grupi po Lancefeldevoj skali. Sposobne su da se razvijaju i na 45 °C. Mogu da rastu aerobno i anaerobno, u prisustvu žučnih soli i u rastvorima natrijum azida, koji inhibiraju koliformne bakterije i većinu Gram-negativnih bakterija. Trenutno se smatra da rod *Enterococcus* obuhvata 30 i više vrsta klasifikovanih u 5-6 glavnih grupa (*E. faecalis*, *E. faecium*, *E. avium*, *E. gallinarum*, *E. italicus* i *E. cecorum*). Međutim, još uvek postoji velika neizvesnost u pogledu stvarnog broja vrsta. Neki članovi su pretežno fekalne vrste, dok se drugi češće nalaze u okolini (Chajęcka-Wierzchowska et al., 2017; Domig et al., 2003; Gomes et al., 2008; Manero & Blanch, 1999).

Doktorska disertacija

Enterokoke se mogu koristiti kao verifikacioni indikator da bi se dobile dodatne korisne informacije o kvalitetu izvora vode za piće, adekvatnosti tretmana vode za piće i mikrobiološkom stanju distributivnog sistema (Ahmed et al., 2011; Moe et al., 1991; Standridge, 2008). Mogu biti deo rutinskog ispitivanja kao dopuna informacijama koje pružaju drugi mikrobiološki parametri za verifikaciju: *E. coli* i ukupne koliformne bakterije (Yates, 2007). Ispitivanje enterokoka, takođe, se može koristiti tokom revizije sistema vode za piće kako bi se dobilo više informacija o mikrobiološkom kvalitetu u sistemu. Pretpostavlja se da grupa enterokoka može biti koristan pokazatelj bakteriološkog kvaliteta vode u novoinstaliranim ili popravljenim vodovodima ili u oblastima sa malim protokom vode (Kinzelman et al., 2003; D. Wu et al., 2020). *E. faecalis* je mikrobiološki indikator svežeg fekalnog zagađenja (Bonilla et al., 2010; Kuntz et al., 2004; Watcharasukarn et al., 2009; Wheeler et al., 2002).



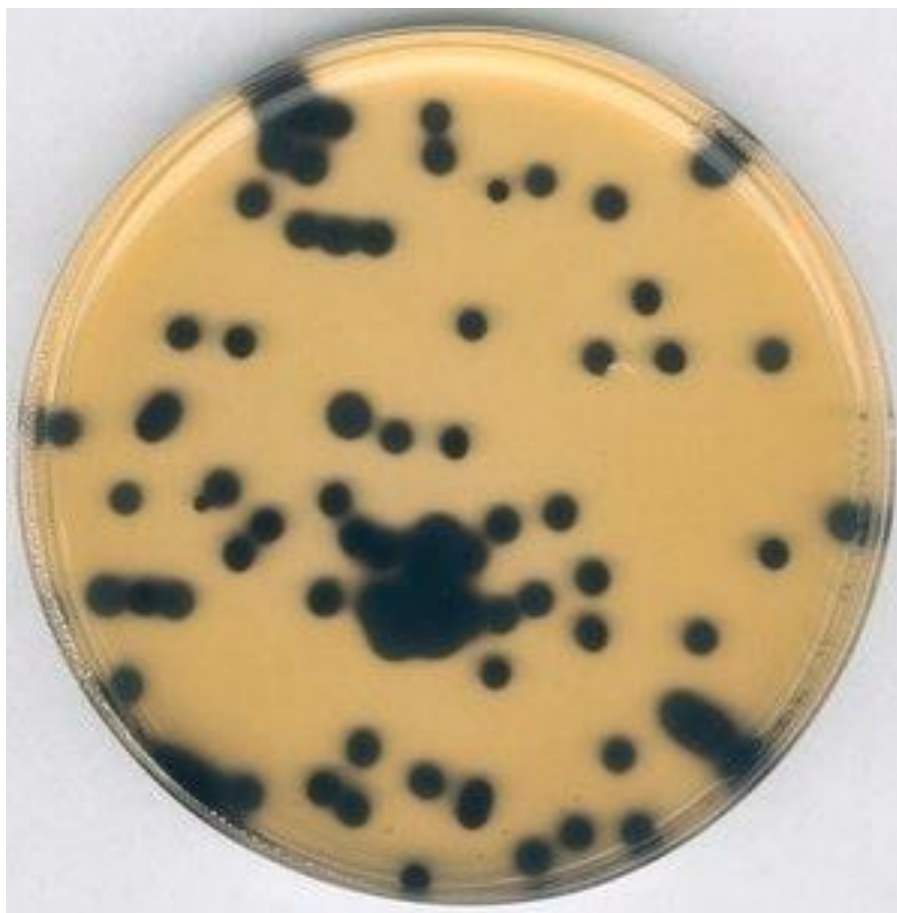
Slika 6. Rast *E. Faecalis* na hranljivoj podlozi.

Doktorska disertacija

Enterococcus spp. mogu izazvati infekciju kada dospeju u urinarni, bilijarni trakt, mogu dovesti do infekcije rana, izazvati bakterijemiju, endokarditis, intraabdominalne i karlične infekcije (Billington et al., 2014). Enterokoke često uzrokuju bolničke infekcije, posebno ukoliko je pacijent pod dužom antibiotiskom terapijom zbog rezistencije na cefalosporine (Rajkumari et al., 2014; Strateva et al., 2016; Swaminathan & Alangaden, 2010).

Sulfitoredukujuće klostridije pripadaju rodu *Clostridium*, porodici *Bacillaceae*. Rod *Clostridium* obuhvata više različitih vrsta. Sa mikrobiološkog aspekta među najznačajnije vrste ubrajaju se: *Clostridium perfringens* (Slika 7), *C. septicum*, *C. tetani*, *C. sporogenes* i *C. botulinum*. Bakterije roda *Clostridium* su Gram-pozitivni, anaerobni, sulfitoredukujući bacili, veoma različite po veličini i obliku. Stvaraju spore, koje su u vodenoj sredini veoma otporne na različite uticaje, kao što su: temperatura, UV zračenje, ekstremne pH vrednosti, ali i dezinficijense, kao što je npr. hlor. Optimalna temperatura rasta za većinu klostridija je između 30 i 37 °C. Međutim postoje i psihotrofne i termofilne vrste roda *Clostridium* (Esteban-Cuesta et al., 2018; Yu. A. Fedorov et al., 2019; Leffler & Lamont, 2015; Watcharasukarn et al., 2009).

Doktorska disertacija



Slika 7. Rast *Clostridium perfringens* na hranljivoj podlozi.

Spore sulfitoredujućih klostridija predložene su kao indikatori fekalnog zagađenja vode za piće, jer su u potpunosti fekalnog porekla, široko rasprostranjene u kanalizaciji i povezane sa ljudskim fecesom. Tipičan predstavnik je *C. perfringens*, jer kod 13% - 35% ljudi i toplokrvnih životinja čini intestinalnu floru. Prisustvo ovih mikroorganizama u vodi koja napušta postrojenja za prečišćavanje i preradu vode, ukazuje na to da postoji greška ili u hemijskom ili u fizičkom tretmanu. To zahteva istragu i sprovođenje korektivnih mera. *C. perfringens* se može koristiti za otkrivanje fekalne kontaminacije podzemnih voda. Spore klostridija mogu opstati duže od ostalih indikatora kontaminacije, kao što su koliformne bakterije, pa se iz tog razloga *C. perfringens* smatra mogućim pokazateljem stare fekalne kontaminacije i pokazatelj je efikasnosti procesa dezinfekcije vode. Spore *C. perfringens* su potencijalni surogat za efikasno uklanjanje protozojskih cista iz razloga jer su manje od cista protozoa i samim tim se mogu koristiti kao indikator efikasnosti procesa filtracije (Blanch et al.,

Doktorska disertacija

2004; Gerba, 2009; Mocé-Llivina et al., 2003; Robles et al., 2000; Stelma, 2018; J. Wu et al., 2011).

Ove bakterije sintetišu jake egzotoksine, koji se međusobno razlikuju po sastavu, mestu delovanja, stabilnosti i drugim osobinama. Oboljenja koja izazivaju vrste roda *Clostridium* se grubo mogu podeliti na neurotropne poremećaje (zahvataju nervni sistem), enterotoksemije (zahvataju crevni trakt i parenhimske organe) i gasnu gangrenu (mionekroza sa toksemijom) (Borriello, 1995; Rings, 2004; Uzal et al., 2020).

Međutim, WHO ne preporučuje sulfitoredujuće klostridije za rutinsko nadgledanje distributivnog sistema, jer se zbog dužine preživljavanja mogu otkriti dugo nakon (i daleko od) izvora zagađenja, što dovodi do mogućih lažnih uzbuna.

Rod *Proteus* pripada familiji *Enterobacteriaceae*. U vodi se najčešće mogu naći vrste *P. vulgaris* i *P. mirabilis*. To su Gram-negativne, fakultativne, heterotrofne i proteolitičke štapičaste bakterije, svrstane u oportunističke patogene. Čelije *Proteus* spp. su osetljive na toplotu i uništava ih vlažna toplota na 55 °C tokom 1 h, kao i dezinficijensi, kako halogeni, tako i ozon i formaldehid, ali i ultraljubičasto zračenje (Falkinham & Hoffman, 1984; K.-H. Lee et al., 2017; Limanskiĭ et al., 2005, 2005; Penner & Hennessy, 1980).

Ljudski i životinjski izmet su dominantan izvor ovih mikroorganizama u prirodnom okruženju. Njihovo prisustvo u vodi za piće predstavlja opasnost od infekcije. S druge strane, veruje se da vrste roda *Proteus* igraju važnu ulogu u uklanjanju organskih zagađivača životinjskog porekla, posebno fekalnih, razlaganjem mrtvih organskih materija u vodenoj sredini. Prema tome njihovo prisustvo u vodi ukazuje ne samo na fekalno zagađenje, nego i na zagađenje organskim materijama u raspadanju (Akpor, Otohinoyi, et al., 2014; Some et al., 2021).

Tipični su predstavnici oportunističkih bakterija, do njihovog razmnožavanja u domaćinu dolazi kada padne imunitet organizma. Najčešće uzrokuju urinarne infekcije, meningitise i infekcije rana, a naročito intrahospitalne infekcije, kao što su: infekcije mekih tkiva, pneumonija, apsces pluća i septikemija (Benwan et al., 2010; Jacobsen & Shirliff, 2011; Schaffer & Pearson, 2017).

Pseudomonas aeruginosa je Gram-negativna bakterija u obliku štapića, asporogena, sa polarno postavljenom flagelom (Slika 8). Optimalna temperatura rasta

Doktorska disertacija

je od 25 do 37 °C, ali je rast ove bakterije moguć i na 42 °C, i to je osobina koja je razlikuje od drugih vrsta roda *Pseudomonas* (Wagner & Iglewski, 2008). *P. aeruginosa* ima minimalne nutricionističke potrebe i može se prilagoditi uslovima, koji ne podnose drugi organizmi. Ne fermentiše laktozu ili druge ugljene hidrate, već oksidiše glukozu i ksilozu. Pokazuje pozitivnu reakciju na oksidaza i katalaza testu (Wagner & Iglewski, 2008). Većina sojeva *P. aeruginosa* proizvode jedan ili više pigmenata, uključujući piocijanin (plavo-zeleni), pioverdin (žuto-zeleni i fluorescentni) i piorubin (crveno-smeđi). Prema spoljašnjim faktorima *P. aeruginosa* je veoma otporan, može mesecima da opstane u void (R. S. Smith & Iglewski, 2003). Zbog svoje velike otpornosti i minimalnog zahteva za ishranom, može da se razmnožava u slabim rastvorima dezinfekcionih sredstava, lekovima u vidu tečnih rastvora, kao i drugim tečnostima, koje se koriste u svrhe zdravstvene sanitarne zaštite. Otporan je, takođe, i prema mnogim antibioticima i hemioterapeuticima. Prisustvo ovog mikroorganizma ukazuje na fekalno zagađenje i neadekvatno održavanje vodovodnog sistema. Ova bakterija menja ukus, miris i boju void (Lambert, 2002). Prisustvo *P. aeruginosa* u vodi je pokazatelj starog fekalnog zagađenja i neadekvatnog održavanja vodovodnog sistema u objektima, koji istovremeno predstavlja opasnost po zdravlje osetljive populacije (deca, trudnice, stara i obolela lica). Sprečavanjem razvoja biofilma u distributivnim sistemima sprečava se i razmnožavanje ovog mikroorganizma (Grobe et al., 1995; Loveday et al., 2014; Tan et al., 1999; Walker & Moore, 2015).

Doktorska disertacija



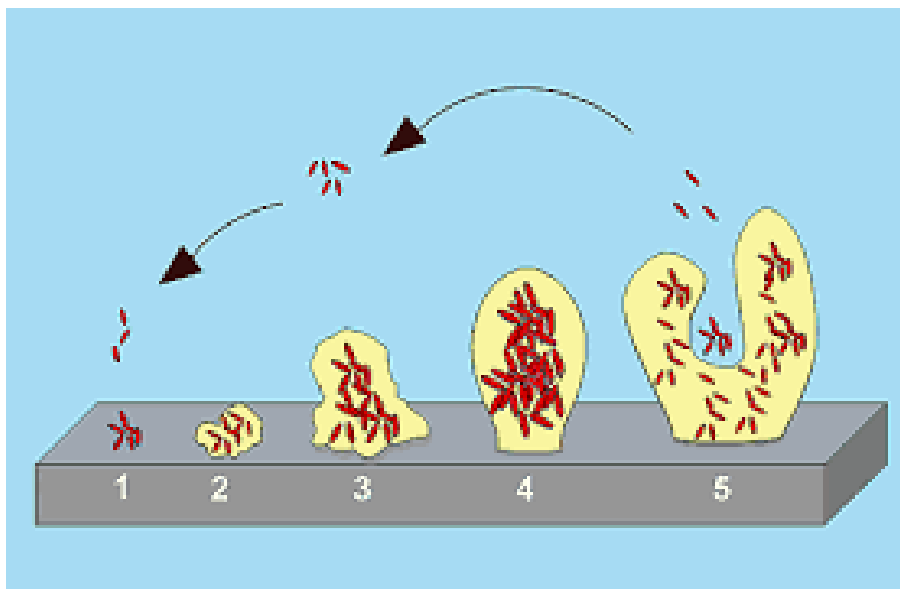
Slika 8. Rast *P. aeruginosa* na hranljivoj podlozi.

Klasifikovana kao oportunistički patogen, i ova bakterija retko uzrokuje bolest kod zdravih domaćina, ali je glavni uzrok infekcije kod pacijenata sa imunokompromitirajućim stanjima. Kod čoveka *Pseudomonas* može da izazove različita oboljenja (pseudomonijaza), najčešće kod hospitalizovanih pacijenata (Bahmani et al., 2016; Khaledi & Meskini, 2020; Odoi et al., 2021, 2022). Infekcija *Pseudomonas* vrstama posebno je rasprostranjena među pacijentima sa opekotinama, cističnom fibrozom, akutnom leukemijom, transplantacijom organa. Najozbiljnije infekcije izazvane ovom bakterijom uključuju maligni spoljni otitis, endoftalmitis, endokarditis, meningitis, upalu pluća i septikemiju (Bodey et al., 1983; Lin et al., 2009; Mesaros et al., 2007; Morin et al., 2021; Wilson & Pandey, 2022).

Sposobnost mikroorganizma da se u svim medijumima životne sredine vezuju za elemente žive i nežive prirode, dovodi do formiranja struktura, koje se nazivaju biofilmom. Biofilm se formira (Slika 9) na površini materijala usled adsorpcije bakterijskih ćelija, koje formiraju kolonije i razmnožavaju se na površini koju su

Doktorska disertacija

kolonizirali. U procesu formiranja biofilma može učestvovati više bakterijskih vrsta (Jacobsen & Shirtliff, 2011; Wagner & Iglewski, 2008; Walker & Moore, 2015).



Slika 9. Razvoj biofilma u 5 faza (Walker & Moore, 2015).

Prva faza u razvoju biofilma je dolazak mikroorganizma u kontakt sa podlogom, čime je omogućena primarna bakterijska adhezija. Sekundarna adhezija predstavlja ireverzibilan proces za razliku od primarne adhezije. Faza agregacije je faza rasta i razmnožavanja bakterija. Tokom adhezije se proizvodi i ekstracelularni matriks, koji povezuje kolonije i na taj način se obrazuju „mikrokolonije“. Novoformirane mikrokolonije bakterija povezane su intercelularnim vezama. Matriks biofilma ima zaštitnu ulogu, štiti bakterije od isušivanja, dejstva biocida, antibiotika, UV zračenja i na taj način omogućava bakterijama dugoročnu egzistenciju. Biofilm postaje zreo nakon nekoliko dana i ako je njegov razvojni proces poprilično spor. Potpuno zreo biofilm čine bakterijske ćelije, ECM i intersticijalni vodeni kanali, koji obezbeđuju razmenu hranljivih supstanci i uklanjanje otpadnih produkata metabolizma. Disperzija je poslednja faza u razvoju biofilma, koju karakteriše deadherencija mikroorganizama iz biofilma. Disperzija je posledica izmenjenih uslova sredine, koji mogu biti izazvani nedostatkom hranjivih materija ili nekim drugim nepovoljnim uticajima (Ginn et al., 2002; Čabarkapa, 2015).

U većini distributivnih sistema vode za piće, sredina između vode i zidova cevi predstavlja primarno mesto akumulacije ćelija i organske materije, pri čemu se

Doktorska disertacija

stvaraju optimalni uslovi za razmnožavanje bakterija (Fish et al., 2016; LeChevallier, 1990; Norton & LeChevallier, 2000). Mikroorganizmi na čvrstoj podlozi imaju sposobnost da formiraju biofilme i na taj način dovode do bioobrastanja i korozije vodovodnih cevi izgrađenih od čelika. Ove forme bakterijskih kolonizacija su veoma heterogenog sastava, koji zavisi od hemijskog sastava cevi, prisustva nutritijenata u vodi, pH i temperature vode, rezidualnog dezificijensa, brzine protoka vode (Dukan et al., 1996; Hemdan et al., 2021).

Biofilmovi u sistemima vode za piće nastaju pretežno od heterotrofnih mikroorganizama autohtone vodene mikroflore. Povremeno biofilmi mogu biti i rezervoar patogenih mikroorganizmima što može imati ozbiljne posledice (Kindaichi et al., 2004; Pintar & Slawson, 2003; Schwartz, Kohlen, et al., 2003).

U biofilmovima vodovodnih sistema pijaće vode, dominiraju Gram-negativne bakterije, posebno oportunistički patogeni, poput vrsta *Pseudomonas* i *Flavobacterium* (Flemming et al., 2002; Maes et al., 2019). Kada se jednom pojavi *P. aeruginosa*, teško ju je eliminisati iz vodnih sistema. Jedan od razloga može biti upornost *P. aeruginose* kada se nađe u biofilmu kao zaštićenom staništu. Iz laboratorijskih studija poznato je da *P. aeruginosa* formira jednovrsne biofilme na metalu, plastici i gumi (Novak Babič et al., 2020).

Patogene bakterije i oportunisti u biofilmu poput: *Pseudomonas* sp., *Mycobacter* sp., *Campylobacter* sp., *Klebsiella* sp., *Aeromonas* sp., *Legionella* sp., *Helicobacter pylori* i *Salmonella* Typhimurium, predstavljaju najveći problem i opasnost (Lika et al., 2021; Puvača & de Llanos Frutos, 2021).

Kada ovi mikroorganizmi opstaju, razmnožavaju se u biofilmovima i oslobađaju se iz biofilma u vodenu sredinu, dovode do pogoršanja higijenskog kvaliteta vode za piće što predstavlja potencijalno ugrožavanje zdravlja ljudi (Pankhurst & Coulter, 2007; Zupančič et al., 2019).

Hlorisanje je osnovna mera kontrole zaštite distributivnog sistema od formiranja biofilma. Da bi se preventivno delovalo na pojavu formiranja biofilma neophodno je da rezidualni hlor u mreži ne prelazi 1-2 mg/l, dok je za inaktivaciju bakterija već fiksiranih u biofilmu potrebna i veća koncentracija rezidualnog hlora (više od 3 mg/l). Određena dezinfekciona sredstva imaju pogodnije karakteristike u kontroli populacija biofilma (Schwartz, Hoffmann, et al., 2003). Neki dezificijensi,

Doktorska disertacija

poput hloramina, imaju veću mogućnost održavanja dezinfekcionog reziduala u distributivnom sistemu i mogu efikasnije prodirati u biofilm, i samim tim je kontrola mikroorganizama bolja u odnosu na slobodan hlor (van der Kooij et al., 1999). Neki autori su uočili da je ponovni rast biofilma ograničen pri prisustvu dezinfekcionog reziduala monohloramina i hlora od 0,35 mg/l, pri čemu su se ova dva dezinfektanta pokazala efikasnija u kontroli ponovnog rasta biofilma u odnosu na druge dezinfektante (LeChevallier et al., 1990; Lu et al., 1999; Lund & Ormerod, 1995; Simões & Simões, 2013; van der Kooij et al., 1999).

2.10. Biološki postupci prečišćavanja vode

Biološki procesi prečišćavanja vode zasnivaju se na prirodnim aktivnostima mikroorganizama, koje u toku svog životnog ciklusa koriste organske materije i deo noerganskih materija iz zagađenih voda (Korotta-Gamage & Sathasivan, 2017). Nakon što se prečišćavanje završi, odvija se separacija mikroorganizama i vode, u kojoj preostaje manja količina organske materije, koju nije moguće razgraditi, kao produkt metabolizma mikroorganizama. Ovom metodom moguće je otkloniti najveći deo organskog zagađenja, ali nije moguće potpuno prečistiti vodu. Biološko prečišćavanje je sekundarna metoda, koja se odvija nakon mehaničkog prečišćavanja. Biološko prečišćavanje se može vršiti i kao nezavisan postupak. Nakon biološkog tretmana nastaje stabilizovan mulj koji se potom odstranjuje taložnicima (Abu Hasan et al., 2020). Biološko prečišćavanje voda se razlikuje od drugih industrijskih metoda prečišćavanja po sledećem:

1. Mikroorganizmi potiču iz životne sredine,
2. Koncentracija supstrata je obično mala,
3. Razgrađuje se organski materijal, a ne stvaranje mase biomase ili produkata metabolizma.

Doktorska disertacija

Biološko prečišćavanje se primenjuje za uklanjanje organskih materija, uklanjanje azota (nitrifikacijom i denitrifikacijom), razgradnju primarnog mulja iz primarne obrade otpadnih voda, razgradnju sekundarnog mulja iz procesa biološke obrade otpadnih voda pomoću postupaka stabilizacije muljeva i digestije (Abu Hasan et al., 2020). Biološki procesi prečišćavanja mogu biti *aerobni* i *anaerobni*, uz pomoć aerobnih i anaerobnih mikroorganizama.

Aerobni procesi su mnogo zastupljeniji i odvajaju se na dva načina:

1. Sa suspendovanom mikroflorom (aktivnim muljem),
2. Sa imobilisanom mikroflorom na inertnom nosaču (biološka filtracija).

Aerobni postupci sa suspendovanom mikroflorom mogu se dalje podeliti na:

1. Postupke sa aktivnim muljem u bioaeracionim bazenima,
2. Postupke u aerisanim lagunama (biološke lagune) i,
3. Postupke u aerobnim (plitkim) jezerima.

Postupci sa biološkom filtracijom koriste se za prečišćavanje slabo i srednje zagađenih otpadnih voda.

Aktivni mulj je tip sekundarnog tretmana čija je glavna uloga odstranjivanje većine razgrađene čvrste materije, koja ostaje u otpadnim vodama nakon mehaničke obrade. Aktivni mulj je materija obogaćena kulturama mikro i makro organizmima, koji odstranjuju ili menjaju polutante. Balans organizama u mulju je glavni indikator sposobnosti aktiviranog sistema da odstrani zagađujuće materije. Ovaj biološki postupak je prvi put primenjen u Hjustonu 1919. godine za prečišćavanje sanitarnih voda. To je aerobni proces prečišćavanja otpadnih voda, jer se odvija uz pomoć aerobnih mikroorganizama. Današnji savremeni postupci se primenjuju za uklanjanje azotnih jedinjenja iz vode. U sistemu sa aktivnim muljem, organizmi se nalaze u lebdećem stanju, tj. ne obrazuju sloj na radnim površinama, kao kod filtera. Bakterije, alge, i protozoe nalaze se u bazenu za aeraciju, gde se u procesu metabolizma, uz pomoć kiseonika, obezbeđuje razgradnja supstrata. Populacija mikroorganizama

Doktorska disertacija

prisutna u mulju oksidiraju rastvoreni supstrat u ugljen'dioksid i vodu. Deo organskom materijala koristi se za rast i sintezu novih ćelija, a ostatak se sastoji od otpada i viška mulja (Okoh et al., 2007; Ranjit et al., 2021; Volschan Junior et al., 2021).

Aeracija otpadnih voda vrši se u bioaeracionim bazenima, a nakon aeracije sledi taloženje, gde se biomasa, tj. mikrobiološki mulj, odvaja od efluenta (bistre prečišćene vode). Deo tog mulja vraća se nazad u proces gde služi kao aktivator. Takav mulj se naziva aktivni mulj. Ostatak se odvodi u uređaj za obradu mulja. Efluent se ispušta u prijemnik, ili se odvodi na dodatna prečišćavanja, po potrebi (dezinfekciju, filtriranje, i drugo). U početnom stadijumu je potrebna najveća količina kiseonika, jer je tada prisutna najveća količina organskih jedinjenja (Ševaljevic et al., 2009).

Novi princip prečišćavanja otpadnih voda, nazvan biosorpcija ili kontaktna stabilizacija, sastoji se u dobroj pripremi aktivnog mulja i dovođenju otpadaka sa njim u trajaju od 30 minuta, uz intenzivu aeraciju. Formiran mulj odvaja se u običnom rezervoaru (taložniku), posle čega se vrši obnavljanje mulja. U novijim tehnologijama, aeracija mulja se vrši kiseonikom umesto vazduhom (Hutchison et al., 2021).

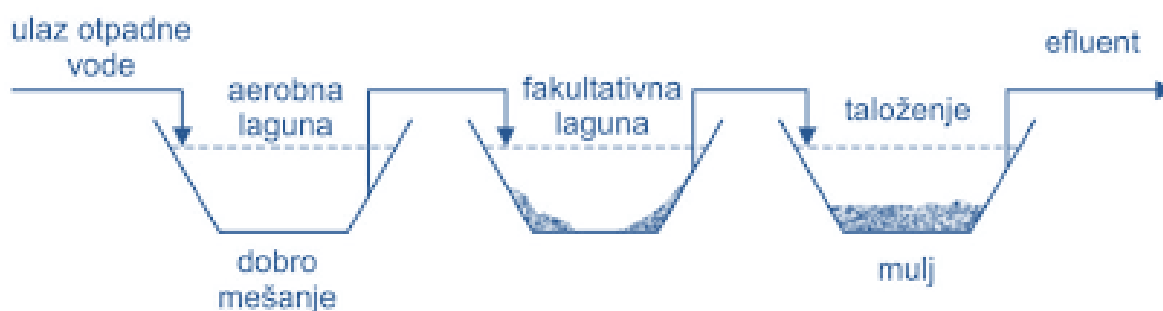
Aerobna laguna je proces suspendovanog rasta u postrojenju za tretman otpadnih voda. Sistem aerobnih laguna se sastoji iz velike lagune ili jezera, koje je opremljeno sa mehaničkim aeratorima radi održavanja aerobne sredine, i da bi se sprečilo taloženje biomase. Ovakav sistem ima ulaz i izlaz kroz koje teče otpadna voda. U početku, populacija mikroorganizama je niska, jer nema prerađenog mulja (Gou et al., 2019). Dakle, potrebno je mnogo više vremena da bi se postigao isti kvalitet efluenta, kao kod aktivnog mulja. Međutim, ova dužina trajanja može biti i pozitivna, zbog vremena koje je potrebno da se razgrade neka kompleksnija organska jedinjenja. Takođe, organizmi u aerobnim lagunama su otporniji na promene u količini hrane u poređenju sa populacijama u aktivnom mulju, zbog veće količine vode i vremena obrade. Glavna razlika između laguna i aktivnog mulja je to što kod laguna ne postoje bazeni za taloženje, niti sistemi za cirkulaciju mulja (N. M. Lee & Welander, 1996).

Aerobne lagune sa suspendovanim rastom su relativno plitki bazeni sa dubinom od 2 do 5 m, opremljene mehaničkim aeratorima, koji plutaju na fiksiranim

Doktorska disertacija

platformama. Mehanički aeratori služe da dobavljaju kiseonik za biološki tretman otpadnih voda, kao i da drže čvrstu biološku materiju u suspenziji (Muirhead, 1990). Ovakve lagune su aerobne od površine do dna, jer su aeratori dovoljno jaki da izazivaju kompletno mešanje materije. U ovakvim lagunama ne dolazi do taloženja, i u uslovima ravnoteže, količina nove mikrobiološke mase je jednaka količini mase koja napušta sistem. Dakle, količina čvrste materije u ovakvim lagunama je poprilično velika, i efluent se podlaže daljim tretmanima nakon što se otkloni iz laguna (Gavrilescu & Macoveanu, 1999; Xiao et al., 2007).

Kod fakultativnih aerobnih laguna, dolazi do stvaranja taloga, i neka čvrsta materija izlazi iz lagune zajedno sa efluentom, jer aeratori na ovakvim lagunama imaju dovoljno snage da obogaćuju vodu kiseonikom, ali ne mogu da održavaju čvrstu materiju u suspenziji (Godini et al., 2021). Donji delovi ovakvih laguna su anaerobni, a gornji su aerobni, i otud naziv fakultativne aerobne lagune (Slika 10). Fakultativne aerone lagune su češće u upotrebi širom sveta, jer su jednostavne za upravljanje, i ne postoji potreba za većom količinom uređaja. Često se jednostavno nazivaju aerobne lagune. Takođe, potrebno je mnogo manje površine za ovakve lagune, u poređenju sa stvarno aerobnim lagunama (Eckenfelder Jr. & Staff, 2006; Godini et al., 2021; Moura et al., 2009).



Slika 10. Primena gasova u tretmanu voda.

Ovakvi filteri se češće upotrebljavaju za sekundarnu obradu otpadnih voda. Sastoje se od filtracionog dna, koje je sačinjeno od visoko-propusnog sloja (šljunak, plastični materijali), koji na površini ima sloj mikroorganizama. Ti organizmi dovode do stvaranja sloja sluzi. Visoko-propusni sloj mora imati dovoljno velike otvore da

Doktorska disertacija

vazduh može da prolazi do dna, ali i dovoljno mali da se maksimalno iskoristi površina, gde će se razvijati mikroorganizmi. U kapljajućim filter sistemima, mikroorganizmi su zakačeni za sloj na dnu, i na njemu stvaraju biofilm. Kad se optadna voda pusti kroz filter, mikroorganizmi konzumiraju zagađujuće materije, otklanjajući ih iz efluenta (Eckenfelder Jr. & Staff, 2006; X. Li et al., 2013; Muga & Mihelcic, 2008).

