

# Analiza vode s javnih slavina na području grada Zagreba

---

Rotim, Karla

Master's thesis / Diplomski rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Food Technology and Biotechnology / Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:159:109778>

Rights / Prava: [Attribution-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-06**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology and Biotechnology](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PREHRAMBENO-BIOTEHNOLOŠKI FAKULTET

# DIPLOMSKI RAD

Zagreb, srpanj 2023.

Karla Rotim

**ANALIZA VODE S JAVNIH  
SLAVINA NA PODRUČJU GRADA  
ZAGREBA**

Rad je izrađen pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Josipa Ćurka, u Hrvatskom zavodu za javno zdravstvo, Odjelu za kontrolu zdravstvene ispravnosti voda, i vodoopskrbu, Odsjeku za kemiju voda pod komentorstvom dr. sc. Magdalene Ujević Bošnjak, znanstvene suradnice te uz pomoć mag.ing. Filipa Gajšaka, mag.ing. Helene Prskalo i mag.ing. Ive Šušić.

Ovaj rad napravljen u sklopu projekta UIP 2017-05-3088 „Istraživanje procesa koji se odvijaju u vodoopskrbnim sustavima“, voditeljica projekta: dr. sc. Magdalena Ujević Bošnjak, znanstvena suradnica., trajanje projekta: 1. 4. 2018. – 31. 3. 2023. god.

## ZAHVALA

*Zahvaljujem se mentoru izv. prof. dr. sc. Josipu Ćurku na vodstvu, usmjeravanju tijekom pisanja ovog diplomskog rada, strpljivosti i izdvojenom vremenu te stručnim savjetima i svoj pruženoj pomoći prilikom izrade. Također, zahvaljujem se komentorici dr. sc. Magdaleni Ujević Bošnjak, voditeljici Odjela za kontrolu zdravstvene ispravnosti voda i vodoopskrbu koja mi je omogućila da ovaj diplomski rad bude ostvaren te na svim savjetima i ukazanoj pomoći. Zahvaljujem se i mag. ing. Filipu Gajšaku, mag. ing. Heleni Prskalo i mag. ing. Ivi Šušić koji su mi uljepšali izradu eksperimentalnog dijela, pružili pomoć i imali strpljenja za sva moja pitanja te svim ostalim djelatnicima Odjela za kontrolu zdravstvene ispravnosti voda i vodoopskrbu.*

*Veliko hvala mojoj obitelji, roditeljima koji su mi pružili svu podršku tijekom svih ovih godina studiranja, proživljavali sa mnom moje dramatične trenutke studiranja i prije svega vjerovali u mene. Hvala mojoj sestri što me uveseljavala kroz sve ove godine, ohrabrivala i pružala mi podršku. Hvala mojim bakama na svojoj ljubavi i brizi. Hvala mom dečku, Brunu na velikoj podršci i ljubavi te konstantnom slušanju o mom diplomskom radu i vjeri u mene. Hvala mojoj sestrični Eni na svim lijepim trenucima tijekom našeg studiranja, s tobom je studiranje bilo lakše i zabavnije. I hvala svim dragim bliskim prijateljima što ste mi uljepšali ovaj period života i pružili motivaciju kada je bilo potrebno.*

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Diplomski rad

Sveučilište u Zagrebu  
Prehrambeno-biotehnološki fakultet  
Zavod za prehrambeno-tehnološko inženjerstvo  
Laboratorij za tehnologiju vode

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti  
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

Diplomski sveučilišni studij: Upravljanje sigurnošću hrane

ANALIZA VODE S JAVNIH SLAVINA NA PODRUČJU GRADA ZAGREBA  
*Karla Rotim, univ. bacc. ing. techn. aliment.*

0058213249

**Sažetak:** U ovom radu ispitivana je kvaliteta vode za piće s javnih slavina u gradu Zagrebu tijekom četiri mjeseca (prosinac 2022. – ožujak 2023.), kako bi se utvrdilo dolazi li do promjena u analiziranim parametrima. Fizikalno-kemijski i mikrobiološki parametri te metali, ioni, organska tvar i trihalometani bili su analizirani s ciljem utvrđivanja zdravstvene ispravnosti vode za piće. Nakon provedenih analiza, utvrđeno je da su svi uzorci bili zadovoljavajuće kvalitete prema propisanim vrijednostima Pravilnika. LSI vrijednosti kretale su se u intervalu od -0,277 do 0,070, što ukazuje na to da je analizirana vode za piće stabilna. Rezultati ovog rada ukazuju na sigurnost korištenja vode s javnih slavina u gradu Zagrebu. U budućnosti se preporuča provoditi mjerenja tijekom cijele godine, kako bi se potvrdila ispravnost vode i u drugim mjesecima.

**Ključne riječi:** *voda za piće, javne slavine, zdravstvena ispravnost*

**Rad sadrži:** 51 stranica, 9 slika, 1 tablica, 55 literaturnih navoda, 1 prilog

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u:** Knjižnica Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta, Kačićeva 23, Zagreb

**Mentor:** izv. prof. dr. sc. Josip Ćurko

**Komentor:** dr. sc. Magdalena Ujević Bošnjak, znanstvena suradnica (HZJZ)

**Pomoć pri izradi:** Filip Gajšak mag. ing., Helena Prskalo mag. ing., i Iva Šušić mag. ing.

**Stručno povjerenstvo za ocjenu i obranu:**

1. prof. dr. sc. Marin Matošić (predsjednik)
2. izv. prof. dr. sc. Josip Ćurko (mentor)
3. izv. prof. dr. sc. Ana Bielen (član)
4. prof. dr. sc. Nada Vahčić (zamjenski član)

**Datum obrane:** 11. srpnja 2023.

## BASIC DOCUMENTATION CARD

Graduate Thesis

**University of Zagreb**  
**Faculty of Food Technology and Biotechnology**  
**Department of Food Engineering**  
**Laboratory for Water Technology**

**Scientific area:** Biotechnical Sciences

**Scientific field:** Food Technology

**Graduate university study programme:** Food Safety Management

ANALYSIS OF WATER FROM PUBLIC TAPS IN THE AREA OF THE CITY OF ZAGREB

*Karla Rotim, univ. Bacc. Ing. Techn. Aliment.*

0058213249

**Abstract:** In this paper, the quality of drinking water from public taps in the city of Zagreb was examined during four months (December 2022 - March 2023), in order to determine whether there is a change in the analyzed parameters. Physico-chemical and microbiological parameters metals, ions, organic matter and trihalomethanes were analyzed with the aim of determining the health suitability of drinking water. After the analyses, it was determined that all samples were of satisfactory quality according to the prescribed values of the Ordinance. The LSI values ranged from -0.277 to 0.070, which indicates that the analyzed drinking water is stable. The results of this work indicate the safety of using water from public taps in the city of Zagreb. In the future, it is recommended to carry out measurements throughout the year, in order to confirm the health suitability of the water in other months as well.

**Keywords:** *drinking water, public taps, health safety*

**Thesis contains:** 51 pages, 9 figures, 1 tables, 55 references, 1 supplement

**Original in:** Croatian

**Graduate Thesis in printed and electronic (pdf format) form is deposited in:** The Library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, Kačićeva 23, Zagreb.

**Mentor:** PhD. Josip Ćurko, Associate professor

**Co-mentor:** PhD. Magdalena Ujević Bošnjak, Research associate (CIPH)

**Technical support and assistance:** Filip Gajšak mag. oec., Helena Prskalo mag. oec., i Iva Šušić mag. oec..

**Reviewers:**

1. Marin Matošić, PhD, Full professor (president)
2. Josip Ćurko, PhD, Associate professor (mentor)
3. Ana Bielen, PhD, Associate professor (member)
4. Nada, Vahčić, PhD, Full professor (substitute)

**Thesis defended:** July 11<sup>th</sup>, 2023.



# Sadržaj

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. TEORIJSKI DIO</b> .....	2
2.1. VODA ZA LJUDSKU POTROŠNJU .....	2
2.1.1. Voda kao temeljno ljudsko pravo .....	2
2.1.2. Povijest javnih slavina .....	3
2.1.3. Definicija vode za ljudsku potrošnju.....	4
2.2. ZDRAVSTVENA ISPRAVNOST VODE IZ JAVNIH SLAVINA .....	5
2.3. FIZIKALNO-KEMIJSKI PARAMETRI I KVALITETA VODE ZA PIĆE .....	7
2.3.1. Fizikalni parametri – temperatura, boja, mutnoća, pH-vrijednost .....	7
2.3.2. Nusprodukti dezinfekcije i njihov utjecaj na zdravlje.....	8
2.3.3. Organski spojevi .....	9
2.3.4. Metali i utjecaj na zdravlje.....	10
2.3.5. Arsen .....	11
2.3.6. Mangan .....	11
2.3.7. Željezo.....	12
2.3.8. Aluminijski.....	12
2.3.9. Nitrati, nitriti, kloridi i amonij .....	13
2.4. MIKROBIOLOŠKI PARAMETRI.....	14
2.5. LSI – LANGELIEROV INDEKS STABILNOSTI .....	15
<b>3. EKSPERIMENTALNI DIO</b> .....	17
3.1. UZORKOVANJE VODE ZA PIĆE S JAVNIH SLAVINA U GRADU ZAGREBU I ANALITIČKE METODE ZA ANALIZU.....	17
3.2. ODREĐIVANJE TEMPERATURE.....	18
3.3. ODREĐIVANJE SLOBODNOG REZIDUALNOG KLORA .....	19
3.4. ODREĐIVANJE pH-VRIJEDNOSTI .....	19
3.5. ODREĐIVANJE MUTNOĆE .....	20
3.6. ODREĐIVANJE ELEKTRIČNE VODLJIVOSTI.....	20
3.7. ODREĐIVANJE UTROŠKA $KMnO_4$ – PERMANGANATNOG INDEKSA .....	20
3.8. ODREĐIVANJE KONCENTRACIJE AMONIJA ( $NH_4^+$ ) .....	21
3.9. ODREĐIVANJE KONCENTRACIJE NITRITA .....	22
3.10. ODREĐIVANJE KONCENTRACIJE HIDROGENKARBONATA .....	23
3.11. LANGELIEROV INDEKS STABILNOSTI .....	23
3.12. UKUPNE OTOPLJENE SOLI .....	24

3.13.	OBRADA PODATAKA.....	24
<b>4.</b>	<b>REZULTATI I RASPRAVA.....</b>	<b>25</b>
4.1.	ISTRAŽIVAČKA PITANJA.....	25
4.2.	PRIKAZ KVALITETE VODE ZA PIĆE NA PODRUČJU GRADA ZAGREBA.....	25
4.2.1	Osnovni fizikalno-kemijski parametri.....	25
4.2.2	Ioni .....	28
4.2.3	Prisutnost metala i metaloida te utjecaj na kvalitetu vode .....	31
4.2.4	Prisutnost trihalometana te utjecaj na kvalitetu vode.....	35
4.2.5	Organska tvar i kvaliteta vode za piće .....	37
4.2.6	Korelacija parametara pokazatelja kvalitete vode za piće .....	38
4.2.7	Prikaz LSI – Langelierovog indeksa stabilnosti.....	41
<b>5.</b>	<b>ZAKLJUČCI .....</b>	<b>44</b>
<b>6.</b>	<b>LITERATURA .....</b>	<b>45</b>
<b>7.</b>	<b>PRILOZI.....</b>	<b>52</b>

# 1. UVOD

Voda je neophodan resurs za opstanak svih živih bića na Zemlji, a ujedno je i nužan faktor u brojnim drugim aktivnostima u životu. Ključno je osigurati zdravstvenu ispravnost vode za ljudsku potrošnju, odnosno za piće u svrhu očuvanja zdravlja i dobrobiti stanovništva te prevencije bolesti. Analize vode za piće potrebno je provoditi kontinuirano i učinkovito kako bi se mogla osigurati njezina zdravstvena ispravnost i na vrijeme ukloniti bilo kakve moguće nedostatke i prijetnje za zdravlje ljudi. Osim što voda koja se isporučuje potrošačima mora biti zdravstveno ispravna ona mora biti i lako dostupna što se postiže izgradnjom vodoopskrbnih sustava, a također i postavljanjem javnih slavina.

U gradu Zagrebu na velikom broju lokacija postoje javne slavine i želja je poticati ljude na potrošnju vode za piće iz istih. Zagreb, kao glavni grad Republike Hrvatske (RH) suočava se s ponekim izazovima u očuvanju izvrsne kvalitete vode za piće, kao što su priroda vodenih izvora i distribucijske cijevi, točnije njihova zastarjelost. Javne slavine nadalje su dodatno podložne onečišćenju i raznim vanjskim utjecajima te loša kvaliteta vode za piće na javnim slavinama može utjecati na zdravlje ljudi te upravo zbog toga postoji potreba za kontinuiranim praćenjem zdravstvene ispravnosti vode. Odgovarajuća kontrola vode za piće s javnih slavina odraz je brige za zdravlje i život ljudi na ovom području.

Praćenje kvalitete vode za ljudsku potrošnju koje se redovito provodi na godišnjoj razini u RH obuhvaćalo je i manji broj javnih slavina. Međutim novi Zakon o vodi za ljudsku potrošnju koji je stupio na snagu u ožujku 2023. godine (Narodne novine, 30/2023) promiče upotrebu vode iz javnih slavina te također detaljnije propisuje odgovornosti za održavanja, upravljanja i praćenje kvalitete vode na javnim slavinama.

Kako su podaci o kvaliteti vode u javnim slavinama u RH rijetki cilj ovog rada bio je napraviti fizikalno-kemijske i mikrobiološke analize uzoraka vode za ljudsku potrošnju iz javnih slavina na području grada Zagreba pri čemu su analizirani uzorci na 7 lokacija na području grada Zagreba tijekom četiri mjeseca. Također, određivao se Langelierov indeks stabilnosti (LSI) u svrhu definiranja karaktera vode za piće. Krajnji cilj ovog rada je utvrditi jesu li analizirani uzorci u skladu sa zakonskim propisima te istražiti u kakvoj su korelaciji praćeni parametri kako bi se mogle definirati adekvatnije mjere upravljanja i održavanja javnih slavina.

## 2. TEORIJSKI DIO

### 2.1. VODA ZA LJUDSKU POTROŠNJU

#### 2.1.1. Voda kao temeljno ljudsko pravo

Voda za ljudsku potrošnju smatra se temeljnim ljudskim pravom i potrebno je osigurati sve uvjete kako bi se ljudima omogućila dostupnost korištenja svog temeljnog prava. U cijelom svijetu potiče se ulaganje u isporuku zdravstveno ispravne vode za piće putem sustava javne vodoopskrbe, a potiče se i korištenje vode iz javnih slavina.

Europska građanska inicijativa „Right2Water“, koja je pokrenuta s ciljem osiguranja vode za piće i sanitarnih uvjeta svim ljudima u Europskoj uniji (EU), postavila je dva važna zahtjeva: „Voda i odvodnja ljudsko su pravo!“ i „Voda je javno dobro, a ne roba.“. Važno je napomenuti kako financijska situacija svakog pojedinca ne bi trebala imati presudnu ulogu, jer kao što je već rečeno voda nije javno dobro, nego pravo koje mora biti dostupno apsolutno svim ljudima bez obzira na okolnosti (European Citizens' Initiative, 2012). Političari i osobe na vodećim položajima dužni su izdvojiti svoje vrijeme i resurse kako bi se identificirale ranjive i ugrožene skupine u bilo kojem segmentu. Važno je provjeriti imaju li takve osobe osiguran zadovoljavajući pristup vodi za piće, a u slučaju da nemaju provesti analizu mogućnosti pomoću kojih im mogu to osigurati. Problem koji i dovodi svijet do situacije da nemaju svi ljudi pristup zdravstveno ispravnoj vodi za piće leži u tome što većina zemalja nema dovoljno financijskih sredstava u državnom proračunu za poboljšanje vodoopskrbe i odvodnje (UNECE, 2019). Zahtjevi inicijative „Right2Water“ prepoznati su i postali su dio nove Direktive (EU) 2020/2184 Europskog parlamenta i Vijeća od 16. prosinca 2020. o kvaliteti vode namijenjene za ljudsku potrošnju (preinaka) (Tekst značajan za EGP) (SL L 435, 23.12.2020.) Nova Direktiva obvezuje države članice EU da poduzimaju potrebne mjere za poboljšanje pristupa vodi namijenjenoj za ljudsku potrošnju za sve ljude, a posebno za ranjive i marginalizirane skupine. Države članice također mogu promicati upotrebe vode iz slavine namijenjene za ljudsku potrošnju postavljanjem javnih slavina u unutaršnjim i vanjskim prostorima. Na ovaj način se omogućava pristup vodi, ali isto tako se potiče manje korištenje vode iz boce i indirektno utječe na smanjene plastike u okolišu.

Postoji više faktora koje treba uzeti u obzir prilikom usporedbe korištenja vode za piće iz boce ili iz slavine, a to su: okus, utjecaj na okoliš, cijena, sigurnost i dostupnost. Što se tiče cijene, voda u boci u Hrvatskoj je 1000 puta skuplja u odnosu na vodu iz slavine, a u svijetu i 1000-

2000 puta skuplja. Cilj je što više ljude potaknuti na izbor konzumacije vode iz javnih slavina. Kako bi to bilo moguće, trebalo bi svima osigurati pristup vodi za piće koja je sigurna i zdravstveno ispravna.

### 2.1.2. Povijest javnih slavina

Voda je prijeko potrebna za normalno funkcioniranje ljudi i svih ostalih živih bića. Kroz povijest postojali su različiti načini dopreme vode za piće do čovjeka koji su se kroz godine i godine postojanja postupno modernizirali. Najrašireniji način dopreme vode do čovjeka u prošlosti, bile su pumpe i zdenci s tekućom vodom. Kako bi se mogle podmiriti različite potrebe, od same žeđi stanovnika do pranja ruku i osiguravanja vode za piće životinjama proveo se korak postavljanja javnih zdenaca. Zdenci su bili postavljeni tako da se u njih ugrađivao ventil čija je svrha bila propuštanje vode i potom zatvaranje i zaustavljanje toka vode. Tako je osmišljeno s ciljem sprječavanja rasipanja vode (Beović, 2014). Industrijska opskrba vodom za piće koja se provodila pomoću strojeva s pumpom koja je pumpala vodu na području Europe razvila se tek početkom 18. stoljeća (Beović, 2016). Tako u jednom trenutku, kako je svijet težio sve većoj modernizaciji, javila se i potreba za ulaganjem u javni vodoopskrbni sustav. To je predstavljalo rješenje za zdravstvene probleme koji su se javljali kao posljedica onečišćenja vode (Europska agencija za okoliš, 2018). U drugoj polovici 19. stoljeća gradovi su počeli s izgradnjom javnih vodovoda. Početkom 19. stoljeća London je imao čak 10 vodovodnih poduzeća i svako poduzeće je imalo svoj vodoopskrbni okrug. Kasnije, sve je sjedinjeno u jedno poduzeće te opskrba vodom za piće u Londonu predstavljala je problem zbog povezanosti s čestim epidemijama kolere (Beović, 2014; Haiyan, 2011). Upravo iz tog razloga, Samuel Gurney i Edward Thomas Wakefield 1859. godine osnovali su udrugu Drinking Fountain Association (MDFFA). Cilj udruge bio je postaviti javne zdence koji će osigurati besplatnu i zdravstveno ispravnu vodu za piće za sve stanovnike, posebno za građane slabijih financijskih mogućnosti, što se i ostvarilo. Prvo vodoopskrbno poduzeće u Parizu razvilo se u 18. stoljeću, no zbog onečišćenja rijeke Seine nije se bilo sigurno u kvalitetu vode. Tijekom 1960-ih osniva se novi vodoopskrbni sustav. Prema Sir Richardu Wallaceu, javne slavine u Parizu dobile su ime. Inspiraciju za javne slavine pronašao je u londonskim javnim slavinama. Međutim, Wallace osim što je htio osigurati zdravstveno ispravnu vodu za piće stanovnicima, htio je i da ti javni zdenci budu skladno estetski izgrađeni kako bi uz funkciju predstavljali i ukras. Wallaceovi zdenci mogu se podijeliti u četiri tipa, a to su: veliki, ugradbeni, mali i model sa stupovima. Parižani javne zdence od milja zovu Wallaceice. Javne

slavine u Kini pojavljuju se prvi put u drugoj polovici 19. stoljeća i osigurale su poboljšanje javnog zdravstva, promijenile stil života i koncepte vezane uz zdravlje i higijenu (Beović 2016; Haiyan, 2011). U Republici Hrvatskoj na početku se izgradnja javnih vodoopskrbnih sustava činila komplicirana i moralo se uložiti puno truda kako bi se postiglo ono što imamo danas. Nakon provedenih brojnih pregovora, izgrađen je javni vodovod u Zagrebu te pušten u promet 7. srpnja 1878. godine. Vodovod se sastojao od zdenaca u Zagorskoj ulici, vodospreme u Jurjevskoj ulici, magistralnog i distributivnih cjevovoda napravljenih od lijevanog željeza, 111 hidranata i 21 zasuna. Raspodjela vode provodila se putem javnih zdenaca. U prošlosti, javni zdenci predstavljali su glavni izvor vode mnogobrojnim domaćinstvima koja nisu bila spojena na gradski vodovod. Stoga, postavljani su u velikom broju zagrebačkih kvartova i na mjestima poput tržnica i groblja gdje treba stalno biti osiguran pristup vodi. Riječ je o javnim, Viktorijinim zdencima koje su Zagrepčani od milja nazivali „železni franceki“. Danas je u pogonu puno manji broj javnih zdenaca u odnosu na prošlost. Mnogi su uklonjeni nakon provedenih preuređenja ulica i kvarova. No, i danas su prisutni na grobljima i tržnicama te su obnavljani kako bi i dalje služili svojoj svrsi (Beović, 2014).

