

# Usporedba fizikalno-kemijskih parametara pitkih voda grada Zagreba i grada Rijeke u 2020 godini

---

**Matić, Ana**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2021**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Medicine / Sveučilište u Rijeci, Medicinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:184:223528>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-08**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Medicine - FMRI Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
MEDICINSKI FAKULTET  
DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ  
SANITARNOG INŽENJERSTVA

Ana Matić

USPOREDBA FIZIKALNO-KEMIJSKIH PARAMETARA PITKIH VODA GRADA  
ZAGREBA I GRADA RIJEKE ZA 2020. GODINU

Diplomski rad

Rijeka, 2021

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
MEDICINSKI FAKULTET  
DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ  
SANITARNOG INŽENJERSTVA

Ana Matić

USPOREDBA FIZIKALNO-KEMIJSKIH PARAMETARA PITKIH VODA GRADA  
ZAGREBA I GRADA RIJEKE ZA 2020. GODINU

Diplomski rad

Rijeka, 2021

Mentor rada: Izv.prof.dr.sc. Aleksandar Bulog, dipl.san.ing.

Diplomski rad obranjen je

dana \_\_\_\_\_ u/na

\_\_\_\_\_, pred povjerenstvom u sastavu:

- 1.
- 2.
- 3.

Rad sadrži 56 stranica, 10 slika, 36 tablica, 18 literaturnih navoda.

## *Zahvala*

*Prvenstveno veliku zahvalnost dugujem svom mentoru, Izv.prof.dr.sc. Aleksandru Bulogu, dipl.san.ing., na svakoj pomoći, sugestiji i ukazanoj podršci pri pisanju ovog diplomskoga rada.*

*Zahvaljujem se Nastavnom zavodu za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije te Nastavnom zavodu za javno zdravstvo dr. Andrija Štampar na susretljivosti i svim ustupljenim materijalima bez kojih ovaj diplomski rad ne bi bio moguć. Također se zahvaljujem Mr.sc. Vandi Piškur dipl.sanit.ing. i dr.sc. Sonji Tolić, dipl.ing.kemije na ukazanoj pomoći.*

*Posebno se zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima na razumijevanju, motivaciji i podršci tijekom cijelog studiranja!*

## SAŽETAK

Sigurna i lako dostupna pitka voda je bitan javnozdravstveni faktor te osnovno ljudsko pravo. Voda za piće mora biti bez boje i mirisa, ne smije sadržavati štetne ili otrovne kemijske tvari te mora biti sigurna na temelju mikrobiološke, fizikalne i kemijske kontrole parametara. Hrvatska spada među najbogatije zemlje prema količini dostupne pitke vode. Svrha ovoga istraživanja je prikazati i usporediti podatke vezane za fizikalno-kemijske parametre pitke vode grada Zagreba i grada Rijeke za 2020. godinu. Analizirani fizikalno-kemijski pokazatelji kvalitete pitkih voda u ovom radu su temperatura, boja, mutnoća, miris, okus, koncentracija vodikovih iona, elektrovodljivost, kloridi, nitrati i nitriti, aluminijski, željezo, mangan, arsen, amonij i utrošak kalijevog permanganata ( $\text{KMnO}_4$ ). Na temelju provedenog istraživanja te uspoređujući prikupljene podatke s važećim zahtjevima te propisima vezanim uz pitke vode, dolazimo do zaključka da su sve ispitane vrijednosti bile unutar vrijednosti propisanih Pravilnikom te da su ispitani uzorci ispravni osim jednog uzorka mutnoće, u siječnu, u gradu Zagrebu. Nadalje, uspoređujući dva navedena grada također možemo zaključiti da je Grad Zagreb imao više temperature pitkih voda, veće koncentracije elektrovodljivosti, klorida i nitrata u uzorcima nego grad Rijeka. Grad Rijeka je imao veću prisutnost boja, veću pH vrijednost i pojavu mutnoća tokom cijele godine u odnosu na grad Zagreb. Oba navedena grada imaju pitku vodu visoke kvalitete ali je potrebno i dalje provoditi monitoring te tako provjeravati zdravstvenu ispravnost istih.

Ključne riječi: Pitka voda, fizikalno-kemijski parametri, grad Zagreb, grad Rijeka

## **SUMMARY**

Safe and easily accessible drinking water is an important public health factor and a basic human right. Drinking water must be colorless and odorless, must not contain harmful or toxic chemicals and must be safe on the basis of microbiological, physical and chemical control of parameters. Croatia is one of the richest countries in terms of the amount of drinking water available. The purpose of this research is to present and compare data related to the physico-chemical parameters of drinking water in the city of Zagreb and the city of Rijeka for 2020. The analyzed physico-chemical indicators of drinking water quality in this paper are temperature, color, turbidity, odor, taste, hydrogen ion concentration, electrical conductivity, chlorides, nitrates and nitrites, aluminum, iron, manganese, arsenic, ammonium and consumption of potassium permanganate ( $\text{KMnO}_4$ ). Based on the research and comparing the collected data with current requirements and regulations related to drinking water, we come to the conclusion that all tested values were within the values prescribed by the Ordinance and that the tested samples are correct, except for one turbidity sample, in January, in Zagreb. Furthermore, comparing the two mentioned cities, we can also conclude that the City of Zagreb had higher drinking water temperatures, higher concentrations of electrical conductivity, chloride and nitrate in the samples than the city of Rijeka. The City of Rijeka had a higher presence of colors, a higher pH value and the appearance of turbidity throughout the year compared to the City of Zagreb. Both of these cities have high quality drinking water, but it is necessary to continue monitoring and thus check their health safety of drinking water.

Keywords: Drinking water, physico-chemical parameters, city of Zagreb, city of Rijeka

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
1.1. Vrste pitkih voda .....	2
1.1.1. Mineralna voda.....	2
1.1.2. Izvorska voda .....	3
1.1.3. Stolna voda.....	3
1.2. Onečišćenja voda.....	4
1.2.1. Kemijsko onečišćenje.....	5
1.2.2. Biološko onečišćenje.....	5
1.2.3. Fizikalno onečišćenje .....	5
1.3. Vodoopskrba Grada Zagreba i Grada Rijeke .....	6
1.3.1. Grad Zagreb.....	6
1.3.2. Grad Rijeka .....	7
1.4. Zakonska regulativa.....	8
1.5. Fizikalno-kemijski parametri.....	10
1.5.1. Temperatura .....	11
1.5.2. Boja .....	11
1.5.3. Mutnoća.....	12
1.5.4. Miris i okus.....	12
1.5.5. Koncentracija vodikovih iona (pH vrijednost).....	13
1.5.6. Elektrovodljivost .....	13
1.5.7. Kloridi .....	14
1.5.8. Amonij.....	14
1.5.9. Nitrati i nitriti .....	15
1.5.10. Aluminijski.....	15
1.5.11. Željezo i mangan .....	16
1.5.12. Arsen.....	16
1.5.13. Utrošak kalijevog permanganata .....	17
2. CILJ ISTRAŽIVANJA .....	18
3. MATERIJALI I METODE .....	19
3.1. Student T-test.....	19
3.2. Određivanje temperature .....	20
3.3. Određivanje boje.....	21
3.4. Određivanje mutnoće.....	22
3.5. Određivanje pH vrijednosti i elektrovodljivosti .....	23