Glavna razlika između aerobnih i anaerobnih postupaka se ogleda u tome što anaerobni postupci mogu da prerade veću količinu zagađenih voda, pogotovo vode sa velikim organskim opterećenjem (Mahat et al., 2018; Murthy & Novak, 1999; Nordin et al., 2018). Anaerobni postupci se odvijaju bez prisustva kiseonika. Zbog veće sposobnosti da prerade organske zagađivače, anaerobni postupci se koriste za prečišćavanje industrijskih voda. Ovi procesi se zasnivaju na metanskom vrenju organskog zagađenja, gde se organski materijal razgrađuje uz oslobađanje gasova (metan i ugljen-dioksid). Upotreba mikroorganizama u odsustvu kiseonika naziva se anaerobna digestija. Ovakvi procesi odvijaju se u anaerobnim digesterima (Jang et al., 2014; Jin et al., 2009; Song et al., 2010).

3. RADNA HIPOTEZA, CILJ I ZADACI ISTRAŽIVANJA

3.1. Radna hipoteza

Postavljanje kontrole kvaliteta vode za piće podrazumeva sistem aktivnosti koje obezbeđuju da uzorkovanje i laboratorijsko ispitivanje vode bude u skladu sa definisanim standardima.

Osnovni cilj monitoringa je da se dobije zdravstveno bezbedna voda za piće, koja ni na koji način ne sme negativno da utiče na zdravlje potrošača. Praćenje osnovnih mikrobioloških parametara u vodi, kao i preduzimanje svih preventivnih koraka da se ti parametri održe na nivou propisanom Pravilnikom je jedan od osnovnih preduslova da se iz distributivnog sistema eksploatiše zdravstveno bezbedna voda za piće do potrošača.

Sezonske promene temperature mogu da utiču na promenu temperature vode, što ima za posledicu uticaj na brzinu rasta mikroorganizama, efikasnost dezinfekcije, koroziju na cevima i druge pojave povezane sa razvojem biofilma, kao i na mogućnost mikroorganizama da uđu u distributivni sistem.

3.2. Cilj istraživanja

S toga, cilj istraživanja bio je praćenje promene osnovnih mikrobioloških parametara u vodi za piće u letnjem i zimskom periodu, kao i utvrđivanje uticaja sezonske promenljivosti temperature na mikrobiološki kvalitet vode za piće u

Doktorska disertacija

Mačvanskom okrugu, te iznalaženje potencijalnog modela za rešenje povećanja kvaliteta vode. Takođe, u zaključnom delu rada biće dat niz preporuka, kao mogućih modela za unapređenje sistema vodosnabdevanja i unapređenja kvaliteta pijaće vode.

3.3. Zadaci istraživanja

Istraživanja su sprovedena kroz dve faze:

FAZA I je obuhvatala određivanje osnovnih mikrobioloških parametara (ukupne koliformne bakterije, koliformne bakterije fekalnog porekla, ukupan broj aerobnih mezofilnih bakterija, enterokoke fekalnog porekla, sulfitoredukujuće klostridije, *Proteus* spp. i *Pseudomonas aeruginosa*) u vodi za piće (sa različitih tačaka distributivnog Sistema JKP "Izvor" Vladimirci, opštine Vladimirci, opštine Koceljeva i grada Šapca), tokom letnjeg i zimskog perioda.

FAZA II obuhvatila je sprovođenje komparativne analize ispitivanih mikrobioloških indikatora u vodi za piće sa ciljem utvrđivanja uticaja sezonske promenljivosti temperature na mikrobiološki kvalitet vode za piće u Mačvanskom okrugu.

4. MATERIJAL I METODE RADA

4.1. Uzorci vode za piće

Uzorci vode za piće su uzorkovani svakodnevno iz vodovodne mreže JKP „Izvor” Vladimirci, tokom letnjeg i zimskog perioda. Uzorci su uzorkovani u kontrolnim tačkama 1 i 2, kao i u tački 3 sa gradskom pijaćom vodom iz Novog Sada. Uzorci vode za piće su analizirani u akreditovanoj Laboratoriji za ekologiju i zaštitu životne sredine Fakulteta za ekonomiju i inženjerski menadžment u Novom Sadu, Univerzitet Privredna akademija u Novom Sadu.

Broj dnevno uzetih uzoraka vode za piće se kretao od 8 do 12. Broj uzoraka je regulisan Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode, dok je izbor kontrolnih tačaka sa kojih su se na dnevnom nivou uzimali uzorci vode za piće.

Tokom letnjeg periodu u roku od četiri meseca, analizirano je ukupno 583 uzorka vode za piće, uzetih na kontrolnoj tački 1. Ukupan broj ispitanih uzoraka uzetih na mernim mestima, koji pripadaju kontrolnoj tački 2, iznosio je 92, a za kontrolnu tačku 3 izvršena je analiza na ukupno 38 uzoraka vode za piće.

Tokom zimskog perioda (četiri meseca), analizirano je ukupno 563 uzorka vode za piće, uzetih na kontrolnoj tački 1. Ukupan broj ispitanih uzoraka uzetih na mernim mestima koji pripadaju kontrolnoj tački 2, iznosio je 35, kao i ukupno 62 uzoraka vode za piće na kontrolnoj tački 3.

*Doktorska disertacija***4.1.1. Hranjive podloge, rastvori i hemikalije**

Od bakterioloških podloga u mikrobiološkim metodama korišćeni su: Peptonska voda sa laktozom i andrade indikatorom (Andrade Lactose Peptone Water 0,5%) (Biolab Diagnostics Laboratory Inc., Budimpešta, Mađarska), podloga za ukupan broj bakterija (Plate Count Agar, PCA) (Biolab Diagnostics Laboratory Inc., Budimpešta, Mađarska), Azid- dekstrozni bujon (Azide dextrose broth) (HiMedia Laboratories Inc., Mumbai, India) Dekstrozni teluritni agar (DTA) (Torlak, Beograd, Srbija), Sulfitni agar (SA) (Torlak, Beograd, Srbija), Endo agar (EA) (Torlak, Beograd, Srbija), Cetrimid agar (Cetrimide agar, CA) (Merck KGaA, Darmstadt, Germany), Hromogena podloga za koliformne bakterije (Chromocult coliform agar, CCA) (Merck KGaA, Darmstadt, Germany), MacConkey bujon (MacConkey broth, McB) (Torlak, Beograd, Srbija), Eskulin azid bujon (Torlak, Beograd, Srbija), gvožđe (III) hlorid (FeCl₃) (Uni-Chem d.o.o., Beograd, Srbija), triptofan bujon (eng. Tryptophan Medium, TB) (Merck KGaA, Darmstadt, Germany), Simmons citratni agar (Torlak, Beograd, Srbija), Metil- crveno Voges- Proskauer bujon (eng. Methyl Red - Voges-Proskauer Broth, MR-VP) (Merck KGaA, Darmstadt, Germany), Kovačev reagens (HiMedia Laboratories Inc., Mumbai, Indija), 0,5% kreatin, alfa-naftol (Merck, Sigma-Aldich, Darmstadt, Germany), 40% kalijum hidroksid (KOH) (Merck, Sigma-Aldich, Darmstadt, Germany), Brzi test za određivanje *E. coli* (Idexx Test Comparison) (IDEXX Laboratories Inc., Westbrook, USA), diskovi za oksidaza test (Bio-Rad Laboratories, Inc, Budimpešta, Mađarska).

4.2. Uzorkovanje i transport uzoraka vode za piće

Učestalost uzorkovanja, način uzimanja uzoraka i broj tačaka sa mreže određeni su na osnovu Pravilnika o higjenskoj ispravnosti vode za piće (Sl. list SRJ br. 42/98 i 44/99 i Sl. glasnik RS br. 28/2019) i Pravilnika o načinu uzimanja uzoraka i metodama za laboratorijsku analizu vode za piće (Službeni list SFRJ 33/1987-856). Osnovni preduslov za dobijanje pouzdanih rezultata, kada su u pitanju mikrobiološki

Doktorska disertacija

parametri vode je da se voda uzorkuje i pošalje na pregled, tako da se maksimalno vodi računa da se ne kontaminira i da se onemogući razmnožavanje bakterija, koje u njoj već postoje, ali da one u njoj ostanu vijabilne i sposobne za razmnožavanje. Iz tog razloga je neophodno da se prilikom uzorkovanja i slanja uzoraka vode za mikrobiološki pregled posveti posebna pažnja.

Svakodnevno je vršeno uzorkovanje vode za piće u periodu od 7 h do 11 h. Voda za piće sa kontrolnih tačaka je uzorkovana u staklene boce zapremine 500 ml, koje su prethodno sterilisane u suvom sterilizatoru na temperaturi od 160-180 °C u trajanju od 1 h. Boce su zatvarane plastičnim čepovima sa zavrtnjem, preko kojih je postavljena aluminijska folija.

Prilikom uzorkovanja vode za piće, uzorkovano je 3/4 zapremine staklene boce. Neophodno je napomenuti da je pre sterilizacije u boce, dodavano 0,30 ml 5% rastvora natrijum-tiosulfata ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), radi neutralisanja rezidualnog hlora u uzorkovanoj vodi za piće. Pre uzorkovanja slavina je dezinfikovana ručnim plamenikom i voda je ostavljena da teče 3 do 5 min, zatim je napunjeno 3/4 zapremine boce, zatvoreno čepom sa zavrtnjem i stavljena je zaštitna aluminijska folija.

Uzorci vode su transportovani u rashladnim uređajima na temperaturi od 4 °C i doneti u laboratoriju najkasnije 6 h nakon uzorkovanja.

Primljeni uzorci su odmah analizirani u akreditovanoj laboratoriji za ekologiju i zaštitu životne sredine Fakulteta za ekonomiju i inženjerski menadžment u Novom Sadu, Univerzitet Privredna akademija u Novom Sadu.

4.3. Određivanje fizičkih, fizičko-hemijskih i hemijskih parametara u vodi za piće

Ispitivani su sledeći fizički, fizičko-hemijski i hemijski parametri u vodi za piće: temperatura, mutnoća, pH, arsen, rezidualni hlor-slobodni, amonijak, nitriti, nitrati, gvožđe.

Uzorkovanje, metode ispitivanja i tumačenje rezultata, kada su u pitanju fizički, fizičko-hemijski i hemijski parametri vode za piće, urađeni su u skladu sa Pravilnikom

Doktorska disertacija

o higijenskoj ispravnosti vode za piće, Sl. list SRJ br. 42/98, Zakonom o bezbednosti hrane, "Sl. glasnikom RS" br. 41/09 i " Sl. glasnikom RS" br. 28/2019 i Pravilnikom o načinu uzimanja uzoraka i metodama za laboratorijsku analizu vode za piće (Službeni list SFRJ 33/1987-856). Metode i MDK, kao maksimalno dozvoljene vrednosti (MDV) osnovnih fizičkih, fizičko-hemijskih i hemijskih parametara date su u Tabeli 3.

Tabela 3. Osnovni pokazatelji fizičkih, hemijskih i fizičko- hemijskih parametara, metode ispitivanja i MDK i MDV (Službeni list SFRJ 33/1987-856 i Sl. list SRJ br. 42/98 i 44/99 i Sl. glasnik RS br. 28/2019)

Osnovni pokazatelji fizičkih, fizičko-hemijskih i hemijskih parametara u vodi za piće	Metode ispitivanja	Maksimalno dozvoljene vrednosti ili koncentracije u vodi za piće
Mutnoća	Turbidimetrija	do 1 NTU
Koncentracija vodonikovih jona (pH)	Potencijometrija	6,8-8,5
Arsen	Spektofotometrija	0,01 mg/l
Rezidualni hlor, slobodni	Spektofotometrija	do 0,5 mg/l
Amonijak (NH ₃)	Spektofotometrija	0,5* mg/l
Nitriti (NO ₂)	Spektofotometrija	0,03**mg/l
Nitrati (NO ₃)	Spektofotometrija	50,0 mg/l
Gvožđe	Spektofotometrija	0,3 mg/l

Temperatura vode za piće je praćena na dve kontrolne tačke (Tačka 1 i Tačka 2), direktnim merenjem na terenu, etalonitanim termometrom (TFA Dostmann GmbH & Co, Nemačka) sa podeocima od 0,1°C.

Doktorska disertacija

4.4. Određivanje osnovnih mikrobioloških pokazatelja u vodi za piće

Ispitivani su sledeći mikrobiološki parametri: ukupan broj aerobnih mezofilnih bakterija, ukupan broj koliformnih bakterija, koliformne bakterije fekalnog porekla, enterokoke fekalnog porekla, *Proteus* vrste, sulfitoredukujuće klostridije i *Pseudomonas aeruginosa*.

Osnovni mikrobiološki indikatori u vodi za piće ispitivani su prema Figueras & Borrego (2010), Pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode za piće (Sl. list SRJ br. 42/98 i 44/99 i Sl. glasnik RS br. 28/2019) i Zakonu o bezbednosti hrane (Sl. glasnikom RS br. 41/09 i Sl. glasnikom RS br. 28/2019).

Broj uzoraka, koji nisu odgovarali mikrobiološkim kriterijumima prema Pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode za piće, radi lakše preglednosti prikazani su u procentima.

4.4.1. Ukupan broj aerobnih mezofilnih bakterija

Određivanje ukupnog broja aerobnih mezofilnih bakterija izvedeno je prema standardu SRPS EN ISO 6222:2010. Metoda se zasniva na kultivaciji mikroorganizama na PCA podlozi. Ispitivanje je izvedeno direktnom inokulacijom po 1 ml uzorka vode i osnovnog razređenja (10⁻¹) u po dve Petri ploče i nalivanjem PCA agarom (ohlađenim na 45 °C). Pripremljene ploče su inkubirane na 22 °C i 37 °C, 68 h i 44 h. Nakon inkubiranja izvedeno je brojanje kolonija pomoću brojača (CC-1, Boeco, Nemačka). Rezultat je izražavan kao broj formiranih kolonija (colony forming units, cfu) po ml, odnosno cfu/ml.

Prema važećem Pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode za piće (Sl. list SRJ br. 42/98 i 44/99 i Sl. glasnik RS br. 28/2019) prihvatljiv rezultat za ovaj parametar je do 10 cfu/ml.

*Doktorska disertacija***4.4.2. Određivanje ukupnog broja koliformnih bakterija**

Ukupnan broj koliformnih bakterija u ispitivanim uzorcima vode određivan je metodom najverovatnijeg broja (Most Probably Number) (MPN metoda).

MPN metoda se zasniva na pripremi serijskog razblaženja vode, koja se analizira i koja se potom inokulira u epruvete sa Peptonskom vodom sa laktozom i andrade indikatorom. S obzirom da koliformne bakterije, koriste laktozu prisutnu u medijumu, njihovo prisustvo u vodi dovodi do promene boje medijuma i prisustva gasa u Durhamovoj cevčici. Broj ukupnih koliforma određuje se prebrojavanjem broja epruveta, koje daju pozitivnu reakciju i upoređivanjem obrasca pozitivnih rezultata (broj epruveta koje pokazuju rast pri svakom razblaženju) sa standardnim statističkim tabelama.

Određivanje je sprovedeno kroz tri kontinuirane faze, koje su obuhvatale:

- Prethodni test,
- Potvrdni test i
- Završni test.

Prethodni test:

U pet epruveta (250×22 mm) sa 10 ml Peptonske vode sa laktozom i andrade indikatorom i Durhamovim cevčicama, preneto je 10 ml ispitivane vode za piće. U jednu epruvetu (250×30 mm) sa 50 ml iste podloge, zasejan je uzorak vode u zapremini od 50 ml i po 1 ml vode u 5 epruveta (160×16 mm) sa 5 ml podloge. Zasejane podloge su inkubirane na 37 °C, 24 h.

Test je smatran pozitivnim ukoliko je došlo do promene boje podloge i izdvajanja gasa (CO₂) u Durhamovoj epruveti. Nakon očitavanja rezultata zapisan je broj pozitivnih epruveta.

Negativan prethodni ogled, posle 24 h, zahteva produžetak inkubiranja do 48 h, zbog koliformnih bakterija, koje sporije fermentišu laktozu. Ako se ni posle 48 h nije pojavio gas u Durhamovim cevčicama, ili nije došlo do pojave zamućenja podloge,

Doktorska disertacija

prethodni ogled je smatran negativnim, i isključeno je prisustvo koliformnih bakterija u vodi za piće.

Potvrđni test:

Sadržaj svake epruvete sa pozitivnom reakcijom, kao i slabom ili nejasno definisanom reakcijom (npr. zamućenje) je dobro promućkan, a potom je mikrobiološkom ezom izvedeno inokulisanje na površini Endo agara (EA). Test je smatran pozitivnim, ukoliko je nakon inkubiranja na 37 °C, 48 h, uočena pojava ružičastih kolonija sa metalnim sjajem prečnika 1-2 mm. Ovakve tipične kolonije na EA podlozi se uočavaju usled fermentacije laktoze, dok bakterije koje ne fermentišu laktozu daju bezbojne ili blede roze kolonije bez metalnog sjaja.

Završni test:

Čiste kulture dobijene metodom iscrpljenja na površini EA korišćene su za testove potvrđivanja (IMVC test). Mikrobiološkom ezom inokulisane su podloge za indol, metil-crveno (MR), Voges-Proskauer (VP) i citrat test.

Test na indol: U epruvetu sa 5 ml Trypton bujona suspendovan je deo ispitivane kolonije, i inkubiran na 37 °C, 24 h. Nakon inkubiranja dodat je 1 ml Kovačevog reagensa. Praćena je pojava crvenog prstena, kao pozitivna reakcija (*E. coli* i *Proteus* su pozitivne na ovaj test, *Klebsiella* i *Enterobacter* su negativne).

Metil-crveno test: U MR-VP bujon suspendovan je deo ispitivane kolonije, a potom je izvedeno inkubiranje na 37 °C, 24 h. Nakon inkubiranja u epruveti je dodato 5 kapi indikatora metil crveno. Pozitivna reakcija je konstatovana kada je bujon promenio boju u crveno, jer je došlo do smanjenja pH na ili ispod 4,4 usled fermentacije glukoze (*E. coli* i *Proteus* daju pozitivnu reakciju na ovaj test, a *Klebsiella* i *Enterobacter* negativnu).

Voges-Proskauer-ov test: Za izvođenje ovog testa korišćen je MR-VP bujon. U epruvetu sa 3 ml MR-VP bujona suspendovan je deo ispitivane kolonije, a potom je usledilo inkubiranje na 37 °C, 24 h. Nakon inkubiranja dodati su reagensi: kreatin (2 kapi), alfa-naftol (5g u 95 ml 95% EtOH) (3 kapi) i 40% KOH u vodi (2 kapi). Praćena je promena boje tokom 15 min u ružičastu ili svetlo crvenu koja se smatra pozitivnom

Doktorska disertacija

reakcijom (*E. coli* i *Proteus* daju negativnu reakciju na ovaj test, a *Klebsiella* i *Enterobacter* pozitivnu).

Test na citrat: Kao medium za ovaj test korišćen je Simmons citratni agar. On je inokulisan površinski, ispitivanom kulturom cik-cak potezima. Inkubiranje je izvedeno na 37 °C, 24 h. Međutim, s obzirom da neke bakterije sporije rastu na citratnom agaru inkubiranje je produženo do 5 dana. Pozitivna reakcija se manifestuje promenom boje agara iz zelene u intezivno plavu. Test se zasniva na korišćenju citrata od strane bakterije, kao jedinog izvora ugljenika, a promena boje samog mediuma je posledica alkalnosti podloge (*E. coli* i *Proteus* daju negativnu reakciju na ovaj test, *Klebsiella* i *Enterobacter* pozitivnu). Dobijeni rezultati, nakon potvrđivanja, upoređivani su sa statističkim tabelama (tabele po Swaroop-u), iz kojih je očitavan broj koliformnih bakterija. Rezultat je izražavan kao MPN koliformnih bakterija/100 ml.

Prema važećem Pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode, vrednost za ukupne koliformne bakterije određene kao najverovatniji broj (MPN) u 100 ml vode u prečišćenoj i dezinfikovanoj vodi treba da bude 0.

4.4.3. Određivanje fekalnih koliformnih bakterija

Za određivanje fekalnih koliformnih bakterija korišćene su pozitivne epruvete iz prethodnog ogleđa za ukupne koliformne bakterije. Sadržaj epruvete sa Peptonskom vodom sa laktozom i 57ndrade indikatorom u kojoj je zasejana ispitivana voda za piće, a koja je pokazala pozitivnu reakciju (pojava gasa u Durhmanovim cevčicama i promena boje podloge) nakon inkubiranja, korišćen je za inokulisanje površine podloge Chromocult Coliform agara (CC). Inokulisane ploče su inkubirane na 37 °C, 24 h. Pojava karakterističnih kolonija ružičaste do crvene boje (β -D- galaktozidaza pozitivne) ukazivala je na koliformne bakterije, a tamnoplave do ljubičaste (β -D- galaktozidaza pozitivne i β -D-glukoronidaza pozitivne) je ukazivala na prisustvo *E. coli*. CC podloga sadrži Tergitol 7 kao inhibitor Gram-pozitivnih

Doktorska disertacija

bakterija, što zauzvrat nema negativan efekat na rast ciljanih koliformnih bakterija uključujući i *E. coli*. Rezultat je izražen kao cfu/100 ml.

Prema važećem Pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode, voda za piće ne sme da sadrži fekalne koliformne bakterije.

4.4.4. Određivanje *Escherichia coli*

Test određivanja *E. coli* izvođen je i u MacConkey bujonu (McB). Sadržaji svih pozitivnih epruveta iz prethodnog ogleđa za ukupne koliformne bakterije dobro su promućkani i sterilnom ezom materijal je prenešen u epruvete sa McB. Epruvete su zatim inkubirane u termostatu na $44 \pm 0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 24 h. Promena boje bujona iz ljubičaste u žutu je pozitivan rezultat na prisustvo *E. coli*. U tom slučaju dalje se izvode testovi potvrđivanja (IMVC testovi).

Za određivanje *E. coli* korišćen je i brzi IDEX test Comparison (Colilert metoda). Colilert metoda se zasniva na korišćenju patentirane tehnologije definisanog substrata (Defined Substrate Technology - DST) za istovremenu detekciju ukupnih koliforma i *E. coli*. Dva nutritivna indikatora ONPG (O-nitrofenil-b-D-galaktopiranozid) i MUG (5-metilumbelliferil-b -D-glukuronid) su glavni izvor ugljenika u Coli-ert-u te mogu da budu metabolisani enzimom koliforma, β -galaktozidazom i enzimom *E. coli* β -glukuronidazom. Prilikom rasta koliformnih mikroorganizama u Coli-ert-u, one koriste β -galaktozidazu da bi metabolisali ONPG te promenili njegovu boju iz bezbojne u žutu. *E. coli* koristi β -glukuronidazu da bi metabolisali MUG i stvorili fluorescenciju. Pošto mnogi koliformi nemaju taj enzim nisu sposobni ni da rastu u ovom medijumu.

Izvođenje testa je obuhvatalo sledeće korake:

- naliveno je 100 ml uzorka vode za piće u sterilnu, providnu, nefluorescentnu posudu;
- dodat je dehidratirani Coli-ert reagens, i sadržaj je promućkan;
- inkubiranje je vršeno na $35\text{-}37 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 24 h.

Doktorska disertacija

Očitavanje rezultata:

- Nema obojenja - negativan rezultat
- Prisustvo koliforma - uzorak obojen u žuto
- *E. coli* - fluroscentan uzorak.

Colilert tehnika je pokazala da dobro korespondira sa tradicionalnim metodama membranske filtracije i MPN kada se koristi za ispitivanje vode za piće. Danas je dostupno niz takvih metoda zasnovanih na enzimima, koje omogućavaju kvantifikaciju u roku od 24 h.

4.4.5. Određivanje *Proteus spp.*

Postupak izolovanja *Proteus* vrsta iz vode za piće sprovedeno je kroz tri kontinuirane faze koje su obuhvatale: prethodni test, potvrdni test i završni test.

Prethodni test:

Korišćen je sadržaj iz epruveta za kolorimetriju (nakon završetka inkubiranja), za pripremu mikroskopskog preparata, koji je posmatran pod svetlosnim mikroskopom. Veoma pokretne, tanke štapičaste bakterije, ukazivale bi na eventualno moguće prisustvo *Proteus* vrsta i potrebu za daljim potvrđivanjem.

Potvrdni test:

Iz sumnjivih epruveta za kolorimetriju sadržaj je presejan na Brilliant zeleni agar (BZA). Tipične kolonije na BZA su krupne, neravnih ivica, sivkastobeličaste, najčešće mat, terasastog izgleda (kao da roje podlogu). Za *Proteus* je karakterističan i vrlo neprijatan miris na amonijak.

Doktorska disertacija

Završni test:

Ukoliko je prethodni test potvrde pokazao pozitivnu reakciju, izvodi se završni test ispitivanjem biohemijskih i kulturelnih osobina. Potvrđivanje *Proteus* vrsta je obuhvatalo primenu IMVC testa.

Prema Pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode za piće (Sl. list SRJ br. 42/98 i 44/99 i Sl. glasnik RS br. 28/2019) nije dozvoljeno prisustvo *Proteus* vrsta u prečišćenoj i dezinfikovanoj vodi.

4.4.6. Određivanje fekalnih enterokoka

Određivanje fekalnih enterokoka izvedeno je MPN metodom i obuhvatalo je prethodni, potvrdni i završeni test.

Prethodni test:

Serijski epruveta sa Azid-dekstroznim bujonom zasejana je sa 10, 1 i 0,1 ml vode. Pripremljene epruvete su inkubirane na temperaturi od 37 °C, 24 do 48 h. Pojava zamućenja i pastelnoljubičaste boje bujona ukazivala je na pozitivan rezultat.

Potvrdni test:

Iz epruvete sa zamućenjem, ezom je sadržaj zasejan na površinu čvrste podloge za dokazivanje enterokoka, Dekstrozni teluritni agar (DTA). DTA je podloga namenjena za identifikaciju i brojanje enterokoka, a posebno za dokazivanje *E. faecalis*. Kalijum-telurit koji se dodaje u pripremi podloge je selektivna komponenta i inhibira rast prateće bakterijske flore.

Pripremljene ploče su inkubirane 24 h na 37 °C. Sojevi koji redukuju kalijum-telurit (enterokoke fekalnog porekla), rastu kao kolonije sa crnim precipitatom.

Završni test:

Morfološke karakteristike (bojenje po Gram-u): Čelije su sferične, grupisane u kraće ili duže lance, Gram-pozitivne, asporogene.

Doktorska disertacija

Katalaza test: Kap 3% rastvara vodonik-peroksida (H₂O₂) nanešena je na predmetnicu, a potom u njoj suspendovana ispitivana kultura (uzeta sterilnom ezom sa DTA). Praćena je pojava stvaranja mehurića (pozitivna reakcija). Enterokoke pokazuju negativnu reakciju na ovaj test.

Test hidrolize eskulina: Test detektuje mogućnost hidrolize eskulina u prisustvu 40% žuči. Specifičan je za rod *Enterococcus*. Inokulisan je Eskulin bujon, kolonijom uzetom sa DTA, a potom je podloga inkubirana 24 h na temperaturi od 37 °C. Nakon isteka inkubiranja u epruvetu sa Eskulin bujonom dodato je par kapi 7% gvožđe-hlorida (FeCl₃). Pojava crne boje u vidu taloga predstavlja pozitivnu reakciju.

Dobijeni rezultati, nakon potvrđivanja, upoređivani su sa statističkim tabelama (tabele po Swaroop-u), iz kojih je očitavan najverovatniji broj enterokoka fekalnog porekla.

Prema važećem Pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode, voda za piće ne sme da sadrži fekalne enterokoke.

4.4.7. Određivanje sulfitoredukujućih klostridija

Dokazivanje prisustva sulfitoredukujućih klostridija u uzorcima vode izvedeno je MPN metodom uključujući predhodni, potvrđni i završni test.

Predhodni test:

Pre zasejavanja, ispitivani uzorak vode, je prvo termički tretiran da bi se uništili vegetativni oblici bakterija. Korišćene su dve epruvete (250×30 mm) u koje je sterilnom menzurom pod aseptičnim uslovima naliveno po 50 ml ispitivanih uzoraka vode, a potom su uzorci vode zagrevani u vodenom kupatilu na temperaturi od 80 °C, 15 minuta. Nakon termičkog tretmana uzorci su ohlađeni. U svaku epruvetu je potom dodato po 50 ml Sulfitnog agara dvostruke koncentracije (SA) (ohlađenog na 45 °C). Pripremljene epruvete su inkubirane na 37 °C, 24 h ili po potrebi 48 h. Pojava crnih kolonija u dubokom sulfitnom agaru navodila je na sumnju da su u ispitivanom uzorku vode za piće prisutne sulfitoredukujuće klostridije. Crna boja kolonija i okolne

Doktorska disertacija

zone je posledica obrazovanja gvožđe(II)sulfida zbog reakcije između sulfidnih jona i trovalentnog gvožđa [Fe (II)] prisutnog u podlozi.

Test potvrde:

Ispitivane (crne) kolonije zasejane su na krvni agar. Ploče su inkubirane 24 do 48 h na temperaturi od 37 °C u aerobnim uslovima. Izostanak rasta na toj podlozi smatran je potvrdnim ogledom.

Završni test:

Mikroskopski preparat (bojenje po Gram-u): Gram-pozitivne, sporogene, štapićaste bakterije, krajevi pravi ili blago povijeni, spora je veća od tela ćelije.

Prema našem Pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode za piće, nije dozvoljeno prisustvo sulfitoredukujućih bakterija.

4.4.8. Odrađivanje *Pseudomonas aeruginosa*

Za određivanje *P. aeruginosa* korišćen je sadržaj epruvete iz prethodnog oglada (kolimetrija) za ukupne koliformne bakterije. Već u samoj tečnoj podlozi koja se koristila u kolorimetriji, usled eventualnog prisustva *Pseudomonas* vrsta, može se uočiti zelenkasti prsten na površini (usled prisustva pigmenta piocianina). Iz sumnjivih epruvete za kolorimetriju, sadržaj je presejan na Cetrimid agar (CA). Inokulisana podloga je inkubirana 24 h na temperaturi od 37 °C.

Pojava fluorescentno zelenih kolonija na CA podlozi je ukazivalo na prisustvo *P. aeruginosa* u ispitivanom uzorku. Za *P. aeruginosa* je karakteristično da stvara jak miris lipe na podlozi na kojoj raste.