Glavni grad Republike Hrvatske, Zagreb leži na šljunčanim aluvijalnim nanosima rijeke Save koji sadrže uistinu pozamašnu količinu prirodno profiltrirane vode. Takva voda po završetku dužeg perioda tijekom kojeg je provedena filtracija, dolazi u zdence gdje se zahvaća pomoću pumpi i prevencije radi provodi dezinfekcija plinovitim klorom. Zatim, slijedi distribucija vode za piće potrošačima i odvija se putem vodoopskrbne mreže. Temelji se na procesu prisilnog podizanja vode u vodospremnike koja se potom distribuira potrošačima. Postupak crpljenja vode provodi se na 7 vodocrpilišta iz 30 zdenaca, a neka od najznačajnijih su Mala Mlaka, Petruševac, Sašnak i Strmec. Sustav javne vodoopskrbe obuhvaća oko 800 kvadratnih kilometara te voda za piće s tog područja uspijeva zadovoljiti potrebe otprilike 900.000 tisuća stanovnika. U današnje vrijeme, gradska vodovodna mreža obuhvaća gradsko područje od Samobora na zapadu te od Vrbovca na istoku i od padina Sljemena na sjeveru sve do novosagrađenih gradskih naselja na području južne obale rijeke Save (Zagrebački Holding, Vodoopskrba i odvodnja d.o.o.).

### 2.1.3. Definicija vode za ljudsku potrošnju

Prema „Zakonu o vodi za ljudsku potrošnju“ (Narodne novine, 30/2023; u daljnjem tekstu „Zakon“) definirano je da pod kategoriju vode za ljudsku potrošnju spada sva voda koja je u svojem izvornom obliku ili nakon obrade namijenjena za piće, kuhanje, pripremu hrane ili

druge potrebe kućanstva, neovisno o njezinom podrijetlu ili potječe li iz sustava javne vodoopskrbe, iz cisterni ili iz boca, odnosno posuda za vodu. Također, prema istom Zakonu, u skupinu vode za ljudsku potrošnju spada sva voda koja se rabi u industrijama za proizvodnju hrane, u svrhu proizvodnje, obrade, očuvanja ili stavljanja na tržište proizvoda ili tvari namijenjenih za ljudsku potrošnju, osim ako nadležno tijelo ne utvrdi da kakvoća vode ne može utjecati na zdravstvenu ispravnost hrane u njezinom konačnom obliku.

## 2.2. ZDRAVSTVENA ISPRAVNOST VODE IZ JAVNIH SLAVINA

Zdravstveno ispravnom vodom za ljudsku potrošnju smatra se voda koja:

1. ne sadrži mikroorganizme, parazite i njihove razvojne oblike u broju koji predstavlja potencijalnu opasnost za zdravlje ljudi
2. ne sadrži štetne tvari u koncentracijama koje same ili zajedno s drugim tvarima predstavljaju potencijalnu opasnost za zdravlje ljudi
3. ne prelazi vrijednosti parametara zdravstvene ispravnosti vode propisane „Pravilnikom o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe“ („Narodne novine“, broj 125/17, 39/20), u daljnjem tekstu „Pravilnik“).

Pravilnikom su propisani određeni zahtjevi i vrijednosti parametara za mikrobiološke, kemijske i indikatorske parametre koje voda za piće mora zadovoljiti. Tako na primjer voda mora biti bez okusa i mirisa, obojenje može biti najviše do 20 mg/PtCo skale, mutnoća do 4 NTU (engl. *nephelometric turbidity units*), temperatura do 25 °C, dok pH-vrijednost vode mora biti od 6,5 do 9,5. Pravilnikom se na primjer ne propisuje maksimalna dozvoljena koncentracija za ukupnu tvrdoću koja je odraz količine minerala u vodi.

Voda je izrazito važan faktor u cijelom svijetu koji osigurava održavanje ljudske vrste i predstavlja veliki ekonomski resurs svake države. Iz toga proizlazi želja za brigom i nadziranjem sustava vodoopskrbe, provođenjem odgovarajućih tehnoloških procesa obrade i dezinfekcije vode, kako bi odgovarala visokim kriterijima zdravstvene ispravnosti. Glavni problem predstavlja nepostojanje potpune zaštite izvorišta vode od štetnih utjecaja i drugih oblika zagađenja koji s površine mogu dospjeti u podzemne vode. Kvaliteta vode ovisi o više čimbenika, a to su: hidrogeološko podrijetlo, biološka specifičnost okoline, količinske varijacije, kvaliteta prerade u svim stupnjevima i stanje vodovodne mreže.

Voda je jedan od najčešćih okolišnih faktora koji uzrokuju oboljenja ljudi i samim tim posljedično u velikom broju slučajeva dovode do smrti. Dezinfekcija je vrlo bitan korak za održavanje zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju i iz tog razlog je izrazito bitno provesti ju na pravilan način. Zdravstvenu neispravnost vode moguće je izazvati i primjenom neodgovarajuće tehnologije obrade i/ili dezinfekcije. Problemi koje izazivaju neprikladne tehnologije su na primjer: rezidue korištenih kemikalija, trihalometani, kloriti i klorati te spojevi koji nastaju prirodnom sintezom u vodi.

U Republici Hrvatskoj provodi se praćenje zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju prema Planu monitoringa kojeg je dužan donijeti ministar nadležan za zdravstvo u skladu s prijedlogom Hrvatskog zavoda za javno zdravstvo (HZJZ). HZJZ ima ulogu koordiniranja provedbe plana monitoringa, a zavod za javno zdravstvo svake županije ga provodi u skladu s financijskim sredstvima koje osigurava županija. Grad Zagreb provodi plan monitoringa na svom području u okvirima svoje odgovornosti i financijskih mogućnosti. Pravna osoba koja je zadužena za obavljanje djelatnosti javne vodoopskrbe mora osigurati da voda za piće koja se dostavlja krajnjem korisniku, odnosno potrošaču, mora zadovoljiti sve parametre propisane Pravilnikom. Voda za ljudsku potrošnju mora ispunjavati sve parametre na način da zadovoljava uvjet maksimalno dopuštenih koncentracija koje su propisane Pravilnikom za svaki pojedini parametar za koji je potrebno vršiti provjeru sukladnosti. Uz to, pravne osobe koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (vodovodi) imaju zadaću odrediti odgovarajuća mjesta uzorkovanja i učestalost provođenja uzorkovanja, kako bi se provela interna kontrola zdravstvene ispravnosti vode za piće. Također, pravne osobe zadužene su i za postupak ispitivanja neprerađene vode u sklopu crpilišta kojim upravljaju. U slučaju da voda za piće nije zdravstveno ispravna, pravna osoba koja obavlja djelatnost javne vodoopskrbe dužna je javnost obavijestiti o tome. To se u današnje vrijeme najčešće provodi putem interneta (Hrvatski zavod za javno zdravstvo, 2020).

Osim što je definirana obveza praćenja kvalitete vode za ljudsku potrošnju provedbom uzorkovanja i analiza Svjetska zdravstvena organizacija (engl. *World Health Organization, WHO*) je u svojim smjernicama iz 2011. godine dala upute kako osigurati zdravstvenu ispravnost vode za piće, odnosno kako proaktivno djelovati prema planu osiguranja zdravstvene ispravnosti i redukcije štetnih utjecaja na zdravlje ljudi. Ove su smjernice usvojene na način da je u europsko zakonodavstvo u aneksu Direktive o kvaliteti vode za ljudsku potrošnju iz 2015. godine po prvi put uveden pojam upravljanja rizicima upotrebom planova sigurnosti vode (engl. *Water safety plan, WSP*). Pravne osobe koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe u RH (vodovodi) također su u obvezi uskladiti svoje poslovanje s tima zahtjevom



i uvesti plan sigurnosti vode kao okvir za preventivno upravljanje rizicima koji najučinkovitije osigurava sigurnu opskrbu vodom.

Novi Zakon po prvi put regulira obvezu praćenja kvalitete vode na javnim slavinama. Kvaliteta vode na javnim slavinama pratila se i do sada, ali u manjem obimu kroz gore spomenuti monitoring kojega koordinira HZJZ, međutim novim se Zakonom propisuje učestalije praćenje kao i odgovornosti održavanja i upravljanja javnim slavinama. Parametri kojima mora udovoljavati voda na javnim slavinama isti su kao i za sve ostale uzorke vode za ljudsku potrošnju.

### 2.3. FIZIKALNO-KEMIJSKI PARAMETRI I KVALITETA VODE ZA PIĆE

Kako bi se osigurala odgovarajuća kvaliteta vode za piće, bez obzira o kojem izvoru je riječ potrebno je provesti analize kojim se utvrđuje je li voda za piće u skladu s fizikalno-kemijskim parametrima. Okus i miris, boja, temperatura, mutnoća, pH-vrijednost, alkalnost, vodljivost i tvrdoća vode spadaju u kategoriju fizikalnih parametara, a u kategoriju kemijskih parametara spadaju organski spojevi, fluoridi, ukupne otopljene čvrste tvari, metali i nutrijenti. Kako bi se utvrdile vrijednosti i došlo do zaključka s obzirom na navedene parametre, postoje točno definirane metode koje se koriste za analizu uzorka vode uz pripadajuću opremu.

#### 2.3.1. Fizikalni parametri – temperatura, boja, mutnoća, pH-vrijednost i vodljivost

Temperatura predstavlja fizikalni parametar, a voda za ljudsku potrošnju treba imati temperaturu nižu od 25 °C kako je propisano Pravilnikom. Varijacije u temperaturi vode mogu utjecati na topljivost kisika u vodi, aktivnost mikroorganizama i vrijednost pri kojoj plinovi prelaze u vodu i iz nje. To će na kraju imati utjecaj na kvalitetu vode za piće. Visoka temperatura vode može uzrokovati probleme vezano uz promjene okusa, mirisa i boje, te može pospješiti odvijanje procesa korozije. Također, može povećati rast i razvoj mikroorganizama (Spellman i Drinan, 2012; WHO, 2011).

Boja je faktor koji također utječe na procjenu kvalitete vode za piće. Čista voda za piće je bezbojna, no ona u prirodi može često biti obojena kao posljedica stranih supstanci, organskih tvari iz tla, minerala, vegetacije i vodenih životinja (Spellman i Drinan, 2012). Prema Pravilniku maksimalna dozvoljena koncentracija koja se odnosi na boju iznosi 20 mg/PtCo skale. Boja vode klasificira se kao prava boja ili prividna boja. Voda za piće iako je zdravstveno

ispravna, a ima odstupanja u boji, odnosno nije u potpunosti bezbojna, neće biti prihvatljiva u očima potrošača (Spellman i Drinan, 2012).

Mutnoća je parametar koji predstavlja mjeru zamućenosti vode za piće i osnovni je pokazatelj kvalitete vode. Mutnoću u vodi uzrokuju suspendirane čestice ili koloidne tvari koje ometaju prijenos svjetlosti kroz vodu. Mikroorganizmi (bakterije, virusi i praživotinje) obično su vezani za čestice stoga su visoke razine mutnoće često povezane sa razvojem bolesti uzorkovanim mikroorganizmima. Mjerenje mutnoće provodi se u za to dizajniranom uređaju, turbidimetru. To se provodi na način da uređaj šalje snop svjetlosnih zraka u uzorak koje se raspršuju i na taj način se vrši kvantifikacija. Što je koncentracija čestica koje se nalaze u uzorku veća, to je veća raspršenost dolaznih svjetlosnih zraka i samim tim i mutnoća je veća (Bolf, 2020; WHO, 2011). Potrošači prvo što prepoznaju je bistroća vode za piće, te na taj način mogu doći do svojih zaključaka vezano za kvalitetu vode (Spellman i Drinan, 2012). Prema Pravilniku maksimalna dozvoljena vrijednost za mutnoću je 4 NTU.

pH-vrijednost ima važnu ulogu u utvrđivanju korozivne prirode vode za piće, no može se koristiti i za utvrđivanje tvrdoće, alkalnosti, stabilnosti ugljikovog dioksida, kiselosti i procesa kloriranja i koagulacije. Niže pH-vrijednosti odraz su veće korozivne prirode vode, dok više pH-vrijednosti odražavaju utjecaj na ugljikov dioksid i ravnotežu karbonata i bikarbonata zbog promjene fizikalno-kemijskih uvjeta. U slučaju nižih pH-vrijednosti češće dolazi do korozije distribucijskih cijevi, te zbog toga dolazi do otpuštanja željeza, olova, cinka i kadmija u vodu za piće. Električna vodljivost i alkalnost su mjere koje su u pozitivnoj korelaciji s pH-vrijednosti (Patil i sur., 2012; Spellman i Drinan, 2012). Prema Pravilniku raspon dozvoljenih pH-vrijednosti je od 6,5 do 9,5 pH jedinica.

Električna vodljivost je parametar koji predstavlja mjeru sposobnosti vode da provodi struju te može imati utjecaj na brojne druge faktore, kao što su temperatura, pH-vrijednost, tvrdoća, alkalnost, kalcij, ukupna količina čvrstih tvari, ukupne otopljene čvrste tvari, kemijska potreba za kisikom, kloridi i koncentracija željeza. Što je temperatura vode viša, to je veća vrijednosti električne vodljivosti (Patil i sur., 2012; Spellman i Drinan, 2012). Prema Pravilniku vodljivost je ograničena na maksimalnu dozvoljenu vrijednost od 2500  $\mu\text{S}/\text{cm} / 20\text{ }^\circ\text{C}$ .

### 2.3.2. Nusprodukti dezinfekcije i njihov utjecaj na zdravlje

Nusprodukti postupka kloriranja vode koji je nužan u svrhu dezinfekcije su trihalometani (THM) i halooctene kiseline (HAA). Do njihovog nastajanja dolazi uslijed reakcije klora i organskih tvari (Nuckols i sur., 2005). Trihalometani i halooctene kiseline prisutne su u

najvišim koncentracijama u kloriranoj vodi za piće. Najčešće je riječ o kloroformu ( $\text{CHCl}_3$ ), dihalooctenoj kiselini (DCAA) i trihalooctenoj kiselini (TCAA) (Richardson i sur., 2007). U skupinu trihalometana spadaju: kloroform, odnosno triklormetan ( $\text{CHCl}_3$ ), bromdiklormetan ( $\text{CHBrCl}_2$ ), dibromklormetan ( $\text{CHBr}_2\text{Cl}$ ) i bromoform, odnosno tribrommetan ( $\text{CHBr}_3$ ). Prema smjernicama koje propisuje *The United States Environmental Protection Agency (USEPA)* maksimalna koncentracija ukupnih trihalometana u vodi za piće iznosi 0,08 mg/L. Postoji puno dokaza o štetnim utjecajima trihalometana na zdravlje ljudi, jedan od mogućih negativnih ishoda prisustva trihalometana u organizmu čovjeka je pojava karcinoma, naročito karcinoma mokraćnog mjehura. Načini kako može doći do izloženosti ljudi trihalometanima iz vode sa slavinama predstavljaju gutanje, udisanje i putem dodira sa kožom. Istraživanja su pokazala da unošenjem THM u organizam putem kože i disanja rezultira većom koncentracijom u krvi u odnosu na unošenje gutanjem (Nuckols i sur., 2005). U skupinu haloocetnih kiselina ubraja se devet spojeva, odnosno kiselina, a najvažnije i najdominantnije za izdvojiti su dihalooctena kiselina i trihalooctena kiselina. Preostale kiseline se nalaze u značajno nižim koncentracijama u vodi za piće. Najvažniji čimbenici koji su povezani sa koncentracijom nusprodukata dezinfekcije (THM i HAA) u vodi za piće su: koncentracija prirodnih organskih tvari, koncentracija bromida, pH, temperatura i vrijeme zadržavanja vode u distribucijskom centru. U slučaju kada se klor koristi kao dezinfekcijsko sredstvo, najčešće dolazi do toga da se THM pojavljuje u višim koncentracijama u odnosu na HAA.

### 2.3.3. Organski spojevi

Brojne organske tvari topljive su u vodi i imaju toksične učinke što će rezultirati negativnim utjecajem na zdravlje ljudi. Prisutnost organskih tvari u vodi može dovesti do formiranja neželjene boje, lošeg okusa i mirisa, smanjenja količine kisika u potocima, interferencije tijekom procesa obrade vode i formiranja halogenih komponenti u slučajevima kada se klor dodaje kako bi se provela dezinfekcija vode. Organske tvari mogu dospjeti u sustav vodoopskrbe iz prirodnih izvora, kao što su lišće, korovi i drveće te kao posljedica ljudske aktivnosti. Najčešće je riječ o organskim tvarima koji dopijevaju iz prirodnih izvora i u većini slučajeva dovode do kontaminacije površinskih voda, a rjeđe su to podzemne vode. Organske tvari mogu se podijeliti na biorazgradive i ne-biorazgradive (Spellman i Drinan, 2012; Albrektiené i sur., 2012).

TOC, odnosno ukupni organski ugljik (engl. *total organic carbon*) je jedan od najvažnijih parametara koji se koristi kao pomoć pri donošenju odluke o tretmanu vode bilo da je riječ o

pitkoj vodi ili otpadnim vodama. Osim toga, TOC je parametar koji se koristi u modelima koji uključuju predviđanje nastajanja nusprodukta dezinfekcije i njihove koncentracije. Mjerenje TOC-a pridonosi optimizaciji procesa obrade vode kako bi se postigla odgovarajuća kvaliteta vode. Također, TOC je koristan jer pripomaže u detekciji mnogih organskih onečišćivača kao što su naftni produkti, organske kiseline (huminske i fulvinske kiseline), pesticidi i drugo. TOC uključuje sve organske komponente i može se izmjeriti u vremenskom periodu od nekoliko minuta pomoću prikladnih instrumenata. TOC metoda je sve više popularna upravo iz razloga što je potrebno kratko vrijeme kako bi se test u potpunosti završio. Postoje različiti tipovi analizatora, međutim svi provode oksidaciju organskog ugljika u ugljikov dioksid (CO<sub>2</sub>). Nakon toga, mjere nastali CO<sub>2</sub> korištenjem metoda detekcije. Metode oksidacije uključuju izgaranje, UV uz dodatak persulfata te superkričnu oksidaciju vode, a metode detekcije uključuju infracrveni analizatora plina (NDIR metodu) i vodljivost membrane (Assmann i sur., 2017).

Metoda UV apsorpcije je brza, jednostavna i ne zahtijeva kompliciranu opremu niti kemijske reagense za kvantifikaciju prirodne organske tvari. UV254 je mjera za količinu aromatskog sadržaja organske tvari u vodi. Valna duljina od 254 nm je valna duljina pri kojoj organska tvar vrlo lako apsorbira (Serajuddin i sur., 2018). No, ne apsorbiraju sve organske molekule pri valnoj duljini od 254 nm i moguće su višestruke interferencije pri navedenoj valnoj duljini. Spojevi željeza mogu interferirati sa organskim tvarima što može rezultirati netočnim rezultatima sadržaja organskog ugljika, koji mogu biti previsoki ili preniski (Assmann i sur., 2017; Albrektienė i sur., 2012).

#### 2.3.4. Metali i utjecaj na zdravlje

Teški metali su skupina elemenata atomskih masa u rasponu od 63,5 do 200,5 i specifične težine veće od 4,0. Što se tiče njihove prisutnosti u vodi, mogu se klasificirati kao toksični i netoksični. Teški metali koji u relativno malim količinama mogu djelovati štetno na ljude i okoliš klasificiraju se kao toksični. Uzevši u obzir prisutnost teških metala u poprilično niskim koncentracijama, nužno je provesti analize pomoću sofisticiranih analitičkih instrumenata i imati prikladno obučeno osoblje za to (Spellman i Drinan, 2012; Patil i sur., 2012). Prema Pravilniku u RH vrijednosti pojedinih teških metala definirane su maksimalnom dozvoljenom koncentracijom (MDK). Za olovo (Pb) i selen (Se) MDK iznosi 10 µg/L, za kadmij (Cd) 5 µg/L, za cink (Zn) 3000 µg/L, za barij (Ba) 700 µg/L, za antimon 5,0 µg/L, za bakar (Cu) 2,0 mg/L, za bor (B) 1,0 mg/L te za vanadij (V) 5,0 µg/L.

Teški metali, kao što su kadmij, olovo, živa i arsen su velika prijetnja zdravlju ljudi u slučaju njihovoj izloženosti. Postoji još 19 elemenata koji spadaju u skupinu teških metala, a to su: antimon, bizmut, cerij, krom, kobalt, bakar, galij, zlato, željezo, mangan, nikal, platina, srebro, telur, talij, kositar, uran, vanadij i cink. Male količine nekih teških metala neophodne su u okruženju i prehrani ljudi i neki su nužni za održavanje zdravlja. Živi organizmi zahtijevaju male količine nekih teških metala, primjerice željeza, kobalta, bakra, mangana, molibdena i cinka (Fernández-Luqueño i sur., 2013).

#### 2.3.5. Arsen

Konsumacijom vode za piće koja sadrži arsen u koncentracijama većim od 300 µg/L postoji rizik za razvoj bolesti kardiovaskularnog i dišnog sustava. Može uzrokovati i neke vrste raka, najčešće je riječ o karcinomu kože, pluća, jetre i bubrega (Fernández-Luqueño i sur., 2013).