3.6.	Određivanje klorida .....	24
3.7.	Određivanje amonija.....	25
3.8.	Određivanje nitrita .....	25
3.9.	Određivanje nitrata .....	25
3.10.	Određivanje metala .....	26
3.11.	Određivanje oksidativosti (utrošak $KMnO_4$ ).....	26
4.	REZULTATI.....	27
5.	RASPRAVA.....	48
6.	ZAKLJUČAK .....	52
7.	LITERATURA.....	54
8.	ŽIVOTOPIS .....	56



# 1. UVOD

Voda je svojim fizikalnim i kemijskim svojstvima jedinstven spoj u prirodi. Ta svojstva su od goleme važnosti te život bez vode bi bio nemoguć. Pokriva veći dio zemljine površine i čini veći dio ljudskog tijela što ukazuje na važnu vezu između vode, zdravlja i ekosustava. Najzastupljeniji je element živih organizama te igra bitnu ulogu u ljudskome zdravlju. Svaka naša stanica sastoji se od vode i okružena je s vodom, s otopljenim solima. Na vodu otpada između 50-70% tjelesne mase kod odrasle osobe, ovisno o dobi i spolu. Kao otapalo i reagens potrebna nam je za metabolizam i cjelokupnu biokemiju organizma. Uključena je u mnoge tjelesne funkcije, jer služi kao nosač hranjivih tvari u krvožilnom sustavu. Sredstvo je za izlučivanje i uklanjanje toksina iz tijela, a također pruža i strukturnu potporu tkivima i zglobovima. Međutim, ne postoji učinkovit mehanizam skladištenja vode u tijelu, stoga je potrebna stalna opskrba tekućinom da bi se zadržao sadržaj vode.

Pitke vode su vode visoke kakvoće prikladne za ljudsku upotrebu. Manje od 3% vode na planeti upotrebljivo je za piće. Esencijalna je za život ljudi ali nije svuda na planeti jednako dostupna jer je vrlo neravnomjerno raspoređena. Voda za piće mora biti ukusna, bez boje i mirisa, ne smije biti onečišćena zaraznim klicama i ne smije sadržavati štetne ili otrovne kemijske sastojke te mora biti sigurna na temelju mikrobiološke, fizikalne i kemijske kontrole parametara.

Velika količina vode koja je dostupna za konzumaciju ne zadovoljava higijenske uvjete, zakonske parametre i osnovne kriterije koji bi je učinili pitkom, zdravom i sigurnom za čovjekovu konzumaciju. Čista voda za piće prepoznata je kao temeljno pravo čovjeka od strane UN-a 2010 godine. Svaka osoba ima pravo na sigurnu, prihvatljivu, dovoljnu, kontinuiranu te fizički dostupnu, pristupačnu vodu, za kućansku i osobnu upotrebu. Sigurna i lako dostupna voda važna je za javno zdravstvenu zaštitu, bilo da se koristi za piće, kućnu upotrebu, proizvodnju hrane ili u rekreacijske svrhe. Poboljšana vodoopskrba i sanitacija, te bolje upravljanje vodnim resursima, mogu potaknuti gospodarski rast zemalja i mogu pridonijeti smanjenju siromaštva neke zemlje.

Rezultati istraživanja pokazuju kako Hrvatska spada među trideset najbogatijih zemalja vodom u svijetu te jednom od najbogatijih zemalja prema količini dostupne pitke vode. Gledajući samo Europu, na trećem smo mjestu iza Norveške i Islanda. Dok na Zemlji preko 1,1 milijardi ljudi nema pristup pitkoj vodi, od toga 63% ih je u Aziji, 28% u Africi, 7% u

Latinskoj Americi i 2% u Europi. Daljnim porastom broja stanovništva smanjivat će se raspoloživa količina dostupne pitke vode. Uzimajući u obzir činjenicu kako Hrvatska ima dovoljne količine pitke vode za budućnost, ukoliko bude dobro gospodarila njome, možemo reći kako je pitka voda najvažniji hrvatski resurs 21. stoljeća. Taj resurs je dosta puta zanemaren i uziman zdravo za gotovo, a može znatno utjecati na zdravlje čovjeka te sam razvoj države. Pitanje kojim se trebamo pozabaviti je kako očuvati važne zalihe pitke vode i kako izbjeći sve potencijalne opasnosti.

## **1.1. Vrste pitkih voda**

Najprikladnija pitka voda je izvorska voda ali zbog nedostatka izvorske vode koriste se podzemne ili riječne vode koje je prije upotrebe potrebno podvrgnuti pročišćavanju. Stoga razlikujemo tri osnovne vrste pitke vode s obzirom na njezin kemijski sastav i način crpljenja s izvora, a to su mineralna, izvorska i stolna voda. Ispravnost svih vrsta pitkih voda je regulirana Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće Republike Hrvatske. [1]

### **1.1.1. Mineralna voda**

Mineralna voda dobiva se iz bušenih ili prirodnih izvora. Izvire iz podzemnim ležištima koja su prirodno zaštićena od svakog onečićenja. Sadrži prirodno prisutne mineralne tvari koje ljudski organizam ne proizvodi, pa ima blagotvorno djelovanje na čovjekov organizam kao što su mineralizacija kostiju i zuba, regulacija i aktiviranje različitih metaboličkih putova. Razlikuju se od ostale pitke vode zbog čistoće i očuvanosti izvora te zbog stalne razine minerala i ostalih elemenata u tragovima. [1,2]

Prirodna mineralna voda stekla je popularnost tijekom posljednjih desetljeća. Široki izbor različitih vrsta mineralnih voda dovelo je do uvođenja nekoliko klasifikacija mineralne vode. Mineralni sastav omogućuje klasificiranje prirodnih mineralnih voda kao hidrogenkarbonatnih mineralnih voda, sulfatnih mineralnih voda, kloridnih mineralnih voda, kalcijevih mineralnih voda, magnezijevih mineralnih voda, fluoriranih mineralnih voda, željeznih mineralnih voda i voda bogatih natrijevim mineralima. Nuspojave se rijetko mogu naći u ovoj vrsti vode zbog njihove lake podnošljivosti, pojava simptoma može se izbjeći smanjenjem unosom mineralne vode. [2,3]