Testovi potvrde:

Morfološke osobine (bojenje po Gram-u): *P. aeruginosa* su Gram-negativni, aerobni, asporogeni i pokretni štapići, pravi ili malo savijeni.

Doktorska disertacija

Oksidaza test: Deo ispitivane kolonije nanešen je na disk sa oksidaza reagensom (p-aminodimetilanilin oksalat) (Bio-Rad Laboratories, Inc, Budimpešta, Mađarska). Praćena je promena boje u tamno-plavu (pozitivna reakcija). *P. aeruginosa* pokazuje pozitivnu reakciju na ovaj test.

Katalaza test: Kap 3% rastvara vodonik-peroksida (H₂O₂) nanešena je na predmetnicu, a potom u njoj suspendovana ispitivana kultura (uzeta sterilnom ezom sa CA). Praćena je pojava stvaranja mehurića (pozitivna reakcija). *P. aeruginosa* pokazuje pozitivnu reakciju na ovaj test.

Prema Pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode za piće (Sl. list SRJ br. 42/98 i 44/99 i Sl. glasnik RS br. 28/2019) nije dozvoljeno prisustvo *P. aeruginosa* u prečišćenoj i dezinfikovanoj vodi.

4.5. Statistička obrada rezultata

Nakon završenog oglada i potrebnih analiza, dobijeni rezultati su provereni na normalnost distribucije i homogenost varijansi. Potom se pristupilo grupisanju podataka i izračunavanju pokazatelja deskriptivne statistike.

Za prikazivanje promena fizičko-hemijskih pokazatelja vode korišćeni su stubasti dijagrami (histogrami), kao i linijski dijagrami. U komparativnoj analizi mikrobioloških indikatora korišćen je tabelarni prikaz rezultata, stubasti dijagrami (histogrami), linijski dijagram.

Razlike su smatrane statistički značajnim u slučaju kada je interval poverenja bio veći od 0,95 ($p < 0,05$).

Za statističku obradu podataka i izračunavanje je korišćen softverski program Statistica 13.

5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA SA DISKUSIJOM

Posmatranje i analiza fizičkih, hemijskih i fizičko-hemijskih parametara vode je neodvojiva celina sveobuhvatne analize vode za piće. Mnogi fizičko-hemijski pokazatelji su u direktnoj vezi sa prisustvom mikroorganizama u istoj. U obradi podataka za ovaj doktorski rad, kada su u pitanju fizički, fizičko-hemijski i hemijski parametri (temperatura, mutnoća, koncentracija vodonikovih jona (pH), arsen, rezidualni hlor-slobodni, amonijak, nitriti, nitrati, gvožđe), korišćeni su podaci izmereni na dva reprezentativna merna mesta: Tačka 1 i Tačka 2.

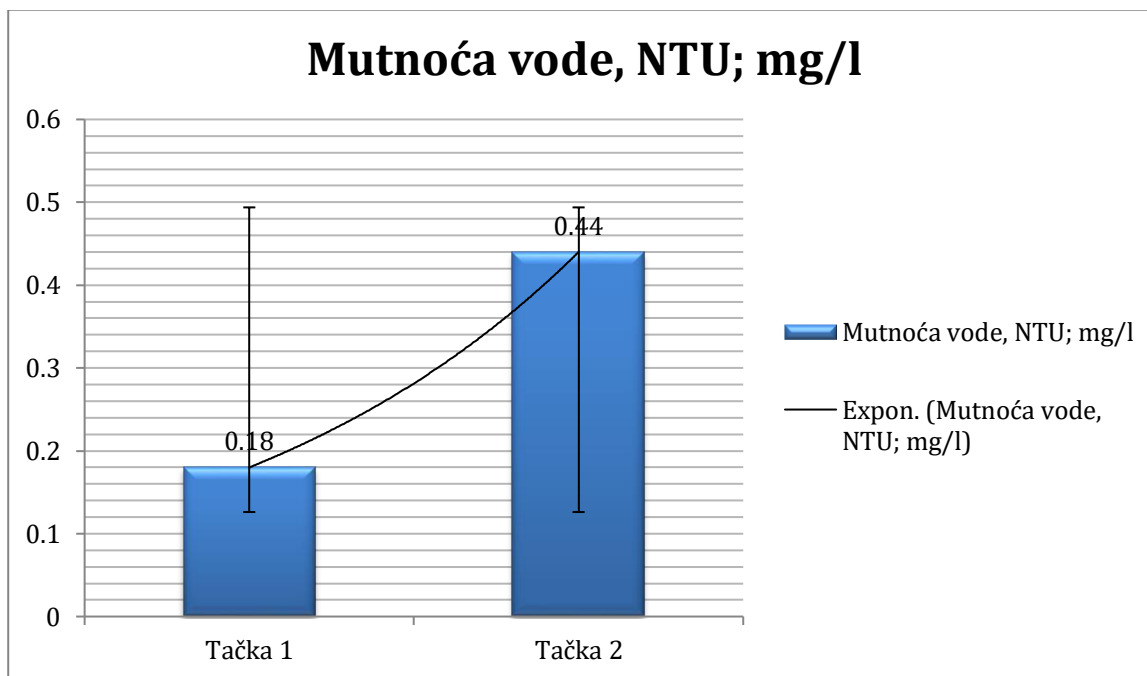
Ispitivani fizički i hemijski parametri, su bili u granicama dozvoljenih vrednosti propisanih Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode za piće (Sl. list SRJ br. 42/98 i 44/99 i Sl. glasnik RS br. 28/2019). Primetna je razlika u mutnoći, koncentraciji gvožđa i rezidualnog hlora između vode iz Tačke 1 i Tačke 2. To je ukazivalo da tehnološka prerada vode direktno utiče na smanjenje svih fizičko-hemijskih indikatora, u odnosu na vodu koja je prošla samo proces dezinfekcije bez prethodne prerade.

Prema Pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode za piće, pH vrednost vode za piće treba da bude u opsegu 6,8 - 8,5. Vrednost pH analiziranih uzoraka vode kretao se u opsegu 7,6 - 7,75, što odgovara opsegu vrednosti iz Pravilnika. Istraživanja su pokazala da na opstanak mikroorganizama u vodi u velikoj meri utiču mnogi faktori, kao što su temperatura, pH, mutnoća i organske materije (Aram et al., 2021).

Pravilnikom o higijenskoj ispravnosti vode za piće (Sl. list SRJ", br. 42/98 i 44/99 i "Sl. glasnik RS", br. 28/2019), nije regulisana temperatura vode za piće, jer nema direktan higijenski značaj. S druge strane povišena temperature vode dovodi

Doktorska disertacija

do brže razgradnje dezinfekcionih sredstava i olakšava opstanak patogenih mikroorganizama u vodi, i iz tog razloga ona se svakodnevno kontroliše.



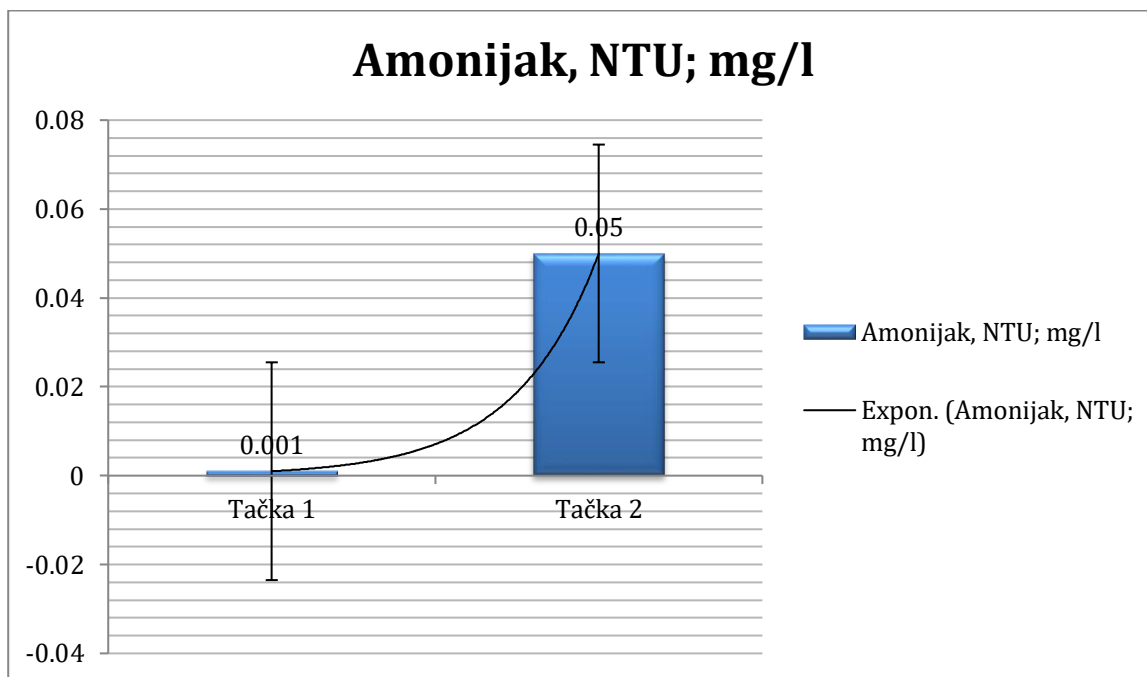
Grafikon 1. Vrednosti mutnoće vode za piće u mernim tačkama 1 i 2.

Mutnoća je parametar, koji ukazuje na prisustvo velikog broja sitnih čestica u vodi. Mutnoća vode za piće prema važećem Pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode, treba da ima 40 vrednost do 5 NTU (nefelometrijska jedinica mutnoće). Kada se voda hlorige, mutnoća bi trebalo da bude manja od 5 NTU, a poželjno je da bude manja od 1 NTU, da bi dezinfekcija hlorom bila efikasna. U ispitivanim uzorcima, vrednost mutnoće vode kretala se u rasponu 0,18-0,44 NTU, što je odgovaralo važećem Pravilniku.

Visoke koncentracije organskih materija u vodi za piće rezultiraju biološkom nestabilnošću, i jedan je od najvažnijih uzroka ponovnog rasta mikroorganizama u sistemima za distribuciju vode za piće. Prisustvo organskih materija u vodi je koristan pokazatelj za dijagnozu potencijala pogoršanja kvaliteta vode ponovnim rastom mikroorganizama ili biološkom nestabilnošću vode (Glasl et al., 2017). Parametri koji ukazuju na opterećenje vode organskim materijama, kao što su biološka potrošnja kiseonika (BPK) i potrošnja kalijum permanganata (KMnO₄), su

Doktorska disertacija

tokom ovog istraživanja bile u graničnim vrednostima propisane važećim Pravilnikom.

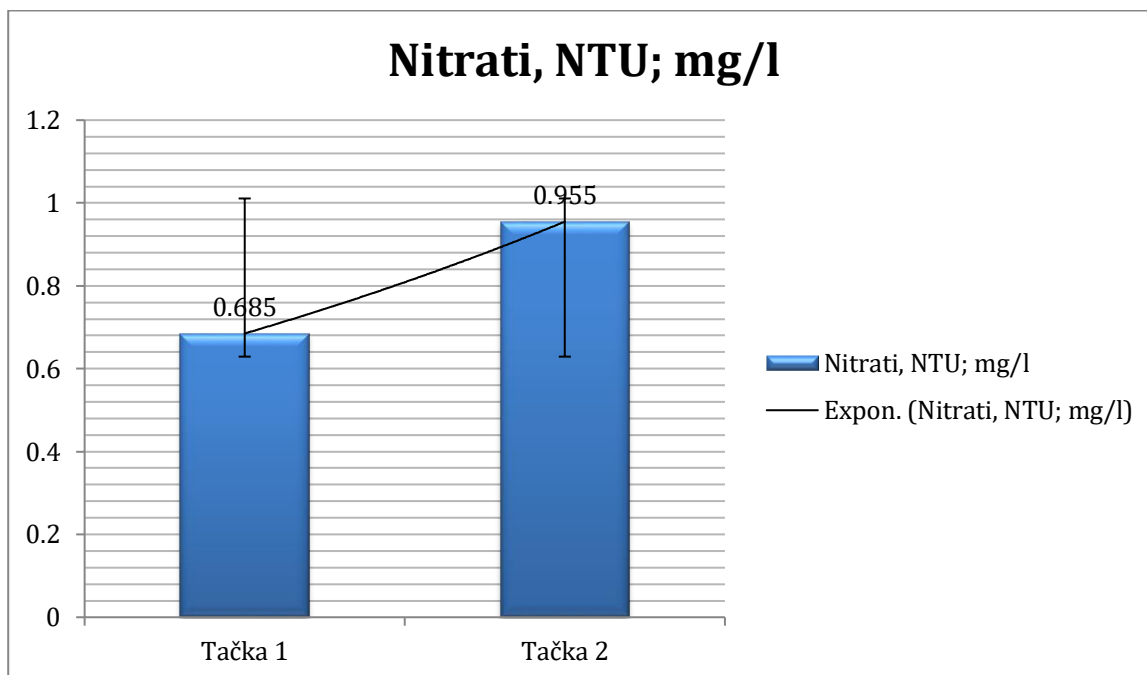


Grafikon 2. Koncentracije amonijaka u vodi za piće u mernim tačkama 1 i 2.

Amonijak u vodi može da bude mineralnog porekla ili usled svežeg fekalnog zagađenja. Maksimalno dozvoljene koncentracije (MDK) prema važećem Pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode je 0,5 mg/l. U ispitivanim uzorcima vode za piće vrednost amonijaka se kretala od 0,001 do 0,05 mg/l, što je odgovaralo MDK propisanim Pravilnikom.

Koncentracija nitrata u podzemnim vodama najčešće je veoma niska. Uobičajan sadržaj nitrata u podzemnim vodama je i ispod 10 mg/l. Prema važećem Pravilniku ta granica je 50 mg/l NO_3 . Na povećanu koncentraciju ovog parametra utiču određene ljudske aktivnosti, kao što su poljoprivreda, industrija, otpadne vode iz domaćinstava i emisija iz motora sa sagorevanjem (Dopico & Gómez, 2015). U ispitivanim uzorcima vode, nitriti nisu identifikovani, dok su se vrednosti za nitrata kretale u opsegu 0,685-0,955 mg/l, što je odgovaralo važećem Pravilniku.

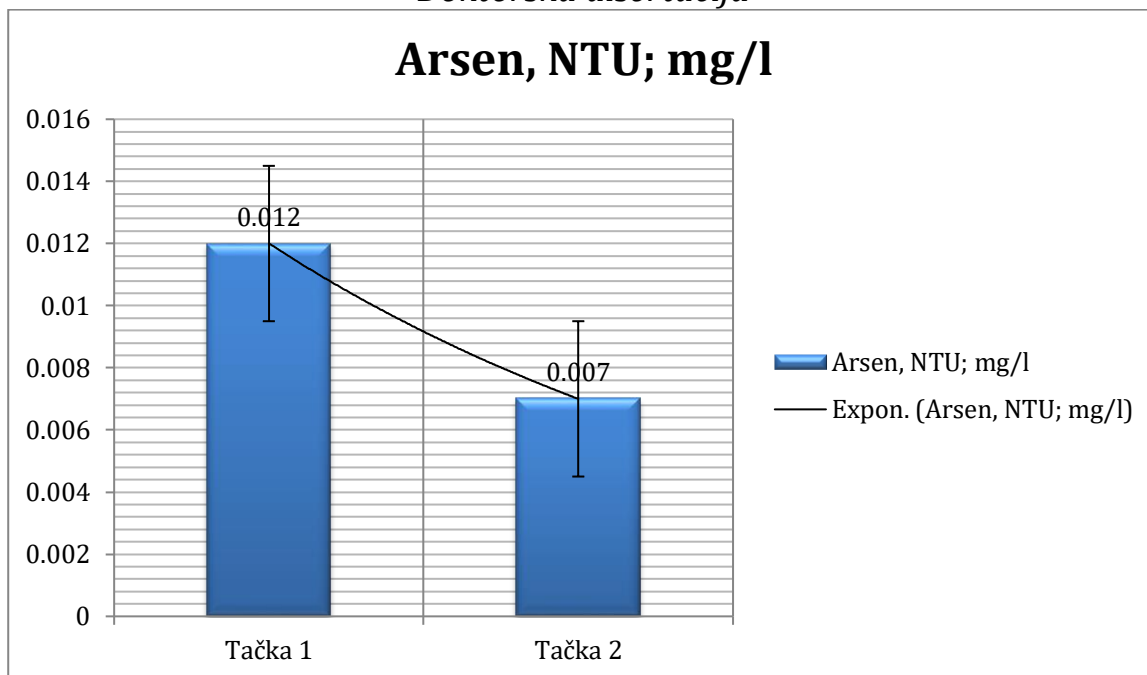
Doktorska disertacija



Grafikon 3. Koncentracije nitrata u vodi za piće u mernim tačkama 1 i 2.

Iako su podzemne vode na teritoriji Mačve opterećene arsenom, pravilnom preradom sirove vode, potrošači konzumiraju ispravnu vodu, kada je u pitanju ovaj element. Prema Pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode za piće MDK za arsen je 0,01 mg/l. Određene koncentracije arsena u ispitivanim uzorcima kretale su se od 0,007 do 0,012 mg/l.

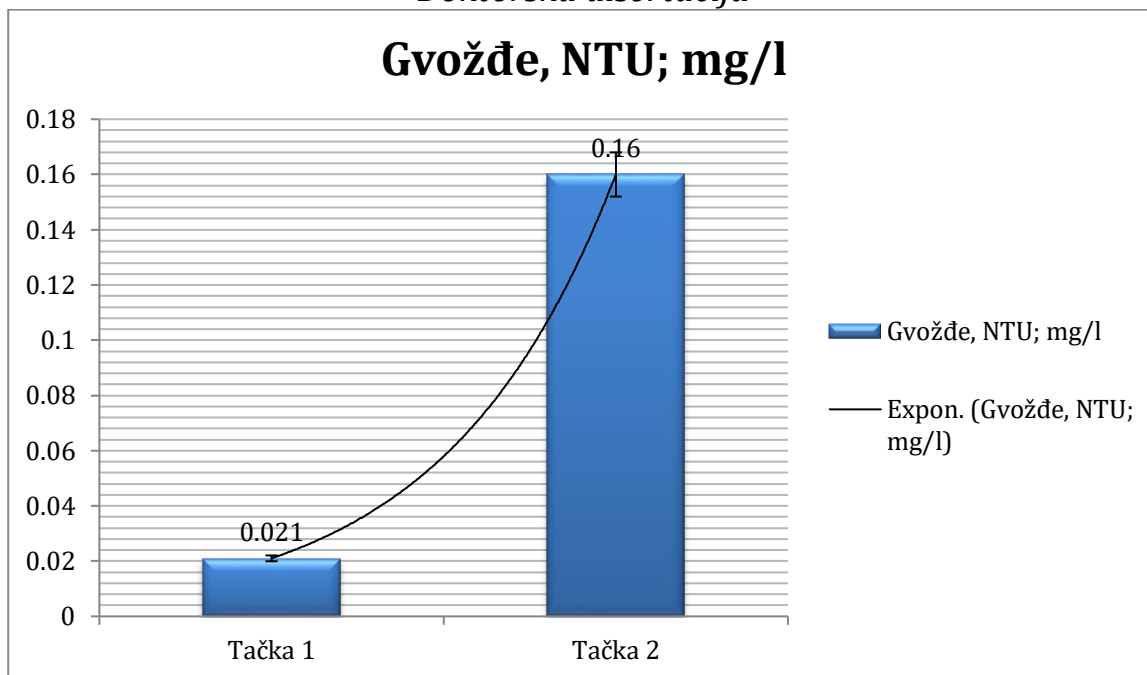
Doktorska disertacija



Grafikon 4. Koncentracije arsena u vodi za piće u mernim tačkama 1 i 2.

Prema Pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode za piće dozvoljena koncentracija gvožđa (Fe) u vodi je 0,3 mg/l. Gvožđe nema direktan uticaj na zdravlje čoveka, ali ukoliko je koncentracija iznad dozvoljene, voda menja ukus i neprihvatljiva je za upotrebu. U vodi sa visokom koncentracijom gvožđa, mogu da se razmnožavaju tzv. feruginozne bakterije, koje mogu vremenom da dovedu do začepjenja vodovodne cevi. Sadržaj gvožđa u ispitivanim uzorcima vode se kretao od 0,021 do 0,16 mg/l, što je odgovaralo važećem Pravilniku.

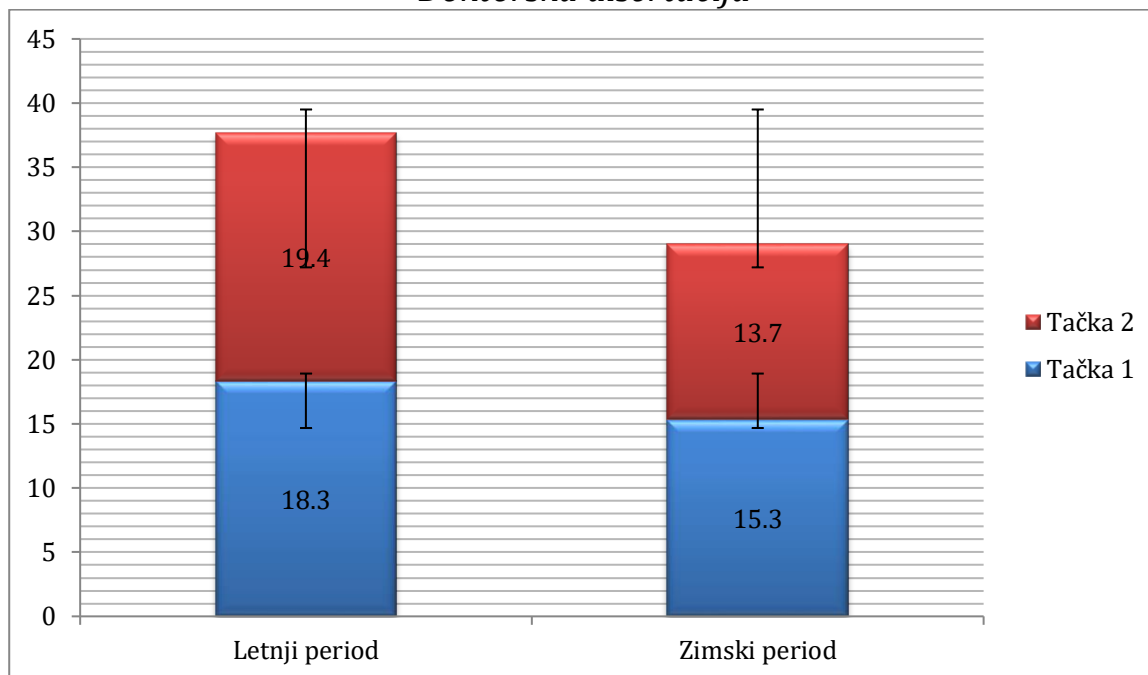
Doktorska disertacija



Grafikon 5. Koncentracije gvožđa u vodi za piće u mernim tačkama 1 i 2.

Temperatura vode praćena je u letnjem i zimskom periodu. Temperatura je merena na dva lokaliteta u Tački 1 i Tački 2. Posmatrajući navedeno vremensko razdoblje, može se uočiti da je prosečna temperatura vode u praćenom vremenskom letnjem periodu, bila signifikantno povećana u odnosu na praćeni zimski period (Grafikon 6). U letnjem periodu, voda koja je prošla proces fabričke prerade imala je nešto nižu temperaturu (18,3 °C) u odnosu na vodu koja je samo dezinfikovana (19,42 °C). Tokom zimskog perioda taj odnos je bio obrnut, te se uočavala viša prosečna temperatura fabrički obrađene vode (15,25 °C), u odnosu na vodu iz Tačke 2 (13,75 °C).

Doktorska disertacija



Grafikon 6. Prosečne temperature vode za posmatrani period u mernim tačkama 1 i 2, °C.

Istraživanja su pokazala da povišena temperatura utiče na bržu razgradnju hlora. Samim tim, efikasnost dezinfekcije se smanjuje, a stvaranje nusproizvoda dezinfekcije, koji su potencijalno štetni je povećano (Abdelaal et al., 2019). Takođe istraživanja ukazuju i to da se koeficijent raspadanja hlora u vodi povećava više nego trostruko kada se temperatura poveća sa 10 °C na 20 °C (S. Yang et al., 2010). To znači da se zaostali hlor brže smanjuje kako temperatura raste. Naučni rezultati su potvrdili da na višim temperaturama vode, ostaci dezinfekcionih sredstava brže propadaju i pojačava se rast bakterija (Nikolaou et al., 2004).

Biološki procesi poput formiranja biofilma i mikrobiološke aktivnosti, takođe, zavise od temperature. Povećana temperatura vode potpomaže bakterijski metabolizam i rast, jer ubrzava brže raspadanje dezinficijensa i samim tim se stvaraju povoljni uslovi za život mikroorganizama. Toplija voda više pogoduje razvoju potencijalnih patogena u biofilmu. Povišena temperature vode poboljšava sve karakteristike rasta mikroorganizama: skraćuje lag-fazu, povećava faktor stope rasta i ubrzava razmnožavanje (Z. Liu et al., 2018).

Ustanovljeno je da postoji proporcionalnost između povećanja temperature vode i broja aerobnih mezofilnih bakterija (Gounot, 1986).

Doktorska disertacija

Dugoročnim i visokofrekventnim praćenjem parametara kvaliteta vode za piće, može da se uvidi prirodno kolebanje u mikrobim zajednicama, kao i predviđanje mikrobim parametara na osnovu temperature vode i godišnjih doba (Prest et al., 2016). Oni su pratili tokom dve godine, kvalitet vode u jednom holandskom distributivnom sistemu, a uzorkovanja su vršena na dve lokacije: na samom izlasku vode iz fabrike za preradu, a druga tačka je bila na distributivnom sistemu. Ovo istraživanje je pokazalo da su se u ispitivanom sistemu za prečišćavanje i distribuciju vode pojavile velike sezonske varijacije u mikrobim parametrima vode za piće. Rast bakterija u distributivnom sistemu bio je u korelaciji sa temperaturom vode. Takođe se pokazalo da se obim bakterijskog rasta između dve lokacije sezonski razlikuje. Temperatura vode je zaista glavni faktor kinetike rasta bakterija, dok se AOC (asimilirani organski ugljenik) smatrao glavnim hranljivim sastojkom, koji kontroliše rast u vodi za piće (Prest et al., 2016).

Takođe, brojne studije su potvrdile da temperatura vode utiče na brzinu rasta mikroba, efikasnost dezinfekcije, koroziju na cevima i druge pojave povezane sa razvojem biofilma, kao i na mogućnost mikroorganizama da uđu u distributivni system (S. Liu et al., 2016). Ispitivanja sistema vodosnabdevanja pijaćom vodom i prateći analizu iste sa četiri izvora, došlo se do saznanja da su se takozvana „hladna voda“ i „topla voda“, značajno razlikovale na sva četiri lokaliteta. Stope formiranja biofilma bile su mnogo niže tokom izlaganje „hladnoj vodi“ u odnosu na „toplu vodu“ za isti posmatrani period. Samim tim kvalitet vode sa niže izmerenom temperaturom je bio mnogo bolji sa aspekta mikrobiološkog kvaliteta (Donlan et al., 1994).

Iz svega navedenog može se zaključiti da je praćenje promene temperature vode za piće veoma bitan parametar u paralelnom posmatranju prisustva mikrobioloških indikatora tokom različitih vremenskih perioda.

Doktorska disertacija

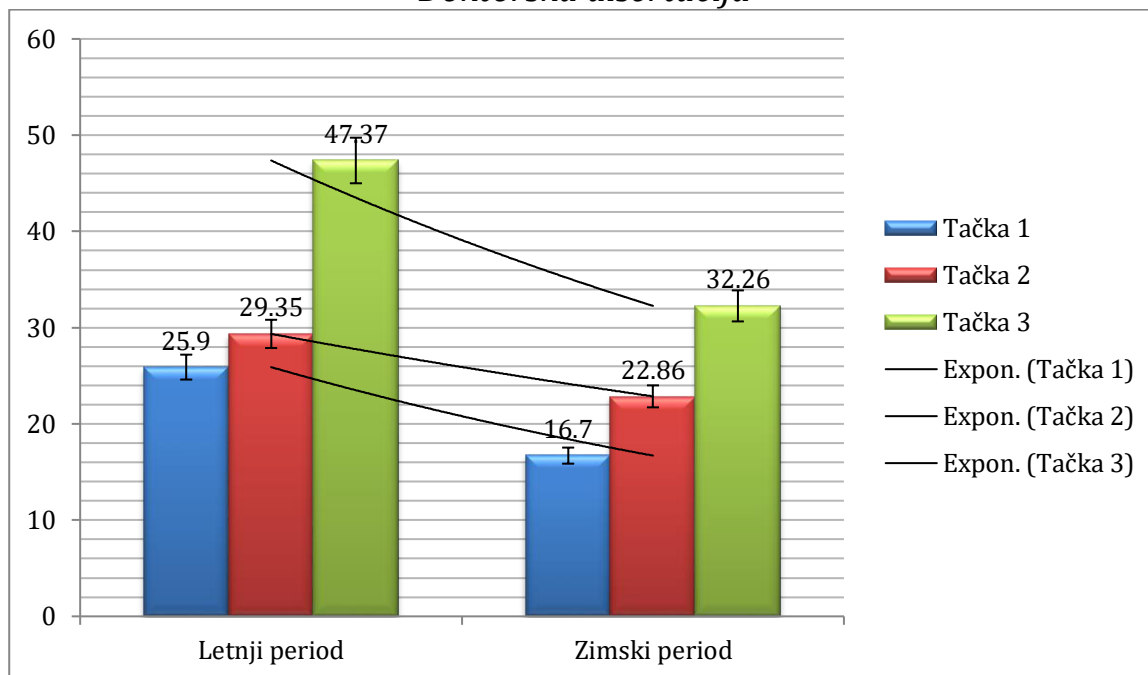
U tabeli 4 prikazani su rezultati mikrobiološkog ispitivanja ukupnog broja aerobnih mezofilnih bakterija (AMB) u vodi za piće u letnjem i zimskom periodu, sa akcentom na zastupljenost uzoraka, koji ne odgovaraju važećem Pravilniku. U tabeli su takođe dati opsezi vrednosti AMB (u cfu/ml) za uzorke koji prelaze dozvoljenu brojnost propisanu Pravilnikom. Uočava se da je broj AMB povećan u letnjem periodu u odnosu na zimski.

Tabela 4. Aerobne mezofilne bakterije u vodi za piće u letnjem i zimskom periodu.