Svjetska zdravstvena organizacija, Europska unija i brojne zemlje diljem svijeta postavile su sigurnosni standard za koncentraciju arsena u vodi koji iznosi 10 µg/L. Vrijednost parametra postavljena je uzimajući u obzir analizu rizika za kancerogenost i praktične, ekonomske poteškoće za uklanjanje arsena ispod koncentracije 10 µg/L. Provedeno je istraživanje u Španjolskoj u periodu od 1998. do 2002. godine koje je bazirano na određivanju srednje koncentracije arsena u općinskoj vodi i njoj korelaciji sa smrtnosti uzrokovanom kardiovaskularnim bolestima. Srednje koncentracije arsena kretale su se < 1 – 118 µg/L. Uzimajući u obzir sljedeće faktore: cjelokupno stanovništvo Španjolske, spol i dob, smrtnost uzrokovana kardiovaskularnim i cerebrovaskularnim bolestima je povećana u općinama sa koncentracijom arsena >10 µg/L. Povišene niske do umjerene koncentracije arsena u vodi za piće bile su povezane s većom stopom smrtnosti uzrokovanom kardiovaskularnim bolestima na razini općine (Medrano i sur., 2010).

#### 2.3.6. Mangan

Mangan je metal koji može dovesti do problema u okusu, mirisu i boji vode za piće ukoliko je prisutan u koncentracijama većim od 50 µg/L (Gerke i sur., 2016). Stoga je prema Pravilniku propisana maksimalna dozvoljena koncentracija (MDK) mangana u vodi za piće 50 µg/L. Istraživanja su pokazala da do promjene boje može doći i pri nižim koncentracijama mangana u odnosu na MDK, i to pri koncentraciji od 10 µg/L (Li i sur., 2019). Manganovi oksidi i oksihidroksidi imaju visoku razinu sposobnosti adsorpcije nekih metalnih iona, među kojima

su ioni kroma, bakra, željeza, olova i stroncija. Topljivi  $Mn^{2+}$  u vodi za piće ima sposobnost oksidacije u netopljive oblike mangana,  $Mn^{3+}$  i  $Mn^{4+}$  uz pomoć oksidacijskih dezificijensa – klorina ili klorovog dioksida i bakterija koje oksidiraju metal. Posljedica nastanka netopljivih manganovih kationa je taloženje, mangan se skuplja u naslagama po unutrašnjoj površini distribucijskih cijevi (Gerke i sur., 2016).

### 2.3.7. Željezo

Željezo spada u skupinu metala koji mogu dovesti do stvaranja naslaga u vodoopskrbnim sustavima. Takve naslage nastaju procesom korozije i karakterizira ih slojevita i porozna struktura. Stvaranje naslaga željeza može dovesti do negativnih posljedica, u koje se ubraja i pojava crvenog obojenja vode u slučaju otpuštanja željeza iz naslaga. Željezo se transportira u topljivom obliku ili obliku suspendiranih čestica. Kada dođe do toga da su metalne površine distribucijskih cijevi prekrivene korozivnim naslagama, otpuštanje željeza događa se na više načina. Može doći do korozije metala željeza, otapanja komponenata željeza ili hidrauličkog čišćenja. Parametri koji imaju utjecaj na otpuštanje željeza su: otopljeni kisik, pH, alkalnost, temperatura, primjena tretmana vode za piće, brzina protoka, intenzitet pufera, primjena inhibitora i promjene u kvaliteti vode (Sarin i sur., 2004). Naslage željeza većinski sastoje se od oksida – magnetita ( $Fe_3O_4$ ) i hematita ( $Fe_2O_3$ ) te hidroksida – getita ( $\alpha$ -FeOOH), akaganetita ( $\beta$ -FeOOH) i lepidokrocita ( $\gamma$ -FeOOH). Prema smjernicama *The United States Environmental Protection Agency* definirana je sekundarna maksimalna dozvoljena koncentracija željeza u vodi za piće i ona iznosi 300  $\mu g/L$  (Sarin i sur., 2004). Prema Pravilniku u RH maksimalna dozvoljena koncentracija ograničena je na vrijednost od 200  $\mu g/L$ .

### 2.3.8. Aluminij

Aluminij je jedan od najčešćih elemenata koji se mogu nakupljati u naslagama distribucijskih cijevi kroz koje prolazi pitka voda. U distribucijskim cijevima, aluminij se može akumulirati u različitim formama. Amorfnj aluminij ( $Al(OH)_3$ ), aluminosilikati i aluminijevi fosfati su oblici aluminija koji se mogu pojaviti u naslagama cijevi. Aluminij u obliku aluminijevih soli najčešće se koristi kao koagulans za redukciju organskih tvari. Također, aluminij je element koji zbog svog otpuštanja i taloženja u sustavima distribucijskih cijevi može imati izrazito negativan utjecaj na vodu za piće sa slavine. Prema Pravilniku maksimalna dozvoljena koncentracija za aluminij u vodi za piće iznosi 200  $\mu g/L$ .

### 2.3.9. Nitrati, nitriti, kloridi i amonij

Nitrati su široko rasprostranjeni onečišćivači vode za piće i predstavljaju problem zbog povezanosti s nastankom dvije vrste spojeva, a to su nitriti i *N*-nitrozo spojevi. Prema Pravilniku maksimalna dozvoljena koncentracija za nitrata u vodi za piće iznosi 50 mg/L. Nastajanje nitrata posljedica je korištenja dušičnih gnojiva u poljoprivrednim područjima. Osim navedenog, nitrati potječu iz životinjskog i ljudskog otpada iz kanalizacijskih sustava i objekata za uzgoj stoke. U ljudskom organizmu dolazi do reakcije redukcije nitrata u nitrite koji mogu reagirati sa aminima i amidima te procesom nitrozacije dolazi do nastajanja *N*-nitrozo spojeva. Vitamin C ima utjecaj na proces nitrozacije, odnosno inhibitor je nastajanja *N*-nitrozo spojeva. Prema provedenim epidemiološkim istraživanjima utvrđena je korelacija između nitrata u vodi za piće i kancerogenosti, čak i u slučajevima koncentracije nitrata <25 mg/L (Vitoria i sur., 2015; De Roos i sur., 2003). Povišena koncentracija nitrata najčešće je slučaj u privatnim bunarima u ruralnim područjima (De Roos i sur., 2003).

Također, uz nitrata problem predstavljaju i nitriti. Pri visokoj koncentraciji nitrata posljedično dolazi do redukcije u nitrite koji uzrokuju nastanak methemoglobina, toksičnog spoja posebice za dojenčad. Kada nitriti uđu u tijelo, oni se mogu reducirati u nitrozil-hemoglobin. To je spoj nastao vezivanjem nitrita za hemoglobin. Nitrozil-hemoglobin ima veći afinitet za kisik nego što je to slučaj s methemoglobinom. Međutim, nitrozil-hemoglobin također sprječava normalan prijenos kisika iz hemoglobina do tkiva, što rezultira smanjenom dostupnošću kisika u tijelu. Javlja se bolest zvana methemoglobinemija. Crvene krvne stanice ne mogu prenositi kisik u tijelu što uzrokuje plavu boju kože (Nujić i Habuda-Stanić, 2017; Sipahi i sur., 2016). Prema Pravilniku maksimalna dozvoljena koncentracija nitrita u vodi za piće iznosi 0,50 mg/L.

Ako su kloridi prisutni u koncentraciji višoj od maksimalne dozvoljene koncentracije mogu utjecati na promjenu okusa vode za piće (Fytianos i Christophoridis, 2003). Prema Pravilniku maksimalna dozvoljena koncentracija klorida u vodi za piće iznosi 250 mg/L. Također, problem se javlja u uvjetima kada su vodonosnici podzemne vode u blizini morske vode jer može doći do prodora morske vode u vodonosnike. Tada će biti povišene koncentracije klorida u vodi za piće (Fytianos i Christophoridis, 2003).

Amonij je spoj koji može dospjeti u podzemnu vodu razgradnjom organske tvari. Povišena koncentracija amonija u uzorcima podzemnih voda upućuje na fekalnu kontaminaciju. Generalno, koncentracije amonija niže su u vodi za piće u distribucijskim sustavima i slavini, nego na izlazu iz vodovoda zbog procesa nitrifikacije (Schullehner i sur., 2017). Prema Pravilniku maksimalna dozvoljena koncentracija amonija u vodi za piće iznosi 0,50 mg/L.

## 2.4. MIKROBIOLOŠKI PARAMETRI

Jedan od glavnih zahtjeva infrastrukture za opskrbu vodom za piće je osigurati njenu mikrobiološku ispravnost. Nadzor kvalitete vode u mikrobiološkom aspektu bazira se na određivanju ukupnih koliformnih bakterija i bakterije *Escherichia coli*. Navedeni mikroorganizmi su pokazatelji fekalne kontaminacije i samim tim ukazuju na moguću prisutnost drugih bakterija (Anversa i sur., 2019; Völker i sur., 2010).

*Pseudomonas aeruginosa* je gram-negativna bakterija, široko rasprostranjena u tlu, vodi i raspadnim organskim tvarima. Vrlo često je uzročnik brojnih infekcija. Naročito je to slučaj kod imunokompromitiranih osoba, a riječ je o infekcijama mokraćnog i respiratornog sustava, krvi i kože. Također, lako se prilagodi uvjetima u kojima je dostupna mala količina hranjivih tvari. Prema tome, može se razmnožavati u vodi s niskom koncentracijom otopljenih spojeva. Jedna od najvažnijih karakteristika ove bakterije je sposobnost stvaranja biofilma pridonoseći kolonizaciji biotskih i abiotskih površina (Anversa i sur., 2019). Anversa i suradnici proveli su istraživanje kojim su htjeli utvrditi prisutnost bakterije *Pseudomonas aeruginosa* u sustavima javne vodoopskrbe na području države São Paulo u Brazilu. Od 251 uzetih uzoraka, 19 uzoraka (7,6 %) je bilo pozitivno na prisutnost *Pseudomonas aeruginosa*. Pozitivni uzorci imali su slobodni rezidualni klor u koncentracijama između 0,2 i 2 mg/L te to potvrđuje otpornost navedene bakterije na konvencionalne postupke obrade vode. Analize vode za piće namijenjene otkrivanju bakterije *Pseudomonas aeruginosa* naročito se provode u ustanovama gdje prevladavaju imunokompromitirane osobe, kao što su bolnice, klinike i starački domovi (Völker i sur., 2010). Prema Pravilniku bakterija *Pseudomonas aeruginosa* ne smije biti prisutna u vodi za piće.

*Escherichia coli* (*E. coli*) je gram – negativna štapićasta bakterija, veličine 0,5 do 2,5 µm i spada u skupinu koliformnih bakterija. Koliformne bakterije su gram-negativne štapićaste bakterije, ne stvaraju spore, imaju sposobnost hidrolize laktoze u kiselinu i krajnje plinovite produkte tijekom 48 sati na 35 °C. *Escherichia coli* je normalni stanovnik probavnog sustava kod ljudi i toplokrvnih životinja. No, uz to također je jedan od najčešćih uzročnika infekcija. Od ukupnih koliformnih bakterija u fekalijama, 90-99 % čini *E. coli*. Sukladno tome *Escherichia coli* smatra se indikatorom fekalnog zagađenja. Može se podijeliti u više kategorija, a to su: enteropatogena *E. coli* (EPEC), enterotoksigena *E. coli* (ETEC), enteroinvazivna *E. coli* (EIEC), enteroagregativna *E. coli* (EAaggEC), enterohemoragična *E. coli* (EHEC) i enteroadherentna *E. coli* (EAEC). Najčešći uzročnik koji je povezan s izbijanjem bolesti vezano uz vodu je enterohemoragična *E. coli*, poznata i pod nazivom *Escherichia coli*



O157 (Standridge, 2008). Javljaju se simptomi širokog spektra, od lakših do težih. Kliničke manifestacije kreću se od asimptomatskog izlučivanja te grčeva, glavobolja i vodenastih ili krvavih proljeva pa sve do hemoragičnog kolitisa i težih komplikacija u obliku hemolitičkog – uremičkog sindroma što na kraju vodi zatajenju bubrega i smrti. *E. coli* O157 predstavlja rizik za ljude svih dobnih skupina, no trudnice, djeca mlađa od 5 godina i stariji ljudi su ipak u najvećoj opasnosti. Broj prijavljenih slučajeva u odnosu na druge crijevne patogene bakterije je značajno manji. Međutim, izrazito je važno da navedeni zdravstveni problem bude prepoznat na svjetskoj razini kako bi se mogao spriječiti u što većoj mjeri. Mikrobiološka kvaliteta vode na području Engleske u privatnim vodoopskrbnim sustavima je lošija u odnosu na sustave javne vodoopskrbe. Tijekom posljednjih 30 godina, 25 slučajeva izbijanja infekcija bilo je povezano s privatnim vodoopskrbnim sustavom u Engleskoj i Walesu (Schets i sur., 2005). Prema Pravilniku bakterija *Escherichia coli* ne smije biti prisutna u vodi za piće.

## 2.5. LSI – LANGELIEROV INDEKS STABILNOSTI

Langelierov indeks stabilnosti, odnosno LSI je mjerilo koje se koristi za određivanje stabilnosti vode, odnosno predviđanja sklonosti vode za piće formiranju kamenca kalcijevog karbonata. Određivanje LSI temelji se na ukupnoj tvrdoći i alkalnosti, temperaturi i mineralnom sastavu vode (Alsaqqar i sur., 2014). LSI može poprimiti pozitivne i negativne vrijednosti. Pozitivne vrijednosti LSI ukazuju na to da je voda prezasićena te kao takva pokazuje sklonost taloženja  $\text{CaCO}_3$ , dok izmjerene negativne vrijednosti ukazuju na sposobnost vode da otapa  $\text{CaCO}_3$ . Riječ je o vodi koja nije zasićena s kalcijevim karbonatom te također može upućivati na potencijalnu pojavu korozije. U navedenim situacijama, može se reći da je voda za piće nestabilnog karaktera. Mineralni sastav vode za piće ima značajan utjecaj na LSI. Kada izmjerena vrijednost LSI varira oko 0 uz interval odstupanja – 0,25 do 0,25, može se reći da je takva voda stabilna (Mijatović i Matošić, 2019).

Stabilnost vode je pojam koji se odnosi na njezinu sposobnost otapanja ili taloženja mineralnih tvari koje se nalaze u varijabilnim koncentracijama ovisno o samom kemijskom sastavu vode. U slučaju kada je voda korozivnog karaktera, može dovesti do otapanja mineralnih tvari, kao što su kalcij i magnezij te metala poput olova i bakra iz vodovodnih cijevi koji mogu imati negativne učinke na zdravlje ljudi. Koncentracije kalcijevih i magnezijevih iona imaju važan utjecaj na LSI te kada su prisutni u visokoj koncentraciji, to povećava ukupnu tvrdoću vode za piće što vodi k nižoj vrijednosti LSI. Voda koja posjeduje sposobnost taloženja kamenca može

utjecati na sprječavanje pojave fenomena korozije metalnih površina. Idealna voda za piće što se tiče parametra stabilnosti, smatra se upravo ona koja ima LSI vrijednosti oko nule ili blago pozitivne vrijednosti. Takva voda nije niti korozivna niti taloži kamenac u vodoopskrbnim cijevima (Alsaqqar i sur., 2014).

Zatim, TDS je parametar koji se koristi u formuli za izračun LSI. TDS smatra se vrlo važnim parametrom prilikom određivanja kvalitete vode te ima izravnu povezanost s parametrima kao što su mutnoća, tvrdoća, alkalnost i električna vodljivost vode za piće. Visoke vrijednosti navedenih parametara imaju utjecaj na TDS, povisuju ga. Također, TDS upravo potječe iz anorganskih soli, a riječ je o kalcijevim, magnezijevim, kalijevim i natrijevim solima bikarbonata, klorida, sulfata, nitrata i fosfata (Kothari i sur., 2021; Mijatović i Matošić, 2019; Alsaqqar i sur., 2014).

### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

Cilj eksperimentalnog dijela bio je utvrditi zdravstvenu ispravnost vode za piće s javnih slavina dostupne građanima na području grada Zagreba, odnosno provesti kontrolu jesu li vrijednosti parametara u skladu s vrijednostima koje su određene Pravilnikom.

#### 3.1. UZORKOVANJE VODE ZA PIĆE S JAVNIH SLAVINA U GRADU ZAGREBU I ANALITIČKE METODE ZA ANALIZU

Uzorkovanje vode za piće provedeno je s javnih slavina na 7 lokacija u gradu Zagrebu, a riječ je o sljedećim lokacijama te im je pridodana oznaka L s rednim brojem lokacije: Ulica Vrtić I 14 (L1), Šoltanska ulica 18 (L2), Ulica Sprečka 32 (L3), Miroševac križanje polja 235 i polja 302 (L4), Miroševac polje 332 (L5), Mirogoj – Aleja H. Bollea 22 (L6) i Trnjanska struga 22a (L7) (slika 1). Uzorkovanje se provodilo jedan put mjesečno u gradu Zagrebu od 14.12.2022 do 14.3.2023 te je sveukupno analizirano 28 uzoraka vode za piće.

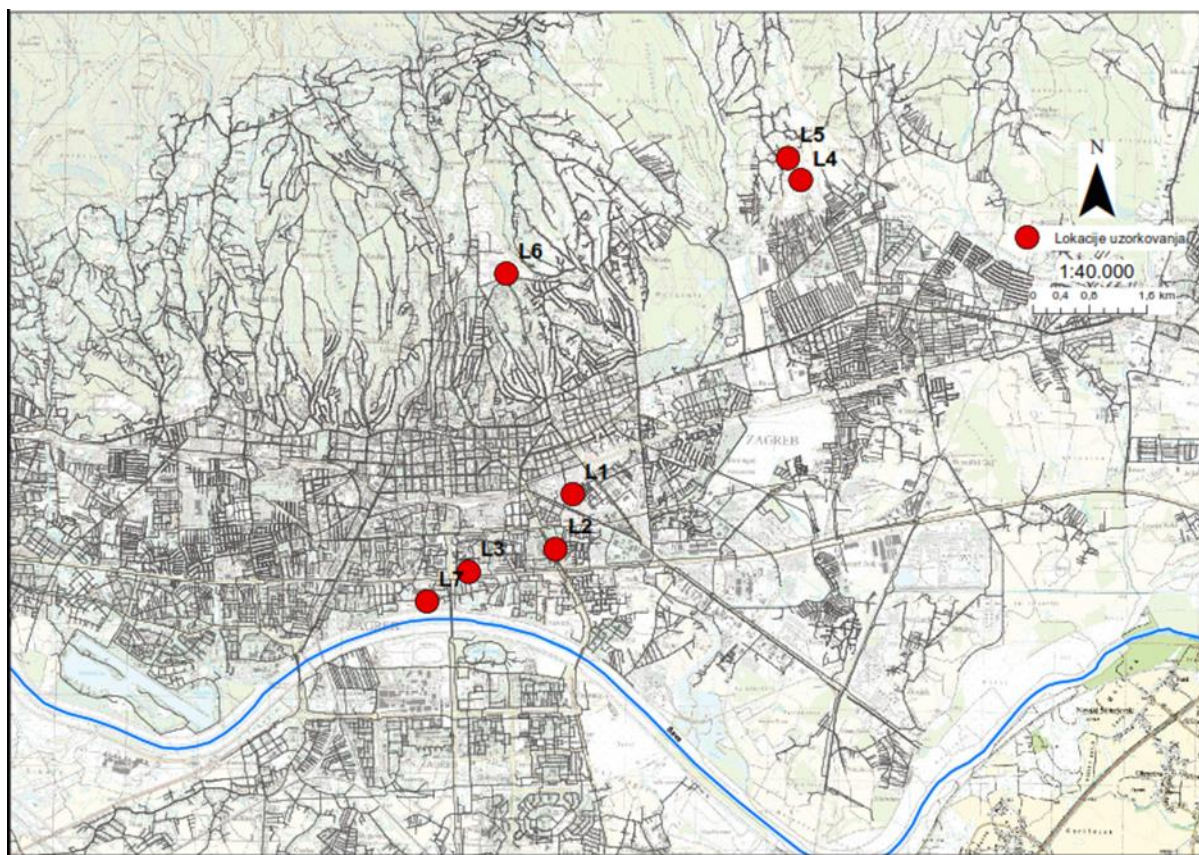
Terenska mjerenja uključivala su određivanje temperature i slobodnog rezidualnog klora dok su u laboratoriju Odjela za kontrolu zdravstvene ispravnosti voda i vodoopskrbu na Hrvatskom zavodu za javno zdravstvo provedene sljedeće analize: određivanje pH-vrijednosti, mutnoće, električne vodljivosti, hidrogenkarbonata, amonija, nitrita i utroška  $\text{KMnO}_4$ . Navedene analize obavljene su samostalno uz odgovarajući nadzor djelatnika. Također, provedene su i druge analize koje su odradili djelatnici Hrvatskog zavoda za javno zdravstvo te su rezultati ustupljeni u svrhu statističke obrade podataka u ovom radu. Riječ je o određivanju metala, iona, TOC-a, UV254, THM i mikrobioloških parametara u vodi za piće.

Određivanje metala (Pb, Cd, As, Zn, Fe, Ni, Cr, Co, Mn, Al, Sb, Ba, Cu, B, Sr, Mo, V i Ti) provedeno je prema normi HRN EN ISO 17294-2:2016. Anioni ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) i kationi ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) te kloriti i klorati određivani su ionskom kromatografijom prema HRN EN ISO 10304-4:2001.

Određivanje TOC-a provodilo se pomoću TOC analizatora prema normi HRN EN 1484:2002 te određivanje THM u skladu s normom HRN EN ISO 10301:2002.

Što se tiče mikrobioloških parametara, određivanje *Escherichia coli* provedeno je prema HRN EN ISO 9308-2:2014, *Pseudomonas aeruginosa* prema HRN EN ISO 16266:2008, enterokoki u skladu s HRN EN ISO 7899-2:2000. Ukupni koliformi u 100 mL uzorka vode za piće određeni su prema HRN EN ISO 6222:2000. Također, ukupan broj kolonija uz period

inkubacije 3 dana na 22 °C i period inkubacije 2 dana na 36 °C po 1 mL uzorka, određen je istom metodom, prema HRN EN ISO 6222:2000.