### **1.1.2. Izvorska voda**

Izvorska voda je izvorno čista i dobiva se iz zaštićenih podzemnih ležišta. To su podzemni izvori koji se spontano pojavljuju na površini zemlje ili su zarobljeni radom izvedenim u tu svrhu, s čistim prirodnim obilježjima koja omogućuju njegovu upotrebu. Te značajke ostaju netaknute, s obzirom na podzemne izvore vode, prirodnom zaštitom vodonosnika od rizika od onečišćenja. Njezine značajke, kao što su stastav i temperatura, moraju biti stalne u okviru prirodnih promjena. Manjeg je stupnja mineralizacije u usporedbi s mineralnom vodom. [1,3]

### **1.1.3. Stolna voda**

Stolna voda je voda koja se proizvodi od vode za ljudsku potrošnju i/ili prirodne mineralne i/ili prirodne izvorske vode tj. od podzemnih i površinskih akumulacija pitke vode. To je kemijski i mehanički pročišćena voda. U tehnološkom procesu obrade mogu se koristiti postupci obrade kao što su odvajanje njezinih nestabilnih elemenata (željezo, mangan, arsen i sumpor), postupci filtracije ili dekantiranja, uz mogućnost prethodne oksigenacije ili obrade sa zrakom obogaćenim ozonom. Dozvoljeno je i dodavanje tvari kao što su kalcijev i natrijev klorid, natrijev karbonat i hidrogenkarbonat, ugljikov dioksid itd. [3,4]

## 1.2. Onečišćenja voda

Jedan od najvećih ekoloških problema današnjice je onečišćenje voda. Možemo to definirati kao kvantitativno i kvalitativno odstupanje od određenog normalnog kemijskog, biološkog i fizičkog sastava te kakvoće vode. Može imati neželjene posljedice na zdravlje čovjeka, ostale žive organizme te na sam ekosustav. [5,6]

Vrste onečišćenja voda se dijele prema izvoru, a to su prirodni (potresi, požari, klimatske promjene..) i antropogeni izvori (prouzročeni djelatnošću čovjeka) te prema prirodi onečišćivača tj. zagađivača na kemijske, fizikalne i biološke. [5]

Najveći uzroci onečišćenja voda su industrija, poljoprivredne kemikalije, herbicidi, pesticidi i umjetna gnojiva, otpadne vode sa stočarskih farmi, otpadne vode iz domaćinstva te kisele kiše. Prije industrijske revolucije česti onečišćivači i zagađivači voda su bili mikroorganizmi. Oni su izljevanjem fekalnih voda u rijeke, jezera i mora zagađivali vodu. Takva zagađena voda je imala glavnu ulogu u nastajanju i širenju zaraznih bolesti kao što su epidemije kuge, kolere, tifusa i paratifusa te dizenterije. Danas je opasnost od mikrobiološkog zagađenja pitkih voda smanjena putem stalnih kontrola kvalitete vode za piće i odgovarajućim protuepidemijskim mjerama. [5,6]

Ono što problem vode čini tako ozbiljnim je činjenica da voda na sebe veže primjese, nečistoće iz atmosfere i tla. Kroz kišu i snijeg se polutanti iz tla i zraka akumuliraju u vodu. Također, izvori vode sve više presušuju, propadanjem tradicionalnih sustava obnavljanja vode. Privatna eksploatacija vode koju je donjela globalizacija, pogoršava siromašenje vode, posebice u onim dijelovima svijeta gdje su njeni resursi ionako ograničeni. [5]

Glavni izvori onečišćenja voda su komunalne, industrijske i poljoprivredne otpadne vode. Pod komunalnim otpadnim vodama smatra se voda korištena za higijenske potrebe ljudi u naselju i domaćinstvima. Takve vode sadrže ekstrakte ljudi i životinja, mikroorganizme, otpatke hrane, ulja, ulične nečistoće i slično. Industrijske otpadne vode sadrže razne kemikalije, gume, metale i slično, a poljoprivredne otpadne vode zagađuju vode na farmama sa mineralnim gnojivima i pesticidima. [5]

### **1.2.1. Kemijsko onečišćenje**

Vode koje su kemijski onečišćene sadrže puno spojeva i otrova te tako narušavaju prirodne karakteristike vode, kao što su pH, mineralni sastav, miris, okus, osmotska vrijednost, količina otopljenog kisika itd. Njihovo prisustvo ima negativan utjecaj na okoliš i čovjeka. Takvo onečišćenje se može podijeliti na anorgansko, organsko i radioaktivno. Najčešći anorganskih spojeva koji mogu biti prisutni u vodi su lužine, soli, kiseline, pijesak i metali. Od organskih spojeva najčešće su prisutni razni otpaci iz domaćinstva i tvornica, a izvor radioaktivnog onečišćenja su odlagališta nuklearnog otpada, nuklearne elektrane te ležišta uranskih ruda. [5,7]

### **1.2.2. Biološko onečišćenje**

Ova vrsta onečišćenja očituje se po prisutnosti raznih patogenih bakterija, virusa, ličinki, gljivica, parazita i drugih sličnih organizama. Mikroorganizmi najčešće dospijevaju u površinske vode iz otpadnih voda ili protjecanjem voda iz poljoprivrede, dok u podzemne vode dolaze iz propusne kanalizacije ili loše izvedenih sabirnih (septičkih) jama. Oni su direktni vektori patogenih mikroorganizama ili uzročnici raznih oboljenja te su opasni za život ljudi i životinja. Ova vrsta onečišćenja se smatra jednom od najopasnijih jer neadekvatnim postupcima obrade vode za piće mogu uzrokovati razne bolesti. Vodom se mogu prenjeti uzročnici bolesti tifusa, paratifusa, kolere, dizenterije, zarazne žutice te trakavice, gliste itd. [5,7]

### **1.2.3. Fizikalno onečišćenje**

Fizikalno onečišćene vode imaju promijenjene osnovne fizikalne karakteristike. Dolazi do promjene boje, okusa i mirisa, povećanje temperature vode, pojave mutnoće vode itd. Povećanje temperature vode često je posljedica ispuštanja rashladne vode iz energetskih postrojenja bez prethodnog hlađenja i industrije, što dovodi do smanjenja koncentracije otopljenog kisika u vodi i to uzrokuje smanjenu razgradnju organskih tvari. Posljedica pojave mutnoće je prisutnost suspendiranih čestica u vodi, koje s vodom čine koloidne otopine ili suspenzije. [5,7]