	Broj analiziranih uzoraka	Broj uzoraka koji ne odgovaraju važećem Pravilniku	Opseg vrednosti AMB za uzorke koji ne odgovaraju važećem Pravilniku
Letnji period			
Tačka 1	583	151	11-36
Tačka 2	92	27	11-48
Tačka 3	28	18	11-53
Zimski period			
Tačka 1	563	94	11-21
Tačka 2	35	8	11-25
Tačka 3	62	20	11-32

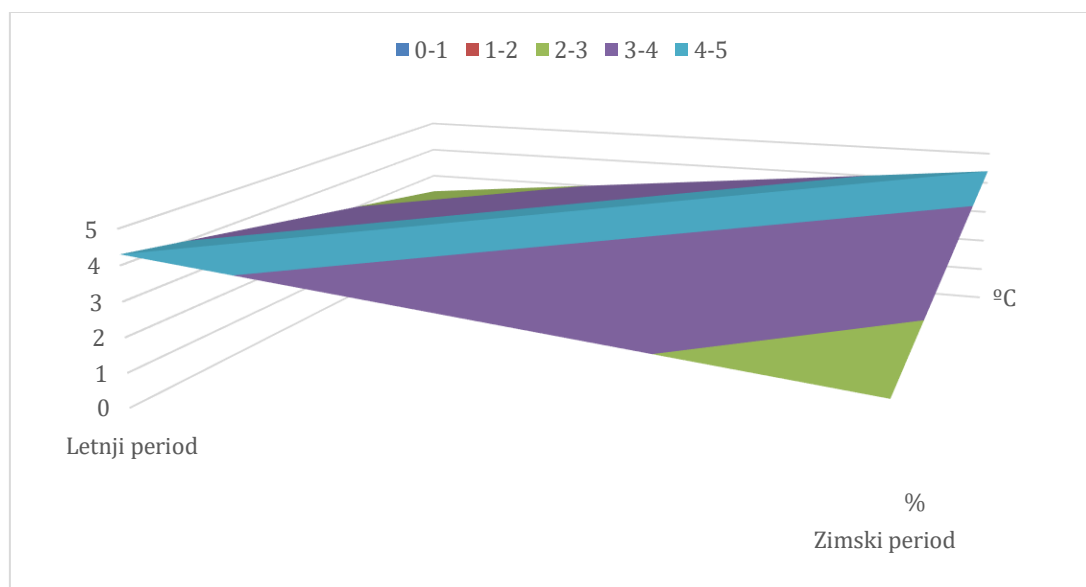
Uporedni pregled kretanja procenta ukupnog broja AMB, koji odstupa od važećeg Pravilnika u toku letnjeg i zimskog perioda, prikazan za svaku mernu tačku je prikazan na Grafikonu 7.

Doktorska disertacija



Grafikon 7. Procentualni odnos uzoraka koji ne odgovaraju važećem Pravilniku za ukupan broj AMB po mernim tačkama, %.

Na osnovu grafikona jasno se uviđa da je najveći % neispravnih uzoraka u sve tri tačke merenja, u letnjem (posmatranom) periodu. U zimskom periodu beleži se značajan pad % neispravnih uzoraka, čija se značajnost može istaći za Tačku 1 u delu od 35,6%, za Tačku 2 u delu od 22,2%, dok za Tačku 3 pad iznosi 32%.



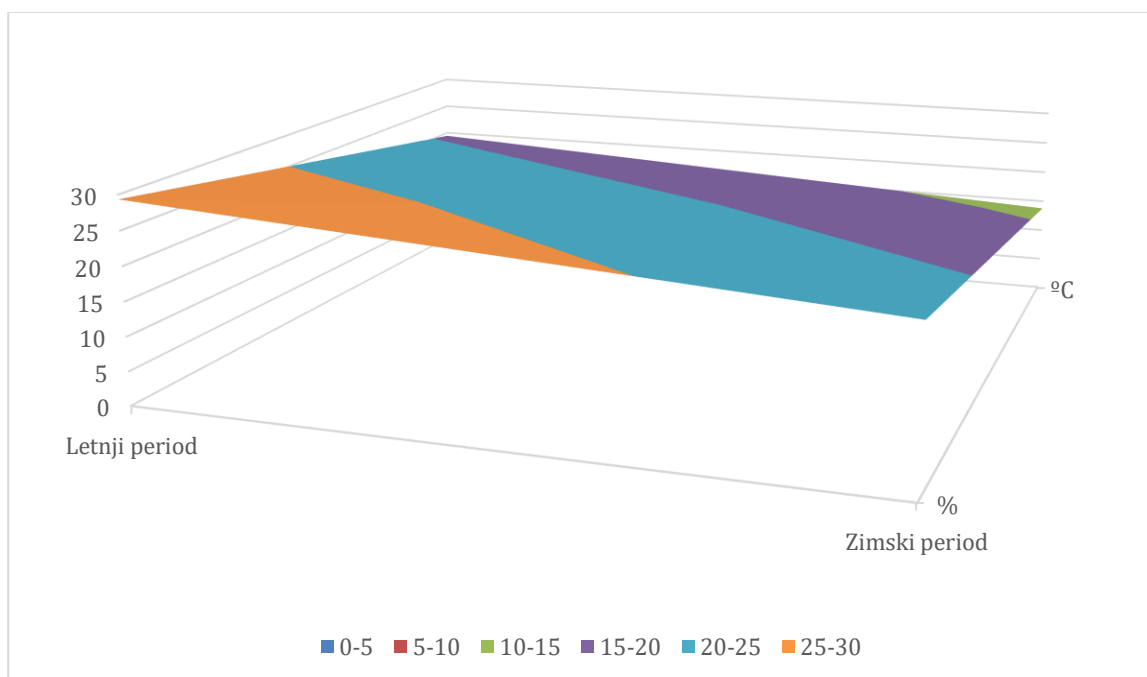
Grafikon 8. Procentualni odnos uzoraka koji ne odgovaraju važećem Pravilniku za ukupan broj AMB u mernoj Tački 1, %.

Doktorska disertacija

Napominjući da Tačka 2 distribuira vodu za snabdevanje za manje od 8% stanovništva Mačvanskog okruga, a Tačka 3 učestvuje u snabdevanju stanovništva sa manje od 4%, procentualno iskazani uzorci koji ne odgovaraju važećem Pravilniku, nemaju signifikantnost uvažavajući značajnije nižu participaciju u odnosu na snabdevanje celokupne teritorije Mačvanskog okruga.

Na osnovu grafikona 8 uočava se jasno kretanje % neispravnih uzoraka kada je u pitanju AMB u odnosu na kretanje temperature u letnjem i zimskom periodu. Kretanje promene temperature je u direktnoj vezi sa promenom pojave % uzoraka, koji ne odgovaraju važećem Pravilniku. Porast temperature dovodi i do većeg broja AMB u uzorcima vode.

Na grafikonu 9 primetan da je pad % neispravnih uzoraka ukupnog broja AMB u vodi iz Tačke 2, proporcionalan padu temperature. Uočava se razlika u procentu neispravnih uzoraka između Tačke 1 i Tačke 2. Voda koja nije prošla proces tehnološke prerade pokazuje povećan % neispravnih uzoraka u letnjem periodu (jun - septembar), što se može povezati i sa većom temperaturom vode iz Tačke 2 (19,42 °C) u odnosu na Tačku 1 (18,3 °C).



Grafikon 9. Procentualni odnos uzoraka koji ne odgovaraju važećem Pravilniku za ukupan broj AMB u mernoj Tački 2, %.

Doktorska disertacija

Istraživanja su potvrdila da postoji značajna proporcionalnost između povećanja temperature vode i broja AMB (Xiong et al., 2016).

Ukupan broj aerobnih mezofilnih bakterija niži u hladnijim vodama na svakom ispitivanom mestu. Takođe je zaključio da je stopa akumulacije biofilma bila najveća na temperaturama vode između 15 °C i 25 °C (Donlan et al., 1994). Na osnovu merenih parametara, može se zaključiti da je ovaj efekat posledica povećane temperature, smanjene koncentracije rezidualnog hlora ili nekog drugog faktora, kao i kombinacije više faktora.

Takođe, procenat rasta bakterija se generalno povećava sa porastom temperature (del Giorgio et al., 2011). Isto tako se mogu uočiti i statistički značajni odnosi između fizičkih i hemijskih parametara kvaliteta vode i nivoa ukupnog broja bakterija (Bojarczuk et al., 2018; Carter et al., 2000).

Tokom praćenja ukupnog broja AMB u ovom istraživanju kroz spomenuti vremenski period, dolazi do slaganja rezultata sa prethodnim istraživanjima. Na povećanje ukupnog broja AMB u vodi za piće u obe merne tačke, temperatura se javlja kao značajan činilac i to je slikovito prikazano na grafikonima 9 i 10. Jasno se uočava sezonska promenljivost ovog mikrobiološkog parametra.

Najveći broj neispravnih uzoraka u ovom radu imale su vrednost između 11 i 15 cfu/ml, što nije veliko odstupanje (prema važećem Pravilniku dozvoljena vrednost za ukupan broj AMB je 10 cfu/ml), ali se svrstava u procenat uzoraka koji ne odgovaraju važećem Pravilniku, jer prelazi maksimalno dozvoljenu propisanu vrednost. Realan ukupan broj bakterija, koje su metabolitički aktivne može da varira na različitim mernim tačkama, može se razlikovati brojnost u zavisnosti od godišnjeg doba, kao i između uzastopnih uzetih uzoraka na jednoj (istoj) mernoj tački. Ukupan broj AMB uključuje nepatogene mikroorganizme, koji su deo prirodne mikroflore pojedinog izvora (sistema), što u nekim slučajevima, uključuje i organizme iz različitih izvora zagađivača. Povećanje brojnosti ovih bakterija može biti intezivno ili se to povećanje brojnosti može dešavati postepeno tokom vremena. Pojava razlike u nivoima u ukupnom broju AMB su u nekim situacijama normalne i mogu se desiti sezonski, međutim, ova povećanja mogu ukazivati i na promenu kvaliteta sirove vode, kao i probleme sa tretmanom vode za piće ili probleme u distributivnom sistemu, te ih treba istražiti.

Doktorska disertacija

Kao glavni pokazatelj porasta ukupnog broja AMB je temperatura vode, dostupnost hranjivih sastojaka, odnosno nedostatak rezidualnog dezinfekcionog sredstva.

Kod utvrđenog broja AMB, kada je taj broj iznad maksimalno dozvoljenog broja propisanog važećim Pravilnikom, i pod uslovom da su svi ostali mikrobiološki indikatori u skladu sa važećim Pravilnikom, tada nisu potrebne dodatne mere prema potrošačima u smislu restrikcija korišćenja vode za piće. U tom slučaju, fabrike za proizvodnju vode treba da otkriju pravi razlog te promene i sprovedu korektivnu meru. Najjednostavniji i najefikasniji način smanjivanja ukupnog broja AMB je kontinuirano doziranje dezinfekcionih sredstava, kao i održavanje rezidualnog hlora na propisanom nivou, s tim što se strogo mora voditi računa da se ne prekorače MDK.

U tabeli 5 prikazani su rezultati mikrobiološkog ispitivanja ukupnog broja koliformnih bakterija u vodi za piće u letnjem i zimskom periodu. Pažnja je usmerena na zastupljenost uzoraka, koji ne odgovaraju važećem Pravilniku. U tabeli su, takođe, dati opsezi vrednosti ukupnog broja koliformnih bakterija (u cfu/ml) za uzorke koji prelaze dozvoljenu brojnost propisanu Pravilnikom. Uočava se da je ukupan broj koliformnih bakterija povećan u letnjem periodu u odnosu na zimski.

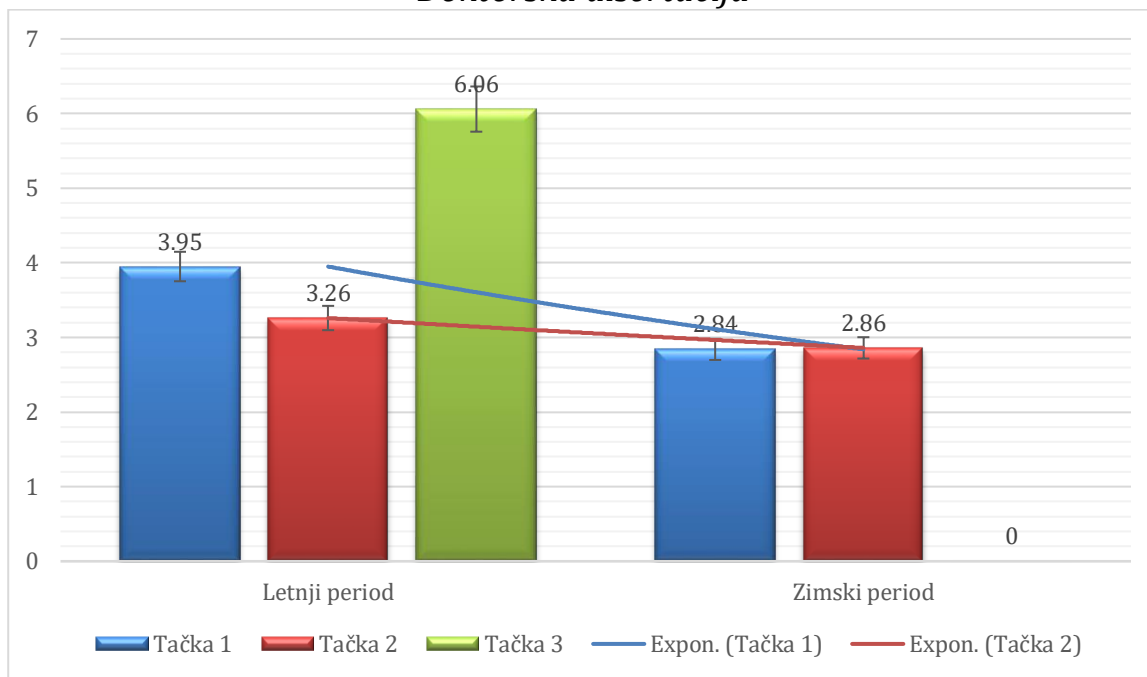
Doktorska disertacija

Tabela 5. Koliformne bakterije u vodi za piće u letnjem i zimskom periodu.

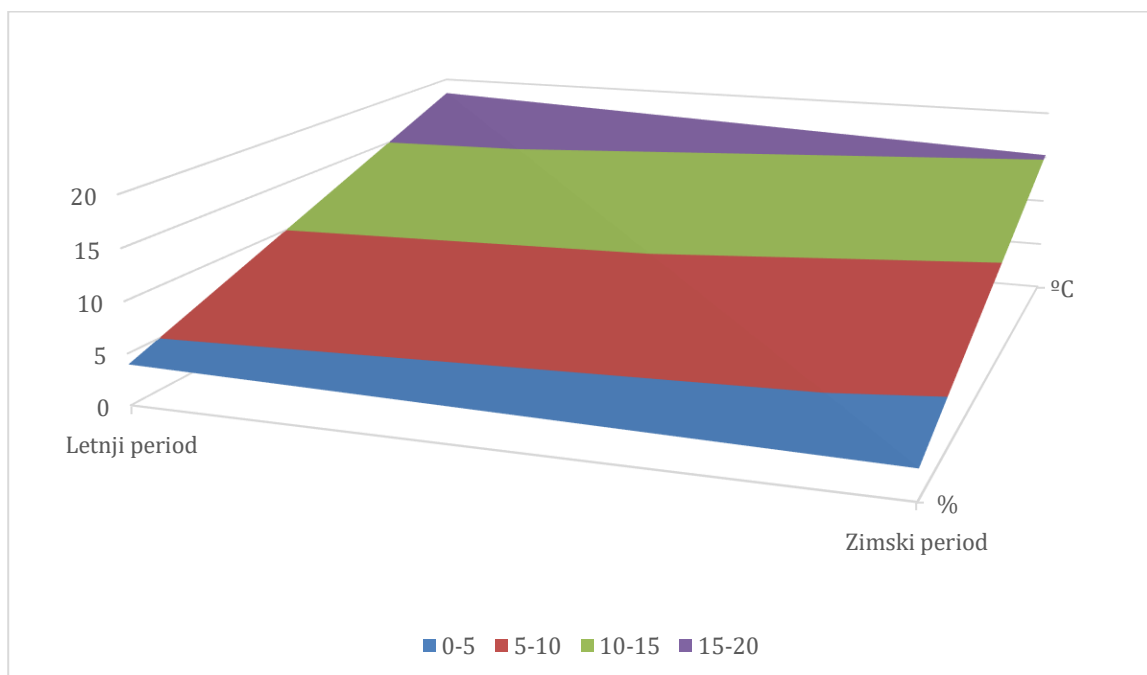
	Broj analiziranih uzoraka	Broj uzoraka koji ne odgovaraju važećem Pravilniku	Opseg vrednosti za ukupan broj koliformnih bakterija za uzorke koji ne odgovaraju važećem Pravilniku (cfu/ml)
Letnji period			
Tačka 1	583	23	1-6
Tačka 2	92	3	1-4
Tačka 3	33	2	1-6
Zimski period			
Tačka 1	563	16	1-3
Tačka 2	35	1	1-2
Tačka 3	62	0	0

Na grafikonu 10 se uočava da je procenat neispravnih uzoraka za ukupan broj koliformnih bakterija u letnjim mesecima bio veći u odnosu na period zimskih meseci. Pad % neispravnih uzoraka od letnjeg ka zimskom periodu može se jasno pratiti i izraziti procentima. Za Tačku 1, pad tokom zimskog perioda iznosio je 29%. Kada se govori o Tački 2 može se uočiti manja razlika, i pad iznosi 12,3%. Na mestu uzorkovanja u Tački 3 u zimskom periodu nisu detektovane koliformne bakterije.

Doktorska disertacija



Grafikon 10. Procentualni odnos uzoraka koji ne odgovaraju važećem Pravilniku za ukupan broj koliformnih bakterija po mernim tačkama, %.



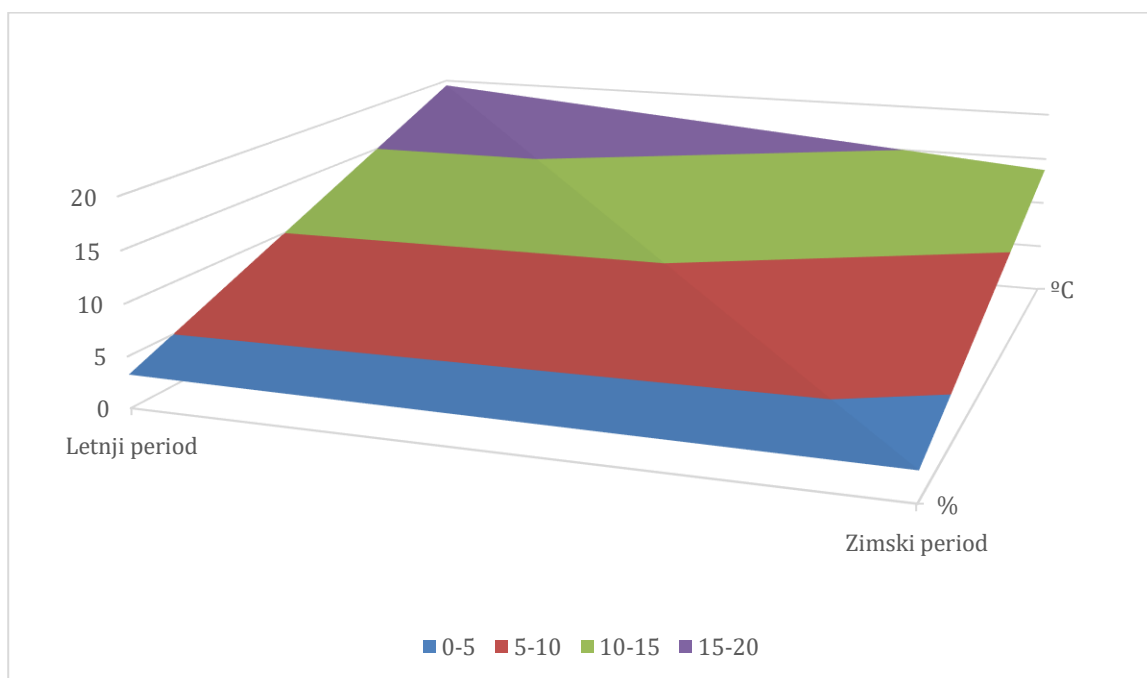
Grafikon 11. Procentualni odnos uzoraka koji ne odgovaraju važećem Pravilniku za ukupan broj koliformnih bakterija u mernoj Tački 1, %.

Na grafikonu 11 je predstavljen % uzoraka, koji ne odgovara važećem Pravilniku, praćen u vodi koja se distribuira sa Tačke 1, te se uočava i da je taj

Doktorska disertacija

procenat uzoraka za ukupan broj koliformnih bakterija niži u zimskom periodu u odnosu na letnji period. Na grafikonu 11 je, takođe, predstavljeno kretanje prosečne temperature u letnjem i zimskom periodu i uočava se pad prosečne temperature. Pad temperature dovodi do manjeg broja uzoraka, koji ne odgovara važećem Pravilniku za ovaj ispitivani parametar.

Sličnu pojavu uočavamo i kod neprerađene vode sa Tačke 2 (Grafikon 12). Pad procenta ukupnog broja koliformnih bakterija je uočljiv u zimskom periodu i u korelaciji je sa padom temperature tokom zimskih meseci kada je temperatura vode iznosila 13,75 °C.



Grafikon 12. Procentualni odnos uzoraka koji ne odgovaraju važećem Pravilniku za ukupan broj koliformnih bakterija u mernoj Tački 2, %.

Analiza ukupnog broja koliformnih bakterija je jednostavna, pre svega relativno brz i jeftin način za praćenja kvaliteta vode za piće. Uvažavajući činjenicu da su koliformne bakterije široko rasprostranjene u životnoj sredini, određivanje njihovog ukupnog broja/prisutnost u vodi za piće, može biti jedan od ključnih pokazatelja za određivanje efikasnosti sistema za prečišćavanje vode za piće. Ukupan broj koliformnih bakterije ujedno se može koristiti za identifikaciju problema sa podzemnim vodama, koje su manje osetljive na fekalnu kontaminaciju, s obzirom da

Doktorska disertacija

koliformne bakterije ne bi trebalo da se nalaze u tim izvorima. Koliformni mikroorganizmi mogu se kolonizovati i rasti u biofilmu, koji se nakuplja na površinama sistema za distribuciju vode za piće. Prema važećem Pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode nije dozvoljena prisustvo ovih mikroorganizama u 100 ml vode za piće. U distributivnom sistemu vode za piće treba pratiti ukupan broj koliformnih bakterija, jer se isti koristi za ukazivanje na promene u kvalitetu vode.

Neki sojevi koliformnih bakterija, koji ne predstavljaju pretnju javnom zdravlju, mogu, takođe, da daju pozitivan rezultat u uzorcima (Craun et al., 1997; Vale et al., 2009). Međutim, njihovo prisustvo ukazuje na potrebu istraživanja uzroka, koji je narušio integritet sistema, od izvora do slavine potrošača. Efikasan tretman treba da obezbedi potrošačima vodu bez koliformnih bakterija, bez obzira na stepen prvobitne kontaminacije vode.

Utvrđeno je da se najveći procenat pozitivnih uzoraka za koliforme dobija u letnjem periodu, gde je prosečna temperatura bila 21,68 °C, dok je najveći procenat negativnih uzoraka dobijen zimi, gde je prosečna temperatura bila 10,68 °C (Stukel et al., 1990). Ova činjenica se poklapa i sa ovim istraživanjem, gde je, takođe, pokazano da je u letnjem periodu (jun - septembar) sa izmerenom prosečnom temperaturom vode od 18,3 °C (Tačka 1) i 19,42 °C (Tačka 2) prisutan veći procenat neispravnih uzoraka, odnosno uzoraka pozitivnih na prisustvo ukupnog broja koliformnih bakterija u odnosu na zimski period kada se temperatura kretala 13,75 °C (Tačka 2) do 15,25 °C (Tačka 1).

Takođe je ustanovljena učestalija pojava bolesti uzrokovanih koliformnim bakterijama kada je povećana temperatura vode (Paruch & Mæhlum, 2012). Najveći broj bolesti izazvani koliformnim bakterijama po njima dešavao se leti, što sugeriše da je temperatura očigledno faktor, koji dovodi do povećanog rasta koliformnih bakterija u distributivnom sistemu.

Neadekvatno održavanje slobodnog hlora u celom distributivnom sistemu može pojačati rast koliformnih bakterija, bez obzira na to što je svaki distributivni sistem jedinstven (Karikari & Ampofo, 2013).

Utvrđeno je da i druga jedinjenja imaju ulogu u kontroli rasta mikroba u sistemu distribucije, uključujući fosfor, amonijak, mangan, gvožđe i humusne supstance (F. Yang et al., 2021; I. X. Zhu et al., 2010).

Doktorska disertacija

U praksi koliformi se često nalaze u vodi iz slavine (Amarawansa et al., 2021; Kimani-Murage & Ngindu, 2007; Tabor et al., 2011). Veličina zdravstvenog rizika koja je povezana sa prisustvom koliforma je donekle ublažena u Sjedinjenim Američkim Državama, gde je dozvoljena tolerancija od 5% za uzorke vode, koji su pozitivni na nefekalne koliforme na mesečnom nivou. Ovo je učinjeno kako bi se uzela u obzir činjenica da se nekoliko ovih mikroorganizama prirodno javlja u vodenom okruženju, poreklom iz zemljišta i vegetacije ili industrijskih aktivnosti. Iako su mnogi koliformni mikroorganizmi sposobni da prežive i ponovo rastu u sistemu distribucije, njihovo prisustvo ne mora nužno ukazivati na nedavnu kontaminaciju.

Na pojavu koliforma mogu u velikoj meri da utiče hidraulika vode, taloženje/resuspendiranje čestica, vreme zadržavanja vode u sistemu i pojava niskog pritiska (Besseling et al., 2014). Pokazalo se da su fizičke karakteristike, kao što su povišena temperatura vode, često povezane sa otkrivanjem koliformnih mikroorganizama, što odgovara rezultatima istraživanja dobijenih i u ovoj doktorskoj disertaciji.

Mnogi autori temperaturu vode višu od 15 °C povezuju za koliformni rast (Al-Gheethi et al., 2018; LeChevallier et al., 1991, 1996; Ram & Kumar, 2020). U ovoj studiji je prosečna temperatura letnjih meseci iznosila 18,3 °C za Tačku 1 i 19,42 °C za Tačku 2, te se teze koje se navode u prethodnim istraživanjima poklapaju sa rezultatima pokazanim u ovom radu.

WHO u projektu za potrebe Evropske komisije (2017) je predložila da se mikrobiološki parametar- ukupan broj koliformnih bakterija ne uključuje u novu Direktivu o kvaliteti vode za humanu potrošnju, jer njihovo praćenje nema dodatne vrednosti. To se objašnjava činjenicom da je *E. coli* bolji indikator fekalnog zagađenja, a isto tako smatraju i da ukupan broj bakterija ukazuje na integritet i održavanje vodovodnog sistema, kao i sposobnost formiranja biofilma, te da nema potrebe određivati i ukupne koliforme.

Procena rizika zasnovana na zdravlju nije relevantna za ukupne koliforme, jer se one koriste samo kao indikator, a njihovo prisustvo u vodi za piće se ne smatra rizikom za zdravlje ljudi (Hamilton et al., 2019).

U tabeli 6 prikazani su rezultati mikrobiološkog ispitivanja ukupnog broja koliformnih bakterija fekalnog porekla u vodi za piće u letnjem i zimskom periodu sa fokusom na zastupljenost uzoraka, koji ne odgovaraju važećem Pravilniku. U tabeli se

Doktorska disertacija

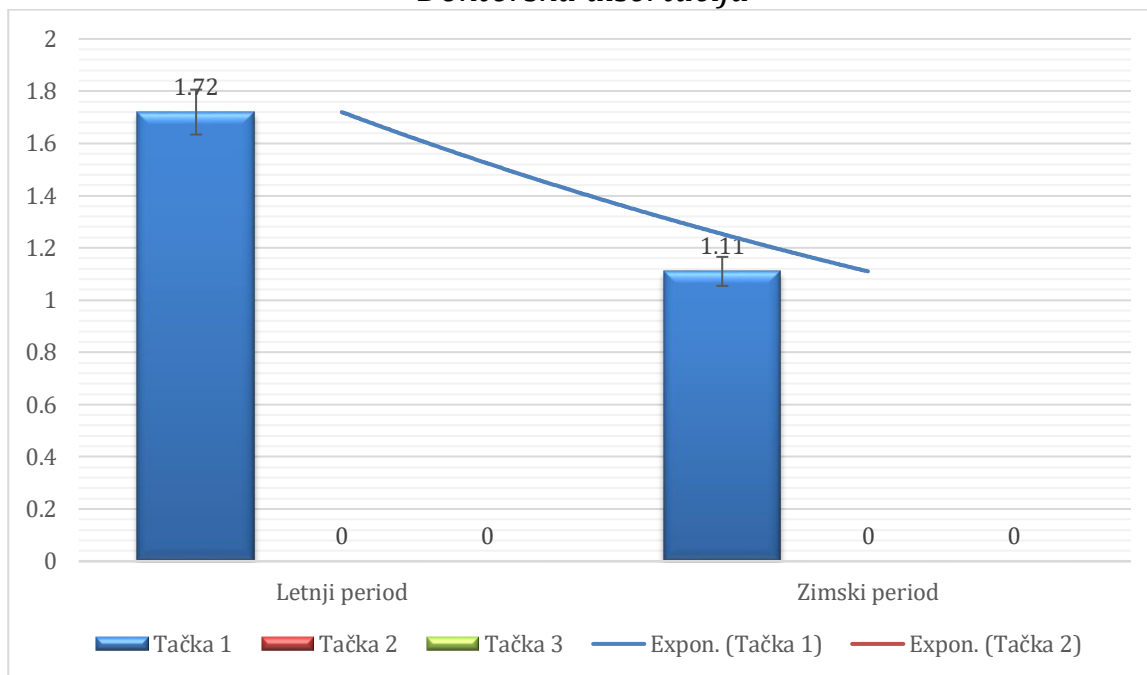
očitavaju i dati opsezi vrednosti ukupnog broja koliformnih bakterija fekalnog porekla (u cfu/ml) za uzorke koji prelaze dozvoljenu brojnost propisanu Pravilnikom. Ukupan broj koliformnih bakterija fekalnog porekla u ispitivanim uzorcima se kretao do 2 cfu/ml.

Tabela 6. Koliformne bakterije fekalnog porekla u vodi za piće u letnjem i zimskom periodu.