**Slika 1.** Prikaz karte grada Zagreba s označenim crvenim točkama na kojima su lokacije javnih slavina na kojima je provedeno uzorkovanje

### 3.2. ODREĐIVANJE TEMPERATURE

Temperatura je jedan od najvažnijih fizikalnih parametara koja se koristi u određivanju zdravstvene ispravnosti vode za piće. Mjerenje temperature provodi se na terenu prilikom uzimanja uzoraka. Digitalni termometar koristi se za mjerenje temperature i vrijednost temperature iskazuje se u jedinici, Celzijevi stupnjevi (°C).

Uzorak vode za piće stavlja se u čašu i uranja se termometar. Potrebno je pričekati dok se temperatura ne ustali, a kada se to dogodi očita se temperatura i zapiše u zapisnik.

Oprema i pribor: Testo termometar i laboratorijska čaša

### 3.3. ODREĐIVANJE SLOBODNOG REZIDUALNOG KLORA

Rezidualni klor predstavlja suvišak klora zaostalog u vodi, odnosno to je koncentracija klora koja je zaostala u vodi nakon provedenog postupka dezinfekcije kloriranjem. Vrijednost slobodnog rezidualnog klora u vodi za piće s javnih slavina određivala se na terenu korištenjem terenskog kolorimetra, Pocket Colorimetar, tvrtke Hach. Prvotno potrebno je izmjeriti slijepu probu, zatim se uzorkom vode napuni kiveta do oznake i mjerenje započinje dodatkom praškastog reagensa, točnije DPD reagensa. Kivetu je potrebno promiješati te ju dobro obrisati kako bi se uklonile eventualne zaostale kapljice vode. Potom se kiveta stavlja u uređaj i provodi se mjerenje. Na uređaju očitava se vrijednost slobodnog rezidualnog klora koja se izražava u mg/L Cl<sub>2</sub>. Slobodni klor reagira s reagensom, *N,N*-dietil-1,2-fenildiaminom (DPD) te daje blago ružičasto obojenje.

Oprema i pribor: terenski kolorimetar (Pocket Colorimetar, tvrtke Hach) i staklena kiveta s čepom

Kemikalije: Praškasti reagens – DPD, *N,N*-dietil-1,2-fenildiamin

### 3.4. ODREĐIVANJE pH-VRIJEDNOSTI

pH – vrijednost vode za piće iz javnih slavina na području grada Zagreba određivana je pomoću staklene elektrode. Elektroda se kalibrira tako što se uroni u pufer otopinu, pH=7,00. Prvo je potrebno upaliti pH-metar te potom isprati elektrodu destiliranom vodom u slučaju zaostalih čestica koje bi mogle utjecati na krajnju vrijednost. Staklena elektroda mora se obrisati i onda se uranja u laboratorijsku čašu sa uzorkom. Potrebno je stisnuti tipku AR na uređaju kojom se uključuje automatsko očitavanje mjerene vrijednosti i zatim stisnuti tipku RUN/ENTER kako bi se potvrdio odabir. Dok se mjerena vrijednost u potpunosti ne stabilizira AR treperi. Kada je treperenje prestalo, može se očitati izmjerena vrijednost pH i pripadajuća temperatura koje se mjeri uz pH-vrijednost.

Oprema i pribor: WTW pH-metar, uređaj za mjerenje temperature, staklena i referentna elektroda i laboratorijska čaša za uzorak

Kemikalije: pufer otopina

### 3.5. ODREĐIVANJE MUTNOĆE

Mutnoća je parametar koji se određuje pomoću uređaja zvanog turbidimetar pomoću kojeg se mjeri količina zračenja koja se apsorbira tijekom prolaska kroz uzorak u kivetu. Kako bi mogli izmjeriti vrijednost mutnoće, prvo je potrebno upaliti turbidimetar klikom na tipku POWER. Uzorak se stavlja u kivetu zatvorenu čepom, prethodno ispranu demineraliziranom vodom. Potom se stavlja oko 15 mL uzorka u kivetu na način da se ne dotakne mjerni dio i zatvori se čepom. Kiveta se mora obrisati staničevinom u slučaju zaostalih kapljica vode. Na kraju, kiveta se stavlja u sami instrument, odnosno u kućište uređaja na način da oznaka na kivetu bude okrenuta prema mjeritelju. Zatim, stisne se tipka READ i dobije se vrijednost mutnoće analiziranog uzorka. Vrijednost mutnoće očitava se u jedinici NTU (engl. nephelometric turbidity unit).

Oprema i pribor: HACH turbidimetar i kivete za mjerenje uzorka sa čepom

Kemikalije: silikonsko ulje

### 3.6. ODREĐIVANJE ELEKTRIČNE VODLJIVOSTI

Električna vodljivost u uzorcima vode za piće mjeri se pomoću instrumenta koji se naziva konduktometar. Iskazuje se u mjernim jedinicama mikrosiemens ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ili milisiemens ( $\text{mS}/\text{cm}$ ) po centimetru. Prije nego li započnemo s mjerenjem električne vodljivosti nužno je isprati konduktometrijsku ćeliju destiliranom vodom zbog mogućih zaostalih čestica. Zatim, upali se konduktometar i konduktometrijska ćelija se uroni u uzorak vode. Kako bi se prikazala ispravna vrijednost električne vodljivosti mora se izvršiti provjera jesu li konstanta ćelije, temperatura funkcije, referentna temperatura i automatski izbor raspona dobro postavljeni. Referentna temperatura iznosi 20 °C. Ako je sve u redu postavljeno očita se izmjerena vrijednost električne vodljivosti i zapiše u jedinici  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Oprema i pribor: laboratorijski konduktometar WTW i laboratorijska čaša

### 3.7. ODREĐIVANJE UTROŠKA $\text{KMnO}_4$ – PERMANGANATNOG INDEKSA

Količina organskih tvari prisutnih u vodi izražava se potroškom  $\text{KMnO}_4$  potrebnim za njihovu oksidaciju. Oksidacija se provodi sa suviškom  $\text{KMnO}_4$  u kiselom mediju pri 100 °C. Suvišak

KMnO<sub>4</sub> zatim reagira s dodanom oksalnom kiselinom, a ostatak neoksidirane oksalne kiseline odredimo titracijom s KMnO<sub>4</sub>. Metoda određivanja utroška KMnO<sub>4</sub>, odnosno permanganatnog indeksa vode za piće primjenjuje se u skladu sa normom HRN EN ISO 8467:2001. Riječ je o metodi koja se temelji na određivanju količine kisika potrebne za oksidaciju otopljenih organskih tvari u vodi za piće primjenom nekog jakog oksidacijskog sredstva kao što je KMnO<sub>4</sub>. U skladu sa spomenutom normom, ova metoda može se primjenjivati u slučaju voda za piće koje imaju koncentraciju klorida <300 mg/L jer više koncentracije klorida reagiraju sa KMnO<sub>4</sub>. Uzorci koji imaju permanganatni indeks >10 mg/L moraju se prije provođenja analize razrijediti. U Erlenmeyerovu tikvicu od 300 mL potrebno je unijeti 100 mL uzorka vode za piće. Nakon toga, dodaje se 5 mL sulfatne kiseline. Erlenmeyerova tikvica sa sadržajem poklopi se satnim stakalcem i zagrijava do vrenja. Kada uzorak prokuha, dodaje se 15 mL KMnO<sub>4</sub> te je potrebno kuhati 10 minuta od trenutka početka novog vrenja. Uzorak u tikvici je i dalje pokriven satnim stakalcem. Temeljni princip navedene metode je zagrijavanje uzorka u kipućoj vodenoj kupelji s poznatom količinom sumporne kiseline i kalijevog permanganata kroz točno definirano vrijeme, a riječ je o spomenutih 10 minuta. Ako se ljubičasta boja koja treba biti zadržala, dodaje se 15 mL oksalne kiseline (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) i otopina bi se trebala obezbojiti. Dolazi do redukcije dijela permanganata oksidirajućim materijalom u uzorku i dodatkom oksalne kiseline u suvišku, određuje se utrošeni permanganat. Zatim, slijedi titracija sa KMnO<sub>4</sub> do trenutka pojave blago ružičaste boje koja je postojana otprilike 30 sekundi. Volumen utrošenog KMnO<sub>4</sub> očita se na bireti i koristi se za izračun koncentracije kisika. Krajnji dobiveni rezultat izražava se u jedinici mg/L O<sub>2</sub>.

Oprema i pribor: Erlenmeyerova tikvica 100 mL, menzura 100 mL, staklena graduirana pipeta 10 mL, satno stakalce i bireta

Kemikalije: KMnO<sub>4</sub> (c=0,02 mol/L), sumporna kiselina (5 mL, razrijeđene 3 : 1) i oksalna kiselina (15 mL, c=0,05 mol/L)

### 3.8. ODREĐIVANJE KONCENTRACIJE AMONIJA (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)

Metoda određivanja koncentracije amonija provodi se u skladu sa normom HRN EN ISO 7150-1:1998. Kako bi se odredila koncentracija NH<sub>4</sub><sup>+</sup> u uzorku vode, u odmjerenu tikvicu od 100 mL ulije se 40 mL uzorka te potom 4 mL reagensa 1 (salicilat-citratna otopina), 4 mL reagens 2 (otopina natrij dikloroizocijanurat) i 2 mL demineralizirane vode. Kada se doda reagens 1 promućka se tikvica, kao i poslije dodatka reagens 2. Uz uzorke vode, pripremi se slijepa

proba (sp) u koju se umjesto uzorka dodaje destilirana voda. Nakon toga redom se dodaje sve isto kao i u uzorcima vode. Uzorci se ostavljaju 1 h da odstoje u vodenoj kupelji pri temperaturi od 25 °C kako bi došlo do odvijanja reakcije, odnosno nastajanja boje. Spektrofotometar je uređaj pomoću kojega se određuje koncentracija amonija pri valnoj duljini od 655 nm te prema tome, metoda se naziva spektrofotometrijska metoda i temelji se na formiranju žutog obojenja koje se razvija tijekom reakcije amonija sa salicilatnim i hipokloritnim ionima u prisustvu natrijpentacijanoferata koji je sadržan u salicilat-citratnoj otopini. Kada su sve otopine pripremljene i odstojale su odgovarajuće vrijeme, odvija se završni korak mjerenja apsorbancije na 655 nm prema slijepoj probi. Dobiveni rezultat iskazuje se u jedinici mg/L  $\text{NH}_4^+$ .

Oprema i pribor: odmjerna tikvica od 100 mL, menzura od 50 mL, mikropipeta s nastavcima i spektrofotometar Camspec

Kemikalije: reagens 1 - salicilat-citratna otopina i reagens 2 – otopina natrij dikloroizocijanurat

### 3.9. ODREĐIVANJE KONCENTRACIJE NITRITA

Određivanje koncentracije nitrita u vodi za piće provodi se primjenom molekularne apsorpcijske spektrofotometrijske metode (HRN EN 26777:1998). Mjerenje apsorbancije provodi se na spektrofotometru pri valnoj duljini od 540 nm. Očitavanjem apsorbancije, moguće je izračunati koncentraciju nitrita koja se izražava u jedinici mg/L  $\text{NO}_2^-$ . Prvo je potrebno uliti 40 mL uzorka vode pomoću menzure u Erlenmeyerovu tikvicu od 100 mL. Zatim, dodaje se 1 mL reagensa za zazivanje boje i 9 mL demineralizirane vode te se uzorci promućkaju. Također paralelno se priprema slijepa proba (sp) u koju se umjesto uzorka dodaje destilirana voda. Uzorci se ostavljaju da odstoje 3 do 10 minuta. Ako su u uzorcima prisutni nitriti u određenoj koncentraciji javlja se blago ružičasto obojenje.

Reagens za zazivanje boje priprema se na način da se u laboratorijskoj čaši u kojoj se nalaze 100 mL ortofosforne kiseline i 500 mL ultračiste vode, otopi 40 g 4-aminobenzen sulfonske kiseline. U toj otopini potrebno je otopiti i 2 g *N*-(1-naftil)-1,2-diaminoetan dihidroklorida. Tako pripremljena otopina prebaci se u odmjernu tikvicu od 1000 mL i nadopuni do oznake ultračistom vodom.

U prisutnosti ortofosforne kiseline (pH=1,), dolazi do reakcije nitrita u ispitivanom uzorku vode s 4-aminobenzen sulfonskom kiselinom. Zatim, nastaje dionizijeva sol koja reagira s *N*-(1-naftil)-1,2-diaminoetan dihidrokloridom te tako dolazi do stvaranja ružičastog obojenja.



Oprema i pribor: Erlenmeyerova tikvica od 100 mL, menzura od 50 mL, mikropipeta i spektrofotometar

Kemikalije: reagens za zazivanje boje (4-aminobenzen sulfonska kiselina, *N*-(1-naftil)-1,2-diaminoetan dihidroklorid)

### 3.10. ODREĐIVANJE KONCENTRACIJE HIDROGENKARBONATA

Kako bi se odredila koncentracija hidrogenkarbonata u uzorcima vode za piće potrebno je provesti postupak titracije. Titracija spada u skupinu volumetrijskih postupaka i koristi se za određivanje koncentracije otopljene tvari tako što se mjeri volumen dodanog reagensa. Prvo šta se mora napraviti je uliti 100 mL uzorka u Erlenmayerovu tikvicu od 300 mL. Uzorak vode ulije se u tikvicu pomoću odmjerne menzure od 100 mL. Zatim, dodaju se 2 do 3 kapi metiloranža koji se koristi kao indikator. Provodi se titracija uzorka s otopinom HCl koncentracije 0,1 mol/L do promjene žute u narančastu boju. Otopina HCl dodaje se polagano i u malim volumenima. Na kraju, volumen dodane otopine HCl očita se na bireti te koristi kako bi se izračunala koncentracija hidrogenkarbonata, odnosno kalcijeva karbonata. Krajnji dobiveni rezultat izražava se u jedinici mg/L CaCO<sub>3</sub>.

Oprema i pribor: Erlenmeyerova tikvica 100 mL, menzura 100 mL, bireta i kapaljka

Kemikalije: otopina klorovodične kiseline (HCl) (c=0,1 mol/L) i indikator, metiloranž

### 3.11. LANGELIEROV INDEKS STABILNOSTI

U ovom diplomskom radu proveden je izračun Langelierovog indeksa stabilnosti (LSI). Indeks zasićenja, tj. stabilnosti je pokazatelj koji upućuje na taloženje ili otapanje CaCO<sub>3</sub>. Pomoću njega može se provesti procjena utjecaja vode na taloženje ili otapanje sloja kalcijevog karbonata na metalnim površinama s kojima je voda u kontaktu. Za izračun LSI koristi se sljedeća formula:  $LSI = pH - pH_s$ . U navedenoj formuli pH predstavlja izmjerenu vrijednost u uzorku vode, a pH<sub>s</sub> predstavlja vrijednost koja bi bila izmjerena u slučaju kada bi ta ista voda bila zasićena s kalcijevim karbonatom.

Izračun pH<sub>s</sub> vrši se pomoću sljedećeg izraza:

$$pH_s = (9,3 + A + B) - (C + D) \quad [1]$$

a riječ je o parametrima:

$$A = (\log (\text{TDS}) - 1) / 10$$

$$B = -13,12 \times \log (t (^{\circ}\text{C}) + 273) + 34,55$$

$$C = \log (\gamma (\text{Ca}) [\text{mg CaCO}_3/\text{L}]) - 0,4$$

$$D = \log (\text{m-alkalitet} [\text{mg CaCO}_3/\text{L}])$$

TDS označava ukupne otopljene soli, engl. *Total Dissolved Solids* i izražava se u jedinici mg/L (Mijatović i Matošić, 2019).

### 3.12. UKUPNE OTOPLJENE SOLI

Ukupne otopljene soli (TDS, engl. *Total Dissolved Solids*) predstavlja često korišteni parametar u svrhu kontrole kvalitete vode. TDS i vodljivost koriste se kao indikatori razine saliniteta. Međutim, TDS analiza je zahtjevana i skupa i zahtijeva više vremena i opreme. Upravo iz tog razloga, znanstvenici su proveli istraživanja s ciljem otkrivanja matematičke povezanosti vodljivosti i TDS-a (Rusydi, 2018). Zahvaljujući tome danas imamo formulu prema kojoj se TDS može izračunati tj. aproksimirati iz električne vodljivosti. Vrijednost  $k$  raste s povećavanjem koncentracije iona u vodi. Parametri vodljivosti i TDS nisu izravno linearno povezani, nego njihov odnos ovisi o aktivnostima specifičnih otopljenih iona, prosječnoj aktivnosti svih prisutnih iona u vodi te ionskoj jakosti stoga vrijednost  $k$  za prirodnu vodu za piće iznosi 0,51. Izračun TDS vršio se pomoću sljedećeg izraza:

$$\text{TDS (mg/L)} = k \times \text{EC } (\mu\text{S/cm}) \quad [2]$$

u kojem su:

$k$  = konstanta/omjer TDS/EC

EC = električna vodljivost ( $\mu\text{S/cm}$ )

### 3.13. OBRADA PODATAKA

U svrhu izračuna deskriptivne statistike, točnije srednje vrijednost, medijana, standardne devijacije, minimuma i maksimuma korišten je Microsoft Excel. Također, Microsoft Excel korišten je za izračun Pearsonovog koeficijenta korelacije ( $r$ ) koji govori o jačini linearne povezanosti između odabranih parametara. Može poprimiti vrijednosti od -1 koja se smatra savršenom negativnom korelacijom do 1 koja predstavlja savršenu pozitivnu korelaciju.

Vrijednost Pearsonov koeficijenta korelacije bliska nuli ukazuje na nedostatak linearnog odnosa između varijabli.

U ovom radu, vrijednosti iznad 0,8 prikazane su kao jače pozitivne korelacije, dok su vrijednosti ispod -0,8 prikazane kao jače negativne korelacije. Slabije pozitivne korelacije odnose se na vrijednosti do 0,2 a slabije negativne korelacije do vrijednosti -0,2.

## **4. REZULTATI I RASPRAVA**

### **4.1. ISTRAŽIVAČKA PITANJA**

S obzirom na veliku važnost osiguravanja zdravstveno ispravne vode za ljudsku potrošnju s javnih slavina, istraživanje koje uključuje kontrolu njene kvalitete postavlja se kao nužna inicijativa koje će dati odgovore na pitanja vezana uz sigurnost i kvalitetu vode za piće s javnih slavina u gradu Zagrebu. Nastoji se osigurati odgovarajuća briga za građane na tom području, a jedan od načina je osigurati im vodu za piće izvrsne kvalitete zbog čega se i provode slična istraživanja.

Zbog toga je u ovom radu provedeno istraživanje, kako bi se odgovorilo na sljedeća pitanja:

1. Kakva je zdravstvena ispravnost vode za piće s javnih slavina na području grada Zagreba?
2. Kakve su fizikalno-kemijske i mikrobiološke karakteristike vode za piće s javnih slavina u gradu Zagrebu?
3. Postoji li korelacija između fizikalno-kemijskih parametara, metala, THM, organskih tvari i iona u uzorcima vode za piće s javnih slavina u gradu Zagrebu?
4. Kako su se kretale vrijednosti Langelierovog indeksa stabilnosti (LSI) na različitim lokacijama javnih slavina u gradu Zagrebu praćenjem kroz više mjeseci?

### **4.2. PRIKAZ KVALITETE VODE ZA PIĆE NA PODRUČJU GRADA ZAGREBA**

#### **4.2.1 Osnovni fizikalno-kemijski parametri**

Srednja vrijednost, medijan, standardna devijacija, maksimalne i minimalne vrijednosti te maksimalna dozvoljena koncentracija prema Pravilniku za mjerene parametre, točnije

temperaturu, mutnoću, pH-vrijednost i slobodni rezidualni klor nalazi se u tablici 1. Skraćenica temp. u tablici odnosi se na parametar temperaturu, a oznake L1, L2, L3, L4, L5, L6 i L7 odnose se na lokaciju navedenog broja. Iz tablice može se vidjeti da su svi analizirani parametri bili unutar vrijednosti maksimalnih dozvoljenih koncentracija propisanih Pravilnikom. Temperatura je bila daleko ispod vrijednosti MDK koja iznosi 25°C te najveća srednja vrijednost bila je na Lokaciji 7 - Trnjanska struga 22a i iznosila je 12,55 °C. Najmanja srednja vrijednost temperature iznosila je 7,53 °C i bila je na Lokaciji 5 - Miroševac polje 332. Najveća maksimalna vrijednost temperature iznosila je 13,5 °C (L6), a najniža minimalna 5 °C (L5). Razlog zašto je temperatura vode za piće s javnih slavina unutar navedenog intervala leži u tome da se grad Zagreb nalazi na području gdje je glavni izvor vode za opskrbu stanovništva podzemna voda. Podzemna voda ima tendenciju zadržavanja relativno konstantne temperature tijekom cijele godine. Budući da je podzemna voda po prirodi hladna, očekivano je da će voda s javnih slavina imati vrijednosti temperature u navedenom opsegu. S obzirom da su vodovodne cijevi u Zagrebu uglavnom ukopane u tlo, održavaju se uglavnom konstantne temperature vode tijekom transporta po cjevovodu. U principu, ne dolazi do zagrijavanja vode tijekom puta od izvora do javne slavine. Također, nužno je spomenuti da su ove vrijednosti temperature postignute u zimskim mjesecima kada se istraživanje provodilo stoga i to može doprinositi nižim temperaturnim vrijednostima. Moguće je da bi u ljetnim mjesecima temperature vode bile nešto više, ali i dalje bi vrijednosti trebale ostati relativno umjerene s obzirom na to da je riječ o podzemnim vodama.