### **1.3. Vodoopskrba Grada Zagreba i Grada Rijeke**

Hrvatska formalno obiluje vodama ali zbog prostorne i vremenske neravnomjernosti raspored količina voda nije toliko povoljan i ravnomjeran. Radi toga nužno je njezino plansko korištenje. Planiranje korištenja voda je složen proces te najvažnije područje njezinog korištenja je vodoopskrba stanovništva i gospodarstva. [1,6]

Hrvatska je jedna od rijetkih zemalja koja pitku vodu osigurava putem javne vodoopskrbe, stanje same vodoopskrbe po hrvatskim županijama je različito. Oko 90% vodoopskrbe u Hrvatskoj osigurava se iz podzemnih voda. Općenito se neravnomjerni dotok vode i potreba za vodom tijekom godine međusobno ne poklapaju. Za vrijeme malih voda u vodotocima, potrebe za vodom su najveće. Kad su male vode u vodotocima tada su i niske razine podzemnih voda. Određivanje obnovljivih zaliha podzemnih voda temelji se većinom na procjenama zbog složenog hidrogeološkog odnosa te nedovoljno i neravnomjerno istraženih vodonosnika. [1,6]

Površinske i podzemne vode u Republici Hrvatskoj dio su crnomorskog (sliv Save, Drave i Dunava) ili jadranskog sliva (primorsko-istarski i dalmatinski slivovi). Postoji veliki broj prirodnih izvora iz kojih se crpi i prodaje voda za piće. Rijeke crnomorskog sliva su bogatije ukupnom količinom vode, a vode jadranskog sliva su manje izdašne po jedinici površine sliva. [1]

#### **1.3.1. Grad Zagreb**

Grad Zagreb ima optimalne uvjete za opskrbu svoga stanovništva pitkom vodom. Bogate naslage šljunka s vodom u proširenoj ravnici rijeke Save između Medvednice, Plješivice i Žumberačkog gorja omogućile su vrlo obilne nakupine podzemnih voda bitne za Zagreb. Ogromne naslage šljunka u dolini, ispod tanjih i debljih slojeva tla, obrađivala je i taložila rijeka Sava. Navedene taložine tj. slojevi šljunka glavno su izvorište pitke vode za Zagreb i njegovu okolicu. Prilikom nastajanja gradskog vodovoda utvrdilo se da je zaštićena nepropusnim slojem ilovače. Takva voda je prirodno profiltrirana, preventivno se dezinficira s plinovitim klorom nakon što se prisilno podiže iz zdenaca pomoću pumpi i distribuira prema potrošačima. [6,8,9]



Stalne rezerve podzemne vode grada Zagreba procijenjene su na 1450 milijuna m<sup>3</sup> i vezane su uz obnavljanje iz rijeke Save. Savski aluvij ima velike prirodne filtracijske sposobnosti i 99% potreba grada namiruje se iz 15 vodocrpilišta uz Savu, dok se samo 1% zagrebačkih voda dobiva iz medvedničkih potoka. [1]

Osnovne mjere za sprječavanje i suzbijanje zaraznih bolesti su ispitivanje kvalitete izvorišta i zdravstvene ispravnosti vode u vodoopskrbnim objektima i mreži te kontrola dezinfekcije. U gradu Zagrebu službenu kontrolu zdravstvene ispravnosti pitkih voda provodi Nastavni zavod za javno zdravstvo "Dr. Andrija Štampar". Oni vrše kontrolu na zbirnim hidrantima svih vodocrpilišta, vodospremama i u razvodnoj mreži grada Zagreba. [8]

### **1.3.2. Grad Rijeka**

Podzemne vode su također glavni resurs pitkih voda grada Rijeke. Na riječkom području postoji šest izvorišta za javnu vodoopskrbu Rijeke i okolice. To su izvor Rječine, Zvir, Martinšćica, Perilo, Dobrica i Dobra. Svi izvori su priobalni, osim Rječine. Sva izvorišta se nalaze na osjetljivom krškom području, imaju slične karakteristike, koje određuju stijene vapnenca i dolomita. Svrstavaju se umjereno tvrde vode, za čije je korištenje dovoljan postupak dezinfekcije klorovim dioksidom. [10]

Uspostavljeni vodoopskrbni sustav osigurao je priključenje za više od 99% kućanstava i za gospodarstva koja se prostiru na području površine 517 km<sup>2</sup>. Sastoji se od 54 vodospreme i 32 crpne stanice. [10]

Rječina i Zvir su najznačajnija riječka izvorišta. Izvor Rječine nalazi se 15 km od grada Rijeke te na visini od 325 m. Smješten je ispod uspravne vapnenačke stijene u špilji. Presušuje jednom do tri puta godišnje, u trajanju od dva do četiri mjeseca, zbog velikih suša i ledenih zima. Zvir se nalazi u centru grada Rijeke. Radi svojeg velikog slivnog područja koje kreće od slovenskog Snežnika, nikad ne presušuje. [10]

Provođenjem sustavne, kontinuirane kontrole na ključnim kontrolnim točkama identificiranih potencijalnih opasnosti u bilo kojem dijelu procesa omogućava se pravovremeno poduzimanje radnji i postupaka koji su ključni za osiguranje zdravstvene ispravnosti vode. Radi toga je potrebna provedba interne i vanjske kontrole. Službenu

kontrolu zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju u gradu Rijeci provodi Nastavnog zavoda za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije. [10]

#### **1.4. Zakonska regulativa**

Zdravlje populacije ovisi o zdravstvenoj ispravnosti pitke vode te je zbog toga monitoring zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju vrlo bitan faktor. On se provodi na nacionalnoj razini od strane ministra zdravstva gdje prijedloge i koordinaciju vrši Hrvatski zavod za javno zdravstvo, a plan monitoringa provode zavodi za javno zdravstvo hrvatskih županija. Monitoring omogućuje sustavno praćenje zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju, uočavanje osjetljivosti sustava i potencijalnih opasnosti. U svakom gradu provodi se ravnomjerno tijekom cijele godine te obuhvaća kompletan sustav vodoopskrbe tj. centralni vodoopskrbni sustav i lokalne vodovode. [11]

Osim navedene vanjske kontrole provodi se i interna kontrola od strane pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe. Svrha provođenja svih kontrola je dobivanje podataka o senzorskim, fizikalno - kemijskim i mikrobiološkim parametrima. Sve navedeno je definirano zakonima i pravilnikom, a to su:

- Zakon o vodama (NN 153/09, 63/11, 130/11, 56/13,14/14, 46/2018, NN 66/2019),
- Zakon o vodi za ljudsku potrošnju (NN 56/13, 64/15, 104/17, NN 115/18, NN 16/20)
- Pravilnik o parametrima sukladnosti, monitoringu, metodama analize i planovima sigurnosti pitkih voda te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN 125/2017, NN 39/2020)

Kvaliteta vode ocjenjuje se prema dobivenim fizikalnim, kemijskim i mikrobiološkim parametrima (Slika 1). Pravilnikom je također definirano koliko često se provode uzorkovanja vode za ljudsku potrošnju te ono ovisi o količini isporučene vode unutar opskrbne zone u m<sup>3</sup>/dan (Slika 2). Provođenjem sustavne kontrole omogućava se pravovremeno poduzimanje radnji i postupaka koji su ključni za osiguranje zdravstvene ispravnosti vode. [11,12]

<b>Fizikalno-kemijski i kemijski pokazatelji</b>
Boja
Mutnoća
Okus
Miris
Koncentracija vodikovih iona (pH vrijednost)
Vodljivost
Amonij (Napomena 3.)
Nitriti (Napomena 3.)
Nitrati
Kloridi
Utrošak KMnO <sub>4</sub> (Napomena 4.)
Rezidue dezinficijensa (slobodni klor, kloriti, klorati, ozon,...)
Temperatura
Aluminij (Napomena 1.)
Željezo (Napomena 1.)
Arsen (Napomena 1.)
Mangan (Napomena 1.)
<b>Mikrobiološki pokazatelji</b>
<i>Escherichia coli</i> (E. coli)
Ukupni koliformi
Enterokoki
Broj kolonija 22 °C
Broj kolonija 36 °C
<i>Clostridium perfringens</i> (uključujući spore) (Napomena 2.)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (Napomena 5.)
Ostali pokazatelji

Slika 1. Parametri skupine A u monitoringu vode za ljudsku potrošnju  
 Izvor: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017\\_12\\_125\\_2848.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017_12_125_2848.html)

Količina isporučene vode unutar opskrbe zone u m <sup>3</sup> /dan (Napomena 1. i 2.)	Parametri skupine A: Broj uzoraka godišnje (Napomena 3. i 5.)	Parametri skupine B: Broj uzoraka godišnje (Napomena 5.)	Faktor umnoška za monitoring u Republici Hrvatskoj
≤ 100	2 (Napomena 4.)	1 (Napomena 4.)	1
> 100 ≤ 1 000	4	1	2
> 1 000 ≤ 10 000	4 + 3 za svakih 1000 m <sup>3</sup> /dan i njihov dio ukupnog volumena	1 + 1 za svakih 4500 m <sup>3</sup> /d i njihov dio ukupnog volumena	3
> 10 000 ≤ 100 000	4 + 3 za svakih 1 000 m <sup>3</sup> /dan i njihov dio ukupnog volumena	3 + 1 za svakih 10 000 m <sup>3</sup> /d i njihov dio ukupnog volumena	4
> 100 000	4 + 3 za svakih 1000 m <sup>3</sup> /dan i njihov dio ukupnog volumena	12 + 1 za svakih 25 000 m <sup>3</sup> /d i njihov dio ukupnog volumena	4

Slika 2. Učestalost uzorkovanja i analiza vode za ljudsku potrošnju u monitoringu vode za ljudsku potrošnju

Izvor: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017\\_12\\_125\\_2848.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017_12_125_2848.html)

## 1.5. Fizikalno-kemijski parametri

Monitoring vode za ljudsku potrošnju podijeljen je na monitoring parametara skupine A i parametara skupine B. Fizikalno-kemijski pokazatelji kvalitete vode spadaju pod skupinu A, a to su: temperatura, boja, mutnoća, miris, okus, pH vrijednost (koncentracija vodikovih iona), elektrovodljivost, kloridi, nitrati i nitriti, aluminij, željezo, mangan, arsen, amonij i utrošak kalijevog permanganata (KMnO<sub>4</sub>). Fizikalnim pokazateljima određujemo svojstva vode s obzirom na miris, izgled, okus, boju i temperaturu, a kemijskim pokazateljima određujemo upotrebljivost vode.

Pravilnikom su također definirane maksimalno dozvoljene koncentracije (MDK) za ispitivane pokazatelje. (Slika 3)

Pokazatelj	MDK – vrijednost	Mjerna jedinica
Boja	20	mg/l Pt/Co skale
Miris	Bez	-
okus	Bez	
Mutnoća	4	NTU jedinica
pH vrijednost	6.5 – 9.5	pH jedinica
elektrovodljivost	2500	μS/cm pri 20°C
Kloridi	250	mg/l
Amonij (napomena 1)	0,50	mg/l NH <sub>4</sub>
Nitrati	50	mg/l NO <sub>3</sub>
Utrošak KMnO <sub>4</sub>	5.0	mg/l O <sub>2</sub> /l
Rezidualni klor	0.5	mg Cl <sub>2</sub> /l
Kloriti	400	μg/l
Klorati	400	μg/l
THM ukupno	100	μg/l
Željezo (napomena 2)	200	μg/l
Mangan (napomena 2)	50	μg/l
Aluminij (napomena 2)	200	μg/l

Slika 3. MDK vrijednosti za fizikalno-kemijske parametre

Izvor: <https://www.zzjzpgz.hr/vode/obvezni-parametri.pdf>

### **1.5.1. Temperatura**

Jedan od fizikalnih pokazatelja kakvoće vode za piće je temperatura. Mjeri se termometrom te se iskazuje u celzijevim stupnjevima. Usko je povezana s temperaturom okolišta pa je sklona promjenama. Ovisi o godišnjem dobu, klimatskim prilikama, o geološkoj građi terena, vezi podzemnih i površinskih voda, dinamici same vode. Ukoliko dođe do promjene temperature, dolazi i do promjene gustoće vode. Također temperatura utječe i na koncentraciju otopljenog kisika u vodi, na okus, viskoznost, topljivost, mirise i kemijske reakcije, na proces biosorpcije otopljenih teških metala u vodi. [13,14,15]

Toplinsko onečišćenje utječe na povećane vrijednosti temperature vode. Poželjne su što manje oscilacije u temperaturi. Visoka temperatura vode pojačava rast mikroorganizama te mogu povećati probleme povezane s okusom, mirisom, bojom i korozijom. Niska temperatura usporava proces flokulacije i koagulacije. Najveća dopuštena temperatura vode za piće je 25 °C, a najpogodnija je oko 15 °C, jer voda za piće viših temperatura ima malo otopljenih plinova, loš okus i slabo gasi žed. [13,14,15]