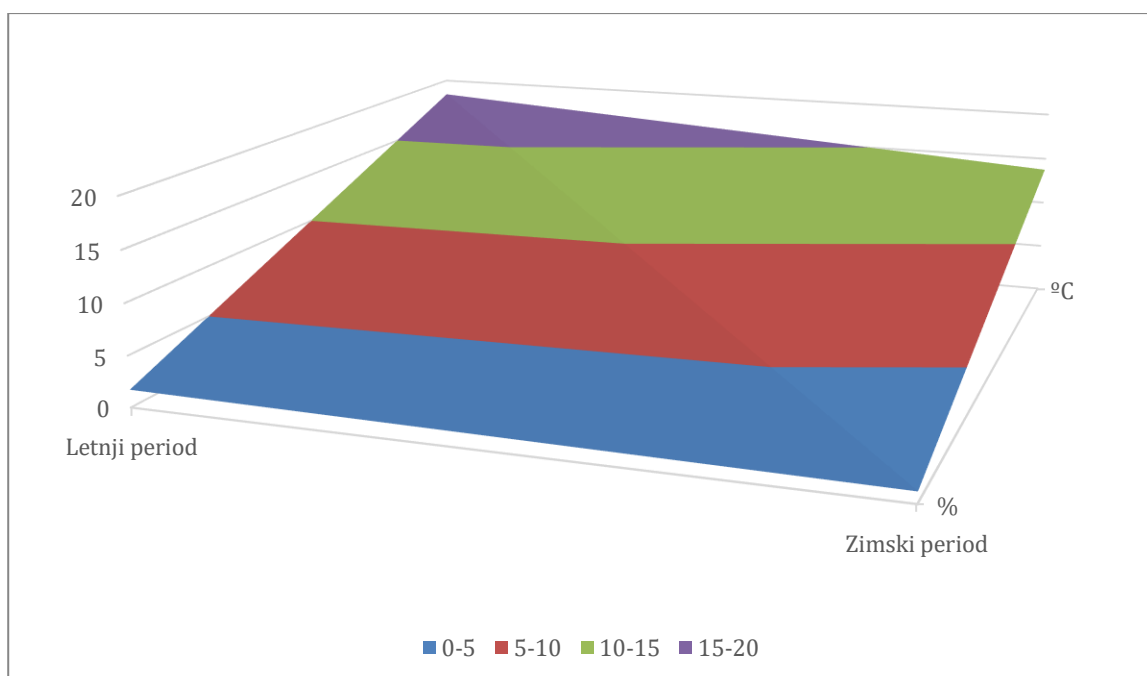
	Broj analiziranih uzoraka	Broj uzoraka koji ne odgovaraju važećem Pravilniku	Opseg vrednosti za ukupan broj koliformnih bakterija fekalnog porekla za uzorke koji ne odgovaraju važećem Pravilniku (cfu/ml)
Letnji period			
Tačka 1	583	10	1-2
Tačka 2	92	0	0
Tačka 3	33	0	0
Zimski period			
Tačka 1	563	6	1
Tačka 2	35	0	0
Tačka 3	62	0	0

Na grafikonu 13 uočava se prisustvo fekalnih koliformnih bakterija samo u Tački 1, dok u vodi sa Tačke 2 i Tačke 3 njihovo prisustvo nije utvrđeno. Uviđa se da je bio veći procenat neispravnih uzoraka u letnjem periodu u poređenju sa zimskim.

Doktorska disertacija



Grafikon 13. Procentualni odnos uzoraka koji ne odgovaraju važećem Pravilniku za ukupan broj koliformnih bakterija fekalnog porekla.



Grafikon 14. Procentualni odnos uzoraka koji ne odgovaraju važećem Pravilniku za ukupan broj koliformnih bakterija fekalnog porekla u mernoj Tački 1, %.

Doktorska disertacija

Na osnovu prikaza na grafikonu 14, uočava se jasan pad ukupnog broja fekalnih koliformnih bakterija u periodima zimskih meseci za razliku od posmatranog perioda jun – septembar (letnji period), gde je procenat pojave neispravnih uzoraka za ovaj indikator 1,72.

Prateći prethodne mikrobiološke parametre i njihovo prisustvo u vodama sa nešto višom temperaturom od optimalne, može se uvideti da je slična situacija i sa ukupnim brojem koliformnih mikroorganizama fekalnog porekla, s tom razlikom da su oni detektovani samo u vodi sa Tačke 1 i to vrlo sporadično u svega 10 uzoraka od ukupnog broja 583, koja su u tom periodu analizirana za dati parametar. Ovaj procenat pozitivnih bakterija fekalnog porekla, ne može se povezati sa lošim kvalitetom vode iz razloga što su ove bakterije detektovane u uzorcima od kojih su većina uzeta sa javnih česmi i na krajevima vodovodne mreže. Pojedine studije ukazuju na činjenicu da izmet ptica mogu da budu značajan izvor fekalnog zagađenja mesta, u ovom slučaju, javnih česmi, na kojima se voda uzorkuje i da se zagađenje može dogoditi prilikom samog procesa uzorkovanja (Ljubojević et al., 2016; Stephens et al., 2019). Međutim, bez obzira na izvor kontaminacije i ovde se uočava razlika u procentu neispravnih uzoraka u letnjem i zimskom periodu, što govori u prilog tome da povišena temperatura i vode i vazduha predstavlja sredinu za lakši opstanak ovih mikroorganizama.

Koliformne bakterije inače nastanjuju vodu i zemljište, te ukupan broj ovih bakterija možemo smatrati izuzetno slabim parametrom, kada je u pitanju stepen fekalne kontaminacije u vodi. U vodovodnim mrežama, kao i u rezervoarima, ove bakterije mogu da se razmnožavaju i u odsustvu fekalne kontaminacije. Poslednjom regulativom je definisano da je *E. coli* najpogodniji indikator za prisustvo patogenih mikroorganizama, koji se javljaju usled fekalne kontaminacije. Praćenje prisustva *E. coli* u vodi kao najspecifičnijeg indikatora sveže fekalne kontaminacije direktno ukazuje na rizik po zdravlje ljudi (Lika et al., 2021; Puvača & de Llanos Frutos, 2021). U važećem Pravilniku još uvek nije izdvojena *E. coli* kao zasebni parametar već se određuje u okviru ukupnog broja fekalnih koliformnih bakterija. Tokom ovih istraživanja od ukupno 10 uzoraka pozitivnih na prisustvo ukupnog broja koliformnih bakterija fekalnog porekla, u letnjem periodu, u 4 uzoraka vode za piće je indentifikovana *E. coli*. U toku zimskog perioda, od ukupno 6 uzoraka pozitivnih na ukupan broj koliformnih bakterija, u jednom uzorku je indentifikovana *E. coli*.

Doktorska disertacija

Biofilmovi pružaju stanište za preživljavanje mikrobioloških indikatora, uključujući ukupne koliforme i fekalne patogene, koji su možda prošli kroz barijere za prečišćavanje vode za piće ili direktno ušli u distributivni sistem kršenjem integriteta (Flemming et al., 2002; LeChevallier et al., 1990; Lu et al., 1999; Maes et al., 2019; Schwartz, Hoffmann, et al., 2003).

Niske temperature vode imaju značajan efekat na smanjenje prisustva fekalnih koliformnih bakterija, jer pri nižim temperaturama, koncentracija rezidualnog hlora ostaje konstantna (Khan, 2020).

U ovom istraživanju došlo se do saznanja prateći određeni vremenski period, da se kontaminacija ponavljala na istim mernim tačkama, te da je uzrok pojave *E. coli* povezan sa prisustvom biofilma u cevima na delu završetka vodovodne mreže ili da je i uzrok pozitivnog nalaza najverovatnije kontaminacija spoljašnjeg faktora, koja ne uključuje sam kvalitet vode kao izvora.

U tabeli 7 prikazani su rezultati mikrobiološkog ispitivanja ukupnog broja enterokoka fekalnog porekla u vodi za piće u letnjem i zimskom periodu. Pažnja je usmerena na zastupljenost uzoraka, koji nisu odgovarali važećem Pravilniku. U tabeli su takođe dati opsezi vrednosti ukupnog broja koliformnih bakterija (u cfu/ml) za uzorke, koji prelaze dozvoljenu brojnost propisanu Pravilnikom. Utvrđeno je prisustvo ukupnog broja enterokoka fekalnog porekla samo tokom letnjeg perioda.

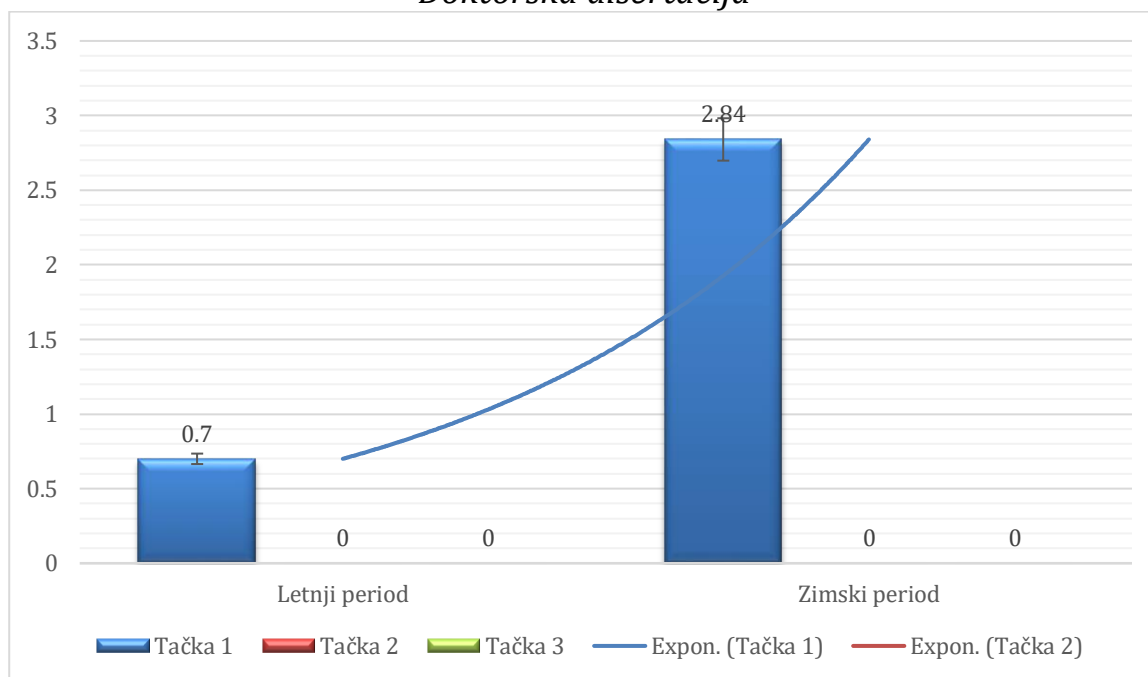
Doktorska disertacija

Tabela 7. Enterokoke fekalnog porekla u vodi za piće u letnjem i zimskom periodu.

	Broj analiziranih uzoraka	Broj uzoraka koji ne odgovaraju važećem Pravilniku	Opseg vrednosti za ukupan broj enterokoka fekalnog porekla za uzorke koji ne odgovaraju važećem Pravilniku (cfu/ml)
Letnji period			
Tačka 1	583	4	1
Tačka 2	92	0	0
Tačka 3	33	0	0
Zimski period			
Tačka 1	563	0	0
Tačka 2	35	0	0
Tačka 3	62	0	0

Kako se može videti na grafikonu 15, pojava enterokoka fekalnog porekla uočava se samo u uzorcima vode sa Tačke 1. Procenat pojave ovog indikatora je 0,70% jer je njegova prisutnost zabeležena u svega 4 uzorka od ukupno ispitanih 583 sa mernih tačaka koje pripadaju Tački 1.

Doktorska disertacija



Grafikon 15. Procentualni odnos uzoraka koji ne odgovaraju važećem Pravilniku za ukupan broj enterokoka fekalnog porekla.

Fekalne enterokoke kao i *E. coli*, nalaze se u fecesu ljudi i životinja. Iako su u poređenju po brojnosti u fecesu ljudi malobrojnije od *E. coli*, ove vrste u vodi preživljavaju duže i smatraju se boljim indikatorom prisustva fekalne kontaminacije vode i hrane (Doma et al., 2020; Puvača & de Llanos Frutos, 2021).

Saznanje da su fekalne enterokoke identifikovane u 4 uzorka u vodi za piće, upućuje da mogu postojati mikrobiološke opasnosti i u tehnološki prerađenoj vodi. Najčešće se takvi mikroorganizmi identifikuju na mernim tačkama, koje se nalaze na krajevima vodovodne mreže i starim i rekonstruisanim delovima vodovodne mreže.

Sezonska promenljivost, kada je u pitanju ovaj parametar, je takođe primetna, što u prilog govori i činjenica da je rezultat negativan u periodu zimskih meseci, a da su se 4 pozitivna nalaza detektovala tokom perioda jun – septembar, kada je temperatura vode bila viša.

Takođe, pojava fekalnih enterokoka je često vezana za mesta završetaka cevi ili gde koncentracije rezidualnog hlora nisu bile veće od 0,1 mg/l (Bonilla et al., 2010). Pojava fekalnih enterokoka ne mora biti povezana sa prisustvom *E. coli* u istim uzorcima. Niska koncentracija rezidualnog hlora je vodeći uzrok pojave fekalnih enterokoka i mnogi naučnici su saglasni da voda koja se tretira u skladu sa

Doktorska disertacija

smernicama za enterične viruse i crevne protozoe, ne bi smela da sadrži fekalne enterokoke u vodi za piće (Wheeler et al., 2002).

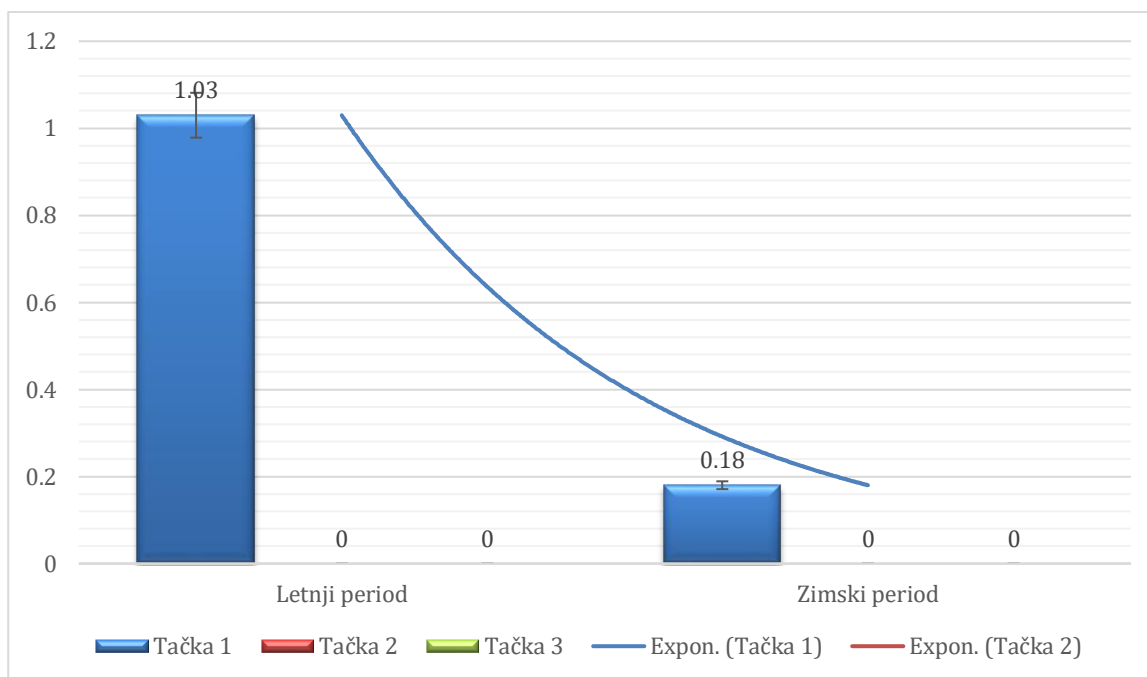
U tabeli 8 prikazani su rezultati mikrobiološkog ispitivanja *P. aeruginosa* u vodi za piće u letnjem i zimskom periodu, sa akcentom na zastupljenost uzoraka, koji ne odgovaraju važećem Pravilniku. U tabeli su, takođe, dati opsezi vrednosti *P. aeruginosa* (u cfu/ml) za uzorke koji prelaze dozvoljenu brojnost propisanu Pravilnikom. Uočava se da je broj *P. aeruginosa* povećan u letnjem periodu u odnosu na zimski.

Tabela 8. *P. aeruginosa* u vodi za piće u letnjem i zimskom periodu.

	Broj analiziranih uzoraka	Broj uzoraka koji ne odgovaraju važećem Pravilniku	Opseg vrednosti za ukupan broj <i>P. aeruginosa</i> za uzorke koji ne odgovaraju važećem Pravilniku (cfu/ml)
Letnji period			
Tačka 1	583	6	1-2
Tačka 2	92	0	0
Tačka 3	33	0	0
Zimski period			
Tačka 1	563	1	1
Tačka 2	35	0	0
Tačka 3	62	0	0

Tokom ovog istraživanja prisustvo *P. aeruginosa* je indentifikovano u 6 uzoraka vode u letnjim mesecima i u 2 uzorka u zimskom periodu, i to samo u vodi distribuiranoj iz Tačke 1, dok u vodi sa Tačke 2 i Tačke 3 nije indentifikovano prisustvo ovog mikroorganizma.

Doktorska disertacija



Grafikon 16. Procentualni odnos uzoraka koji ne odgovaraju važećem Pravilniku za *P. aeruginosa* po mernim tačkama, %.

Prisustvo *P. aeruginosa* u vodi za piće može rezultirati ukupnim pogoršanjem mikrobiološkog kvaliteta i dovesti do promene ukusa i mirisa. Sposoban je za kolonizaciju slavina i vodovodnih instalacija u zgradama (Farooq et al., 2021).

Sprečavanjem razvoja biofilma u distributivnim sistemima sprečava se i umnožavanje *P. aeruginosa* u vodi i eventualni problemi, koji mogu da nastanu usled umerene rezistencije na dezinficijense od strane ove bakterije.

Stagnacija vode, prosečno vreme zadržavanja i režim protoka su faktori, koji utiču na uspostavljanje biofilma i rizik od pojačavanja oportunističkih patogena. Takođe, dezinfekcija, temperatura i hidraulički režim su ključni u pojavi *P. aeruginosa* u distributivnom sistemu (Huo et al., 2021).

Dokument o bezbednosti vode, koji je objavila WHO (2011) je, takođe, saglasan da nizak protok, stagnacija i viša temperatura vode dovode do podsticanja rasta ove bakterije. Dakle, veća brzina protoka i turbulencija smanjuju stvaranje biofilma (Farooq et al., 2021; LeChevallier et al., 1990; Schwartz, Hoffmann, et al., 2003).

Doktorska disertacija

P. aeruginosa je tokom ove studije izolovan samo u jednom delu grada. U proteklom periodu vršena je zamena distributivnih cevi u tom delu grada, što je dovelo do poboljšanja kvaliteta vode u uzorcima sa tih mernih tačaka.

Sulfitoredukujuće klostridije nisu izolovane ni u jednom uzorku vode za piće tokom ovih istraživanja što odgovara važećem Pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode, prema kome voda za piće ne sme da sadrži ovaj mikrobiološki indikator.

C. perfringens indikator površinskih izvora vode, jer se detektuje u gotovo svim površinskim vodama u većoj ili manjoj količini u zavisnosti od kvaliteta izvora. Detekcija *C. perfringens* u površinskim vodama iznad dozvoljenih granica označava fekalno zagađenje, ispuštanje kanalizacije i industrijska ispuštanja otpada sa stočne farme, otpadnih voda iz klanica. Iz tog razloga sam proces prerade sirove vode je od ključnog značaja za bezbednost vode, kada je u pitanju ovaj patogen (Bailey et al., 2021). Proces koagulacije, flokulacije, filtracije i na kraju dezinfekcije moraju strogo biti praćeni u svim tačkama. Usled eventualne kontaminacije podzemnih voda fekalnim materijama, *C. perfringens* s obzirom na otpornosti spora, može dugo da perzistira u vodi i da posluži kao adekvatan indikator stanja podzemnih izvora (Bailey et al., 2021).

Proteus vrste nisu izolovane ni u jednom uzorku vode za piće tokom ovih istraživanja, što odgovara važećem Pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode, prema kome voda za piće ne sme da sadrži ovaj mikrobiološki indikator.

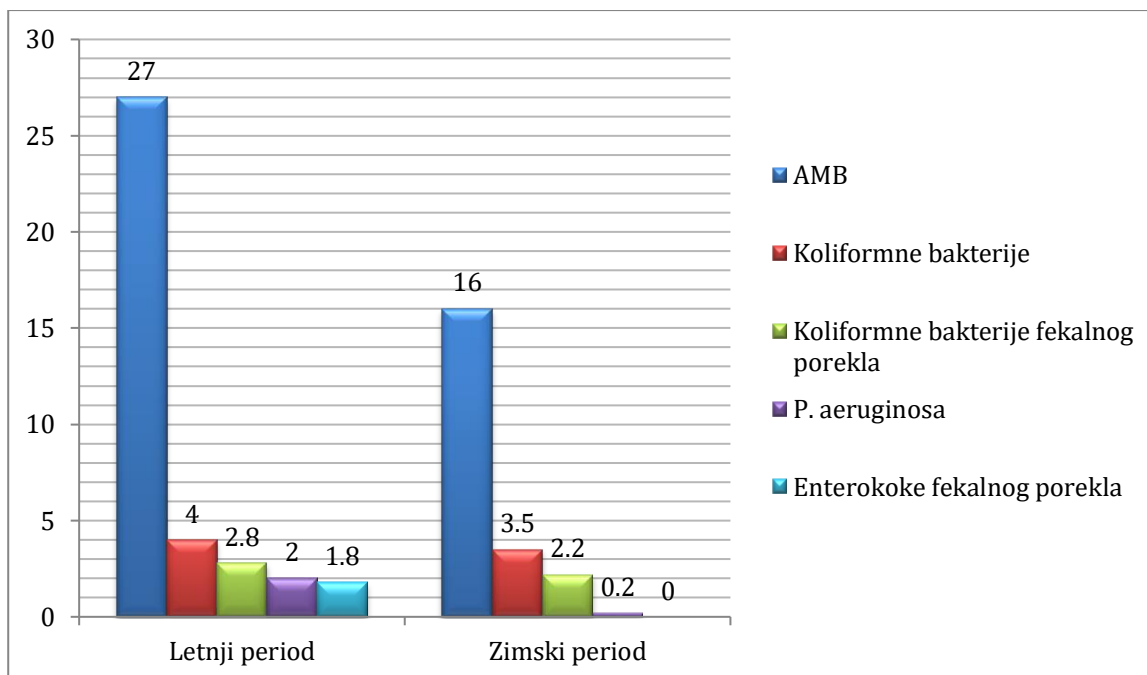
Otkrivanje bakterija koje pripadaju rodu *Proteus* u vodi za piće diskvalifikuje njenu pogodnost za potrošnju, jer je to dokaz fekalnog zagađenja. Glavni zagađivač vode za piće u Indiji je *Proteus*. Može da se nađe u potocima, bunarskim vodama, kao i drugim površinskim akumulacijama, koje se koriste kao izvor vode za piće u ruralnim sredinama (Ranjan et al., 2021).

Na grafikonu 17 su prikazani mikrobiološki parametri, koji nisu odgovarali važećem Pravilniku za vodu sa Tačke 1. Ova merna tačka je tokom ovog istraživanja korišćena kao najrelevantniji pokazatelj u kom se može istaći da je sezonska promenljivost u kvalitetu vode za piće i te kako uočljiva. Temperatura kao fizički faktor kvaliteta vode je značajna s razlogom što sa sobom povlači i promenu ostalih, kako hemijskih, tako i mikrobioloških parametara. Povećanjem temperature dolazi do smanjenja mikrobiološkog kvaliteta vode. Praćenjem indikatora obezbeđuju se informacije o rizicima od negativnih uticaja vode za piće na ljudsko zdravlje i

Doktorska disertacija

pokazuju u kojoj meri je snabdevanje vodom za piće u skladu sa sanitarno higijenskim uslovima i standardima (Pond et al., 2020).

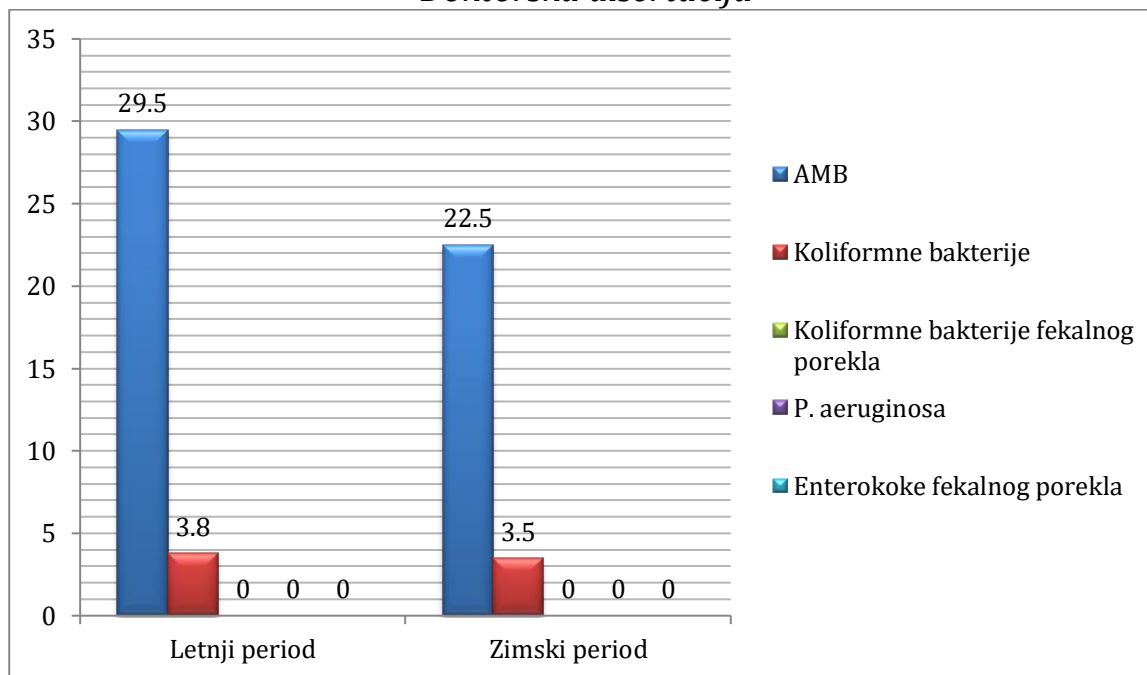
Na osnovu podataka prikazanih na grafikonu 17 jasno se uviđa da je sezonska promenljivost mikrobioloških pokazatelja evidentna.



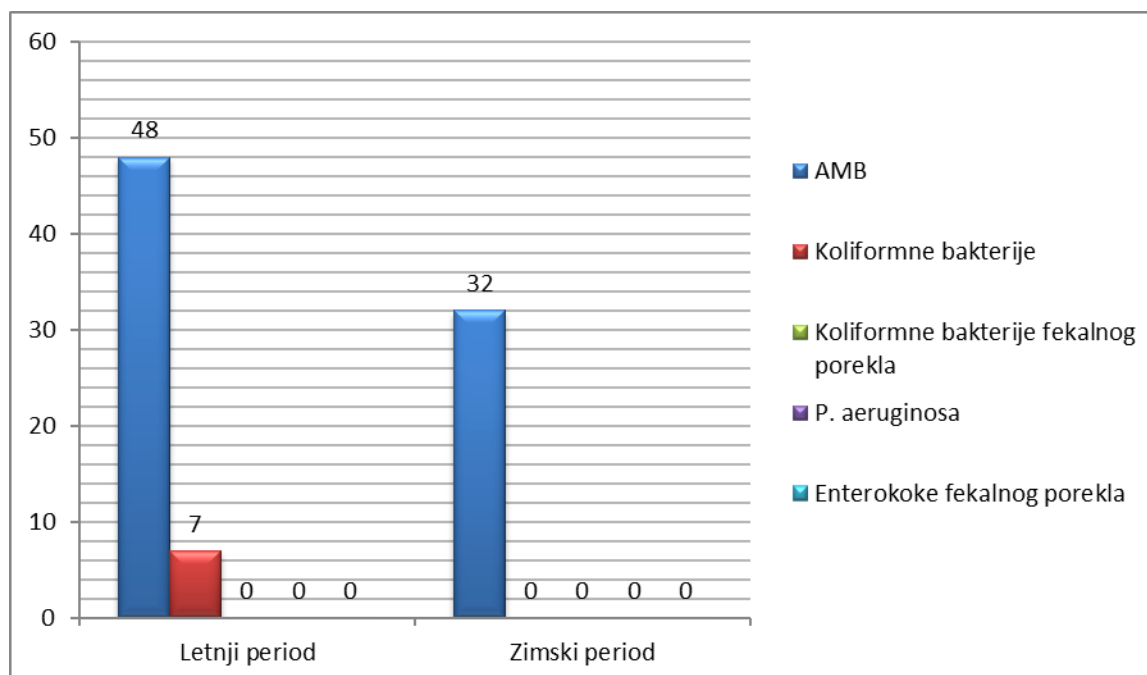
Grafikon 17. Mikrobiološki parametri vode za piće koji nisu odgovarali važećem Pravilniku za Tačku 1 u odnosu na temperature.

Na grafikonu 18 je dat uporedni prikaz mikrobioloških indikatora za vodu za piće distribuiranu iz Tačke 2. Iz ovog grafikona se zaključuje da je sezonska promenljivost uočena, kada su u pitanju ukupan broj AMB i ukupan broj koliformnih bakterija. Dva navedena mikrobiološka indikatora pokazuju veća odstupanja u letnjem praćenom periodu godine u odnosu na zimski. Za Tačku 2 i Tačku 3 za ostale ispitivane mikrobiološke parametre ne može se dati zaključak iz razloga, jer tokom ove studije oni nisu detektovani u uzorcima vode za piće uzorkovanih na tačkama tog dela distributivnog sistema.

Doktorska disertacija



Grafikon 18. Mikrobiološki parametri vode za piće koji nisu odgovarali važećem Pravilniku za Tačku 2 u odnosu na temperature.



Grafikon 19. Mikrobiološki parametri vode za piće koji nisu odgovarali važećem Pravilniku za Tačku 3 u odnosu na temperature.

Ukupan broj AMB u vodi iako značajan parametar, on ne predstavlja opasnost po zdravlje ljudi, već je pokazatelj uspešnosti procesa prečišćavanja i dezinfekcije

Doktorska disertacija

vode, kao i vodosnabdevanja stanovništva. Mikroorganizmi čije prisustvo u kontrolisanim uzorcima vode za piće ima zdravstveni značaj i koje je neophodno pratiti, kako prema postojećoj zakonskoj regulativi, tako i prema savremenim stručnim saznanjima su *E. coli* (mikrobiološki indikator svežeg fekalnog zagađenja) i *E. faecalis* (kao indeksni mikroorganizam, koji je, takođe, pokazatelj svežeg fekalnog zagađenja).