Također, mutnoća je bila ispod vrijednosti MDK koja iznosi 4 NTU. Minimalna vrijednost mutnoće iznosila je 0,08 NTU i pojavila se u uzorku vode za piće s javne slavine na Lokaciji 7, a maksimalna vrijednost iznosila je 0,82 NTU i utvrđena je u uzorku s Lokacije 3 - Ulica Sprečka 32. pH-vrijednosti su bile unutar raspona 6,5 – 9,5 kako je propisano Pravilnikom. Najveća vrijednost iznosila je 7,4, a najmanja 7,1 i izmjerene su na više lokacija. Vrijednosti vodljivosti kretale su se u rasponu od 406 do 754  $\mu\text{S}/\text{cm}$  te su sve bile ispod MDK. Maksimalna vrijednost utvrđena je u uzorku vode s Lokacije 6 - Mirogoj, Aleja H. Bollea 22 te minimalna na Lokaciji 1 – Ulica Vrčić I 14. Prema Pravilniku maksimalna dozvoljena koncentracija za slobodni rezidualni klor iznosi 0,5 mg/L. Izmjerene koncentracije slobodnog rezidualnog klora kretale su se u rasponu <0,05 do 0,26 mg/L  $\text{Cl}_2$  što je manje od prethodno spomenute vrijednosti maksimalne dozvoljene koncentracije. Maksimalna koncentracija od 0,26 mg/L  $\text{Cl}_2$  izmjerena je na Lokaciji 7.

**Tablica 1.** Srednja vrijednost, standardna devijacija, minimalna i maksimalna vrijednost te maksimalna dozvoljena koncentracija (MDK) za temperaturu, mutnoću, pH-vrijednost, vodljivost i slobodni rezidualni klor u 28 uzoraka vode za piće s javnih slavina na 7 lokacija označenih L1-L7

		Temp.	Mutnoća	pH vrijednost	Vodljivost	Slobodni rezidualni klor
Jedinica		°C	NTU	pH jedinica	µS/cm/20 °C	mg/L Cl <sub>2</sub>
L1	Srednja vrijednost	12,1	0,26	7,35	407,2	0,12
	Standardna devijacija	1,4	0,20	0,06	1,9	0,04
	Min	10	0,11	7,3	406	0,09
	Max	13	0,54	7,4	410	0,16
	MDK	25	4	6,5 – 9,5	2500	0,5
L2	Srednja vrijednost	9,95	0,185	7,35	442,5	0,075
	Standardna devijacija	1,3	0,06	0,06	49,78	0,01
	Min	8	0,1	7,3	414	0,06
	Max	10,9	0,24	7,4	517	0,09
L3	Srednja vrijednost	10,75	0,4	7,3	523,5	0,06
	Standardna devijacija	2,06	0,31	0,08	6,45	0,05
	Min	8	0,18	7,2	514	<0,05
	Max	12,6	0,82	7,4	528	0,12
L4	Srednja vrijednost	7,775	0,265	7,175	645	0,04625
	Standardna devijacija	1,78	0,21	0,10	29,69	0,05
	Min	5,5	0,11	7,1	602	<0,05
	Max	9,7	0,57	7,3	670	0,11
L5	Srednja vrijednost	7,525	0,2025	7,1	700,5	0,080625
	Standardna devijacija	1,74	0,11	0	30,64	0,06
	Min	5	0,1	7,1	674	<0,05
	Max	9	0,34	7,1	729	0,16

**Tablica 1.** Srednja vrijednost, medijan, standardna devijacija, minimalna i maksimalna vrijednost te maksimalna dozvoljena koncentracija (MDK) za temperaturu, mutnoću, pH-vrijednost, vodljivost i slobodni rezidualni klor u 28 uzoraka vode za piće s javnih slavina na 7 lokacija označenih L1-L7 – nastavak

Jedinica		Temp.	Mutnoća	pH vrijednost	Vodljivost	Slobodni rezidualni klor
		°C	NTU	pH jedinica	µS/cm/20 °C	mg/L Cl <sub>2</sub>
L6	Srednja vrijednost	10,2	0,3025	7,1	724	0,1475
	Standardna devijacija	2,77	0,17	0	43,73	0,05
	Min	7,1	0,19	7,1	660	0,09
	Max	13,5	0,55	7,1	754	0,21
	MDK	25	4	6,5 – 9,5	2500	0,5
L7	Srednja vrijednost	12,55	0,2075	7,15	624,5	0,16
	Standardna devijacija	0,48	0,13	0,06	36,67	0,08
	Min	12	0,08	7,1	600	0,1
	Max	13	0,37	7,2	679	0,26

#### 4.2.2 Ioni

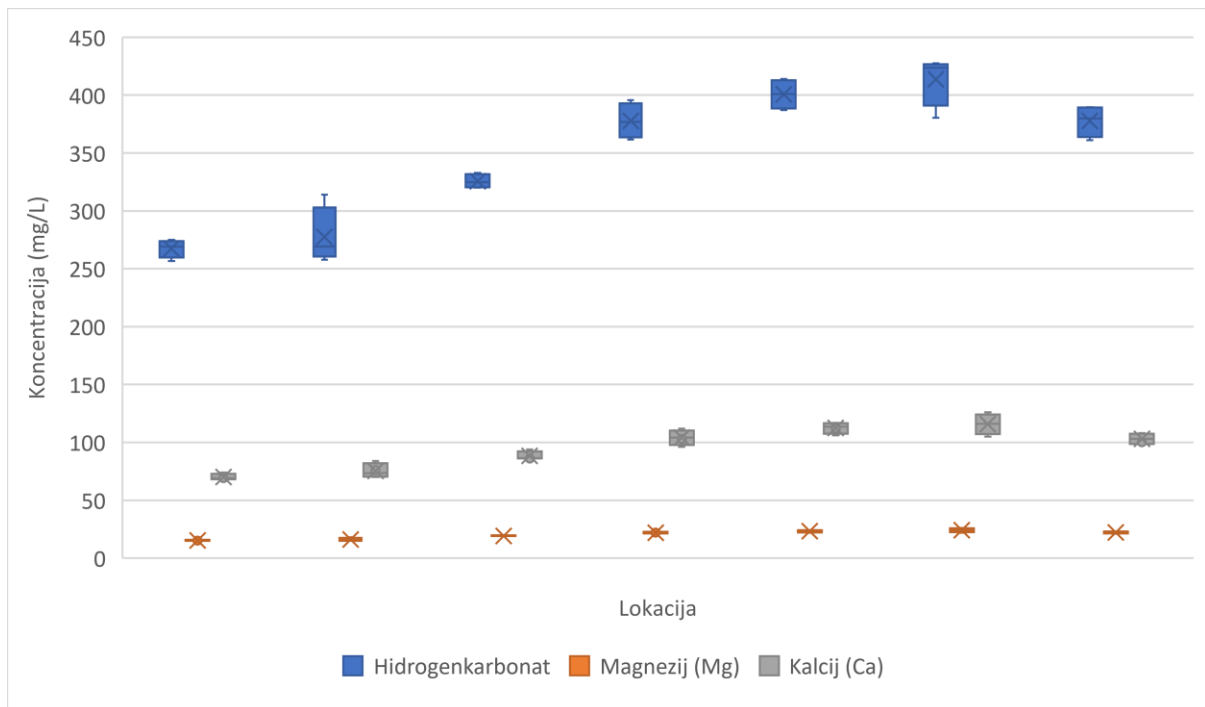
Izmjerene koncentracije nitrata, kalija, natrija, klorida i sulfata bile su ispod MDK, a trenutno nisu ustanovljene maksimalne dozvoljene koncentracije za hidrogenkarbonat, kalcij i magnezij. Koncentracijama hidrogenkarbonata pripisuju se najveće izmjerene vrijednosti od svih navedenih parametara i maksimalna vrijednost iznosila je 427,4 mg/L HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> u uzorku vode za piće iz javne slavine na Lokaciji 6 u ožujku. Također, u ožujku na istoj lokaciji utvrđena je najveća koncentracija kalcija i iznosila je 126 mg/L Ca<sup>2+</sup>. Najviše koncentracije magnezija (26 mg/L Mg<sup>2+</sup>) i najviši medijan izmjereni su na Lokaciji 6 tijekom prosinca, siječnja, veljače i ožujka (slika 2). Što se tiče parametra klorida, maksimalna koncentracija iznosila je 44,2 mg/L Cl<sup>-</sup> i izmjerena je na Lokaciji 6 u ožujku (slika 3). Izmjerene vrijednosti klorida nalaze se značajno ispod maksimalne dozvoljene vrijednosti od 250 mg/L. Visoke koncentracije klorida uglavnom su povezane s ljudskom aktivnošću koja utječe na onečišćenje

okoliša. Poroznost tla i propusnost stijena su čimbenici koji utječu na povećanje koncentracije klorida (Kothari i sur., 2021).

Prema podacima koje svake godine Vodoopskrba i odvodnja d.o.o. javno objavljuju, a riječ je o srednjim vrijednostima parametara sukladnosti vode za ljudsku potrošnju u zbirnim vodama vodocrpilišta sustava javne vodoopskrbe Grada Zagreba, može se zaključiti da spomenuta ostvarena najviša koncentracija kalcija je najbliža vrijednostima ostvarenim na izvorištu vode Mala Mlaka gdje je koncentracija kalcija iznosila 101,3 mg/L i izvorištu Sašnak s vrijednosti kalcija od 106,1 mg/L. Također, najviša koncentracija magnezija postignuta na Lokaciji 6 u ožujku bliska je vrijednostima ostvarenim na izvorištima Mala Mlaka i Stremec, a iznosile su 24,4 i 28,1 mg/L. Maksimalna koncentracija klorida izmjerena na Lokaciji 6 u ožujku može se povezati s izvorištem vode za piće Sašnak gdje je koncentracija klorida iznosila 37,5 mg/L (Tablica kvalitete vode - Grad Zagreb, 2023).

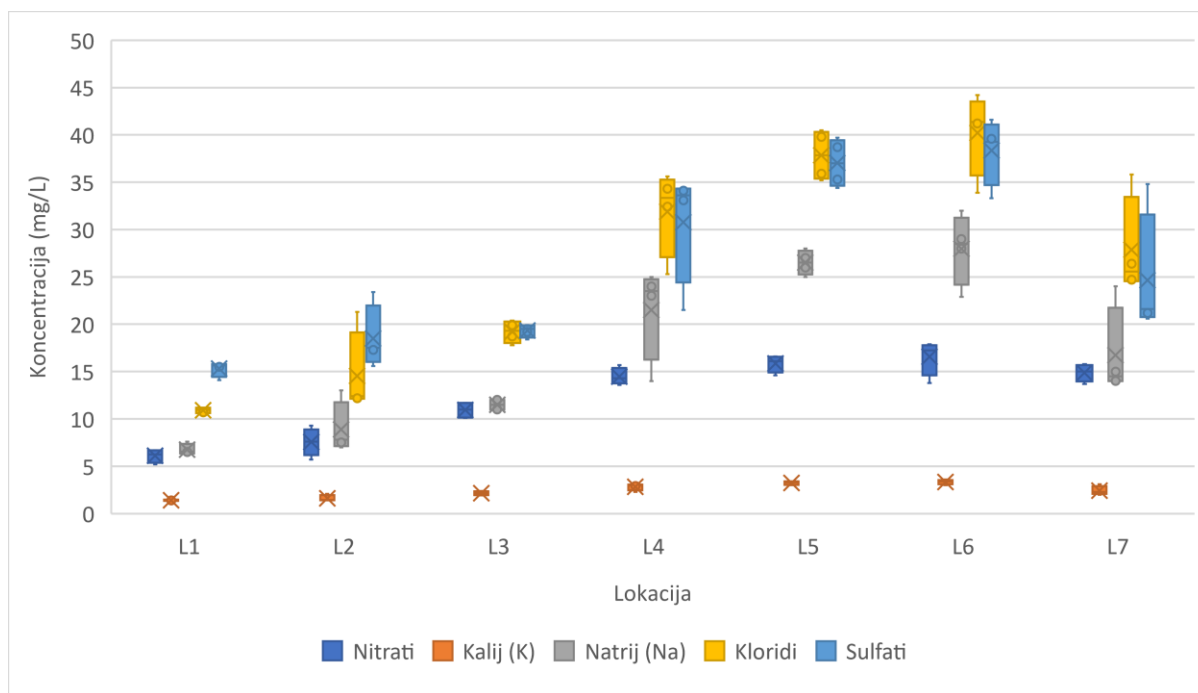
Koncentracije nitrata kretale su se u rasponu od 5,2 do 17,9 mg/L  $\text{NO}_3^-$ , a najveća koncentracija određena je na Lokaciji 6 u ožujku. Prisutnost nitrata u vodi za piće predstavlja problem zbog potencijalne toksičnosti povezane s nastankom dvaju vrsta spojeva, a to su nitriti i *N*-nitrozo spojevi (Vitoria i sur., 2015) Uspoređujući dobivene rezultate u ovom radu i rezultate Vitorie i suradnika (2015), može se uvidjeti da je medijan koncentracija nitrata puno niži u prethodno spomenutom radu (3,47 mg/L) u odnosu na rezultate ovog rada gdje je najveća vrijednost medijana iznosila 17,25 mg/L (L6). Spomenuto istraživanje je provedeno u uzorcima vode s javnih slavina na području 108 općina u Španjolskoj. Nitrati su spojevi koji se smatraju velikim onečišćivačima okoliša i nastaju korištenjem dušičnih gnojiva u poljoprivredi. U slučaju korištenja takvih gnojiva na bazi dušika u poljoprivredi, nitrati se mogu isprati iz tla i završiti u podzemnim ili površinskim vodama. Prema tome, poljoprivreda igra važnu ulogu u povećanju koncentracije nitrata u okolišu. Visoke koncentracije nitrata mogu se u skladu s tim očekivati u ruralnim područjima. Primjerice, nitrati u visokoj koncentraciji mogu izazvati methemoglobinemiju kod dojenčadi (De Roos i sur., 2003; Fytianos i Christophoridis, 2003). Nemčić-Jurec i suradnici proveli su uzorkovanje vode za piće iz bunara na području ruralnih dijelova Prigorja i Podravine u svrhu određivanja koncentracije nitrata u periodu od 2002. do 2007. godine. Analizirano je 30 bunara, odnosno 382 uzorka u Prigorju i 19 bunara, odnosno 174 uzorka u Podravini. Prosječna koncentracija nitrata na području Podravine iznosila je 24,9 mg/L, a u 6 % uzoraka koncentracija je bila iznad maksimalne dozvoljene koncentracije. Prosječne koncentracija nitrata na području Prigorja iznosila je 53,9 mg/L, a u 38 % uzoraka koncentracija je bila iznad maksimalne dozvoljene koncentracije.

Uz nitrate, najveće vrijednosti kalija, natrija i sulfata izmjerene su na Lokaciji 6 u ožujku i iznosile su redom  $3,6 \text{ mg/L K}^+$ ,  $32 \text{ mg/L Na}^+$  i  $41,6 \text{ mg/L SO}_4^{2-}$  (slika 3). Prema podacima iz Tablice kvalitete vode - Grada Zagreba (2023) može se doći do zaključka da se voda za piće na Lokaciji 6 najvjerojatnije dobiva iz izvorišta Sašnak miješanjem s vodom nekog drugog izvora. Vrijednosti iona ostvarene na Lokaciji 6 bliske su vrijednostima izvorišta vode za piće Sašnak.



**Slika 2.** Prikaz medijana, minimuma, maksimuma, donjeg kvartila i gornjeg kvartila koncentracija hidrogenkarbonata,  $\text{Ca}^{2+}$  i  $\text{Mg}^{2+}$  u uzorcima vode za piće s javnih slavina na 7 lokacija





**Slika 3.** Prikaz medijana, minimuma, maksimuma, donjeg kvartila i gornjeg kvartila koncentracija  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  i  $\text{SO}_4^{2-}$  u uzorcima vode za piće s javnih slavina na 7 lokacija

#### 4.2.3 Prisutnost metala i metaloida te utjecaj na kvalitetu vode

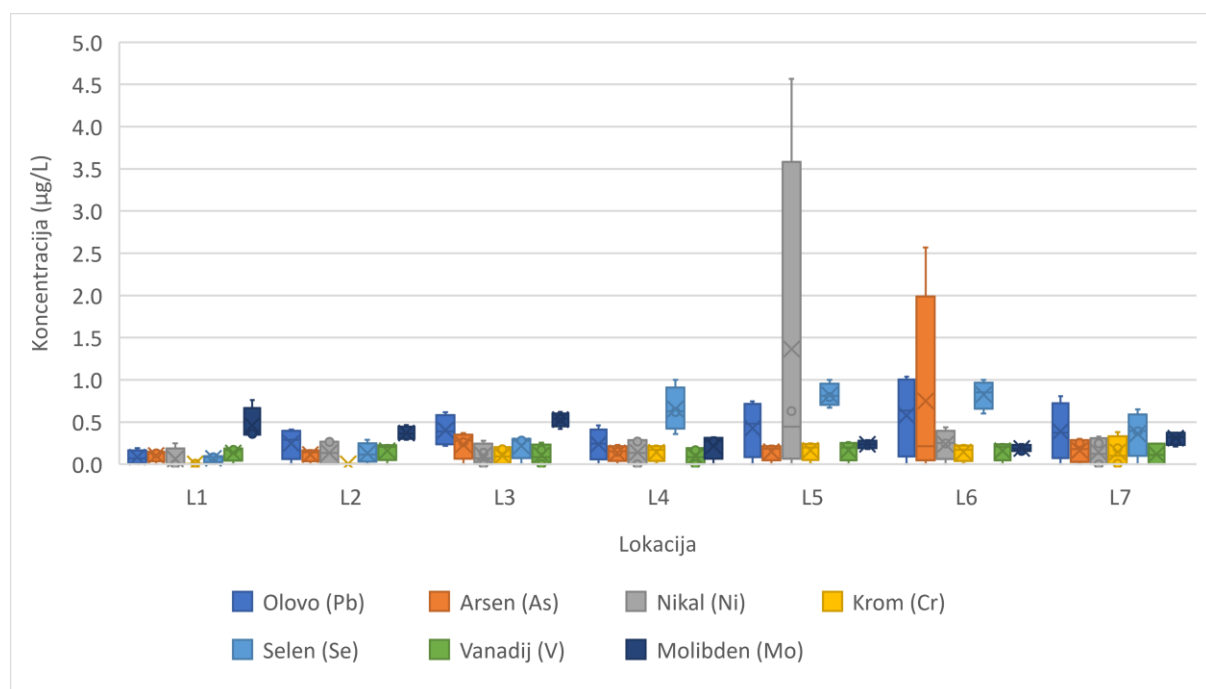
Teški metali mogu predstavljati veliki problem u slučajevima njihove prisutnosti u izrazito visokim koncentracijama u vodi za piće. Visoke koncentracije mogu biti povezane s toksičnim učincima na ljudsko zdravlje (Turksoy i sur., 2019). Svi analizirani metali i metaloidi bili su u skladu s MDK vrijednostima.

Na slici 4 prikazane su vrijednosti parametara olova, arsena, nikla, kroma, selena, vanadija i molibdena izmjerenih u 28 uzoraka vode za piće. Koncentracije navedenih elemenata većinom su se kretale u rasponu od 0,09 do 1  $\mu\text{g/L}$ , dok su neke bile i ispod granice kvantifikacije. S druge strane, bilo je i izmjerenih vrijednosti koje su bile više od navedenog raspona, ali ne značajno. Izmjerena je najveća koncentracija nikla u uzorku vode na Lokaciji 5 u prosincu i iznosila je 4,57  $\mu\text{g/L}$ . Osim toga, na Lokaciji 6 u prosincu izmjerena je maksimalna vrijednost koncentracije olova te je iznosila 1,04  $\mu\text{g/L}$ . Dolazi do odstupanja koncentracije arsena na Lokaciji 6 u siječnju te iznosi 2,57  $\mu\text{g/L}$  što je najveća maksimalna ostvarena vrijednost arsena.

Koncentracije olova bile su poprilično niske, neke čak ispod granice kvantifikacije što je puno bolje stanje u odnosu na vrijednosti izmjerene u istraživanju koje su proveli Fawkes i Sansom (2021) u državi Teksas u Sjedinjenim Američkim državama. Istraživanje je provedeno na uzorcima vode za piće iz javnih fontana u parkovima te je srednja koncentracija iznosila 1,3  $\mu\text{g/L}$ , a maksimalna vrijednost 8,0  $\mu\text{g/L}$ , dok je u ovom radu maksimalna vrijednost iznosila 1,04  $\mu\text{g/L}$ . Visoke koncentracije olova su često posljedica starije unutarnje infrastrukture cjevovoda koje je nužno obnoviti za dobrobit zajednice. Kontaminacija vode za piće olovom u SAD-u bi vrlo lako mogla postati javnozdravstveni problem što treba spriječiti (Fawkes i Sanson, 2021).

Izmjerene koncentracije arsena ( $\mu\text{g/L}$ ) u analiziranim uzorcima vode za piće bile su značajno ispod propisanih vrijednosti (MDK = 10  $\mu\text{g/L}$ ) te u ožujku 2023. bile su čak ispod granice kvantifikacije na svim lokacijama uzorkovanja.

Također, provedeno je istraživanje u Italiji, u južnoj Toskani koje je ukazalo na povišene koncentracije As u vodi za piće. Uzorkovanje je provedeno sa krajeva distribucijskih vodova i uspoređujući sa vrijednostima dobivenim analizom vode sa izvora, dokazalo se da je kvalitete voda u gradu lošija s obzirom na onu jednog od glavnih izvora. Razlog vjerojatno leži u ispiranju metalnih cijevi (Tamasi i Cini, 2004).



**Slika 4.** Prikaz medijana, minimuma, maksimuma, donjeg kvartila i gornjeg kvartila koncentracija Pb, As, Ni, Cr, Se, V i Mo u uzorcima vode za piće sa 7 lokacija javnih slavina

Na slici 5 prikazane su koncentracije cinka, željeza, mangana, aluminija, barija, bakra i stroncija izmjerene u 28 uzoraka vode za piće. Sve vrijednosti su bile u skladu s koncentracijama definiranim Pravilnikom.