### **1.5.2. Boja**

Voda za piće idealno ne bi trebala imati vidljivu boju. Boja u vodi za piće obično je prisutna zbog raspadnutih materijala iz obojenih organskih tvari, povezanih s humusnim udjelom tla. Visoka boja prirodnog organskog ugljika također može ukazivati na veliku sklonost proizvodnji nusproizvoda iz procesa dezinfekcije. Na boju također snažno utječe prisutnost željeza i drugih metala, bilo kao prirodne nečistoće ili kao uzrok korozije. Također može biti posljedica onečišćenja izvora vode industrijskim otpadnim vodama i može biti prva naznaka opasne situacije. Treba istražiti izvor boje u opskrbi pitkom vodom, posebno ako se dogodila značajna promjena. [13,16]

Boja može biti prava i prividna. Prividna boja je cjelokupna boja uzorka vode, a sastoji se i od otopljene i suspendirane komponente boje. Može se ukloniti filtriranjem. Prava potječe od otopljene tvari, a mjeri se nakon filtriranja uzorka vode kako bi se uklonio sav suspendirani materijal. Intenzitet boje u vodi u velikoj mjeri ovisi o pH te uvećava se kod povišenja pH vode. [13,15]

### **1.5.3. Mutnoća**

Mutnoća je zamućenost vode koju uzrokuju suspendirane čestice (glina i mulj), kemijski talozi (mangan i željezo), organski materijali i drugi čvrsti materijali u vodi. Mutnoća također može biti uzrokovana lošom kvalitetom vode na izvorima, lošim pročišćavanjem unutar distribucijskih sustava, poremećajem sedimenata i biofilmova ili ulaskom otpadnih voda. Učinak zamućenosti može povećati troškove obrade vode za razne namjene te čestice mogu pružiti skrovišta štetnim mikroorganizmima i time ih zaštititi od postupka dezinfekcije. Također suspendirane čestice služe kao adsorpcijski medij za teške metale (živa, krom, olovo, kadmij) i mnoge druge opasne organske onečišćujuće tvari (poliklorirani bifenili, policiklični aromatski ugljikovodici i pesticidi). Povećanje zamućenosti vode rezultira interferencijom prodiranja svjetlosti, koja će oštetiti vodeni svijet i pogoršati kvalitetu površinskih voda. Podzemne vode obično imaju vrlo malu zamućenost zbog prirodne filtracije koja nastaje dok voda prodire kroz tlo. [13,17]

Vidljiva zamućenost smanjuje prihvatljivost vode za piće. Iako većina čestica koje doprinose zamućenju nemaju zdravstveno značenje (nekad mogu ukazivati na prisutnost opasnih kemijskih i mikrobioloških onečišćenja). Mnogi potrošači zamućenost povezuju sa sigurnošću, a mutnu vodu smatraju nesigurnom za piće. Ovo razmišljanje također potječe od korištenja flaširane vode za piće jer su potrošači navikli konzumirati visokokvalitetnu filtriranu vodu. Ako potrošači izgube povjerenje u opskrbu pitkom vodom, mogu piti manje vode ili koristiti alternative s nižom mutnoćom koje možda nisu sigurne. Bilo kakve pritužbe na neočekivanu zamućenost uvijek treba istražiti jer mogu odražavati značajne kvarove ili proboje u distribucijskim sustavima. [16]

### **1.5.4. Miris i okus**

Čista pitka voda je voda bez mirisa i okusa. Većina ljudi smatra da je voda najukusnija na temperaturi od 10–15°C. Okus i miris u vodi mogu uzrokovati strane tvari poput organskih materijala, anorganskih spojeva ili otopljenih plinova. Ti materijali mogu potjecati iz prirodnih, domaćih ili poljoprivrednih izvora. Promjene u normalnom izgledu, okusu ili

mirisu kod pitkih voda mogu ukazati na promjene u kvaliteti izvora sirove vode ili na nedostatke u procesu pročišćavanja te ih je potrebno istražiti.[13,15,16]

Miris i okus se određuju organoleptički. Miris na sobnoj temperaturi i na 40 °C, a okus također na sobnoj temperaturi i na 12°C. S porastom temperature raste i intenzitet mirisa, pa se na višim temperaturama lakše određuje. [15]

### **1.5.5. Koncentracija vodikovih iona (pH vrijednost)**

Iako koncentracija vodikovih iona, odnosno pH vrijednost, obično nema izravan utjecaj na potrošače, jedan je od najvažnijih parametara kvalitete vode. Definirana je kao negativni logaritam koncentracije vodikovih iona te ukazuje na lužnatost ili kiselost otopina. Kisela otopina sadrži dodatne vodikove ione ( $H^+$ ), a lužnata otopina sadrži dodatne hidroksilne ( $OH^-$ ) ione. pH se kreće u rasponu od 0 do 14, s tim da je 7 neutralno. pH viši od 7 karakterizira vodu lužnatom, pH niži od 7 kiselom. [13,17]

pH vrijednost kod čistih voda ovisi o ugljikovom dioksidu iz atmosfere te o prisutnosti karbonata i hidrogenkarbonata. Niska pH vrijednost u čistim vodama posljedica je proizvoda nastalih biljnom razgradnjom, kao što su humus i fluvijaska kiselina. Sigurni raspon pH za pitku vodu je od 6,5 do 8,5. Ako je pH manji od 6,5, on sprječava stvaranje vitamina i minerala u ljudskom tijelu. Više pH vrijednosti od 8,5 daju vodi slani okusi, uzrokuju iritacije očiju te može doći i do poremećaj kože, za pH veći od 11. Visok pH također smanjuje učinkovitost dezinfekcije klorom i ostalih postupaka čišćenja voda. [13,17]

pH vode koja ulazi u distribucijski sustav mora se kontrolirati kako bi se smanjila korozija vodovoda i cijevi u vodovodnim sustavima kućanstva. Ako se korozija ne svede na minimum može rezultirati onečišćenjem vode za piće i štetnim učincima na njezin okus i izgled. [16]

### **1.5.6. Elektrovodljivost**

Električna vodljivost vode mjera je sposobnosti otopine da provodi električnu struju. Budući da električnu struju nose ioni u otopini, provodljivost se povećava s povećanjem koncentracije iona. Otopine većine anorganskih spojeva relativno dobro provode struju, dok molekule organskih spojeva slabo provode struju. Elektrovodljivost neke vode ovisi o parametarima kao što su temperatura, pH vrijednost, alkalnost, ukupna tvrdoća, kalcij, ukupne

krutine, ukupne otopljene krutine, kemijska potreba za kisikom, koncentracija klorida i željeza u vodi.[13,14,15]

Kvaliteta podzemne vode za piće na nekom području može se učinkovito provjeriti kontrolom vodljivosti vode, a to se može primijeniti i na upravljanje kvalitetom vode na drugim istraživanim područjima. [14]