Indikatori rizika kvaliteta vode za piće predstavljaju rizik od izloženosti potrošača mikrobiološkim patogenima, pre svega se misli na *E. coli* i *E. faecalis*, i bitno je da oni nikada ne prelaze maksimalno dozvoljene koncentracije (Wen et al., 2020). Indikator prati udeo uzoraka vode, koji ne zadovoljavaju propisane vrednosti parametara za vodu za piće u ukupnom broju uzoraka vode dobijenih iz javnih vodovoda i van javnih vodovoda (Wen et al., 2020).

Tabela 9. Indikator rizika kvaliteta vode za piće u pogledu mikrobiološke neispravnosti.

Nivo	% neispravnosti	Opis
1	< 2	Neznatan
2	2,1 – 5	Mali
3	5,1 – 10	Umeren
4	10,1 – 25	Veliki
5	> 25,1	Ogroman

Na osnovu grafikona 17 primećuje se da je procenat neispravnih uzoraka ispitivanih tokom ove studije, ispod 2, kada su u pitanju *E. coli* i *E. faecalis*, a imajući u vidu vrednosti iz Tabele 9, indikator rizika kvaliteta vode za piće, na teritoriji Mačvanskog okruga, se ocenjuje kao neznatan.

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata istraživanja u ovom radu izvedeni su sledeći zaključci:

- ✓ Utvrđena je razlika fizičkih (mutnoća) i hemijskih parametara (koncentracija gvožđa i rezidualnog hlora) između vode eksploatisane iz Tačke 1 i Tačke 2, što ukazuje da proces tehnološke prerade utiče na kvalitet vode posmatrano iz ugla fizičko-hemijskog sastava.
- ✓ U ispitivanom letnjem periodu povećan ukupan broj AMB određen je u 25,9% ispitanih uzoraka za Tačku 1, odnosno 29,35% ispitanih uzoraka za Tačku 2 i 47,37% ispitanih uzoraka za Tačku 3. Ukupan broj AMB u ovim uzorcima kretao se od 11 do 53 cfu/ml.
- ✓ U zimskom periodu povećan ukupan broj ovih bakterija određen je u 16,7% ispitanih uzoraka za Tačku 1, odnosno 22,86% ispitanih uzoraka za Tačku 2 i 32,26% ispitanih uzoraka za Tačku 3. Ukupan broj AMB u ovim uzorcima kretao se od 11 do 32 cfu/ml.
- ✓ U ispitivanom letnjem periodu povećan ukupan broj koliformnih bakterija određen je u 3,95% ispitanih uzoraka za Tačku 1, odnosno u 3,26% ispitanih uzoraka za Tačku 2 i 6,06% ispitanih uzoraka za Tačku 3. Ukupan broj koliformnih bakterija u ovim uzorcima se kretao od 1 do 6 cfu/ml.
- ✓ Tokom ispitivanja u zimskom periodu povećan ukupan broj ovih mikroorganizama utvrđen je u 2,84% ispitanih uzoraka za Tačku 1, odnosno u 2,86% ispitanih uzoraka za Tačku 2. Ukupan broj koliformnih bakterija u ovim uzorcima se kretao od 1 do 3 cfu/ml. U ovom periodu nije određeno prisustvo ovih bakterija u Tački 3.

Doktorska disertacija

- ✓ U ispitivanom letnjem periodu povećan broj koliformnih bakterija fekalnog porekla određen je u 10 uzoraka vode za piće sa Tačke 1, što je činilo 1,72% ispitivanih uzoraka. U ispitivanom zimskom periodu povećan broj ovih bakterija određen je u 6 uzoraka vode za piće sa Tačke 1, što je činilo 1,07% ispitanih uzoraka. U uzorcima vode sa Tačke 2 i u Tački 3 nije utvrđeno prisustvo ovih bakterija u oba posmatrana perioda.
- ✓ U uzorcima vode za piće uzorkovanih sa Tačke 1 u letnjem periodu određen je povećan broj enterokoka fekalnog porekla u 4 uzorka, što je činilo 0,70% ispitanih uzoraka. U zimskom periodu u uzorcima sa Tačke 1 nije utvrđeno prisustvo enterokoka fekalnog porekla, kao ni u uzorcima sa Tačke 2 i u Tački 3 tokom oba posmatrana perioda.
- ✓ *P. aeruginosa* je identifikovan u 6 uzoraka vode u letnjim periodu, što je činilo 1,03% od ukupno ispitanih uzoraka i u 2 uzorka u zimskom periodu, što je činilo 0,18% ispitivanih uzoraka, i to samo u vodi distribuiranoj iz Tačke 1.
- ✓ Sulfitoredujuće klostridije i *Proteus* vrste nisu identifikovane ni u jednom ispitivanom uzorku vode za piće.
- ✓ Prosečna temperature vode za Tačku 1 u zimskom periodu je iznosila 15,25 °C, a u letnjem 18,3 °C, što je prosečan porast temperature od 3,05 °C za letnji period. Prosečna temperature vode za Tačku 2 u letnjem periodu je iznosila 19,42 °C, a u zimskom periodu 13,75 °C, što je prosečan rast temperature od 5,67 °C za letnji period.
- ✓ Generalno, povećanje temperature ispitivanih uzoraka vode za piće u letnjem periodu uticalo je na veću zastupljenost uzoraka sa povećanim brojem AMB (6,49 - 9,2%), ukupnih koliformnih bakterija (0,4 - 1,11%), koliformnih bakterija fekalnog porekla (1,07 - 1,72%), enterokoka fekalnog porekla (0,69%) i *P. aeruginosa* (0,85%) u odnosu na posmatrani zimski period.

Imajući u vidu sve prethodno navedeno, kao i činjenicu da voda predstavlja najznačajniju "prehrambenu sirovinu", ne samo kod nas, već u celom svetu i da

Doktorska disertacija

narušen kvalitet vode za piće negativno utiče na zdravlje stanovništva, u okviru ove disertacije daje se niz potencijalnih predloga modela za rešenje unapređenja kvaliteta vodosnabdevanja pijaćom vodom:

- ✓ Utvrđeno je da je neophodno permanentno raditi na unapređenju u upravljanju vodovodnim resursima, stalnom kontrolisanju i uvođenju ISO standarda i sertifikacija laboratorija za ispitivanje kvaliteta vode za piće.
- ✓ Predlaže se konstantan rad na regulaciji izvorišta, sanitaciji vodotokova i bunara.
- ✓ Potrebno je uvesti podelu visinskih zona i sekcija u cilju racionalizacija pritisaka u cevovodu srazmerno prosečnoj potrošnji vode.
- ✓ Unapređenju kvaliteta doprinela bi zaštita zahvata od prekomernog iscrpljivanja.
- ✓ Za unapređenje kvaliteta značajno je i obezbeđenje, odnosno stvaranje širokog ekološki bezbednog pristupa oko izvorišta, kako bi se narušavanje ekološke sredine usled ljudskog faktora svelo na minimum, odnosno eliminisalo u potpunosti.
- ✓ Bitnim elementom u savremenom pristupu unapređenja kvaliteta vode za piće smatra se i uvođenje upravljačkih informacionih sistema (SCADA u vodosnabdevanju), koji omogućuju stalni monitoring i praćenje toka proizvodnje i prerade vode.
- ✓ Za unapređenje kvaliteta pijaće vode moraju biti uvedeni u redovne tokove i procedure stalno osavremenjavanje procesa prerade vode, rekonstrukcija vodovodne infrastrukture, ispitivanje čistoće, mogućih gubitaka vode, zaštita od spoljašnjih uticaja, kao i stalno ispiranje deonica cevovoda.
- ✓ Pored navedenih tehničko-tehnoloških karakteristika, za predlog modela rešenja povećanja kvaliteta pijaće vode smatramo da je potrebno uzeti u obzir i ekonomski aspekt proizvodnje vode za piće, odnosno regulisanje cene vode u zavisnosti od namene potrošenje vode i podela cenovnika na osnovu potrošnje, koji će u budućnosti da igra izuzetno važnu ulogu u unapređenju kvaliteta vode za piće.

LITERATURA

- Abdelaal, F. B., Morsy, M. S., & Rowe, R. K. (2019). Long-term performance of a HDPE geomembrane stabilized with HALS in chlorinated water. *Geotextiles and Geomembranes*, 47(6), 815–830. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2019.103497>
- Abu Hasan, H., Muhammad, M. H., & Ismail, N. 'Izzati. (2020). A review of biological drinking water treatment technologies for contaminants removal from polluted water resources. *Journal of Water Process Engineering*, 33, 101035. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101035>
- Adamowicz, W., Dupont, D., Krupnick, A., & Zhang, J. (2011). Valuation of cancer and microbial disease risk reductions in municipal drinking water: An analysis of risk context using multiple valuation methods. *Journal of Environmental Economics and Management*, 61(2), 213–226. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2010.10.003>
- Ahmed, W., Gardner, T., & Toze, S. (2011). Microbiological Quality of Roof-Harvested Rainwater and Health Risks: A Review. *Journal of Environmental Quality*, 40(1), 13–21. <https://doi.org/10.2134/jeq2010.0345>
- Ako, A. A., Shimada, J., Hosono, T., Kagabu, M., Ayuk, A. R., Nkeng, G. E., Eyong, G. E. T., & Fouepe Takounjou, A. L. (2012). Spring water quality and usability in the Mount Cameroon area revealed by hydrogeochemistry. *Environmental Geochemistry and Health*, 34(5), 615–639. <https://doi.org/10.1007/s10653-012-9453-3>

Doktorska disertacija

- Akpor, O. B., Ohiobor, G. O., & Olaolu, D. T. (2014). Heavy metal pollutants in wastewater effluents: Sources, effects and remediation. *Advances in Bioscience and Bioengineering*, 2(4), 37–43.
- Akpor, O. B., Otohinoyi, D. A., Olaolu, D. T., & Aderiye, B. I. (2014). Pollutants in Wastewater Effluents: Impacts and Remediation Processes. *International Journal of Environmental Research and Earth Science*, 3(3), 050–059.
- Albaji, M., Landi, A., & Nasab, S. (2008). Land Suitability Evaluation for Surface and Drip Irrigation in Shavoor Plain Iran. *Journal of Applied Sciences*, 8, 654–659. <https://doi.org/10.3923/jas.2008.654.659>
- Alemayehu, T. (2000). Water pollution by natural inorganic chemicals in the central part of the Main Ethiopian Rift. *SINET: Ethiopian Journal of Science*, 23(2), 197–214. <https://doi.org/10.4314/sinet.v23i2.18166>
- Al-Gheethi, A. A., Efaq, A. N., Bala, J. D., Norli, I., Abdel-Monem, M. O., & Ab. Kadir, M. O. (2018). Removal of pathogenic bacteria from sewage-treated effluent and biosolids for agricultural purposes. *Applied Water Science*, 8(2), 74. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0698-6>
- Allen, M. J., Edberg, S. C., & Reasoner, D. J. (2004). Heterotrophic plate count bacteria—What is their significance in drinking water? *International Journal of Food Microbiology*, 92(3), 265–274. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2003.08.017>
- Amarawansha, G. E. A., Zvomuya, F., & Farenhorst, A. (2021). Water delivery system effects on coliform bacteria in tap water in First Nations reserves in Manitoba, Canada. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(6), 339. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09114-x>
- Ana Maria de Roda Husman, M. A. B. (2013). Dimensions of Effects of Climate Change on Water-Transmitted Infectious Diseases. *Air & Water Borne Diseases*, 02(01). <https://doi.org/10.4172/2167-7719.1000109>

Doktorska disertacija

- Antonić, B., Grujić, R., & Antoniće, D. (2011). Applied Technology and the Quality of Drinking Water. *QUALITY OF LIFE (BANJA LUKA) - APEIRON*, 4(3–4), Article 3–4. <https://doi.org/10.7251/QOL1102090A>
- Aparna, M. S., & Yadav, S. (2008). Biofilms: Microbes and disease. *Brazilian Journal of Infectious Diseases*, 12, 526–530. <https://doi.org/10.1590/S1413-86702008000600016>
- Aram, S. A., Saalidong, B. M., & Lartey, P. O. (2021). Comparative assessment of the relationship between coliform bacteria and water geochemistry in surface and ground water systems. *PLOS ONE*, 16(9), e0257715. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257715>
- Aronsson, K., & Rönner, U. (2001). Influence of pH, water activity and temperature on the inactivation of *Escherichia coli* and *Saccharomyces cerevisiae* by pulsed electric fields. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2(2), 105–112. [https://doi.org/10.1016/S1466-8564\(01\)00030-3](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(01)00030-3)
- Ashbolt, N. J. (2015). Microbial Contamination of Drinking Water and Human Health from Community Water Systems. *Current Environmental Health Reports*, 2(1), 95–106. <https://doi.org/10.1007/s40572-014-0037-5>
- Azizullah, A., Khattak, M. N. K., Richter, P., & Häder, D.-P. (2011). Water pollution in Pakistan and its impact on public health—A review. *Environment International*, 37(2), 479–497. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2010.10.007>
- Bahmani, M., Rafieian-Kopaei, M., Hassanzadazar, H., & Taherikalani, M. (2016). Pseudomoniasis phytotherapy: A review on most important Iranian medicinal plants effective on *Pseudomonas aeruginosa*. *Iranian Journal of Microbiology*, 8(5), 347–350.
- Bailey, E. S., Hopkins, M., Casanova, L., & Sobsey, M. D. (2021). Evaluating Fecal Indicator and Pathogen Relationships in Sewage Impacted Surface Waters to

Doktorska disertacija

- Blend with Reclaimed Water for Potable Reuse in North Carolina. *Pathogens*, 10(12), 1603. <https://doi.org/10.3390/pathogens10121603>
- Ball, P. (2017). Water is an active matrix of life for cell and molecular biology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(51), 13327–13335. <https://doi.org/10.1073/pnas.1703781114>
- Bartram, J., Brocklehurst, C., Fisher, M. B., Luyendijk, R., Hossain, R., Wardlaw, T., & Gordon, B. (2014). Global Monitoring of Water Supply and Sanitation: History, Methods and Future Challenges. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(8), 8137–8165. <https://doi.org/10.3390/ijerph110808137>
- Benelam, B., & Wyness, L. (2010). Hydration and health: A review. *Nutrition Bulletin*, 35(1), 3–25. <https://doi.org/10.1111/j.1467-3010.2009.01795.x>
- Benwan, K. A., Sweih, N. A., & Rotimi, V. O. (2010). Etiology and Antibiotic Susceptibility Patterns of Community- and Hospital-Acquired Urinary Tract Infections in a General Hospital in Kuwait. *Medical Principles and Practice*, 19(6), 440–446. <https://doi.org/10.1159/000320301>
- Besseling, E., Quik, J. T. K., & Koelmans, A. A. (2014). *Modeling the Fate of Nano- and Microplastics in freshwater systems*. 238–238. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/479772>
- Bhagwat, V. R. (2019). Safety of Water Used in Food Production. In R. L. Singh & S. Mondal (Eds.), *Food Safety and Human Health* (pp. 219–247). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816333-7.00009-6>
- Bhatti, Z. A., Mahmood, Q., Raja, I. A., Malik, A. H., Khan, M. S., & Wu, D. (2011). Chemical oxidation of carwash industry wastewater as an effort to decrease water pollution. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 36(9), 465–469. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.03.022>

Doktorska disertacija

- Billington, E. O., Phang, S. H., Gregson, D. B., Pitout, J. D. D., Ross, T., Church, D. L., Laupland, K. B., & Parkins, M. D. (2014). Incidence, Risk Factors, and Outcomes for Enterococcus spp. Blood Stream Infections: A Population-Based Study. *International Journal of Infectious Diseases*, 26, 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2014.02.012>
- Blackburn, B., Craun, G., Yoder, J., Hill, V., Calderon, R., Chen, N., Lee, S., Levy, D., & Beach, M. (2004). Surveillance for Waterborne-Disease Outbreaks Associated with Drinking Water—United States, 2001-2002. *MMWR Surveillance Summaries*, 53(8), 23–45.
- Blackstock, M. (2001). Water: A First Nations' Spiritual and Ecological Perspective. *Journal of Ecosystems and Management*. <https://doi.org/10.22230/jem.2001v1n1a216>
- Blagojevic, B., Srdjevic, Z., & Srdjevic, B. (2014). Identification of criteria and subcriteria for assessment of land suitability for irrigation. *Letopis Naucnih Radova Poljoprivrednog Fakulteta*, 38(1), 99–107. <https://doi.org/10.5937/lnrpfns1401099B>
- Blanch, A. R., Belanche-Muñoz, L., Bonjoch, X., Ebdon, J., Gantzer, C., Lucena, F., Ottoson, J., Kourtis, C., Iversen, A., Kühn, I., Moce, L., Muniesa, M., Schwartzbrod, J., Skraber, S., Papageorgiou, G., Taylor, H. D., Wallis, J., & Jofre, J. (2004). Tracking the origin of faecal pollution in surface water: An ongoing project within the European Union research programme. *Journal of Water and Health*, 2(4), 249–260. <https://doi.org/10.2166/wh.2004.0022>
- Bodey, G. P., Bolivar, R., Fainstein, V., & Jadeja, L. (1983). Infections Caused by *Pseudomonas aeruginosa*. *Reviews of Infectious Diseases*, 5(2), 279–313. <https://doi.org/10.1093/clinids/5.2.279>
- Bogardi, J. J., Dudgeon, D., Lawford, R., Flinkerbusch, E., Meyn, A., Pahl-Wostl, C., Vielhauer, K., & Vörösmarty, C. (2012). Water security for a planet under pressure: Interconnected challenges of a changing world call for sustainable

Doktorska disertacija

- solutions. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(1), 35–43.
<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2011.12.002>
- Bojarczuk, A., Jelonkiewicz, Ł., & Lenart-Boroń, A. (2018). The effect of anthropogenic and natural factors on the prevalence of physicochemical parameters of water and bacterial water quality indicators along the river Białka, southern Poland. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(10), 10102–10114.
<https://doi.org/10.1007/s11356-018-1212-2>
- Bonilla, N., Santiago, T., Marcos, P., Urdaneta, M., Domingo, J. S., & Toranzos, G. A. (2010). Enterophages, a group of phages infecting *Enterococcus faecalis*, and their potential as alternate indicators of human faecal contamination. *Water Science and Technology*, 61(2), 293–300.
<https://doi.org/10.2166/wst.2010.815>
- Borch, E., Nesbakken, T., & Christensen, H. (1996). Hazard identification in swine slaughter with respect to foodborne bacteria. *International Journal of Food Microbiology*, 30(1), 9–25. [https://doi.org/10.1016/0168-1605\(96\)00988-9](https://doi.org/10.1016/0168-1605(96)00988-9)
- Borriello, S. P. (1995). Clostridial Disease of the Gut. *Clinical Infectious Diseases*, 20(Supplement_2), S242–S250.
https://doi.org/10.1093/clinids/20.Supplement_2.S242
- Bouza, E., & Cercenado, E. (2002). Klebsiella and enterobacter: Antibiotic resistance and treatment implications. *Seminars in Respiratory Infections*, 17(3), 215–230. <https://doi.org/10.1053/srin.2002.34693>
- Buchanan, R. L., & Whiting, R. C. (1998). Risk Assessment: A Means for Linking HACCP Plans and Public Health. *Journal of Food Protection*, 61(11), 1531–1534.
<https://doi.org/10.4315/0362-028X-61.11.1531>
- Bujnakova, D., Puvača, N., & Ćirković, I. (2022). *Virulence Factors and Antibiotic Resistance of Enterobacterales*. MDPI AG.

Doktorska disertacija

- Busta, F. f., Suslow, T. v., Parish, M. e., Beuchat, L. r., Farber, J. n., Garrett, E. h., & Harris, L. j. (2003). The Use of Indicators and Surrogate Microorganisms for the Evaluation of Pathogens in Fresh and Fresh-Cut Produce. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(s1), 179–185. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00035.x>
- Busuladžić, H. (2009). Konvencionalne metode prečišćavanja voda za piće / Conventional methods for the purification of drinking water. *Vodoprivreda*. <http://scindeks.ceon.rs/issue.aspx?issue=10081>
- Byappanahalli, M. N., Nevers, M. B., Korajkic, A., Staley, Z. R., & Harwood, V. J. (2012). Enterococci in the Environment. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 76(4), 685–706. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00023-12>
- Čabarkapa, I. (2015). *Ability to form biofilm of different Salmonella Enteritidis strains and inhibitory effect of essential oils on initial adhesion and formed biofilm* [PhD, University of Novi Sad]. <https://nardus.mpn.gov.rs/bitstream/handle/123456789/1810/Disertacija.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Cabral, J. P., & Marques, C. (2006). Faecal Coliform Bacteria in Febros River (Northwest Portugal): Temporal Variation, Correlation with Water Parameters, and Species Identification. *Environmental Monitoring and Assessment*, 118(1), 21–36. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-0771-8>
- Cabral, J. P. S. (2010). Water Microbiology. Bacterial Pathogens and Water. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7(10), 3657–3703. <https://doi.org/10.3390/ijerph7103657>
- Carter, J. T., Rice, E. W., Buchberger, S. G., & Lee, Y. (2000). Relationships between levels of heterotrophic bacteria and water quality parameters in a drinking water distribution system. *Water Research*, 34(5), 1495–1502. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00310-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00310-3)

Doktorska disertacija

- Catalán-Nájera, J. C., Garza-Ramos, U., & Barrios-Camacho, H. (2017). Hypervirulence and hypermucoviscosity: Two different but complementary *Klebsiella* spp. phenotypes? *Virulence*, 8(7), 1111–1123. <https://doi.org/10.1080/21505594.2017.1317412>
- Chajęcka-Wierzchowska, W., Zadernowska, A., & Łaniewska-Trokenheim, Ł. (2017). Virulence factors of *Enterococcus* spp. Presented in food. *LWT*, 75, 670–676. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.10.026>
- Chaplin, M. F. (2001). Water: Its importance to life. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 29(2), 54–59. [https://doi.org/10.1016/S1470-8175\(01\)00017-0](https://doi.org/10.1016/S1470-8175(01)00017-0)
- Cheung, M. Y., Liang, S., & Lee, J. (2013). Toxin-producing cyanobacteria in freshwater: A review of the problems, impact on drinking water safety, and efforts for protecting public health. *Journal of Microbiology*, 51(1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s12275-013-2549-3>
- Chilundo, M., Kelderman, P., & O'keeffe, J. H. (2008). Design of a water quality monitoring network for the Limpopo River Basin in Mozambique. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 33(8), 655–665. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2008.06.055>
- Cook, D., Newcombe, G., & Sztajn bok, P. (2001). The application of powdered activated carbon for mib and geosmin removal: Predicting pac doses in four raw waters. *Water Research*, 35(5), 1325–1333. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00363-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00363-8)
- Cooke, M. D. (1976). Antibiotic resistance in coliform and faecal coliform bacteria from natural waters and effluents. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 10(3), 391–397. <https://doi.org/10.1080/00288330.1976.9515625>

Doktorska disertacija

- Craun, G. F., Berger, P. S., & Calderon, R. L. (1997). Coliform bacteria and waterborne disease outbreaks. *Journal AWWA*, 89(3), 96–104. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1997.tb08197.x>
- de Paul Obade, V., & Moore, R. (2018). Synthesizing water quality indicators from standardized geospatial information to remedy water security challenges: A review. *Environment International*, 119, 220–231. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.06.026>
- del Giorgio, P. A., Condon, R., Bouvier, T., Longnecker, Krista., Bouvier, Corinne., Sherr, E., & Gasol, J. M. (2011). Coherent patterns in bacterial growth, growth efficiency, and leucine metabolism along a northeastern Pacific inshore-offshore transect. *Limnology and Oceanography*, 56(1), 1–16. <https://doi.org/10.4319/lo.2011.56.1.0001>
- Doma, A. O., Popescu, R., Mitulețu, M., Muntean, D., Dégi, J., Boldea, M. V., Radulov, I., Dumitrescu, E., Muselin, F., Puvača, N., & Cristina, R. T. (2020). Comparative Evaluation of qnrA, qnrB, and qnrS Genes in Enterobacteriaceae Ciprofloxacin-Resistant Cases, in Swine Units and a Hospital from Western Romania. *Antibiotics*, 9(10), 698. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9100698>
- Domig, K. J., Mayer, H. K., & Kneifel, W. (2003). Methods used for the isolation, enumeration, characterisation and identification of Enterococcus spp.: 2. Pheno- and genotypic criteria. *International Journal of Food Microbiology*, 88(2), 165–188. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(03\)00178-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(03)00178-8)
- Donlan, R. M., Pipes, W. O., & Yohe, T. L. (1994). Biofilm formation on cast iron substrata in water distribution systems. *Water Research*, 28(6), 1497–1503. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(94\)90318-2](https://doi.org/10.1016/0043-1354(94)90318-2)
- Dopico, M., & Gómez, A. (2015). Review of the current state and main sources of dioxins around the world. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 65(9), 1033–1049. <https://doi.org/10.1080/10962247.2015.1058869>

Doktorska disertacija

- Du, Y., Zhao, L., Ban, J., Zhu, J., Wang, S., Zhu, X., Zhang, Y., Huang, Z., & Li, T. (2021). Cumulative health risk assessment of disinfection by-products in drinking water by different disinfection methods in typical regions of China. *Science of The Total Environment*, 770, 144662. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144662>
- Dukan, S., Levi, Y., Piriou, P., Guyon, F., & Villon, P. (1996). Dynamic modelling of bacterial growth in drinking water networks. *Water Research*, 30(9), 1991–2002. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(96\)00021-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(96)00021-8)
- Dumontet, S., Dinel, H., & Baloda, S. B. (1999). Pathogen Reduction in Sewage Sludge by Composting and Other Biological Treatments: A Review. *Biological Agriculture & Horticulture*, 16(4), 409–430. <https://doi.org/10.1080/01448765.1999.9755243>
- Eckenfelder Jr., W. W., & Staff, U. by. (2006). Wastewater Treatment. In *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/0471238961.19052301.a01.pub2>
- Edberg, S. c., Rice, E. w., Karlin, R. j., & Allen, M. j. (2000). Escherichia coli: The best biological drinking water indicator for public health protection. *Journal of Applied Microbiology*, 88(S1), 106S-116S. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2000.tb05338.x>
- EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies (NDA). (2010). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for water. *EFSA Journal*, 8(3), 1459. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1459>
- Esteban-Cuesta, I., Drees, N., Ulrich, S., Stauch, P., Sperner, B., Schwaiger, K., Gareis, M., & Gottschalk, C. (2018). Endogenous microbial contamination of melons (*Cucumis melo*) from international trade: An underestimated risk for the consumer? *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(13), 5074–5081. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9045>

Doktorska disertacija

- Falkinham, J. O., & Hoffman, P. S. (1984). Unique developmental characteristics of the swarm and short cells of *Proteus vulgaris* and *Proteus mirabilis*. *Journal of Bacteriology*, 158(3), 1037–1040. <https://doi.org/10.1128/jb.158.3.1037-1040.1984>
- Farooq, M., Khan, G. I., & Ahmad, S. (2021). Isolation and Detection of Biofilm-producing Bacteria from Tap Water. *Pak-Euro Journal of Medical and Life Sciences*, 4(2), 83–90. <https://doi.org/10.31580/pjmls.v4i2.1693>
- Fedorov, M. V., & Kornyshev, A. A. (2014). Ionic Liquids at Electrified Interfaces. *Chemical Reviews*, 114(5), 2978–3036. <https://doi.org/10.1021/cr400374x>
- Fedorov, Yu. A., Gar'kusha, D. N., Trubnik, R. G., & Morozova, M. A. (2019). Sulfite-Reducing Clostridia and their Participation in Methane and Hydrogen Sulfide Formation in the Bottom Sediments of Water Objects and Streams of the ETR South. *Water Resources*, 46(1), S85–S93. <https://doi.org/10.1134/S009780781907008X>
- Ferry, M. (2005). Strategies for Ensuring Good Hydration in the Elderly. *Nutrition Reviews*, 63(suppl_1), S22–S29. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2005.tb00151.x>
- Figueras, M. J., & Borrego, J. J. (2010). New Perspectives in Monitoring Drinking Water Microbial Quality. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7(12), 4179–4202. <https://doi.org/10.3390/ijerph7124179>
- Fish, K., Mark Osborn, A., & Boxall, J. (2016). Characterising and understanding the impact of microbial biofilms and the extracellular polymeric substance (EPS) matrix in drinking water distribution systems. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 2(4), 614–630. <https://doi.org/10.1039/C6EW00039H>

Doktorska disertacija

- Flemming, H.-C., Percival, S. L., & Walker, J. T. (2002). Contamination potential of biofilms in water distribution systems. *Water Supply*, 2(1), 271–280. <https://doi.org/10.2166/ws.2002.0032>
- Flörke, M., Kynast, E., Bärlund, I., Eisner, S., Wimmer, F., & Alcamo, J. (2013). Domestic and industrial water uses of the past 60 years as a mirror of socio-economic development: A global simulation study. *Global Environmental Change*, 23(1), 144–156. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.10.018>
- Fritzmann, C., Löwenberg, J., Wintgens, T., & Melin, T. (2007). State-of-the-art of reverse osmosis desalination. *Desalination*, 216(1), 1–76. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.12.009>
- Gaggia, F., Mattarelli, P., & Biavati, B. (2010). Probiotics and prebiotics in animal feeding for safe food production. *International Journal of Food Microbiology*, 141, S15–S28. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2010.02.031>
- Gall, A. M., Mariñas, B. J., Lu, Y., & Shisler, J. L. (2015). Waterborne Viruses: A Barrier to Safe Drinking Water. *PLOS Pathogens*, 11(6), e1004867. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1004867>
- Gavrilescu, M., & Macoveanu, M. (1999). Process engineering in biological aerobic waste-water treatment. *Acta Biotechnologica*, 19(2), 111–145. <https://doi.org/10.1002/abio.370190205>
- Gerardi, M. H., & Zimmerman, M. C. (2005). *Wastewater pathogens*. Wiley-Interscience.
- Gerba, C. P. (2009). Indicator Microorganisms. In R. M. Maier, I. L. Pepper, & C. P. Gerba (Eds.), *Environmental Microbiology (Second Edition)* (pp. 485–499). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-370519-8.00023-7>
- Ghaffour, N., Missimer, T. M., & Amy, G. L. (2013). Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better