U uzorcima vode za ljudsku potrošnju najveće izmjerene vrijednosti imao je stroncij te je maksimalna vrijednost određena u uzorku s Lokacije 6 u prosincu i iznosila je 301 µg/L. Za stroncij Pravilnikom nije propisana maksimalna dozvoljena koncentracijama. Maksimalna vrijednost koncentracije cinka izmjerena je na Lokaciji 6 u siječnju, točnije iznosila je 232,74 µg/L. Koncentracije cinka kretale su se u intervalu od 4,63 do 232,74 µg/L. Također, izmjerene koncentracije mangana bile su značajno ispod maksimalnih propisanih vrijednosti te je najveća vrijednost iznosila 3,3 µg/L (Lokacija 3, ožujak).

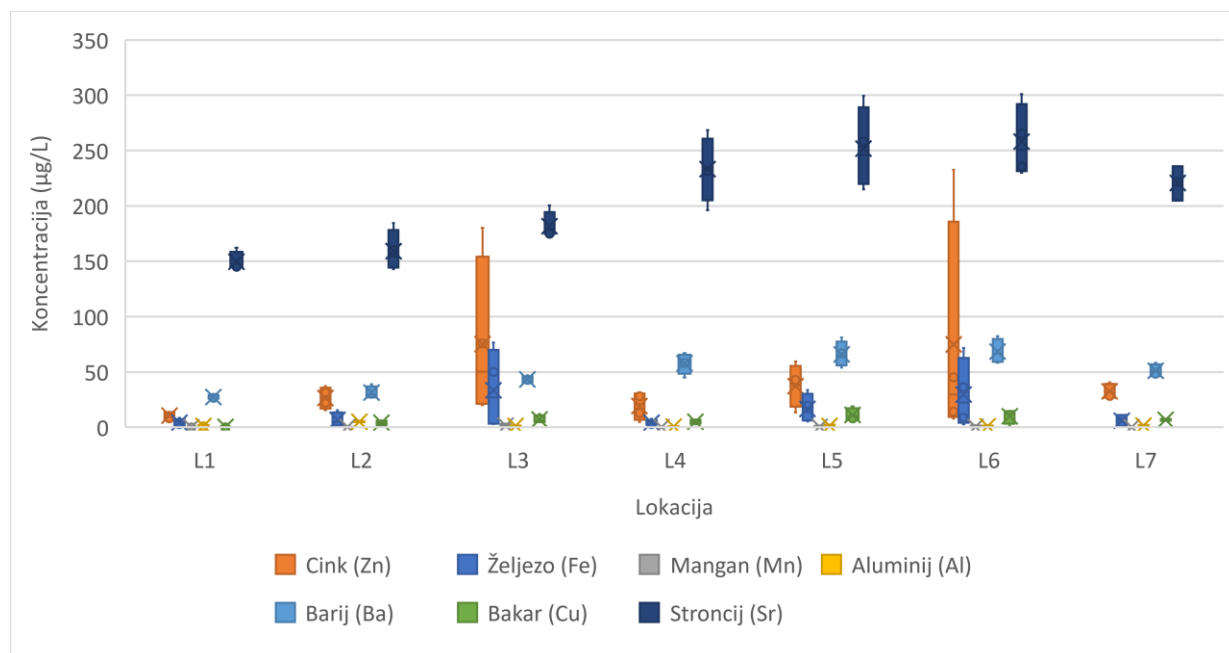
Distribucijske cijevi kroz koje prolazi voda za piće su vrlo osjetljive i nakupljanje rezidualnog mangana može uzrokovati promjenu boje vode. Takva vode će na kraju proći svoj put kroz cijevi i dospjeti do slavine gdje će biti dostupna za ljudsku potrošnju. Stvaranje čestica manganovih oksida u vodi dovodi do vidljive promjene obojenja i nakupljanja naslaga mangana na površini cijevi. Kako bi uopće došlo do nakupljanja naslaga mangana nužna je odgovarajuća brzina protoka, koja nije niti previsoka niti preniska. Kontrola zaostalog rezidualnog klora u vodi za piće i smanjivanje transformacije topljivog  $Mn^{2+}$  u čestice manganovih oksida u distribucijskim cijevima su načini kako kontrolirati razinu stvaranja naslaga mangana na površini cijevi (Li i sur., 2019). Prema tome, povišene koncentracije mangana povezane su s neugodnim okusom vode. Mora se posvetiti posebna pozornost u ovakvim situacijama što se tiče definiranja i kontrole putova unosa mangana u sustav cijevi kojima prolazi voda za piće. Naravno, cilj je izbjeći povišene koncentracije mangana u distribucijskim sustavima.

Dobivene vrijednosti koncentracija željeza u ovom istraživanju kretale su se između 1,3 i 76,5 µg/L. Ta najveća ostvarena vrijednost potvrđena je na Lokaciji 3 u mjesecu ožujku. Nešto više rezultate prikazali su Roje i suradnici (2019), prikazane koncentracije željeza kretale su se od < 2,31 do 391 µg/L. Najveća vrijednost izmjerena je u uzorku vode za piće s fontane na Britanskom trgu gdje su utvrđene i visoke koncentracije aluminija, kroma i bakra. Istraživanje je provedeno na uzorcima vode za piće fontana na području grada Zagreba. Uzorci su većinom bili uzimani iz bazena fontane, osim na mjestima gdje je bio osiguran pristup mlaznicama fontane bez ulaska u bazen. U tom slučaju, uzorci vode uzimani su s mlaznica. Više vrijednosti

možda potječu od toga što je voda u fontanama izložena atmosferskim utjecajima ili zbog materijala cijevi koje se kod njihove izgradnje koriste.

U Egiptu je provedeno istraživanje kojim se došlo do zaključka da u vodi za piće sa slavine je bila izrazito viša srednja koncentracija željeza s obzirom na pitku vodu u boci, to se može prepisati koroziji koja se javlja u cijevima kroz koje voda prolazi kako bi došla do potrošača. Lakše i jednostavnije je provoditi kontrolu flaširane vode nego vode iz distribucijskih cijevi i cjevovoda, uzevši u obzir smjernice Svjetske zdravstvene organizacije, te to predstavlja problem (Badr i sur., 2011).

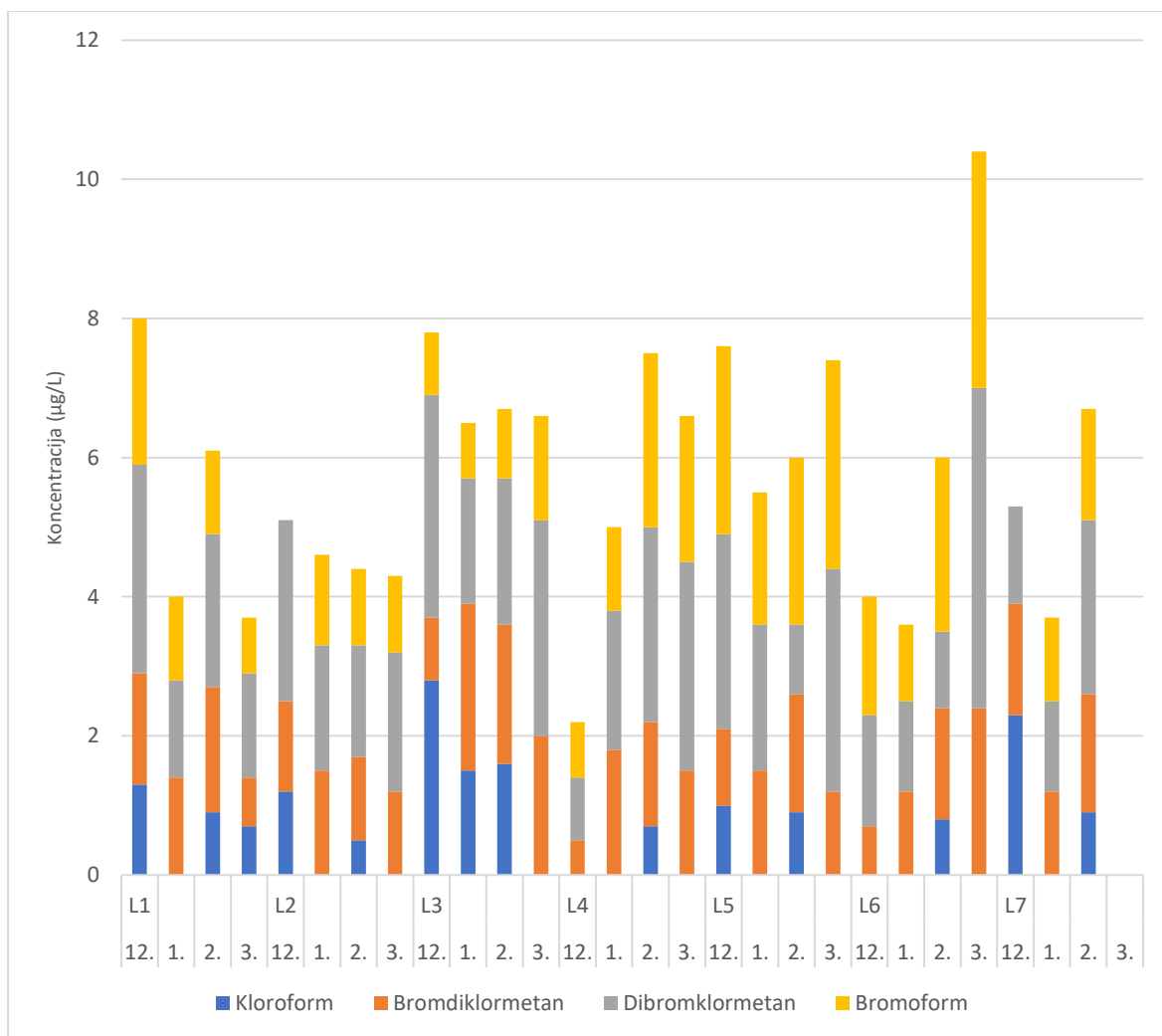
Željezo i mangan spadaju u skupinu metala koji ne djeluju negativno na ljudsko zdravlje, ali imaju drugi nedostatak. Mogu utjecati na pojavu vrlo primjetnog gorkog okusa vode za piće i to pri relativno niskim koncentracijama. Željezo i mangan se najčešće pojavljuju u podzemnim vodama (Spellman i Drinan, 2012). U zadnje vrijeme, svijet se suočava sa brojnim problemima vezano za sustav vodoopskrbe i osiguravanja kvalitetne pitke vode. Vodu za ljudsku potrošnju koje potječe sa slavina karakterizira pojava više koncentracije tipičnih teških metala u odnosu na flaširanu vodu za piće. Moguća je povezanost koncentracije teških metala sa radom bubrega i razinom hemoglobina kod potrošača takve vode za piće. Također, prisutnost teških metala u koncentracijama koje odgovaraju maksimalnim dozvoljenim koncentracijama mogu dovesti u pitanje zdravstvenu sigurnost potrošača (Badr i sur., 2011).



**Slika 5.** Prikaz medijana, minimuma, maksimuma, donjeg kvartila i gornjeg kvartila koncentracija Zn, Fe, Mn, Al, Ba, Cu i Sr u uzorcima vode za piće sa 7 lokacija javnih slavina

#### 4.2.4 Prisutnost trihalometana te utjecaj na kvalitetu vode

Koncentracije ukupnih trihalometana (THM) u svih 28 uzoraka bile su u skladu s propisanim vrijednostima, odnosno manje od maksimalne dozvoljene koncentracije koja iznosi 100 µg/L (slika 6). Vrijednost ukupnih THM predstavlja zbroj koncentracija kloroforma, bromdiklormetana, dibromklormetana, bromoforma i diklormetana. Koncentracije ukupnih THM na Lokaciji 1, 2 i 3 kretale su se u rasponima od 3,7 do 9,8 µg/L, a na Lokacijama 4, 5, 6 i 7 od 2,2 do 10,4 µg/L, ne računajući Lokaciju 7 na kojoj je vrijednost u ožujku ispod granice kvantifikacije (slika 6). Koncentracije komponente diklormetana bile su ispod granice kvantifikacije koja iznosi < 0,5 µg/L. Gledajući sveukupno, koncentracije dibromklormetana bile su više od koncentracija preostale tri komponente. Došlo je do odstupanja u pet slučajeva, kada su izmjerene više koncentracije bromdiklormetana ili bromoforma te na Lokaciji 5 i 6 u veljači ostvarene su više koncentracije i bromdiklormetana i bromoforma u odnosu na dibromklormetan. Osim toga, viša koncentracija jednog od dva navedena parametra izmjerena je u uzorcima s Lokacije 3 iz veljače, Lokacije 6 iz prosinca i Lokacije 7 iz prosinca.



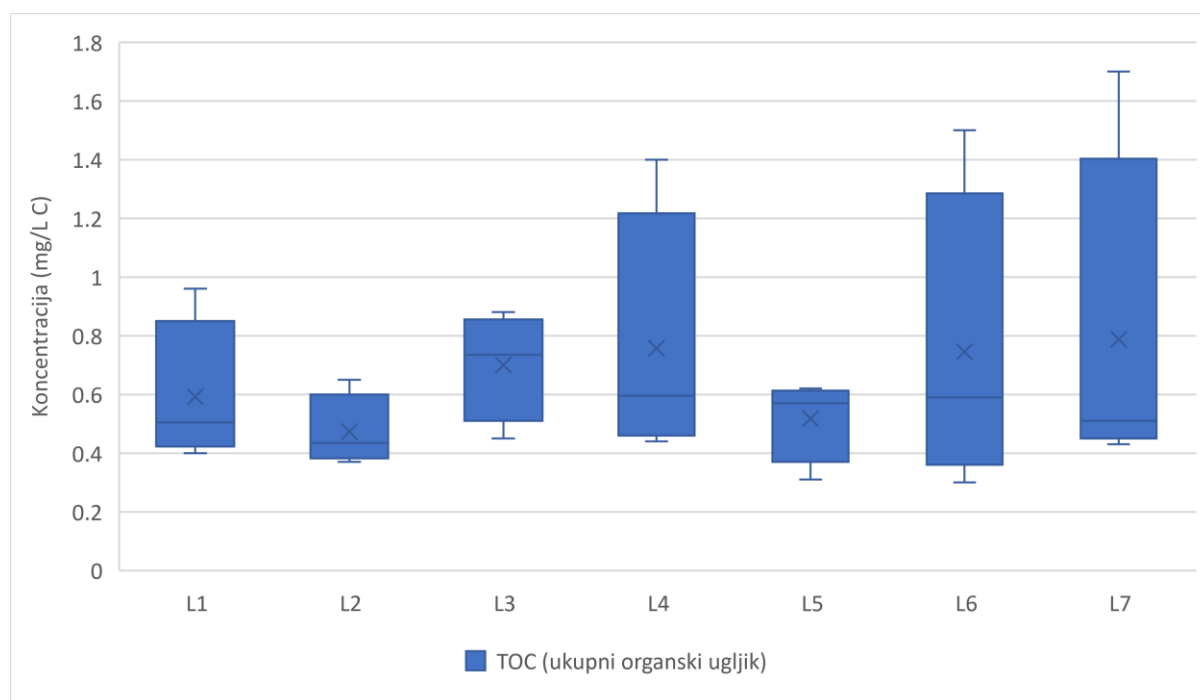
**Slika 6.** Koncentracije ukupnih THM u uzorcima vode za piće sa 7 lokacija (L1-L7) javnih slavina uzorkovanih u prosincu 2022. (12.) te siječnju (1.), veljači (2.) i ožujku (3.) 2023. godine.

Prema dosadašnjim provedenim istraživanjima, utvrđeno je da vrijeme zadržavanja vode za piće unutar distribucijskih cijevi ima značajan utjecaj na varijabilnost koncentracije ukupnih THM. Izmjerene niske koncentracije THM bi upućivale na duže zadržavanje vode u cjevovodnim sustavima (Rodriguez i sur., 2004).

#### 4.2.5 Organska tvar i kvaliteta vode za piće

TOC analiza je vrlo važna u svrhu određivanja količine prekursora nastajanja dezinfekcijskih nusprodukata. Kada zaostali klor nakon postupka dezinfekcije reagira s organskim sadržajem, može doći do nastajanja dezinfekcijskih nusproizvoda (Assmann i sur., 2017). Prema Pravilniku maksimalna dozvoljena koncentracija slobodnog rezidualnog klora iznosi 0,5 mg/L.

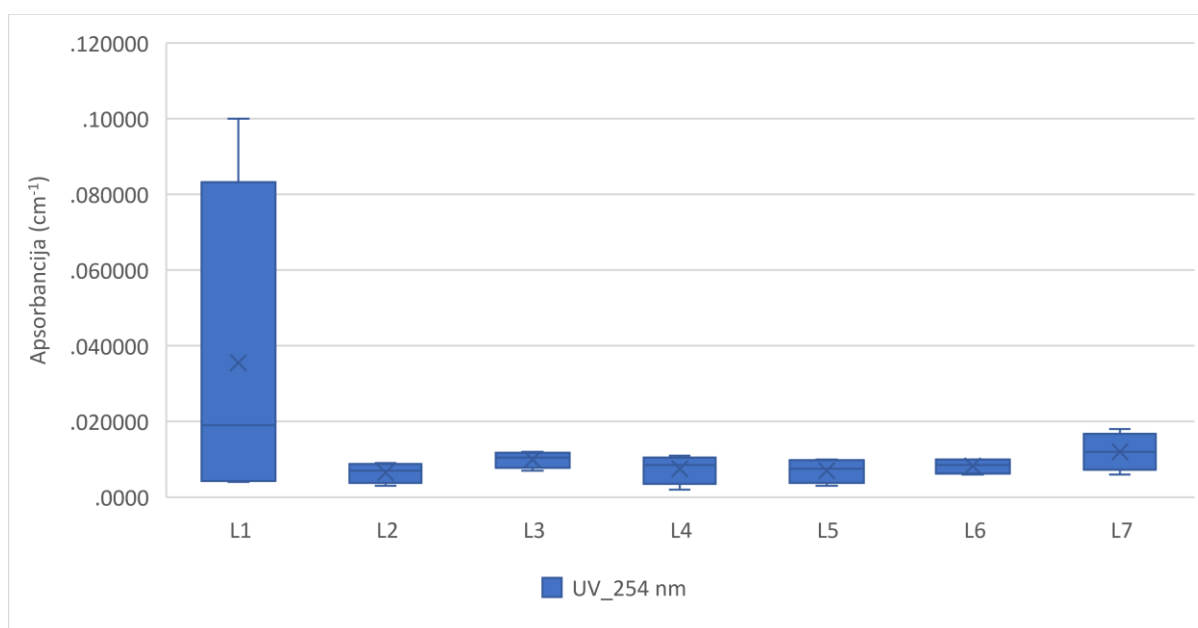
U ovom radu, izmjerene vrijednosti koncentracije TOC-a (ukupni organski ugljik) bile su u skladu s vrijednostima koje propisuje Pravilnik, te su se kretale u rasponu od 0,3 do 1,7 mg/L C (slika 7). Srednje vrijednosti koncentracija TOC-a po lokacijama bile su u rasponu od 0,472 do 0,787 mg/L C. Najveća vrijednost izmjerena je na Lokaciji 7 u prosincu, a najmanja na Lokaciji 6 u ožujku.



**Slika 7.** Prikaz medijana, minimuma, maksimuma, donjeg kvartila i gornjeg kvartila koncentracija TOC (engl. *total organic carbon*, ukupni organski ugljik) u uzorcima vode za piće sa 7 lokacija javnih slavina

Za vrijednosti UV apsorbancije mjerene pri valnoj duljini 254 nm Pravilnikom nije propisana MDK. Maksimalna vrijednost apsorbancije određena je u uzorku vode za piće s javne slavine

na Lokaciji 1 i iznosila je  $0,1 \text{ cm}^{-1}$ , dok je minimalna vrijednost zabilježena na Lokaciji 4 i iznosila je  $0,002 \text{ cm}^{-1}$  (slika 8). Srednje vrijednosti apsorbancije izmjerene su u rasponu od  $0,0065$  do  $0,0355 \text{ cm}^{-1}$ . Iz grafičkog prikaza može se uočiti da nisu postignute značajnije vrijednosti apsorbancije te najveće odstupanje od ostalih vrijednosti je utvrđeno na Lokaciji 1. Niske vrijednosti apsorbancije mogu se objasniti prisutnošću organskih spojeva u niskim koncentracijama. Najčešće je riječ o nedostatku specifičnih vrsta organskih spojeva, a to su aromatski ugljikovodici.



**Slika 8.** Prikaz medijana, minimuma, maksimuma, donjeg kvartila i gornjeg kvartila UV apsorbancije pri 254 nm u uzorcima vode za piće sa 7 lokacija javnih slavina

#### 4.2.6 Korelacija parametara pokazatelja kvalitete vode za piće

U ovom radu provedena je obrada dobivenih rezultata uključujući korelaciju fizikalno-kemijskih parametara, metala, trihalometana, organske tvari i iona analiziranih u vodi za piće, kako bi se utvrdila njihova međusobna povezanost (Prilog 1). Nije provedena korelacija mikrobioloških parametara jer su sve vrijednosti iznosile 0, odnosno u vodi nisu bili prisutni mikroorganizmi. Faktor korelacije je mjera koja se koristi kako bi se uspostavio odnos između dvije varijable.



Utvrđena je jaka pozitivna korelacija ( $r > 0,8$ ) između nekih iona, metala i fizikalno-kemijskih parametara, dok značajne negativne korelacije uglavnom nisu utvrđene ( $r > -0,8$ ).