### **1.5.7. Kloridi**

Najučestaliji kloridi koji se pojavljuju kod većine prirodnih voda su NaCl, MgCl<sub>2</sub> i CaCl<sub>2</sub>. Kloridi u nekim krškim vodama značajnije se mijenjaju ovisno o razini podzemnih voda, odnosno oborina. Navedenih iona je puno više u sušno, nego u kišno doba. Povećane koncentracije klorida u vodi mogu ukazati na onečišćenje kemijskim tvarima, a uzrokuju slani okus vode. Soli dolaze u vodu putem životinjskih i ljudskih fekalija, iz tvornica i praonica, pri miješanju morske vode s podzemnim vodama te iz mineralnih naslaga klorida u zemlji. [15,16]

Okusni pragovi za kloridni anion ovise o pridruženom kationu i kreću se u rasponu od 200-300 mg/l za natrijev, kalijev i kalcijev klorid. Pitke vode sadrže na litru vode od 10-30 mg klorida, a morska voda od 15-18 g/l. Vode s više od 250 mg/l klora u obliku klorida ne preporučuju se za piće. Kloridi su sami po sebi ne škodljivi, ali uzrokuju u većim koncentracijama koroziiju metala. [15,16]

### **1.5.8. Amonij**

Amonij je ionizirani oblik amonijaka (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Nalazi se u atmosferi i kišnici, u malim količinama. U okolišu potječe od metaboličkih, poljoprivrednih i industrijskih procesa te od dezinfekcije kloraminom. U vodi je pokazatelj mogućeg zagađenja bakterijskim, kanalizacijskim i životinjskim otpadom. U vodi za piće ne smatra se toksičnim za čovjeka pri očekivanim koncentracijama u resursima vode. Amonij može ugroziti učinkovitost dezinfekcije, rezultirati stvaranjem nitrita u distribucijskim sustavima, uzrokovati kvar filtera za uklanjanje mangana i može uzrokovati probleme s okusom i mirisom. U vodi ima karakterističan miris te prema pojedinim materijalima je korozivan. [15,16]



### **1.5.9. Nitrati i nitriti**

Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), prirodno se nalazi u okolišu i važan je hranjivi biljni sastojak. Prisutan je u različitim koncentracijama u svim biljkama i dio je dušikovog ciklusa. Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ), obično nije prisutan u značajnim koncentracijama, osim u reducirajućem okruženju, jer je nitrat stabilnijeg oksidacijskog stanja. [16]

Nitrati u vodi mogu biti prirodnog i antropogenog podrijetla. Prirodno podrijetlo nitrata potječe od mikrobne aktivnosti u tlu. Višak slobodnog amonijaka koji ulazi u distribucijski sustav može dovesti do nitrifikacije i potencijalnog povećanja nitrata i nitrita u vodi za piće. Nitrati mogu doći do površinskih i podzemnih voda kao posljedica poljoprivrednih aktivnosti (uključujući pretjeranu primjenu anorganskih dušičnih gnojiva), odlaganjem otpadnih voda i oksidacijom dušičnih otpadnih tvari u izlučevima ljudi i drugih životinja, uključujući septičke jame. [13,16]

Općenito, najvažniji izvor čovjekove izloženosti nitratima i nitritima je kroz prehranu (povrće i meso). Međutim, u nekim okolnostima voda za piće može značajno doprinijeti unosu nitrata, a povremeno i unosu nitrita. U slučaju dojenčadi koja se hrane na bočicu, prekomjerna koncentracija nitrata (više od 10 mg/L) u vodi za piće izravno i ozbiljno ugrožava njihovo zdravlje. Nitratni ioni reagiraju s hemoglobinom u krvi, smanjujući time sposobnost krvi da zadrži kisik što dovodi do bolesti koja se naziva sindrom plave bebe ili methemoglobinemija. [16]

### **1.5.10. Aluminiј**

Aluminiј je jedan od najzastupljenijih metala te čini oko 8% Zemljine kore. Aluminiјske soli široko se koriste u obradi vode kao koagulanti za smanjenje organske tvari, boje, zamućenosti i razine mikroorganizama. Takva uporaba može dovesti do povećanih koncentracija aluminiјa u vodi. Tamo gdje su zaostale koncentracije visoke, mogu nastati nepoželjne boje i zamućenost vode. Koncentracije aluminiјa kod kojih se mogu pojaviti takvi problemi uvelike ovise o brojnim parametrima kakvoće vode i operativnim čimbenicima u uređajima za pročišćavanje voda. Stoga je važno optimizirati procese obrade kako bi se na minimum sveo zaostali aluminiј koji ulazi u distribucijski sustav. [16]

Glavni put unosa aluminijskog kod čovjeka je iz hrane. Ukupni doprinos oralnoj izloženosti čovjeka aluminiju otpada na vodu za piće, za manje od 5% ukupnog unosa. Malo je naznaka da je uneseni aluminij akutno toksičan za ljude, unatoč široko rasprostranjenoj pojavi ovog elementa u hrani, vodi za piće i u mnogim antacidnim pripravcima. [16]

Pretpostavlja se da je izloženost aluminiju rizični faktor za razvoj ili ubrzanje pojave Alzheimerove bolesti u ljudi. Prepoznati su blagotvorni učinci upotrebe aluminijskog kao koagulanta u obradi vode. Uzimajući to u obzir i uzimajući u obzir zdravstvenu zabrinutost zbog aluminijskog tj. njegovu potencijalnu neurotoksičnost, treba se provoditi optimizacija procesa koagulacije u postrojenjima za pitku vodu, kako bi se smanjila razina aluminijskog. [16]

### **1.5.11. Željezo i mangan**

Željezo je također jedan od najzastupljenijih metala u Zemljinoj kori te se uz njega obično javlja mangan. Željezo i mangan se prirodno pojavljuju na mnogim izvorima površinskih i podzemnih voda. Željezo također može biti prisutno u vodi za piće kao rezultat upotrebe željeznih koagulanata ili korozije čeličnih cijevi i cijevi od lijevanog željeza tijekom raspodjele vode. [16]

Iako željezo i mangan ne uzrokuju zdravstvene probleme kod ljudi, vodi za piće daju primjetan gorak okus čak i pri vrlo niskoj koncentraciji. Ti se metali obično javljaju u podzemnoj vodi u otopini kao ioni željeza ( $\text{Fe}^{2+}$ ) i mangana ( $\text{Mn}^{2+}$ ). Kad su ti ioni izloženi zraku, oni tvore netopivu željeznu ( $\text{Fe}^{3+}$ ) i mangansku ( $\text{Mn}^{3+}$ ) formu čineći vodu mutnom i neprihvatljivom za većinu ljudi. Ovi ioni također mogu uzrokovati crne ili smeđe mrlje na rublju i vodovodnim instalacijama. [13]