Doktorska disertacija

- water supply sustainability. *Desalination*, 309, 197–207.
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.10.015>
- Ginn, T.R., Wood, B.D., Nelson, K.E., Scheibe, T.D., Murphy, E.M., Clement, T.P. (2002). Processes in microbial transport in the natural subsurface. *Advances in Water Resources*, (25) 8–12, 1017-1042.
- Glasl, B., Webster, N. S., & Bourne, D. G. (2017). Microbial indicators as a diagnostic tool for assessing water quality and climate stress in coral reef ecosystems. *Marine Biology*, 164(4), 91. <https://doi.org/10.1007/s00227-017-3097-x>
- Gleeson, C., & Gray, N. F. (2003). *The coliform index and waterborne disease problems of microbial drinking water assessment*. E & FN Spon.
http://www.engnetbase.com/books/1381/TF870x_FM.pdf
- Gleick, P. H. (1993). Water and Conflict: Fresh Water Resources and International Security. *International Security*, 18(1), 79–112.
<https://doi.org/10.1162/isec.18.1.79>
- Gleick, P. H. (1998). The human right to water. *Water Policy*, 1(5), 487–503.
[https://doi.org/10.1016/S1366-7017\(99\)00008-2](https://doi.org/10.1016/S1366-7017(99)00008-2)
- Godini, K., Azarian, G., Kimiaei, A., Dragoi, E. N., & Curteanu, S. (2021). Modeling of a real industrial wastewater treatment plant based on aerated lagoon using a neuro-evolutive technique. *Process Safety and Environmental Protection*, 148, 114–124. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.09.057>
- Gomes, B. C., Esteves, C. T., Palazzo, I. C. V., Darini, A. L. C., Felis, G. E., Sechi, L. A., Franco, B. D. G. M., & De Martinis, E. C. P. (2008). Prevalence and characterization of Enterococcus spp. Isolated from Brazilian foods. *Food Microbiology*, 25(5), 668–675. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2008.03.008>
- Gou, J., Hong, C. U., Deng, M., Chen, J., Hou, J., Li, D., & He, X. (2019). Effect of Carbon to Nitrogen Ratio on Water Quality and Community Structure Evolution in

Doktorska disertacija

- Suspended Growth Bioreactors through Biofloc Technology. *Water*, 11(8), 1640. <https://doi.org/10.3390/w11081640>
- Gounot, A.-M. (1986). Psychrophilic and psychrotrophic microorganisms. *Experientia*, 42(11), 1192–1197. <https://doi.org/10.1007/BF01946390>
- Grobe, S., Wingender, J., & Trüper, H. g. (1995). Characterization of mucoid *Pseudomonas aeruginosa* strains isolated from technical water systems. *Journal of Applied Bacteriology*, 79(1), 94–102. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1995.tb03129.x>
- Gross, W. B., Jones, D., & Cherry, J. (1988). Effect of Ascorbic Acid on the Disease Caused by *Escherichia coli* Challenge Infection. *Avian Diseases*, 32(3), 407–409. <https://doi.org/10.2307/1590904>
- Gulati, A., & Bathla, S. (2001). Capital Formation in Indian Agriculture: Re-Visiting the Debate. *Economic and Political Weekly*, 36(20), 1697–1708.
- Gwenzi, W., Chaukura, N., Noubactep, C., & Mukome, F. N. D. (2017). Biochar-based water treatment systems as a potential low-cost and sustainable technology for clean water provision. *Journal of Environmental Management*, 197, 732–749. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.087>
- Hall, E. L., & Dietrich, A. M. (2000). A Brief History of Drinking Water. *Opflow*, 26(6), 46–49. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8701.2000.tb02243.x>
- Hamdy, A., Ragab, R., & Scarascia-Mugnozza, E. (2003). Coping with water scarcity: Water saving and increasing water productivity. *Irrigation and Drainage*, 52(1), 3–20. <https://doi.org/10.1002/ird.73>
- Hamilton, K., Reyneke, B., Waso, M., Clements, T., Ndlovu, T., Khan, W., DiGiovanni, K., Rakestraw, E., Montalto, F., Haas, C. N., & Ahmed, W. (2019). A global review of the microbiological quality and potential health risks associated with roof-harvested rainwater tanks. *Npj Clean Water*, 2(1), 1–18. <https://doi.org/10.1038/s41545-019-0030-5>

Doktorska disertacija

- Hardberger, A. (2005). Life, Liberty, and the Pursuit of Water: Evaluating Water as a Human Right and the Duties and Obligations It Creates. *Northwestern University Journal of International Human Rights*, 4, 331.
- Hemdan, B. A., El-Taweel, G. E., Goswami, P., Pant, D., & 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 and Biotechnology*, 37(2), 36. <https://doi.org/10.1007/s11274-021-03008-3>
- Henze, P. B. (2000). Layers of Time. In P. B. Henze (Ed.), *Layers of Time: A History of Ethiopia* (pp. 1–21). Palgrave Macmillan US. https://doi.org/10.1007/978-1-137-11786-1_1
- Herridge, W. P., Shibu, P., O’Shea, J., Brook, T. C., & Hoyles, L. (2020). Bacteriophages of *Klebsiella* spp., their diversity and potential therapeutic uses. *Journal of Medical Microbiology*, 69(2), 176–194. <https://doi.org/10.1099/jmm.0.001141>
- Hikal, W. M. (2020). Parasitic Contamination of Drinking Water and Egyptian Standards for Parasites in Drinking Water. *Open Journal of Ecology*, 10(1), 1–21. <https://doi.org/10.4236/oje.2020.101001>
- Hildering, A. (2004). *The Right of Access to Freshwater Resources* (pp. 405–429). Brill Nijhoff. https://doi.org/10.1163/9789047406709_028
- Hogeboom, R. J., de Bruin, D., Schyns, J. F., Krol, M. S., & Hoekstra, A. Y. (2020). Capping Human Water Footprints in the World’s River Basins. *Earth’s Future*, 8(2), e2019EF001363. <https://doi.org/10.1029/2019EF001363>
- Horvat, Z., Horvat, M., Pastor, K., Bursić, V., & Puvača, N. (2021). Multivariate Analysis of Water Quality Measurements on the Danube River. *Water*, 13(24), 3634. <https://doi.org/10.3390/w13243634>

Doktorska disertacija

- Hrudey, S. E., Hrudey, E. J., & Pollard, S. J. T. (2006). Risk management for assuring safe drinking water. *Environment International*, 32(8), 948–957. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.06.004>
- Huo, L., Pan, L., Chen, R., Shi, B., Wang, H., & He, S. (2021). Effects of disinfectants and particles on the occurrence of different microorganisms in drinking water distribution systems. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 7(5), 983–992. <https://doi.org/10.1039/D0EW01119C>
- Hutchison, J. M., Mayer, B. K., Vega, M., Chacha, W. E., & Zilles, J. L. (2021). Making Waves: Biocatalysis and Biosorption: Opportunities and Challenges Associated with a New Protein-Based Toolbox for Water and Wastewater Treatment. *Water Research X*, 12, 100112. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2021.100112>
- Hutton, G., Haller, L., & Bartram, J. (2007). Global cost-benefit analysis of water supply and sanitation interventions. *Journal of Water and Health*, 5(4), 481–502. <https://doi.org/10.2166/wh.2007.009>
- Jacobsen, S. M., & Shirtliff, M. E. (2011). *Proteus mirabilis* biofilms and catheter-associated urinary tract infections. *Virulence*, 2(5), 460–465. <https://doi.org/10.4161/viru.2.5.17783>
- Jacoby, G. A., Griffin, C. M., & Hooper, D. C. (2011). *Citrobacter* spp. As a Source of qnrB Alleles. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 55(11), 4979–4984. <https://doi.org/10.1128/AAC.05187-11>
- JAMES, E., & JOYCE, M. (2004). Assessment and Management of Watershed Microbial Contaminants. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 34(2), 109–139. <https://doi.org/10.1080/10643380490430663>
- Jamieson, R. C., Gordon, R. J., Tattrie, S. C., & Stratton, G. W. (2003). Sources and Persistence of Fecal Coliform Bacteria in a Rural Watershed. *Water Quality Research Journal*, 38(1), 33–47. <https://doi.org/10.2166/wqrj.2003.004>

Doktorska disertacija

- Jang, H. M., Cho, H. U., Park, S. K., Ha, J. H., & Park, J. M. (2014). Influence of thermophilic aerobic digestion as a sludge pre-treatment and solids retention time of mesophilic anaerobic digestion on the methane production, sludge digestion and microbial communities in a sequential digestion process. *Water Research, 48*, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.06.041>
- Jaskelevičius, B., & Lynikiene, V. (2009). Investigation of influence of lapes landfill leachate on ground and surface water pollution with heavy metals. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, 17*(3), 131–139. <https://doi.org/10.3846/1648-6897.2009.17.131-139>
- Jin, Y., Li, H., Mahar, R. B., Wang, Z., & Nie, Y. (2009). Combined alkaline and ultrasonic pretreatment of sludge before aerobic digestion. *Journal of Environmental Sciences, 21*(3), 279–284. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(08\)62264-0](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62264-0)
- Karch, H., Tarr, P. I., & Bielaszewska, M. (2005). Enterohaemorrhagic Escherichia coli in human medicine. *International Journal of Medical Microbiology, 295*(6), 405–418. <https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2005.06.009>
- Karikari, A. Y., & Ampofo, J. A. (2013). Chlorine treatment effectiveness and physico-chemical and bacteriological characteristics of treated water supplies in distribution networks of Accra-Tema Metropolis, Ghana. *Applied Water Science, 3*(2), 535–543. <https://doi.org/10.1007/s13201-013-0101-6>
- Karr, J. R., & Chu, E. W. (2000). Introduction: Sustaining living rivers. In M. Jungwirth, S. Muhar, & S. Schmutz (Eds.), *Assessing the Ecological Integrity of Running Waters* (pp. 1–14). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-011-4164-2_1
- Khaledi, A., & Meskini, M. (2020). A Systematic Review of the Effects of *Satureja Khuzestanica* Jamzad and *Zataria Multiflora* Boiss against *Pseudomonas aeruginosa*. *Iranian Journal of Medical Sciences, 45*(2), 83–90. <https://doi.org/10.30476/IJMS.2019.72570>.

Doktorska disertacija

- Khalil, B., & Ouarda, T. B. M. J. (2009). Statistical approaches used to assess and redesign surface water-quality-monitoring networks. *Journal of Environmental Monitoring*, 11(11), 1915–1929. <https://doi.org/10.1039/B909521G>
- Khan, F. M. (2020). *Escherichia coli (E. coli) as an Indicator of Fecal Contamination in Water: A Review*. <https://www.preprints.org/manuscript/201910.0081/v2>
- Kimani-Murage, E. W., & Ngindu, A. M. (2007). Quality of Water the Slum Dwellers Use: The Case of a Kenyan Slum. *Journal of Urban Health*, 84(6), 829–838. <https://doi.org/10.1007/s11524-007-9199-x>
- Kindaichi, T., Ito, T., & Okabe, S. (2004). Ecophysiological Interaction between Nitrifying Bacteria and Heterotrophic Bacteria in Autotrophic Nitrifying Biofilms as Determined by Microautoradiography-Fluorescence In Situ Hybridization. *Applied and Environmental Microbiology*, 70(3), 1641–1650. <https://doi.org/10.1128/AEM.70.3.1641-1650.2004>
- Kinzelman, J., Ng, C., Jackson, E., Gradus, S., & Bagley, R. (2003). Enterococci as Indicators of Lake Michigan Recreational Water Quality: Comparison of Two Methodologies and Their Impacts on Public Health Regulatory Events. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(1), 92–96. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.1.92-96.2003>
- Klašnja, M.(2000). Voda u prehrambenoj industriji. *APTEFF*, 31, 23-38.
- Knight, R. L., Kadlec, R. H., & Ohlendorf, H. M. (1999). The Use of Treatment Wetlands for Petroleum Industry Effluents. *Environmental Science & Technology*, 33(7), 973–980. <https://doi.org/10.1021/es980740w>
- Korotta-Gamage, S. M., & Sathasivan, A. (2017). A review: Potential and challenges of biologically activated carbon to remove natural organic matter in drinking water purification process. *Chemosphere*, 167, 120–138. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.09.097>

Doktorska disertacija

- Kos, J., Brmež, M., Markić, M., & Sipos, L. (2020). The Mortality of Nematodes in Drinking Water in the Presence of Ozone, Chlorine Dioxide, and Chlorine. *Ozone: Science & Engineering*, 42(2), 120–127. <https://doi.org/10.1080/01919512.2019.1605877>
- Kuntz, R. L., Hartel, P. G., Rodgers, K., & Segars, W. I. (2004). Presence of *Enterococcus faecalis* in broiler litter and wild bird feces for bacterial source tracking. *Water Research*, 38(16), 3551–3557. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.05.021>
- Lamastra, L., Balderacchi, M., & Trevisan, M. (2016). Inclusion of emerging organic contaminants in groundwater monitoring plans. *MethodsX*, 3, 459–476. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2016.05.008>
- Lambert, P. A. (2002). Mechanisms of antibiotic resistance in *Pseudomonas aeruginosa*. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 95(Suppl 41), 22–26.
- Lapworth, D. J., Baran, N., Stuart, M. E., & Ward, R. S. (2012). Emerging organic contaminants in groundwater: A review of sources, fate and occurrence. *Environmental Pollution*, 163, 287–303. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.12.034>
- Lavigne, J.-P., Defez, C., Bouziges, N., Mahamat, A., & Sotto, A. (2007). Clinical and molecular epidemiology of multidrug-resistant *Citrobacter* spp. Infections in a French university hospital. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases*, 26(6), 439–441. <https://doi.org/10.1007/s10096-007-0315-3>
- LeChevallier, M. W. (1990). Coliform Regrowth in Drinking Water: A Review. *Journal AWWA*, 82(11), 74–86. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1990.tb07054.x>
- LeChevallier, M. W., Lowry, C. D., & Lee, R. G. (1990). Disinfecting Biofilms in a Model Distribution System. *Journal AWWA*, 82(7), 87–99. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1990.tb06996.x>

Doktorska disertacija

- LeChevallier, M. W., Schulz, W., & Lee, R. G. (1991). Bacterial nutrients in drinking water. *Applied and Environmental Microbiology*, 57(3), 857–862. <https://doi.org/10.1128/aem.57.3.857-862.1991>
- LeChevallier, M. W., Welch, N. J., & Smith, D. B. (1996). Full-scale studies of factors related to coliform regrowth in drinking water. *Applied and Environmental Microbiology*, 62(7), 2201–2211. <https://doi.org/10.1128/aem.62.7.2201-2211.1996>
- Leclerc, H., & Moreau, A. (2002). Microbiological safety of natural mineral water. *FEMS Microbiology Reviews*, 26(2), 207–222. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2002.tb00611.x>
- Lee, K.-H., Park, S. J., Choi, S. J., & Park, J. Y. (2017). *Proteus vulgaris* and *Proteus mirabilis* Decrease *Candida albicans* Biofilm Formation by Suppressing Morphological Transition to Its Hyphal Form. *Yonsei Medical Journal*, 58(6), 1135–1143. <https://doi.org/10.3349/ymj.2017.58.6.1135>
- Lee, N. M., & Welander, T. (1996). Reducing sludge production in aerobic wastewater treatment through manipulation of the ecosystem. *Water Research*, 30(8), 1781–1790. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(96\)00059-0](https://doi.org/10.1016/0043-1354(96)00059-0)
- Leffler, D. A., & Lamont, J. T. (2015). *Clostridium difficile* Infection. *New England Journal of Medicine*, 372(16), 1539–1548. <https://doi.org/10.1056/NEJMra1403772>
- Leung, W. K., Yau, J. Y. Y., Cheung, B. P. K., Jin, L. J., Zee, K.-Y., Lo, E. C. M., Samaranayake, L. P., & Corbet, E. F. (2003). Oral colonisation by aerobic and facultatively anaerobic Gram-negative rods and yeast in Tibetans living in Lhasa. *Archives of Oral Biology*, 48(2), 117–123. [https://doi.org/10.1016/S0003-9969\(02\)00201-7](https://doi.org/10.1016/S0003-9969(02)00201-7)
- Levy, D. A., Bens, M. S., Craun, G. F., Calderon, R. L., & Herwaldt, B. L. (1998). Surveillance for Waterborne-Disease Outbreaks—United States, 1995–1996.

Doktorska disertacija

- Morbidity and Mortality Weekly Report: Surveillance Summaries*, 47(SS-5), 1–34.
- Li, H., & Gänzle, M. (2016). Some Like It Hot: Heat Resistance of *Escherichia coli* in Food. *Frontiers in Microbiology*, 7. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2016.01763>
- Li, X., Zheng, W., & Kelly, W. R. (2013). Occurrence and removal of pharmaceutical and hormone contaminants in rural wastewater treatment lagoons. *Science of The Total Environment*, 445–446, 22–28. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.12.035>
- Liang, J. L., Dziuban, E. J., Craun, G. F., Hill, V., Moore, M. R., Gelting, R. J., Calderon, R. L., Beach, M. J., & Roy, S. L. (2006). Surveillance for Waterborne Disease and Outbreaks Associated with Drinking Water and Water not Intended for Drinking—United States, 2003–2004. *Morbidity and Mortality Weekly Report: Surveillance Summaries*, 55(12), 31–65.
- Lika, E., Puvača, N., Jeremić, D., Stanojević, S., Shtylla Kika, T., Cocoli, S., & de Llanos Frutos, R. (2021). Antibiotic Susceptibility of *Staphylococcus* Species Isolated in Raw Chicken Meat from Retail Stores. *Antibiotics*, 10(8), 904. <https://doi.org/10.3390/antibiotics10080904>
- Limanskiĭ, A., Minukhin, V., Limanskaia, O., Pavlenko, N., Mishina, M., & Tsygenenko, A. (2005). [Species-specific detection of *Proteus vulgaris* and *Proteus mirabilis* by the polymerase chain reaction]. *Zhurnal mikrobiologii, epidemiologii i immunobiologii*, 3, 33–39.
- Lin, J.-J., Wu, C.-T., Hsia, S.-H., Lin, K.-L., & Chiu, C.-H. (2009). Community-acquired *Pseudomonas meningitis* causes acute obstructive hydrocephalus. *Child's Nervous System*, 25(6), 723–725. <https://doi.org/10.1007/s00381-009-0836-4>

Doktorska disertacija

- Liu, L., Lan, R., Liu, L., Wang, Y., Zhang, Y., Wang, Y., & Xu, J. (2017). Antimicrobial Resistance and Cytotoxicity of *Citrobacter* spp. In Maanshan Anhui Province, China. *Frontiers in Microbiology*, 8. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2017.01357>
- Liu, S., Gunawan, C., Barraud, N., Rice, S. A., Harry, E. J., & 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>
- Liu, Z., Ma, S., Cao, G., Meng, C., & He, B.-J. (2018). Distribution characteristics, growth, reproduction and transmission modes and control strategies for microbial contamination in HVAC systems: A literature review. *Energy and Buildings*, 177, 77–95. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.07.050>
- Ljubojević, D., Velhner, M., Todorović, D., Pajić, M., & Milanov, D. (2016). *Tetracycline resistance in Escherichia coli isolates from poultry*. 9(1), 61–81.
- López-Gálvez, F., Gil, M. I., Truchado, P., Selma, M. V., & Allende, A. (2010). Cross-contamination of fresh-cut lettuce after a short-term exposure during pre-washing cannot be controlled after subsequent washing with chlorine dioxide or sodium hypochlorite. *Food Microbiology*, 27(2), 199–204. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2009.09.009>
- Loveday, H. P., Wilson, J. A., Kerr, K., Pitchers, R., Walker, J. T., & Browne, J. (2014). Association between healthcare water systems and *Pseudomonas aeruginosa* infections: A rapid systematic review. *Journal of Hospital Infection*, 86(1), 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2013.09.010>
- Lu, W., Kiéné, L., & Lévi, Y. (1999). Chlorine demand of biofilms in water distribution systems. *Water Research*, 33(3), 827–835. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(98\)00229-2](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(98)00229-2)

Doktorska disertacija

- Lund, V., & Ormerod, K. (1995). The influence of disinfection processes on biofilm formation in water distribution systems. *Water Research*, 29(4), 1013–1021. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(94\)00280-K](https://doi.org/10.1016/0043-1354(94)00280-K)
- Luo, Y., Zhou, B., Van Haute, S., Nou, X., Zhang, B., Teng, Z., Turner, E. R., Wang, Q., & Millner, P. D. (2018). Association between bacterial survival and free chlorine concentration during commercial fresh-cut produce wash operation. *Food Microbiology*, 70, 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.09.013>
- Maes, S., Vackier, T., Nguyen Huu, S., Heyndrickx, M., Steenackers, H., Sampers, I., Raes, K., Verplaetse, A., & De Reu, K. (2019). Occurrence and characterisation of biofilms in drinking water systems of broiler houses. *BMC Microbiology*, 19(1), 77. <https://doi.org/10.1186/s12866-019-1451-5>
- Mahat, S. B., Omar, R., Idris, A., Mustapa Kamal, S. M., & Mohd Idris, A. I. (2018). Dynamic membrane applications in anaerobic and aerobic digestion for industrial wastewater: A mini review. *Food and Bioproducts Processing*, 112, 150–168. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.09.008>
- Malhotra, S., Sidhu, S. K., & Devi, P. (2015). Assessment of bacteriological quality of drinking water from various sources in Amritsar district of northern India. *The Journal of Infection in Developing Countries*, 9(08), 844–848. <https://doi.org/10.3855/jidc.6010>
- Manero, A., & Blanch, A. R. (1999). Identification of *Enterococcus* spp. With a Biochemical Key. *Applied and Environmental Microbiology*, 65(10), 4425–4430. <https://doi.org/10.1128/AEM.65.10.4425-4430.1999>
- Mesaros, N., Nordmann, P., Plésiat, P., Roussel-Delvallez, M., Van Eldere, J., Glupczynski, Y., Van Laethem, Y., Jacobs, F., Lebecque, P., Malfroot, A., Tulkens, P. M., & Van Bambeke, F. (2007). *Pseudomonas aeruginosa*: Resistance and therapeutic options at the turn of the new millennium. *Clinical Microbiology and Infection*, 13(6), 560–578. <https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2007.01681.x>

Doktorska disertacija

- Metri, B. C., Jyothi, P., & Peerapur, B. V. (2013). Antibiotic resistance in *Citrobacter* spp. Isolated from urinary tract infection. *Urology Annals*, 5(4), 312–313. <https://doi.org/10.4103/0974-7796.120295>
- Miller, S. L., & Urey, H. C. (1959). Organic Compound Synthesis on the Primitive Earth. *Science*, 130(3370), 245–251. <https://doi.org/10.1126/science.130.3370.245>
- Mocé-Llivina, L., Muniesa, M., Pimenta-Vale, H., Lucena, F., & Jofre, J. (2003). Survival of Bacterial Indicator Species and Bacteriophages after Thermal Treatment of Sludge and Sewage. *Applied and Environmental Microbiology*, 69(3), 1452–1456. <https://doi.org/10.1128/AEM.69.3.1452-1456.2003>
- Moe, C. L., Sobsey, M. D., Samsa, G. P., & Mesolo, V. (1991). Bacterial indicators of risk of diarrhoeal disease from drinking-water in the Philippines. *Bulletin of the World Health Organization*, 69(3), 305–317.
- Morin, C. D., Déziel, E., Gauthier, J., Levesque, R. C., & Lau, G. W. (2021). An Organ System-Based Synopsis of *Pseudomonas aeruginosa* Virulence. *Virulence*, 12(1), 1469–1507. <https://doi.org/10.1080/21505594.2021.1926408>
- Moura, A., Tacão, M., Henriques, I., Dias, J., Ferreira, P., & Correia, A. (2009). Characterization of bacterial diversity in two aerated lagoons of a wastewater treatment plant using PCR–DGGE analysis. *Microbiological Research*, 164(5), 560–569. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2007.06.005>
- Muga, H. E., & Mihelcic, J. R. (2008). Sustainability of wastewater treatment technologies. *Journal of Environmental Management*, 88(3), 437–447. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.03.008>
- Muirhead, T. J. (1990). Innovative management of an Aerated/Facultative Lagoon suspended—Growth biological treatment system for high strength industrial waste stabilization. *Environmental Progress*, 9(3), 174–182. <https://doi.org/10.1002/ep.670090319>

Doktorska disertacija

- Murthy, S. N., & Novak, J. T. (1999). Factors Affecting Floc Properties During Aerobic Digestion: Implications for Dewatering. *Water Environment Research*, 71(2), 197–202. <https://doi.org/10.2175/106143098X121879>
- Naghii, M. R. (2000). The Significance of Water in Sport and Weight Control. *Nutrition and Health*, 14(2), 127–132. <https://doi.org/10.1177/026010600001400205>
- Nazina, T. N., Shestakova, N. M., Semenova, E. M., Korshunova, A. V., Kostrukova, N. K., Tourova, T. P., Min, L., Feng, Q., & Poltaraus, A. B. (2017). Diversity of Metabolically Active Bacteria in Water-Flooded High-Temperature Heavy Oil Reservoir. *Frontiers in Microbiology*, 8. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2017.00707>
- Niemczynowicz, J. (1999). Urban hydrology and water management – present and future challenges. *Urban Water*, 1(1), 1–14. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(99\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(99)00009-6)
- Nikolaou, A. D., Golfinopoulos, S. K., Lekkas, T. D., & Arhonditsis, G. B. (2004). Factors Affecting the Formation of Organic By-Products During Water Chlorination: A Bench-Scale Study. *Water, Air, and Soil Pollution*, 159(1), 357–371. <https://doi.org/10.1023/B:WATE.0000049189.61762.61>
- Nordin, A., Göttert, D., & Vinnerås, B. (2018). Decentralised black water treatment by combined auto-thermal aerobic digestion and ammonia – A pilot study optimising treatment capacity. *Journal of Environmental Management*, 207, 313–318. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.064>
- Norton, C. D., & LeChevallier, M. W. (2000). A Pilot Study of Bacteriological Population Changes through Potable Water Treatment and Distribution. *Applied and Environmental Microbiology*, 66(1), 268–276. <https://doi.org/10.1128/AEM.66.1.268-276.2000>
- Novak Babič, M., Gostinčar, C., & Gunde-Cimerman, N. (2020). Microorganisms populating the water-related indoor biome. *Applied Microbiology and*

Doktorska disertacija

- Biotechnology*, 104(15), 6443–6462. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10719-4>
- Obi, C. L., Momba, M. N. B., Samie, A., Igumbor, J. O., Green, E., & Musie, E. (2007). Microbiological, physico-chemical and management parameters impinging on the efficiency of small water treatment plants in the Limpopo and Mpumalanga Provinces of South Africa. *Water SA*, 33(2), Article 2. <https://doi.org/10.4314/wsa.v33i2.49071>
- Odoi, H., Boamah, V. E., Boakye, Y. D., & Agyare, C. (2021). Prevalence and Phenotypic and Genotypic Resistance Mechanisms of Multidrug-Resistant *Pseudomonas aeruginosa* Strains Isolated from Clinical, Environmental, and Poultry Litter Samples from the Ashanti Region of Ghana. *Journal of Environmental and Public Health*, 2021, e9976064. <https://doi.org/10.1155/2021/9976064>
- Odoi, H., Boamah, V. E., Duah Boakye, Y., Dodoo, C. C., & Agyare, C. (2022). Sensitivity Patterns, Plasmid Profiles and Clonal Relatedness of Multi-Drug Resistant *Pseudomonas aeruginosa* Isolated From the Ashanti Region, Ghana. *Environmental Health Insights*, 16, 11786302221078116. <https://doi.org/10.1177/11786302221078117>
- Okoh, A. I., Odjadjare, E. E., Igbinosa, E. O., & Osode, A. N. (2007). Wastewater treatment plants as a source of microbial pathogens in receiving watersheds. *African Journal of Biotechnology*, 6(25), Article 25. <https://doi.org/10.4314/ajb.v6i25.58260>
- Olajire, A. A. (2020). The brewing industry and environmental challenges. *Journal of Cleaner Production*, 256, 102817. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.03.003>
- Oliveira, C. M. de. (2017). Sustainable access to safe drinking water: Fundamental human right in the international and national scene. *Revista Ambiente & Água*, 12, 985–1000. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2037>

Doktorska disertacija

- Olsvik, Ø., Wasteson, Y., Lund, A., & Hornes, E. (1991). Pathogenic *Escherichia coli* found in food. *International Journal of Food Microbiology*, *12*(1), 103–113. [https://doi.org/10.1016/0168-1605\(91\)90051-P](https://doi.org/10.1016/0168-1605(91)90051-P)
- Omarova, A., Tussupova, K., Berndtsson, R., Kalishev, M., & Sharapatova, K. (2018). Protozoan Parasites in Drinking Water: A System Approach for Improved Water, Sanitation and Hygiene in Developing Countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *15*(3), 495. <https://doi.org/10.3390/ijerph15030495>
- Ort, C., Lawrence, M. G., Rieckermann, J., & Joss, A. (2010). Sampling for Pharmaceuticals and Personal Care Products (PPCPs) and Illicit Drugs in Wastewater Systems: Are Your Conclusions Valid? A Critical Review. *Environmental Science & Technology*, *44*(16), 6024–6035. <https://doi.org/10.1021/es100779n>
- Osiemo, M. M., Ogendi, G. M., & M'Erimba, C. (2019). Microbial Quality of Drinking Water and Prevalence of Water-Related Diseases in Marigat Urban Centre, Kenya. *Environmental Health Insights*, *13*, 1178630219836988. <https://doi.org/10.1177/1178630219836988>
- Oteng-Peprah, M., Acheampong, M. A., & deVries, N. K. (2018). Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception—A Review. *Water, Air, & Soil Pollution*, *229*(8), 255. <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3909-8>
- Paesani, F., & Voth, G. A. (2009). The Properties of Water: Insights from Quantum Simulations. *The Journal of Physical Chemistry B*, *113*(17), 5702–5719. <https://doi.org/10.1021/jp810590c>
- Palamuleni, L., & Akoth, M. (2015). Physico-Chemical and Microbial Analysis of Selected Borehole Water in Mahikeng, South Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *12*(8), 8619–8630. <https://doi.org/10.3390/ijerph120808619>

Doktorska disertacija

- Pankhurst, C. L., & Coulter, W. A. (2007). Do contaminated dental unit waterlines pose a risk of infection? *Journal of Dentistry*, 35(9), 712–720. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2007.06.002>
- Paruch, A. M., & Mæhlum, T. (2012). Specific features of *Escherichia coli* that distinguish it from coliform and thermotolerant coliform bacteria and define it as the most accurate indicator of faecal contamination in the environment. *Ecological Indicators*, 23, 140–142. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.03.026>
- Pavlov, D., de Wet, C. M. E., Grabow, W. O. K., & Ehlers, M. M. (2004). Potentially pathogenic features of heterotrophic plate count bacteria isolated from treated and untreated drinking water. *International Journal of Food Microbiology*, 92(3), 275–287. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2003.08.018>
- Pedley, S., & Howard, G. (1997). The public health implications of microbiological contamination of groundwater. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 30(2), 179–188. <https://doi.org/10.1144/GSL.QJEGH.1997.030.P2.10>
- Pekel, J.-F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S. (2016). High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633), 418–422. <https://doi.org/10.1038/nature20584>
- Penner, J. L., & Hennessy, J. N. (1980). Separate O-grouping schemes for serotyping clinical isolates of *Proteus vulgaris* and *Proteus mirabilis*. *Journal of Clinical Microbiology*, 12(3), 304–309. <https://doi.org/10.1128/jcm.12.3.304-309.1980>
- Pikuta, E. V., & Hoover, R. B. (2004). *Growth of the facultative anaerobes from Antarctica, Alaska, and Patagonia at low temperatures* (R. B. Hoover, G. V. Levin, & A. Y. Rozanov, Eds.; p. 180). <https://doi.org/10.1117/12.564382>