Koncentracije hidrogenkarbonata, nitrata, kalcija, kalija, klorida, barija i magnezija su snažno pozitivno korelirane. Prisutnost kalcija i magnezija u vodi predstavlja mjeru ukupne tvrdoće vode (Patil i sur., 2012). Barij, kalcij, stroncij, kalij i natrij pripadaju skupini elemenata koji su prirodno prisutni u vodi za piće. Povišene koncentracije nitrata najčešće upućuju na mikrobiološku kontaminaciju i poljoprivrednu aktivnost. Nitrati i kloridi često potječu iz istih izvora zagađenja, odnosno mogu se pojaviti kao rezultat poljoprivredne aktivnosti. Prema tome, visoke koncentracije nitrata mogu ukazivati i na visoku koncentraciju klorida u vodi. Također, geološki sastav tla i stijena u određenom području može imati utjecaj na koncentraciju nitrata, klorida, barija i magnezija u vodi (Kothari i sur., 2021). Koncentracije klorida imaju najjaču pozitivnu korelaciju s koncentracijama sulfata, kao što sam već navela uzrok tome je njihova prisutnost u stijenama. Također, jedna mogućnost je i da kloridi mogu dospjeti u vodu putem poljoprivrednih aktivnosti i kanalizacijskih sustava (Kumar i sur., 2017).

Uz navedene parametre, kalcij postiže snažnu pozitivnu korelaciju s koncentracijama stroncija te kalij s natrijem, sulfatima i selenom. Također, magnezij je u najjačoj pozitivnoj korelaciji s koncentracijama barija, klorida, stroncija i sulfata. Očekivana je snažna pozitivna korelacija između kalcija, kalija, natrija i magnezija iz razloga što navedeni kationi najčešće dopijevaju u vodu iz stijena otapanjem. Također, uočena je snažna pozitivna korelacija između aniona poput hidrogenkarbonata, sulfata, nitrata i klorida iz istog razloga kao što je slučaj i s kationima, odnosno potječu iz stijena (Memon i sur., 2021) što je također vidljivo i na slici 3.

Željezo i mangan snažno pozitivno koreliraju. Razlog tome je što se željezo najčešće pojavljuje u vodi zajedno s manganom te su veće koncentracije češće u podzemnim vodama u odnosu na površinske vode. Visoka pozitivna korelacija željeza i mangana usko je povezana s njihovom prisutnošću u stijenama, odnosno u mineralnim rudama. Visoke koncentracije željeza u vodi mogu biti posljedica interakcija oksidiranih oblika željeza s organskim tvarima te otapanja  $\text{Fe}_2\text{CO}_3$  porijeklom iz stijena pri niskoj pH-vrijednosti vode. Kada voda prolazi kroz stijene koje sadrže mangan i željezo, oni se mogu otopiti i prenijeti u vodu. U tim uvjetima, koncentracije željeza nešto su veće od koncentracija mangana. Prisutnost željeza nadalje može biti rezultat korozije unutar vodoopskrbnog sustava. Povećane koncentracije ovih elemenata su nepoželjne i mogu uzrokovati pojavu crvenkastosmeđeg obojenja vode za piće (Kothari i sur., 2021).

Uz prethodno navedene pozitivne korelacije između fizikalno-kemijskih parametara, javlja se i jaka pozitivna korelacija između koncentracije mangana i željeza i parametra mutnoće. Kako raste koncentracija mangana i željeza, povećava se i zamućenost vode. Povišene koncentracije mangana i željeza u sustavima distribucijskih cijevi kroz koje prolazi voda za piće mogu predstavljati rizik za kvalitetu vode. Kada se Mn i Fe nalaze u reduciranom obliku ( $Mn^{2+}$  i  $Fe^{2+}$ ) obično su izrazito topivi u vodi. Međutim, kada se oni oksidiraju ( $Mn^{3+}$  i  $Fe^{3+}$ ) dolazi do njihovog taloženja, odnosno zamućenje vode. Također, mutnoća se može smatrati indikatorom povećanja koncentracija mangana u sustavima cijevi te može dovesti do promjene boje vode (Li i sur., 2019).

Parametar dibromklormetan ima jaku pozitivnu korelaciju s THM – ukupnim trihalometanima zbog toga to su izmjerene koncentracije dibromklormetana značajno više od ostala tri parametra (kloroform, bromdiklormetan i bromoform) koji čine ukupni THM. Naravno, prisutna je i pozitivna korelacija THM s ostalim navedenim parametrima, kloroformom, bromdiklormetanom i bromoformom. Povišene koncentracije bromiranih THM (dibromklormetan, bromdiklormetan i bromoform) mogu biti i izravno su povezane s povišenim koncentracijama bromida u vodi (Richardson i sur., 2007) iako vrijednosti  $Br^-$  nisu bili mjereni u ovome radu.

Nije utvrđena korelacija između TOC i UV254 nm iako je bila očekivana. TOC i UV254 nm daju informaciju o karakteru prisutnih organskih tvari i potencijal stvaranja produkata dezinfekcije. TOC daje procjenu ukupne koncentracije organske tvari, dok UV254 nm govori o specifičnoj apsorpciji UV svjetlosti koja je povezana s prisutnošću aromatičnih spojeva (Serajuddin i sur., 2018; Ye i sur., 2009). Pretpostavka je da će visoke vrijednosti UV 254 rezultirati visokim TOC vrijednostima. Međutim, u ovom radu dobiveni su drugačiji rezultati. Parametar UV apsorpcije proporcionalan je s koncentracijom organskih tvari te zbog toga se očekuje visoka pozitivna korelacija između UV 254 i TOC (Serajuddin i sur., 2018). U istraživanju koje su proveli Serajuddin i suradnici (2018) ostvarene vrijednosti TOC-a puno su više u odnosu na vrijednosti dobivene u ovom radu. Kretale su se između 21 i 30,5 mg/L pa su samim tim i vrijednost UV254 nm bile više, u rasponu između 0,6 i 1,26. U tom istraživanju utvrđena je snažna pozitivna korelacija između UV 254 i TOC. Jedan od mogućih razloga slabe korelacije između ova dva parametra u ovom radu može biti postojanje organske tvari koja ne apsorbira pri 254 nm ili prisutnosti nekih drugih tvari koje ometaju apsorpciju kao što su suspendirane čestice. Ako voda sadrži organske tvari koje ne sadrže aromatične spojeve može

doći do slabe korelacije, s obzirom na to da UV 254 mjeri specifičnu apsorbanciju povezanu s prisutnošću aromatičnih spojeva.

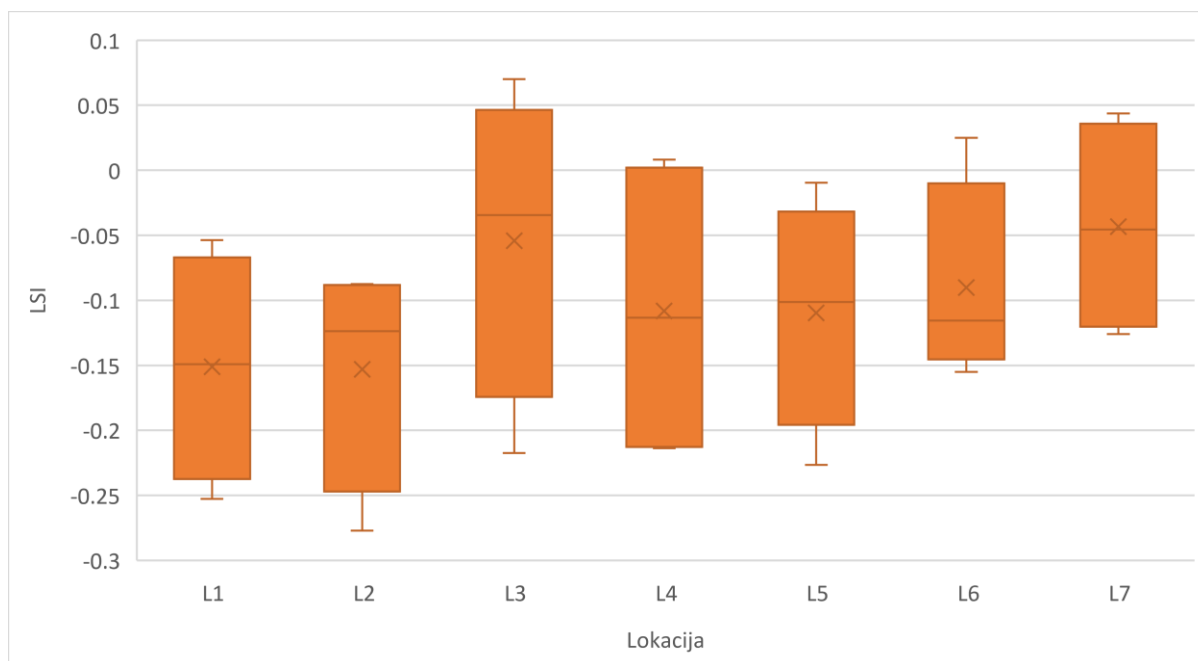
Nusproizvodi reakcija između klora i organskih tvari su THM. Stvaranje THM izravno je povezano s povećavanjem topljivih organskih tvari u vodi (Ye i sur., 2009). Između THM i rezidualnog aktivnog klora nije utvrđena korelacija, iako se očekivala. Mogući razlog za to su niske koncentracije TOC i UV254 što može dovesti do nemogućnosti stvaranja THM. Organske tvari potrebne su za stvaranje THM, a kada su one prisutne u niskoj koncentraciji to neće biti moguće. U ovom radu trihalometani bili su prisutni, ali u izrazito niskim koncentracijama što se može povezati s niskim koncentracijama organskih tvari.

U nekim slučajevima utvrđene su i negativne korelacije između određenih varijabli (kada se jedna varijabla povećava druga se smanjuje i obrnuto). pH-vrijednost ima najjaču negativnu korelaciju s parametrima kao što su vodljivost, hidrogenkarbonat, nitrati, kalcij, magnezij te kloridi. Jaka negativna korelacija između pH-vrijednosti i koncentracije hidrogenkarbonata je očekivana jer koncentracija hidrogenkarbonata predstavlja mjeru alkaliteta vode. Hidrogenkarbonat u vodi obično nastaje otapanjem  $\text{CaCO}_3$  zbog prisutnog  $\text{CO}_2$ . Posljedično, dolazi do porasta koncentracije  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  i  $\text{HCO}_3^-$  koji potječu iz kalcijevog tj. magnezijevog karbonata. Utjecaj nitrata mogao bi se objasniti jedino činjenicom da nitrati pogoduju sniženju pH jer je baza jake kiseline, točnije dušične kiseline. pH-vrijednost je ključan pokazatelj u određivanju korozivnog karaktera vode. Što je niža pH-vrijednost, korozivni karakter vode je izraženiji (Patil i sur., 2012). Uočena je slaba do umjerena negativna korelacija između pH-vrijednosti i bakra, arsena, željeza te olova što govori da što je kiselost vode veća to je slabije otpuštanje navedenih metala.

#### 4.2.7 Prikaz LSI – Langelierovog indeksa stabilnosti

Kako bi se moglo utvrditi kakvog karaktera je analizirana voda za piće s javnih slavina u gradu Zagrebu, određene su LSI vrijednosti. Iz grafičkog prikaza (slika 9) može se zaključiti kakva je stabilnost vode. U većini uzoraka vode za piće izračunate LSI vrijednosti bile su negativne, osim na Lokaciji 3 i Lokaciji 6 u prosincu 2022. te na Lokaciji 7 u siječnju, Lokaciji 4 i Lokaciji 7 u ožujku 2023. Izračunate LSI vrijednosti u uzorcima vode u prosincu na svih 7 lokacija kretale su se u intervalu od -0,191 do 0,07. Najviša vrijednost u iznosu od 0,07 odnosi se na Lokaciju 3, a najniža -0,191 na Lokaciju 1. U mjesecu siječnju vrijednosti LSI u uzorcima vode

s javnih slavina na 7 lokacija kretale su se u rasponu od -0,214 do 0,044 te najviša vrijednost 0,044 ostvarena je na Lokaciji 7, a najniža -0,214 na Lokaciji 4. U veljači, LSI vrijednosti su bile između -0,277 i -0,103, a u ožujku između -0,115 i 0,012. LSI u vrijednosti od -0,103 odnosi se na Lokaciju 7, a -0,277 na Lokaciju 2. Što se tiče mjeseca ožujka, 0,012 odnosi se na Lokaciju 7 i -0,115 na Lokaciju 6.



**Slika 9.** Prikaz medijana, minimuma, maksimuma, donjeg kvartila i gornjeg kvartila LSI - Langelierov indeks stabilnosti u uzorcima vode za piće sa 7 lokacija javnih slavina.

Iz dobivenih rezultata može se zaključiti da voda za ljudsku potrošnju s javnih slavina spada u skupinu stabilnih voda jer vrijednosti LSI kreću se unutar prihvatljivih intervala. Izuzetak su dvije vrijednosti LSI koje odstupaju od donje granice intervala, - 0,25. Na Lokaciji 1 u veljači 2023. izračunata je vrijednost LSI -0,253 što predstavlja graničnu vrijednost, ali nije riječ o većem odstupanju. Razlog tome može biti najniža izmjerena temperatura ( $10^{\circ}\text{C}$ ) na Lokaciji 1 u veljači u odnosu na prosinac, siječanj i ožujak. Također, s obzirom na ostala tri mjeseca, u veljači je izračunata najniža koncentracija kalcija za Lokaciju 1 (170 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ). Osim toga, na Lokaciji 2 isto u mjesecu veljači 2023. LSI vrijednost iznosila je -0,277 što je ispod donje granice intervala prihvatljivosti. Isto kao i s Lokacijom 1, i na Lokaciji 2 je izmjerena najniža

temperatura u veljači te je iznosila 8 °C. To može biti razlog odstupanja LSI vrijednosti od prihvatljivih granica intervala.

Ljudima u gradu Zagrebu osiguran je besplatan pristup vodi za ljudsku potrošnju putem javnih slavina. U Zagrebu postoji 5 izvorišta vode u sklopu sustava javne vodoopskrbe, a to su Mala Mlaka, Petruševac, Sašnak, Zapruđe i Strmec. Navedeni izvori imaju različit mineralni sastav vode te svake godine Vodoopskrba i odvodnja d.o.o. javno objavljuju srednje vrijednosti parametara sukladnosti vode za ljudsku potrošnju u zbirnim vodama vodocrpilišta sustava javne vodoopskrbe Grada Zagreba kao i rezultate ostalih analiza (Tablica kvalitete vode - Grad Zagreb, 2023). Međutim, nema objavljenih rezultata za parametar alkaliteta te nije bilo moguće izračunati LSI vrijednost za izvorišta vode na području Zagreba. Vodljivost je parametar koji ima neizravan utjecaj na LSI i može pružiti važne informacije o mineralnom sastavu vode. Parametar vodljivosti može se uzeti kao indirektan pokazatelj TDS i količine iona. Vrijednosti vodljivosti u travnju 2023. za prethodno navedena izvorišta iznosila su: Mala Mlaka 775  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , Petruševac 471  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , Sašnak 859  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , Zapruđe 427 i Strmec 737  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Sukladno tome, može se zaključiti da su se ovisno o iznosu parametra vodljivosti mijenjale i koncentracije kalcija i magnezija. Najveća koncentracija kalcija ostvarena je na izvoru Sašnak, a magnezija na izvoru Strmec. Također, u vodi za ljudsku potrošnju analiziranu u ovom radu na sličan način kretale su se koncentracije magnezija i kalcija.

Kako bi se zadovoljile potrebe za vodom u gradu Zagrebu provodi se miješanje vode iz više izvorišta. U isto vrijeme, miješanje vode iz više izvorišta s obzirom na njihov različit mineralni sastav pozitivno utječe na stabilnost vode u javnim slavinama na području grada Zagreba. Zahvaljujući parametru vodljivosti, koji se značajno razlikuje od izvorišta do izvorišta, može se zaključiti upravo da je riječ o miješanju vode koje ujedno osigurava stabilnu vodu u smislu LSI. Na Lokaciji 1 izmjerene vrijednosti vodljivosti kretale su se između 406 i 410  $\mu\text{S}/\text{cm}$  što je najbliže vrijednosti vodljivosti ostvarenoj na izvorištu Zapruđe u travnju 2023. Zatim, na Lokaciji 2 izmjerene vrijednosti vodljivosti kretale su se između 414 i 517  $\mu\text{S}/\text{cm}$  što je približno slično vrijednostima vodljivosti vode za piće s izvorišta Petruševac i Zapruđe. Dok su na ostalim lokacijama vrijednosti bile sličnije vrijednostima vodljivosti s izvorišta Mala Mlaka, Sašnak i Strmec. Potrebno je postaviti ciljane vrijednosti LSI te provesti odgovarajuće analize vode za ljudsku potrošnju kako bi se mogli utvrditi odgovarajući omjeri miješanja vode. Ciljane vrijednosti LSI određuju se na temelju preporučenih smjernica i standarda kvalitete vode za piće. Cilj je pomiješati vodu s više izvorišta različitog mineralnog sastava i vodljivosti kako bi se postigla željena ravnoteža vode za piće.

## 5. ZAKLJUČCI

1. Parametri temperatura, mutnoća, pH-vrijednost, vodljivost i slobodni rezidualni klor bili su ispod Pravilnikom propisanih vrijednosti. Vrijednosti temperature kretale su se između 5 i 13,5 °C, zbog toga što se za opskrbu stanovništva grada Zagreba koristi podzemna voda.
2. Koncentracije nitrata u vodi za piće kretale su se ispod maksimalnih dozvoljenih vrijednosti propisanih pravilnikom. Međutim, na Lokaciji 6 u ožujku 2023. izmjerena je najviša vrijednost od 17,25 mg/L.
3. Izmjerene vrijednosti koncentracija Pb, As, Ni, Cr, Se, V, Mo, Zn, Fe, Mn, Al, Ba, Cu i Sr bile su u skladu s propisanim vrijednostima i značajno ispod maksimalno dozvoljenih koncentracija.
4. Utvrđena je snažna pozitivna korelacija između kalcija, kalija, magnezija i natrija, hidrogenkarbonata, sulfata i klorida te mangana i željeza što se može objasniti prisutnošću navedenih elemenata u stijenama vodonosnika.
5. Snažna negativna korelacija uočena je između pH-vrijednosti i parametara poput vodljivosti, hidrogenkarbonata, nitrata, kalcija, magnezija te klorida.
6. Nije utvrđena značajna korelacija između TOC i UV254 što posljedično dovodi do toga da nema korelacije između Cl<sub>2</sub> i THM. Niske vrijednosti TOC i UV254 rezultiraju niskim koncentracijama THM.
7. Prema dobivenim vrijednostima LSI – Langelierovog indeksa stabilnosti može se zaključiti da voda za piće s javnih slavina na području grada Zagreba spada u skupinu stabilne vode. Vrijednosti su se kretale unutar prihvatljivog intervala između -0,25 i 0,25.
8. Svi uzorci uzorkovani na javnim slavinama u promatranom zimskom periodu bili su zdravstveno ispravni i s obzirom na kemijske i mikrobiološke parametre.
9. U daljnjim istraživanjima bilo bi korisno obuhvatiti ljetni period kada se očekuju veće temperature koje pogoduju razvoju mikroorganizama i mogućem utjecaju na Langelierov indeks stabilnosti vode.

## 6. LITERATURA

Albrektienė R, Rimeika M, Zalieckienė E, Šaulys V, Zagorskis A (2012) Determination of Organic Matter by UV Absorption in the Ground Water. *J Environ Eng Landsc Manag* **20(2)**, 163–167. doi:10.3846/16486897.2012.674039

Alsaqqar AS, Khudair BH, Ali SK (2014) Evaluating Water Stability Indices from Water Treatment Plants in Baghdad City. *J Water Resource Prot* **6(14)**, 1344-1351. <http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2014.614124>

Anversa L, Arantes Stancari RC, Garbelotti M, da Silva Ruiz L, Bodelão Richini Pereira V, Nogueira Nascentes GA i sur. (2019) *Pseudomonas aeruginosa* in public water supply. *Water Pract Technol* **14(3)**, 732–737. doi: 10.2166/wpt.2019.057

Assmann C, Scott A, Biller D (2017) Online total organic carbon (TOC) monitoring for water and wastewater treatment plants processes and operations optimization. *Drink Water Eng Sci* **10(2)**, 61–68. <https://doi.org/10.5194/dwes-10-61-2017>

Badr EA, Agrama AAE, Badr SAE (2011) Heavy metals in drinking water and human health, Egypt. *Nutr Food Sci* **41(3)**, 210–217. <https://doi.org/10.1108/00346651111132484>

Beović B (2014) O zagrebačkim Viktorija zdencima. *Hrvatske vode : časopis za vodno gospodarstvo* **22(88)**, 141–144. <https://vode.eindigo.net/casopis-hrvatske-vode/?pr=iiif.v.a&id=19588&tify={%20panX%22:0.42,%20panY%22:0.708,%20view%22:%20info%22,%20zoom%22:0.415}>

Beović B (2016) Priča o pariškim javnim gradskim zdencima. *Hrvatske vode: časopis za vodeno gospodarstvo* **24(95)**, 83–86. <https://hrcak.srce.hr/156337>

Bolf N (2020) Mjerna i regulacijska tehnika. *Kem Ind* **69 (11-12)**, 711–714. <https://hrcak.srce.hr/247615>

De Roos AJ, Ward MH, Lynch CF, Cantor KP (2003) Nitrate in Public Water Supplies and the Risk of Colon and Rectum Cancers. *Epidemiol* **14(6)**, 640–649. DOI:10.1097/01.ede.0000091605.01334.d3

Direktiva (EU) 2020/2184 Europskog parlamenta i Vijeća od 16. prosinca 2020. o kvaliteti vode namijenjene za ljudsku potrošnju (preinaka) (Tekst značajan za EGP) (SL L 435, 23.12.2020.)

ECI (2012) Water is a human right. ECI - European Citizens' Initiative, <https://right2water.eu/> Pristupljeno 25. studenog 2022.

EEA (2018) U prvom planu – Voda u gradu. EEA – Europska agencija za okoliš. <https://www.eea.europa.eu/hr/signals/eea-signali-2018-voda-je-zivot/clanci/u-prvom-planu-2013-voda> Pristupljeno 05. siječnja 2023.

Europska unija, Europska građanska inicijativa „Voda i odvodnja su ljudsko pravo! Voda je javno dobro, a ne roba. [https://europa.eu/citizens-initiative/water-and-sanitation-are-human-right-water-public-good-not-commodity\\_hr](https://europa.eu/citizens-initiative/water-and-sanitation-are-human-right-water-public-good-not-commodity_hr) Pristupljeno 25. studenog 2022.

Fawkes L, Sansom G (2021) Preliminary Study of Lead-Contaminated Drinking Water in Public Parks—An Assessment of Equity and Exposure Risks in Two Texas Communities. *Int J Environ Res Public Health* **18(12)**, 1-8. DOI: 10.3390/ijerph18126443

Fernández-Luqueño F, López-Valdez F, Gamero-Melo P, Luna-Suárez S, Aguilera-González EN, Martínez AI i sur. (2013) Heavy metal pollution in drinking water-a global risk for human health: A review. *Afr J Environ Sci Technol.* **7(7)**, 567–584. <https://doi.org/10.5897/AJEST12.197>

Fytianos K, Christophoridis C (2003) Nitrate, Arsenic and Chloride Pollution of Drinking Water in Northern Greece. Elaboration by Applying GIS. *Environ Monit Asses* **93(1-3)**, 55–67. DOI: 10.1023/b:emas.0000016791.73493.aa



Gerke TL, Little BJ, Maynard JB (2016) Manganese deposition in drinking water distribution systems. *Sci Total Environ* **541**, 184–193. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.054>

Haiyan L (2011) Water supply and the reconstruction of urban space in early twentieth-century Tianjin. *J Urban Hist* **38(3)**, 391–412. doi:10.1017/S096392681100054X

HRN EN ISO 8467:2001 Kakvoća vode -- Određivanje permanganatnog indeksa (ISO 8467:1993; EN ISO 8467:1995).

HRN EN ISO 7150-1:1998 Kakvoća vode -- Određivanje amonija -- 1. dio: Spektrometrijska metoda (ISO 7150-1:1984).

HRN EN 26777:1998 Kakvoća vode -- Određivanje nitrita -- Molekularna apsorpcijska spektrometrijska metoda (ISO 6777:1984; EN 26777:1993).

Hrvatski zavod za javno zdravstvo (2020) Izvještaj o zdravstvenoj ispravnosti vode za ljudsku potrošnju u Republici Hrvatskoj za 2019. godinu. <https://www.hzjz.hr/sluzba-zdravstvena-ekologija/izvjestaj-o-zdravstvenoj-ispravnosti-vode-za-ljudsku-potrosnju-u-republici-hrvatskoj-za-2019-godinu/> Pristupljeno 24. studenog 2022.

Hrvatski zavod za javno zdravstvo (2022) Izvještaj o zdravstvenoj ispravnosti vode za ljudsku potrošnju u Republici Hrvatskoj za 2021. godinu. <https://www.hzjz.hr/wp-content/uploads/2022/08/IZVJESTAJ-O-ZDRAVSTVENOJ-ISPRAVNOSTI-VODE-ZA-LJUDSKU-POTROSNJU-U-REPUBLICI-HRVATSKOJ-ZA-2021.pdf>

Pristupljeno 19. lipnja 2023.

Kelepertsis A, Alexakis D, Skordas K (2006) Arsenic, antimony and other toxic elements in the drinking water of Eastern Thessaly in Greece and its possible effects on human health. *Environ Geol* **50**, 76-84. DOI:10.1007/s00254-006-0188-2

Kothari V, Vij S, Sharma SK, Gupta N (2021) Correlation of various water quality parameters and water quality index of districts of Uttarakhand. *J Environ Sustain* **9**, 100093-100101. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100093>

Kumar SK, Babu SH, Rao PE, Selvakumar S, Thivya C, Muralidharan S i sur. (2017) Evaluation of water quality and hydrogeochemistry of surface and groundwater, Tiruvallur District, Tamil Nadu, India. *Appl Water Sci* **7**, 2533–2544.

DOI 10.1007/s13201-016-0447-7

Li G, Ma X, Chen R, Yu Y, Tao H, Shi B (2019) ) Field studies of manganese deposition and release in drinking water distribution systems: Insight into deposit control. *Water Res* **163**, 114897–114906. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114897>

Mijatović I, Matošić M (2019) Tehnologija vode (Interna skripta). Prehrambeno - biotehnološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.

Medrano MJ, Boix R, Pastor-Barriuso R, Palau M, Damián J, Ramis, R (2010) Arsenic in public water supplies and cardiovascular mortality in Spain. *Environ Res* **110(5)**, 448–454. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2009.10.002>

Memon YI, Qureshi SS, Kandhar IA, Qureshi NA, Saeed S, Mubarak NM i sur. (2021) Statistical analysis and physicochemical characteristics of groundwater quality parameters: a case study. *Int J Environ Anal Chem* **103(10)**, 2270-2291. <https://doi.org/10.1080/03067319.2021.1890064>

Nemčić-Jurec J, Konjačić M, Jazbec A (2013) Monitoring of nitrates in drinking water from agricultural and residential areas of Podravina and Prigorje (Croatia). *Environ Monit Assess* **185**, 9509–9520. DOI 10.1007/s10661-013-3269-1

Nuckols JR, Ashley DL, Lyu C, Gordon SM, Hinckley AF, Singer P (2005) Influence of tap water quality and household water use activities on indoor air and internal dose levels of trihalomethanes. *Environ Health Perspect* **113(7)**, 863–870. <https://doi.org/10.1289/ehp.7141>

Nujić M, Habuda-Stanić M (2017) Nitrates and nitrites, metabolism and toxicity. *Hrana u zdravlju i bolesti, znanstveno-stručni časopis za nutricionizam i dijetetiku* **6(2)**, 48-89. <https://hrcak.srce.hr/198897>

Patil PN, Sawant DV, Deshmukh RN (2012) Physico-chemical parameters for testing of water -A review. *Int J Environ Sci* **3(3)**, 1194–1207.

Pravilnik (2017) Pravilnik o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe. Narodne novine 125, Zagreb. [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017\\_12\\_125\\_2848.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017_12_125_2848.html) Pristupljeno 5. studenog 2022.

Richardson SD, Plewa MJ, Wagner ED, Schoeny R, DeMarini DM (2007) Occurrence, genotoxicity, and carcinogenicity of regulated and emerging disinfection by-products in drinking water: A review and roadmap for research. *Mutat Res* **636(1-3)**, 178–242. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2007.09.001>

Rodriguez MJ, Sérodes JB, Levallois P (2004) Behavior of trihalomethanes and haloacetic acids in a drinking water distribution system. *Water Res* **38(20)**, 4367-4382. doi:10.1016/j.watres.2004.08.018

Roje V, Dukić J, Šutalo P (2019) The first example of multi-elemental analysis of water samples from urban monumental fountains—a case study from Zagreb (Croatia). *Environ Sci Pollut Res* **26**, 2635–2648. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3809-x>

Rusydi AF (2018) Correlation between conductivity and total dissolved solid in various type of water: A review. *Earth Environ Sci* **118**, 1-6. doi:10.1088/1755-1315/118/1/012019

Sarin P, Snoeyink VL, Bebee J, Jim KK, Beckett MA, Kriven WM i sur. (2004) Iron release from corroded iron pipes in drinking water distribution systems: effect of dissolved oxygen. *Water Res* **38(5)**, 1259–1269. doi:10.1016/j.watres.2003.11.022

Schullehner J, Stayner L, Hansen B (2017) Nitrate, Nitrite, and Ammonium Variability in Drinking Water Distribution Systems. *Int J Environ Res Public Health* **14(276)**, 1-9. doi:10.3390/ijerph14030276

Schets FM, During M, Italiaander R, Heijnen L, Rutjes SA, van der Zwaluw WK i sur. (2005) Escherichia coli O157:H7 in drinking water from private water supplies in the Netherlands. *Water Res* **39(18)**, 4485–4493. doi:10.1016/j.watres.2005.08.025

Serajuddin, Chowdhury AI, Ferdous T (2018) Correlation among some global parameters describing organic pollutants in river water: a case study. *Int. J Res Granthaalayah* **6(7)**, 278-289. DOI: 10.5281/zenodo.1341345

Sipahi H, Charehsaz M, Olcek RC, Atakci S, Aydin A (2016) Total Nitrite and Nitrate Levels in Public Water Supplies of Istanbul City. *Turk J Pharm Sci* **13(2)**, 167–172. DOI:10.5505/tjps.2016.09797

Standridge J (2008) *E. coli* as a public health indicator of drinking water quality. *J Am Water Works Assoc* **100(2)**, 65–75. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2008.tb08143.x>

Spellman FR, Drinan JE (2012) *The Drinking Water Handbook*, 2.izd., Tylor & Francis Group, Boca Raton.

Tamasi G, Cini R (2004) Heavy metals in drinking water from Mount Amiata (Tuscany, Italy). Possible risks from arsenic for public health in the province of Siena. *Sci Total Environ* **327(1-3)**, 41-51. doi: 10.1016/j.scitotenv.2003.10.011

Turksoy VA, Deniz S, Tutkun L , Kirat G (2019) Evaluation of the Sources of Yozgat Fountain Water in Terms of Seasonal Distribution, Turkey. *J. Geol. Soc. India* **94(5)**, 538-544. DOI:10.1007/s12594-019-1352-0

UNECE (2019) *The Human Rights to Water and Sanitation in Practice*. UNECE – United Nations Economic Commission for Europe. [https://unece.org/fileadmin/DAM/env/water/publications/WH\\_17\\_Human\\_Rights/ECE\\_MP.WH\\_17\\_ENG.pdf](https://unece.org/fileadmin/DAM/env/water/publications/WH_17_Human_Rights/ECE_MP.WH_17_ENG.pdf)

Pristupljeno 24.studenog 2022.

Vitale K, Afrić I, Šuljić P, Pavić T (2010) Uloga sanitarno-inspekcijskog nadzora vode u osiguranju javnozdravstvene zaštite u Republici Hrvatskoj. *Med Jad* **40(3-4)**, 75–83. <https://hrcak.srce.hr/65091>

Vitoria I, Maraver F, Sánchez-Valverde F, Armijo F (2015) Nitrate concentrations in tap water in Spain. *Gac Sanit* **29(3)**, 217–220. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaceta.2014.12.007>

Vio-Vodoopskrba i odvodnja d.o.o. Kvaliteta vode za ljudsku potrošnju.

<https://www.vio.hr/o-nama/vodoopskrba/kvaliteta-vode-za-pice/tablica-kvalitete-vode-zagreba/1852>

Pristupljeno 28. svibnja 2023.

Völker S, Schreiber C, Kistemann T (2010) Drinking water quality in household supply infrastructure—A survey of the current situation in Germany. *Int J Hyg Environ Health* **213(3)**, 204–209. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2010.04.005>

WHO (2011) Guidelines for Drinking-water Quality 4 izd., WHO – World Health Organization, Geneva.

Yea B, Wang W, Yang L, Wei J, E X (2009) Factors influencing disinfection by-products formation in drinking water of six cities in China. *J Hazard Mater* **171(1-3)**, 147–152. doi:10.1016/j.jhazmat.2009.05.117

Zakon (2023) Zakon o vodi za ljudsku potrošnju. Narodne novine 30, Zagreb. [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013\\_05\\_56\\_1138.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2013_05_56_1138.html)

Pristupljeno 2. lipnja 2023.



## 7. PRILOZI

**Prilog 1.** Prikaz rezultata korelacije svih analiziranih parametara u vodi za piće s javnih slavina u gradu Zagrebu uzorkovanih tijekom četiri mjeseca.

	Temp.	Mutnoća	pH vrijed.	Vodlj.	Slob. rez. klor	Hid.karb.	NO3-	Ca	K	Na	Mg	TOC	THM - ukupni	Kloro -form	Brom-diklor -metan	Dibrom -klor -metan	Bromo -form	Pb	As	
Temp.	1.0000																			
Mutnoća	0.0130	1.0000																		
pH vrijed.	0.3814	0.1925	1.0000																	
Vodlj.	-0.3261	-0.0162	-0.8481	1.0000																
Slob.rez.klor	0.4214	-0.2761	-0.2330	0.1358	1.0000															
Hid.karb.	-0.2994	-0.0245	-0.8822	0.9879	0.1694	1.0000														
NO3-	-0.3369	-0.0077	-0.8722	0.9685	0.1418	0.9860	1.0000													
Ca	-0.2619	0.0464	-0.8155	0.9840	0.1467	0.9802	0.9652	1.0000												
K	-0.3671	0.0466	-0.7747	0.9709	0.0189	0.9468	0.9108	0.9614	1.0000											
Na	-0.3846	-0.0214	-0.7657	0.9624	0.1065	0.9273	0.8873	0.9490	0.9802	1.0000										
Mg	-0.2224	0.0558	-0.8193	0.9811	0.1477	0.9860	0.9765	0.9936	0.9461	0.9211	1.0000									
TOC	-0.0441	-0.0691	-0.1328	0.1434	0.2919	0.1282	0.1396	0.0679	0.0535	0.0671	0.1027	1.0000								
THM - ukupni	-0.1073	-0.2344	-0.0506	-0.0568	0.0649	-0.0037	-0.0154	-0.0498	-0.0685	-0.1043	-0.0471	-0.0055	1.0000							
Kloroform	0.1305	-0.3084	0.1608	-0.2542	0.3414	-0.2309	-0.2238	-0.2946	-0.3311	-0.3253	-0.2634	0.4497	0.4426	1.0000						
Bromdiklormetan	-0.1654	-0.0960	-0.1074	-0.1882	-0.2300	-0.1183	-0.1003	-0.2056	-0.1739	-0.2791	-0.1813	0.0496	0.6273	0.1701	1.0000					
Dibromklormetan	0.0276	-0.0503	0.0739	-0.1407	-0.0540	-0.0944	-0.1143	-0.0864	-0.1352	-0.1697	-0.0956	-0.2902	0.8648	0.1292	0.4945	1.0000				
Bromoform	-0.3925	-0.1581	-0.4133	0.3906	0.0325	0.4134	0.3886	0.3993	0.4342	0.4347	0.3647	-0.1563	0.6113	-0.2662	0.3411	0.5498	1.0000			
Pb	0.1770	0.3127	-0.3488	0.3767	0.1491	0.3457	0.3335	0.3849	0.3291	0.2764	0.3950	0.0819	-0.1420	-0.0760	-0.0987	-0.0272	-0.1549	1.0000		
As	0.0211	0.3388	-0.1619	0.1419	-0.0240	0.1205	0.0788	0.1360	0.1542	0.1296	0.1290	-0.0382	-0.1608	-0.1153	-0.0992	-0.1155	-0.1351	0.4833	1.0000	
Zn	-0.2039	0.4576	-0.2541	0.1047	-0.0873	0.1134	0.1162	0.0802	0.1055	0.0460	0.0933	-0.0852	0.0043	0.0125	0.2117	-0.0305	-0.0716	0.4859	0.7023	
Fe	-0.1171	0.6835	-0.1699	0.1661	-0.0916	0.1616	0.1493	0.1690	0.2033	0.1300	0.1691	-0.1327	-0.0321	-0.1692	0.1365	0.0443	-0.0159	0.6074	0.5440	
Ni	-0.1479	-0.0618	-0.2224	0.3040	0.1659	0.2630	0.2387	0.3085	0.3251	0.3281	0.2722	-0.0450	0.1261	0.0272	-0.1560	0.1351	0.2555	0.3748	0.0737	
Cr	0.0517	0.2673	-0.3799	0.5605	-0.2901	0.5379	0.5056	0.6000	0.6131	0.5258	0.6026	-0.2022	-0.1508	-0.4766	-0.0625	0.0071	0.1511	0.4495	0.3096	
Mn	-0.1330	0.7198	-0.0156	-0.0053	-0.2295	0.0046	0.0177	0.0146	0.0273	-0.0550	0.0219	-0.1359	0.0629	-0.0399	0.2559	0.1363	-0.0985	0.4598	0.3276	
Al	-0.0122	-0.2289	0.3684	-0.4530	-0.0738	-0.4835	-0.4607	-0.4674	-0.4394	-0.4066	-0.5002	-0.1317	-0.1682	0.0749	-0.0127	-0.0774	-0.3603	-0.0003	-0.0138	
Ba	-0.2532	0.0214	-0.7431	0.9531	0.1848	0.9181	0.8810	0.9397	0.9384	0.9384	0.9290	0.1580	-0.0455	-0.1925	-0.3004	-0.0876	0.3490	0.4845	0.1414	
Se	-0.4524	-0.0750	-0.6845	0.8852	0.0656	0.8405	0.8125	0.8571	0.9026	0.9300	0.8237	0.1470	-0.0530	-0.2511	-0.2235	-0.1767	0.4509	0.2037	0.0955	
Cu	-0.1584	0.1940	-0.6072	0.6319	-0.0394	0.6142	0.5903	0.6213	0.6145	0.5620	0.6188	-0.1702	-0.0465	-0.1465	-0.0519	0.0066	0.0738	0.7748	0.3955	
Cl-	-0.3676	-0.0227	-0.8249	0.9892	0.1191	0.9654	0.9346	0.9707	0.9827	0.9890	0.9546	0.0947	-0.0944	-0.3096	-0.2284	-0.1637	0.4124	0.3364	0.1359	
SO42-	-0.4092	-0.0141	-0.7358	0.9370	0.0604	0.8913	0.8476	0.9149	0.9698	0.9911	0.8816	0.0331	-0.1463	-0.3795	-0.2904	-0.1971	0.4334	0.2850	0.1307	
B	-0.3841	-0.2786	-0.3753	0.3250	0.2182	0.3712	0.3688	0.2651	0.3048	0.3361	0.2723	0.2367	0.1566	0.0526	0.0725	-0.0168	0.3465	-0.3700	-0.1759	
V	0.5071	0.1018	0.1838	0.0216	-0.0467	-0.0143	-0.0621	0.0839	0.0532	-0.0042	0.0843	0.0408	-0.0433	0.0276	-0.1449	0.1033	-0.2284	0.5165	0.2430	
Sr	-0.2201	-0.0155	-0.7207	0.9316	0.1962	0.8888	0.8476	0.9091	0.9063	0.9152	0.8992	0.1864	-0.0836	-0.1939	-0.3509	-0.1119	0.3132	0.4943	0.1607	
Mo	0.1558	-0.0591	0.5495	-0.6949	-0.1228	-0.6644	-0.6306	-0.7106	-0.6989	-0.7394	-0.6738	0.0450	0.3067	0.6022	0.3299	0.1994	-0.3533	-0.2670	-0.1345	
UV_254 nm	0.3431	0.2849	0.3201	-0.3140	0.2306	-0.2814	-0.3174	-0.2605	-0.2836	-0.2613	-0.2624	-0.0167	-0.1007	0.1061	-0.2324	-0.0473	-0.1465	-0.1641	-0.0365	

	Zn	Fe	Ni	Cr	Mn	Al	Ba	Se	Cu	Cl-	SO42-	B	V	Sr	Mo	UV _254 nm
Temp.																
Mutnoća																
pH vrijed.																
Vodlj.																
Slob.rez.klor																
Hid.karb.																
NO3-																
Ca																
K																
Na																
Mg																
TOC																
THM - ukupni																
Kloroform																
Bromdiklormetan																
Dibromklormetan																
Bromoform																
Pb																
As																
Zn	1.0000															
Fe	0.7758	1.0000														
Ni	-0.0576	0.1384	1.0000													
Cr	0.1013	0.2817	0.3053	1.0000												
Mn	0.7165	0.9105	0.0239	0.1680	1.0000											
Al	-0.0185	-0.0766	0.0946	-0.2906	-0.0013	1.0000										
Ba	0.0728	0.2077	0.4552	0.5507	0.0141	-0.4149	1.0000									
Se	-0.0328	0.0730	0.2664	0.4210	-0.1195	-0.4016	0.8438	1.0000								
Cu	0.5283	0.6072	0.3505	0.5242	0.5075	-0.0695	0.6573	0.4536	1.0000							
Cl-	0.0892	0.1672	0.3164	0.5450	-0.0129	-0.4150	0.9497	0.9128	0.6185	1.0000						
SO42-	0.0538	0.1582	0.3427	0.5269	-0.0349	-0.3431	0.9215	0.9237	0.5820	0.9757	1.0000					
B	-0.1343	-0.1258	-0.0622	-0.2605	-0.2124	-0.1928	0.2327	0.3848	-0.1300	0.3451	0.3279	1.0000				
V	-0.1633	0.0075	0.2733	0.4045	-0.0503	0.0269	0.1532	0.0170	0.2190	-0.0111	-0.0200	-0.5517	1.0000			
Sr	0.0370	0.1600	0.4734	0.5411	-0.0491	-0.3878	0.9898	0.8305	0.6448	0.9278	0.9031	0.2171	0.1861	1.0000		
Mo	0.0218	-0.0605	-0.1565	-0.4373	0.1178	0.2335	-0.6395	-0.7138	-0.4111	-0.7320	-0.7455	-0.1198	-0.1201	-0.6497	1.0000	
UV_254 nm	-0.1670	-0.1335	-0.0709	-0.1375	-0.1082	-0.1033	-0.2768	-0.2341	-0.3103	-0.3078	-0.2798	-0.1613	0.1363	-0.2682	0.0122	1.0000

## IZJAVA O IZVORNOSTI

Ja Karla Rotim izjavljujem da je ovaj diplomski rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristio/la drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.

---

Vlastoručni potpis