Doktorska disertacija

- Pintar, K. D. M., & Slawson, R. M. (2003). Effect of temperature and disinfection strategies on ammonia-oxidizing bacteria in a bench-scale drinking water distribution system. *Water Research*, 37(8), 1805–1817. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00538-9](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00538-9)
- Pittet, D., Allegranzi, B., Storr, J., Nejad, S. B., Dziekan, G., Leotsakos, A., & Donaldson, L. (2008). Infection control as a major World Health Organization priority for developing countries. *Journal of Hospital Infection*, 68(4), 285–292. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2007.12.013>
- Podschun, R., & Ullmann, U. (1998). Klebsiella spp. as Nosocomial Pathogens: Epidemiology, Taxonomy, Typing Methods, and Pathogenicity Factors. *Clinical Microbiology Reviews*, 11(4), 589–603. <https://doi.org/10.1128/CMR.11.4.589>
- Pond, K., King, R., Herschan, J., Malcolm, R., McKeown, R. M., & Schmoll, O. (2020). Improving Risk Assessments by Sanitary Inspection for Small Drinking-Water Supplies—Qualitative Evidence. *Resources*, 9(6), 71. <https://doi.org/10.3390/resources9060071>
- Postel, S. L. (2003). Securing water for people, crops, and ecosystems: New mindset and new priorities. *Natural Resources Forum*, 27(2), 89–98. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.00044>
- Preisner, M. (2020). Surface Water Pollution by Untreated Municipal Wastewater Discharge Due to a Sewer Failure. *Environmental Processes*, 7(3), 767–780. <https://doi.org/10.1007/s40710-020-00452-5>
- Prest, E. I., Weissbrodt, D. G., Hammes, F., Loosdrecht, M. C. M. van, & Vrouwenvelder, J. S. (2016). Long-Term Bacterial Dynamics in a Full-Scale Drinking Water Distribution System. *PLOS ONE*, 11(10), e0164445. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0164445>
- Pujalte, M. J., Ortigosa, M., Macián, M. C., & Garay, E. (1999). Aerobic and facultative anaerobic heterotrophic bacteria associated to Mediterranean oysters and

Doktorska disertacija

- seawater. *International Microbiology*, 2(4), 259–266.
<https://doi.org/10.2436/im.v2i4.9224>
- Puvača, N., & de Llanos Frutos, R. (2021). Antimicrobial Resistance in Escherichia coli Strains Isolated from Humans and Pet Animals. *Antibiotics*, 10(1), 69.
<https://doi.org/10.3390/antibiotics10010069>
- Qadri, F., Svennerholm, A.-M., Faruque, A. S. G., & Sack, R. B. (2005). Enterotoxigenic Escherichia coli in Developing Countries: Epidemiology, Microbiology, Clinical Features, Treatment, and Prevention. *Clinical Microbiology Reviews*, 18(3), 465–483. <https://doi.org/10.1128/CMR.18.3.465-483.2005>
- Rajkumari, N., Mathur, P., & Misra, M. C. (2014). Soft Tissue and Wound Infections Due to Enterococcus spp. Among Hospitalized Trauma Patients in a Developing Country. *Journal of Global Infectious Diseases*, 6(4), 189–193.
<https://doi.org/10.4103/0974-777X.145253>
- Ram, B., & Kumar, M. (2020). Correlation appraisal of antibiotic resistance with fecal, metal and microplastic contamination in a tropical Indian river, lakes and sewage. *Npj Clean Water*, 3(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41545-020-0050-1>
- Ramírez-García, R., Gohil, N., & Singh, V. (2019). Recent Advances, Challenges, and Opportunities in Bioremediation of Hazardous Materials. In V. C. Pandey & K. Baudh (Eds.), *Phytomanagement of Polluted Sites* (pp. 517–568). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813912-7.00021-1>
- Ranjan, V. K., Mukherjee, S., Basak, C., & Chakraborty, R. (2021). Abundance of New Delhi Metallo-β-Lactamase-Producing Acinetobacter, Escherichia, Proteus, and Pseudomonas spp. In Mahananda and Karala Rivers of India. *Microbial Drug Resistance*, 27(12), 1603–1615. <https://doi.org/10.1089/mdr.2019.0449>
- Ranjit, P., Jhansi, V., & Reddy, K. V. (2021). Conventional Wastewater Treatment Processes. In N. R. Maddela, L. C. García Cruzatty, & S. Chakraborty (Eds.),

Doktorska disertacija

- Advances in the Domain of Environmental Biotechnology: Microbiological Developments in Industries, Wastewater Treatment and Agriculture* (pp. 455–479). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8999-7_17
- Richardson, M. I., & Wilson, R. J. (2002). Investigation of the nature and stability of the Martian seasonal water cycle with a general circulation model. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 107(E5), 7-1-7-28. <https://doi.org/10.1029/2001JE001536>
- Rijsberman, F. R. (2006). Water scarcity: Fact or fiction? *Agricultural Water Management*, 80(1), 5–22. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.001>
- Rings, D. M. (2004). Clostridial disease associated with neurologic signs: Tetanus, botulism, and enterotoxemia. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, 20(2), 379–391. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2004.02.006>
- Rizak, S., & Hruday, S. E. (2008). Drinking-water safety – challenges for community-managed systems. *Journal of Water and Health*, 6(S1), 33–41. <https://doi.org/10.2166/wh.2008.033>
- Robles, S., Rodríguez, J. M., Granados, I., & Guerrero, M. C. (2000). Sulfite-reducing clostridia in the sediment of a high mountain lake (Laguna Grande, Gredos, Spain) as indicators of fecal pollution. *International Microbiology*, 3(3), 187–191. <https://doi.org/10.2436/im.v3i3.9275>
- Rodriguez, C., Van Buynder, P., Lugg, R., Blair, P., Devine, B., Cook, A., & Weinstein, P. (2009). Indirect Potable Reuse: A Sustainable Water Supply Alternative. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 6(3), 1174–1203. <https://doi.org/10.3390/ijerph6031174>
- Rosegrant, M. W., Cai, X., & Cline, S. A. (2002). *World water and food to 2025: Dealing with scarcity*. International Food Policy Research Institute.
- Sack, R. B. (1975). Human diarrheal disease caused by enterotoxigenic *Escherichia coli*. *Annual Review of Microbiology*, 29, 333–353.

Doktorska disertacija

- Sadiq, R., Kleiner, Y., & Rajani, B. (2007). Water Quality Failures in Distribution Networks—Risk Analysis Using Fuzzy Logic and Evidential Reasoning. *Risk Analysis*, 27(5), 1381–1394. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2007.00972.x>
- Samonis, G., Karageorgopoulos, D. E., Kofteridis, D. P., Matthaïou, D. K., Sidiropoulou, V., Maraki, S., & Falagas, M. E. (2008). Citrobacter infections in a general hospital: Characteristics and outcomes. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases*, 28(1), 61. <https://doi.org/10.1007/s10096-008-0598-z>
- Sanders, W. E., & Sanders, C. C. (1997). Enterobacter spp.: Pathogens poised to flourish at the turn of the century. *Clinical Microbiology Reviews*, 10(2), 220–241. <https://doi.org/10.1128/CMR.10.2.220>
- Sasakova, N., Gregova, G., Takacova, D., Mojziso, J., Papajova, I., Venglovsky, J., Szaboova, T., & Kovacova, S. (2018). Pollution of Surface and Ground Water by Sources Related to Agricultural Activities. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2018.00042>
- Saxena, G., Bharagava, R. N., Kaithwas, G., & Raj, A. (2014). Microbial indicators, pathogens and methods for their monitoring in water environment. *Journal of Water and Health*, 13(2), 319–339. <https://doi.org/10.2166/wh.2014.275>
- Schaffer, J. N., & Pearson, M. M. (2017). *Proteus mirabilis* and Urinary Tract Infections. In *Urinary Tract Infections* (pp. 383–433). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1128/9781555817404.ch17>
- Schwartz, T., Hoffmann, S., & Obst, U. (2003). Formation of natural biofilms during chlorine dioxide and u.v. Disinfection in a public drinking water distribution system. *Journal of Applied Microbiology*, 95(3), 591–601. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2003.02019.x>

Doktorska disertacija

- Schwartz, T., Kohnen, W., Jansen, B., & Obst, U. (2003). Detection of antibiotic-resistant bacteria and their resistance genes in wastewater, surface water, and drinking water biofilms. *FEMS Microbiology Ecology*, 43(3), 325–335. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.2003.tb01073.x>
- Schwemlein, S., Cronk, R., & Bartram, J. (2016). Indicators for Monitoring Water, Sanitation, and Hygiene: A Systematic Review of Indicator Selection Methods. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(3), 333. <https://doi.org/10.3390/ijerph13030333>
- Sciacca, S., & Conti, G. O. (2009). Mutagens and carcinogens in drinking water. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 2(3), 157–162. <https://doi.org/10.1007/s12349-009-0052-5>
- Ševaljević, M., Stanojević, M., Simić, S., & Pavlović, M. (2009). Thermodynamic study of the aeration kinetic in treatment of refinery waste water in bio-aeration tanks. *Desalination*, 248(1), 941–960. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2008.11.009>
- Shankar, P. S. V., Kulkarni, H., & Krishnan, S. (2011). India's Groundwater Challenge and the Way Forward. *Economic and Political Weekly*, 46(2), 37–45.
- Shen, Z., Wang, Y., Shen, Y., Shen, J., & Wu, C. (2016). Early emergence of mcr-1 in *Escherichia coli* from food-producing animals. *The Lancet Infectious Diseases*, 16(3), 293. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(16\)00061-X](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(16)00061-X)
- Simões, L. C., & Simões, M. (2013). Biofilms in drinking water: Problems and solutions. *RSC Advances*, 3(8), 2520–2533. <https://doi.org/10.1039/C2RA22243D>
- Singh, K. P., Malik, A., Mohan, D., & Sinha, S. (2004). Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)—A case study. *Water Research*, 38(18), 3980–3992. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.06.011>

Doktorska disertacija

- Sliva, L., & Dudley Williams, D. (2001). Buffer Zone versus Whole Catchment Approaches to Studying Land Use Impact on River Water Quality. *Water Research*, 35(14), 3462–3472. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00062-8)
- Smith, M., & Reed, R. (1991). Water and Sanitation for Disasters. *Tropical Doctor*, 21(1_suppl), 30–37. <https://doi.org/10.1177/00494755910210S108>
- Smith, R. S., & Iglewski, B. H. (2003). P. aeruginosa quorum-sensing systems and virulence. *Current Opinion in Microbiology*, 6(1), 56–60. [https://doi.org/10.1016/S1369-5274\(03\)00008-0](https://doi.org/10.1016/S1369-5274(03)00008-0)
- Somaratne, N., & Hallas, G. (2015). Review of Risk Status of Groundwater Supply Wells by Tracing the Source of Coliform Contamination. *Water*, 7(7), 3878–3905. <https://doi.org/10.3390/w7073878>
- Some, S., Mondal, R., Mitra, D., Jain, D., Verma, D., & Das, S. (2021). Microbial pollution of water with special reference to coliform bacteria and their nexus with environment. *Energy Nexus*, 1, 100008. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2021.100008>
- Song, L.-J., Zhu, N.-W., Yuan, H.-P., Hong, Y., & Ding, J. (2010). Enhancement of waste activated sludge aerobic digestion by electrochemical pre-treatment. *Water Research*, 44(15), 4371–4378. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.05.052>
- Stanaszek-Tomal, E. (2020). Environmental Factors Causing the Development of Microorganisms on the Surfaces of National Cultural Monuments Made of Mineral Building Materials—Review. *Coatings*, 10(12), 1203. <https://doi.org/10.3390/coatings10121203>
- Standridge, J. (2008). E. coli as a public health indicator of drinking water quality. *Journal AWWA*, 100(2), 65–75. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2008.tb08143.x>

Doktorska disertacija

- Stelma, G. N., Jr. (2018). Use of bacterial spores in monitoring water quality and treatment. *Journal of Water and Health*, 16(4), 491–500. <https://doi.org/10.2166/wh.2018.013>
- Stephens, B., Azimi, P., Thoemmes, M. S., Heidarinejad, M., Allen, J. G., & Gilbert, J. A. (2019). Microbial Exchange via Fomites and Implications for Human Health. *Current Pollution Reports*, 5(4), 198–213. <https://doi.org/10.1007/s40726-019-00123-6>
- Stocker, T. F., & Wright, D. G. (1991). Rapid transitions of the ocean's deep circulation induced by changes in surface water fluxes. *Nature*, 351(6329), 729–732. <https://doi.org/10.1038/351729a0>
- Strateva, T., Atanasova, D., Savov, E., Petrova, G., & Mitov, I. (2016). Incidence of virulence determinants in clinical *Enterococcus faecalis* and *Enterococcus faecium* isolates collected in Bulgaria. *Brazilian Journal of Infectious Diseases*, 20, 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.bjid.2015.11.011>
- Straub, T. M., Pepper, I. L., & Gerba, C. P. (1993). Hazards from Pathogenic Microorganisms in Land-Disposed Sewage Sludge. In G. W. Ware (Ed.), *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* (pp. 55–91). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-7065-9_3
- Stukel, T., Greenberg, E., Dain, B., Reed, F., & Jacobs, N. (1990). A Longitudinal Study of Rainfall and Coliform Contamination in Small Community Drinking Water Supplies. *Environmental Science & Technology*, 24(4), 571–575. <https://doi.org/10.1021/es00074a610>
- Swaminathan, S., & Alangaden, G. J. (2010). Treatment of Resistant Enterococcal Urinary Tract Infections. *Current Infectious Disease Reports*, 12(6), 455–464. <https://doi.org/10.1007/s11908-010-0138-8>
- Tabor, M., Kibret, M., & Abera, B. (2011). Bacteriological and Physicochemical Quality of Drinking Water and Hygiene- Sanitation Practices of the Consumers in Bahir

Doktorska disertacija

- Dar City, Ethiopia. *Ethiopian Journal of Health Sciences*, 21(1), 19–26.
<https://doi.org/10.4314/ejhs.v21i1.69040>
- Tan, M.-W., Rahme, L. G., Sternberg, J. A., Tompkins, R. G., & Ausubel, F. M. (1999). *Pseudomonas aeruginosa* killing of *Caenorhabditis elegans* used to identify *P. aeruginosa* virulence factors. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(5), 2408–2413. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.5.2408>
- Tropea, E., Hynds, P., McDermott, K., Brown, R. S., & Majury, A. (2021). Environmental adaptation of *E. coli* within private groundwater sources in southeastern Ontario: Implications for groundwater quality monitoring and human health. *Environmental Pollution*, 285, 117263. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117263>
- Trouwborst, A. (2007). The Precautionary Principle in General International Law: Combating the Babylonian Confusion. *Review of European Community & International Environmental Law*, 16(2), 185–195. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9388.2007.00553.x>
- Usman, M. A., Gerber, N., & von Braun, J. (2019). The Impact of Drinking Water Quality and Sanitation on Child Health: Evidence from Rural Ethiopia. *The Journal of Development Studies*, 55(10), 2193–2211. <https://doi.org/10.1080/00220388.2018.1493193>
- Uzal, F. A., Navarro, M. A., & Hostetter, J. M. (2020). Focus issue on clostridial disease. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 32(2), 173–174. <https://doi.org/10.1177/1040638720908420>
- V., J., & Mandar V., S. (2009). Evaluation of Rainwater Harvesting Methods and Structures Using Analytical Hierarchy Process for a Large Scale Industrial Area. *Journal of Water Resource and Protection*, 2009. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2009.16052>

Doktorska disertacija

- Vaerewijck, M. J. M., Huys, G., Palomino, J. C., Swings, J., & Portaels, F. (2005). Mycobacteria in drinking water distribution systems: Ecology and significance for human health. *FEMS Microbiology Reviews*, 29(5), 911–934. <https://doi.org/10.1016/j.femsre.2005.02.001>
- Vale, F. F., Silva, A. M., Granja, A. T., Vale, M. J., & Vieira, H. (2009). Simultaneous detection of micro-organisms in water samples for future chip applications: Coliform bacteria, non-mandatory bacteria, hepatitis A virus and noroviruses. *Physica Status Solidi c*, 6(10), 2184–2189. <https://doi.org/10.1002/pssc.200881703>
- van der Kooij, D., Hein, J., van Lieverloo, M., Schellart, J., & Hiemstra, P. (1999). Maintaining quality without a disinfectant residual. *Journal AWWA*, 91(1), 55–64. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1999.tb08568.x>
- van Halem, D., van der Laan, H., Heijman, S. G. J., van Dijk, J. C., & Amy, G. L. (2009). Assessing the sustainability of the silver-impregnated ceramic pot filter for low-cost household drinking water treatment. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 34(1), 36–42. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2008.01.005>
- Volschan Junior, I., de Almeida, R., & Cammarota, M. C. (2021). A review of sludge pretreatment methods and co-digestion to boost biogas production and energy self-sufficiency in wastewater treatment plants. *Journal of Water Process Engineering*, 40, 101857. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101857>
- von Duvillard, S. P., Braun, W. A., Markofski, M., Beneke, R., & Leithäuser, R. (2004). Fluids and hydration in prolonged endurance performance. *Nutrition*, 20(7), 651–656. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2004.04.011>
- Wagner, V. E., & Iglewski, B. H. (2008). P. aeruginosa Biofilms in CF Infection. *Clinical Reviews in Allergy & Immunology*, 35(3), 124–134. <https://doi.org/10.1007/s12016-008-8079-9>

Doktorska disertacija

- Wald, G. (1964). The origins of life. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 52(2), 595–611. <https://doi.org/10.1073/pnas.52.2.595>
- Walker, J., & Moore, G. (2015). *Pseudomonas aeruginosa* in hospital water systems: Biofilms, guidelines, and practicalities. *Journal of Hospital Infection*, 89(4), 324–327. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2014.11.019>
- Wang, G.-F., Xie, G.-L., Zhu, B., Huang, J.-S., Liu, B., Kawicha, P., Benyon, L., & Duan, Y.-P. (2010). Identification and characterization of the Enterobacter complex causing mulberry (*Morus alba*) wilt disease in China. *European Journal of Plant Pathology*, 126(4), 465–478. <https://doi.org/10.1007/s10658-009-9552-x>
- Wang, H., & Yu, X. (2014). A review of the protection of sources of drinking water in China. *Natural Resources Forum*, 38(2), 99–108. <https://doi.org/10.1111/1477-8947.12036>
- Wang, Y., Wei, H., & Li, Z. (2018). Effect of magnetic field on the physical properties of water. *Results in Physics*, 8, 262–267. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2017.12.022>
- Wąsik, E., & Chmielowski, K. (2017). Ammonia and indicator bacteria removal from domestic sewage in a vertical flow filter filled with plastic material. *Ecological Engineering*, 106, 378–384. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.05.015>
- Watcharasukarn, M., Kaparaju, P., Steyer, J.-P., Krogfelt, K. A., & Angelidaki, I. (2009). Screening *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, and *Clostridium perfringens* as Indicator Organisms in Evaluating Pathogen-Reducing Capacity in Biogas Plants. *Microbial Ecology*, 58(2), 221–230. <https://doi.org/10.1007/s00248-009-9497-9>
- Wen, X., Chen, F., Lin, Y., Zhu, H., Yuan, F., Kuang, D., Jia, Z., & Yuan, Z. (2020). Microbial Indicators and Their Use for Monitoring Drinking Water Quality—A Review. *Sustainability*, 12(6), 2249. <https://doi.org/10.3390/su12062249>

Doktorska disertacija

- Wheeler, A. L., Hartel, P. G., Godfrey, D. G., Hill, J. L., & Segars, W. I. (2002). Potential of *Enterococcus faecalis* as a Human Fecal Indicator for Microbial Source Tracking. *Journal of Environmental Quality*, 31(4), 1286–1293. <https://doi.org/10.2134/jeq2002.1286>
- Wilcock, I. M., Cronin, J. B., & Hing, W. A. (2006). Physiological Response to Water Immersion. *Sports Medicine*, 36(9), 747–765. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636090-00003>
- Wilson, M. G., & Pandey, S. (2022). *Pseudomonas aeruginosa*. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557831/>
- Wingender, J., & Flemming, H.-C. (2011). Biofilms in drinking water and their role as reservoir for pathogens. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 214(6), 417–423. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2011.05.009>
- World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations, & World Organisation for Animal Health. (2020). *Technical brief on water, sanitation, hygiene and wastewater management to prevent infections and reduce the spread of antimicrobial resistance*. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/332243>
- Wu, D., Wang, H., & Seidu, R. (2020). Smart data driven quality prediction for urban water source management. *Future Generation Computer Systems*, 107, 418–432. <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.02.022>
- Wu, J., Long, S. C., Das, D., & Dorner, S. M. (2011). Are microbial indicators and pathogens correlated? A statistical analysis of 40 years of research. *Journal of Water and Health*, 9(2), 265–278. <https://doi.org/10.2166/wh.2011.117>
- Xiao, L. W., Rodgers, M., & Mulqueen, J. (2007). Organic carbon and nitrogen removal from a strong wastewater using a denitrifying suspended growth reactor and a horizontal-flow biofilm reactor. *Bioresource Technology*, 98(4), 739–744. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.04.015>

Doktorska disertacija

- Xiong, J., Xiong, S., Qian, P., Zhang, D., Liu, L., & Fei, Y. (2016). Thermal discharge-created increasing temperatures alter the bacterioplankton composition and functional redundancy. *AMB Express*, 6(1), 68. <https://doi.org/10.1186/s13568-016-0238-4>
- Yang, F., Tang, C., & Antonietti, M. (2021). Natural and artificial humic substances to manage minerals, ions, water, and soil microorganisms. *Chemical Society Reviews*, 50(10), 6221–6239. <https://doi.org/10.1039/D0CS01363C>
- Yang, S., Wang, P., Yang, X., Shan, L., Zhang, W., Shao, X., & Niu, R. (2010). Degradation efficiencies of azo dye Acid Orange 7 by the interaction of heat, UV and anions with common oxidants: Persulfate, peroxymonosulfate and hydrogen peroxide. *Journal of Hazardous Materials*, 179(1), 552–558. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.03.039>
- Yates, M. V. (2007). Classical Indicators in the 21st Century—Far and Beyond the Coliform. *Water Environment Research*, 79(3), 279–286. <https://doi.org/10.2175/106143006X123085>
- Yoder, C. O., & Rankin, E. T. (1998). The Role of Biological Indicators in a State Water Quality Management Process. *Environmental Monitoring and Assessment*, 51(1), 61–88. <https://doi.org/10.1023/A:1005937927108>
- Young, W. F., Horth, H., Crane, R., Ogden, T., & Arnott, M. (1996). Taste and odour threshold concentrations of potential potable water contaminants. *Water Research*, 30(2), 331–340. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(95\)00173-5](https://doi.org/10.1016/0043-1354(95)00173-5)
- Yu, Y., Hubacek, K., Feng, K., & Guan, D. (2010). Assessing regional and global water footprints for the UK. *Ecological Economics*, 69(5), 1140–1147. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.12.008>
- Zamxaka, M., Pironcheva, G., & Muyima, N. Y. O. (2004). Microbiological and physico-chemical assessment of the quality of domestic water sources in selected rural

Doktorska disertacija

- communities of the Eastern Cape Province, South Africa. *Water SA*, 30(3), 333–340. <https://doi.org/10.4314/wsa.v30i3.5081>
- Zhong, S., Geng, Y., Kong, H., Liu, B., Tian, X., Chen, W., Qian, Y., & Ulgiati, S. (2018). Emergency-based sustainability evaluation of Erhai Lake Basin in China. *Journal of Cleaner Production*, 178, 142–153. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.019>
- Zhu, B., Wang, G., Xie, G., Zhou, Q., Zhao, M., Praphat, K., Li, B., & Tian, W. (2010). Enterobacter spp.: A new evidence causing bacterial wilt on mulberry. *Science China Life Sciences*, 53(2), 292–300. <https://doi.org/10.1007/s11427-010-0048-x>
- Zhu, I. X., Getting, T., & Bruce, D. (2010). Review of biologically active filters in drinking water applications. *Journal AWWA*, 102(12), 67–77. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2010.tb11364.x>
- Zupančič, J., Turk, M., Črnigoj, M., Ambrožič Avguštin, J., & Gunde-Cimerman, N. (2019). The dishwasher rubber seal acts as a reservoir of bacteria in the home environment. *BMC Microbiology*, 19(1), 300. <https://doi.org/10.1186/s12866-019-1674-5>

BIOGRAFIJA



MSc Goran Zarić je rođen 01. aprila 1984. godine u Valjevu. Osnovnu školu završio je u Belotiću 1999. godine. Srednješkolsko obrazovanje nastavlja u Šabačkoj gimnaziji, prirodno-matematički smer.

Upisao je strukovne studije prvog stepena na "Visokoj Tehnološkoj školi" u Šapcu, smer informacione tehnologije, diplomirao i stekao zvanje inženjer informacione tehnologije. Na Tehničkom fakultetu "Mihajlo Pupin" Zrenjanin, Univerzitet u Novom Sadu, stekao je akademsko obrazovanje profesor informatike. Drugi stepen akademskih studija, upisao je na Tehničkom fakultetu "Mihajlo Pupin", gde je stekao zvanje profesor tehnike i informatike-master. Specijalističke akademske studije upisao je na Fakultetu organizacionih nauka, Univezitet u Beogradu. Završni specijalistički akademski rad položio je i stekao akademski naziv specijalista inženjer organizacionih nauka. Nakon specijalističkih akademskih studija upisao je doktorske akademske studije na Fakultetu za ekonomiju i inženjerki menadžment u Novom Sadu.

Profesionalnu karijeru započeo je u OŠ "Žika Popović" Vladimirci, gde je bio raspoređen na poslove nastavnika. Poslove nastavnika obavljao je do 2009. godine, kada je raspoređen na poslove pomoćnika direktora osnovne škole. Od 2011. godine direktor je JP Direkcija za građevinsko zemljište, puteve i izgradnju opštine Vladimirci, a od 2016. do 20. avgusta 2020. godine direktor je JKP „Izvor“ u Vladimircima. Godine 2020. izabran je na mesto predsednika opštine Vladimirci.

Objavio je nekoliko naučnih i stručnih radova u domaćim i međunarodnim časopisima, od toga četiri rada u časopisima na SCI listi.

Osnovno poznavanje engleskog i ruskog jezika, odlično poznavanje rada na računaru. Oženjen je i otac dvoje dece.

PRILOG 1

Izjava o autorstvu

Potpisan: **mast. inž. GORAN ZARIĆ**

Broj upisa:

Izjavljujem

da je doktorska disertacija pod naslovom: „ANALIZA STANJA I MODEL REŠENJA ZA POVEĆANJE KVALITETA PIJAĆE VODE U MAČVANSKOM OKRUGU“ rezultat sopstvenog istraživačkog rada, da predložena disertacija u celini i u delovima nije bila predložena za dobijanje bilo koje diplome prema studijskim programima drugih visokoškolskih ustanova, da su rezultati korektno navedeni i da nisam kršio autorska prava i koristio intelektualnu svojinu drugih lica.

U Novom Sadu, _____

Potpis:

PRILOG 2

Izjava o istovetnosti štampane i elektronske verzije doktorskog rada

Ime i prezime autora: **mast. inž. GORAN ZARIĆ**

Broj upisa:

Studijski program: Inženjerski menadžment u biotehnologiji

Naslov rada: „ANALIZA STANJA I MODEL REŠENJA ZA POVEĆANJE KVALITETA PIJAĆE VODE U MAČVANSKOM OKRUGU“

Mentor: Prof. dr Marijana Carić, emeritus

Mentor: Prof. dr Radivoj Prodanović

Potpisan

mast. inž. Goran Zarić

Izjavljujem da je štampana verzija mog doktorskog rada istovetna elektronskoj verziji, koju sam predao za objavljivanje na portalu Digitalna biblioteka disertacija Univerziteta privredna akademija u Novom Sadu.

Dozvoljavam da se objave moji lični podaci vezani za dobijanje akademskog zvanja doktora nauka, kao što su ime i prezime, godina i mesto rođenja i datum odbrane rada.

Ovi lični podaci mogu se objaviti na mrežnim stranicama Digitalne biblioteke disertacija, u elektronskom katalogu i u publikacijama Univerziteta privredna akademija u Novom Sadu.

U Novom Sadu, _____

Potpis:

PRILOG 3

Izjava o korišćenju

Ovlašćujem Centralnu biblioteku Univerziteta u Novom Sadu da u Digitalnu biblioteku disertacija Univerziteta u Novom Sadu unese moju doktorsku disertaciju pod naslovom: „ANALIZA STANJA I MODEL REŠENJA ZA POVEĆANJE KVALITETA PIJAĆE VODE U MAČVANSKOM OKRUGU“

Disertaciju sa svim priložima predao sam u elektronskom formatu pogodnom za trajno arhiviranje.

Moju doktorsku disertaciju pohranjenu u Digitalnu biblioteku disertacija Univerziteta u Novom Sadu mogu da koriste svi koji poštuju odredbe sadržane u odabranom tipu licence Kreativne zajednice (Creative Commons) za koju sam se odlučio.

1. Autorstvo

2. Autorstvo – nekomercijalno

3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade

4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima

5. Autorstvo – bez prerade

6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima

(Molimo da zaokružite samo jednu od šest ponuđenih licenci, kratak opis licenci dat je na poleđini lista.)

U Novom Sadu, _____

Potpis

1. Autorstvo – Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence, čak i u komercijalne svrhe. Ovo je najslobodnija od svih licenci.
2. Autorstvo – nekomercijalno. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
3. Autorstvo – nekomercijalno – bez prerade. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela. U odnosu na sve ostale licence, ovom licencom se ograničava najveći obim prava korišćenja dela.
4. Autorstvo – nekomercijalno – deliti pod istim uslovima. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence, i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca ne dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada.
5. Autorstvo – bez prerade. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, bez promena, preoblikovanja ili upotrebe dela u svom delu, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela.
6. Autorstvo – deliti pod istim uslovima. Dozvoljavate umnožavanje, distribuciju i javno saopštavanje dela, i prerade, ako se navede ime autora na način određen od strane autora ili davaoca licence i ako se prerada distribuira pod istom ili sličnom licencom. Ova licenca dozvoljava komercijalnu upotrebu dela i prerada. Slična je softverskim licencama, odnosno licencama otvorenog koda.