### **1.5.12. Arsen**

Arsen se široko nalazi u Zemljinoj kori u raznim oksidacijskim stanjima, kao sulfid, metalni arsenid ili arsenat. U vodi je uglavnom prisutan kao arsenat, ali u anaerobnim uvjetima većinom je prisutan kao arsenit. Obično je prisutan u prirodnim vodama u koncentracijama manjim od 1–2  $\mu\text{g/l}$ . Međutim, u vodama, posebno podzemnim vodama, gdje postoje naslage mineralnih sulfida i sedimentne naslage proizašle iz vulkanskih stijena, koncentracije mogu biti znatno povišene. [16]

Osim profesionalne izloženosti, najvažniji putovi izloženosti su putem hrane i vode za piće, uključujući pića koja se proizvode od vode za piće. Akutna toksičnost spojeva arsena kod ljudi pretežno je funkcija njihove brzine uklanjanja iz tijela. Smatra se da je arsin najotrovniji oblik, a slijede ga arseniti, arsenati i organski spojevi arsena. Brojne epidemiološke studije ispitivale su rizik od karcinoma povezanih s unosom arsena putem vode za piće. Međunarodni program za kemijsku sigurnost zaključio je da je dugotrajna izloženost arsenu u vodi za piće uzročno-posljedično povezana s povećanim rizicima od raka kože, pluća, mokraćnog mjehura i bubrega, kao i s drugim kožnim promjenama. Tek treba utvrditi koncentraciju arsena u vodi za piće ispod koje se ne mogu primijetiti učinci, a hitno je potrebno utvrditi mehanizam kojim arsen uzrokuje rak, koji je, čini se, najosjetljivija krajnja točka toksičnosti. [16]

### **1.5.13. Utrošak kalijevog permanganata**

Nije moguće odrediti direktno sadržaj organskih materija u vodi, pa se gleda utrošak kalijevog permanganata ( $\text{KMnO}_4$ ), kako bi se odredila količina organske tvari u vodi. Ukoliko voda sadrži organske tvari životinjskog, ljudskog, biljnog ili industrijskog porijekla, utrošit će određenu količinu  $\text{KMnO}_4$  za njihovu oksidaciju. U vodi se onda prilikom razgradnje  $\text{KMnO}_4$  oslobađa kisik. Nastali kisik oksidira organsku tvar te na osnovi količine utrošenog  $\text{KMnO}_4$  tj. utrošene količine kisika za oksidaciju organske tvari, izračunava se količina organske tvari. [15,18]

Koliko će se biti utrošenog  $\text{KMnO}_4$  ovisi o udjelu organskih tvari u vodi te o njihovoj kemijskoj strukturi. Neke neorganske tvari, poput, nitrita, sumporovodik, dvovalentnog željeza, mogu se pod određenim uvjetima oksidirati s  $\text{KMnO}_4$  tj. utrošiti određenu količinu  $\text{KMnO}_4$ . Stoga, potrošnja  $\text{KMnO}_4$ , smatra se samo uvjetno mjerilom sadržaja organskih tvari u vodi. [15,18]

## **2. CILJ ISTRAŽIVANJA**

Cilj ovoga istraživanja je prikazati i usporediti podatke vezane za fizikalno-kemijske parametre pitke vode grada Zagreba i grada Rijeke za 2020. godinu te također ukazati na važnost pitkih voda Republike Hrvatske. Dobivene vrijednosti uspoređene su i sa važećim zahtjevima te propisima vezanim uz pitku vodu.

### 3. MATERIJALI I METODE

Program ispitivanja se temelji na planu monitoringa te obuhvaća ispitivanje pitke vode javnog vodoopskrbnog sustava grada Zagreba i grada Rijeke. Propisano je gdje i koliko često se provode uzorkovanja pitkih voda. Ukupan broj uzoraka grada Zagreba, fizikalno-kemijskih parametara, u periodu od 1.1.2020. do 31.12.2020. iznosi 15 863, a za grad Rijeku 3 000 uzoraka. Svi podaci su dobiveni od Nastavnog zavoda za javno zdravstvo "Dr. Andrija Štampar" i Nastavnog Zavoda za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije u računalnom programu Windows Excel, statistički su obrađeni Student T-testom te kao takvi interpretirani su u daljnjem radu koristeći Windows Excel program.

Za određivanje koncentracija fizikalno-kemijskih parametara potrebno je koristiti važeće HRN EN ISO norme. Ukoliko za određeni parametar ne postoji navedena norma onda se koriste provjerene metode s dokazanom točnošću.

#### 3.1. Student T-test

T-test, koji se naziva i Student t-test, često se koristi kao statistička metoda za procjenu je li srednja vrijednost podataka iz neovisnog uzorka koji slijedi normalnu raspodjelu u skladu ili značajno odstupa od srednje vrijednosti nulte hipoteze, ili je li razlika statistički značajna između dva neovisna uzorka koja slijede normalnu raspodjelu. Dakle, to je vrsta inferencijalne statistike koja se koristi za utvrđivanje postoji li značajna razlika između sredstava dviju skupina, koje mogu biti povezane u određenim značajkama.

Izračun t-testa zahtijeva tri ključne vrijednosti podataka. Uključuju razliku između srednjih vrijednosti, iz svakog skupa podataka (koja se naziva srednja razlika), standardnog odstupanja svake skupine i broja vrijednosti podataka svake skupine.

Postoji nekoliko različitih vrsta t-testa koji se mogu provesti ovisno o podacima i vrsti potrebne analize, a oni su kategorizirani kao ovisni i neovisni Student T-testovi.

### 3.2. Određivanje temperature

Temperatura pitke vode mjeri se digitalnim termometrom te se iskazuje u celzijevim stupnjevima (Slika 4). Temperatura uzorka vode određuje se u posudi koja služi za prikupljanje samog uzorka. Zatim se termometar uroni u posudu s vodom, očita se i zabilježi temperatura. Postupak se treba ponoviti tri puta na uzorcima vode te se izračuna srednja vrijednost mjerenja. Maksimalno dopuštena temperatura vode za piće prema pravilniku je 25 °C, a najpogodnija je oko 15 °C.



Slika 4. Digitalni termometar

Izvor: Autor

### 3.3. Određivanje boje

Postoje dva postupka koja se primjenjuju za određivanje boje u vodi za ljudsku potrošnju, prirodnim izvorskim, stolnim, površinskim i podzemnim, bazenskim i otpadnim vodama prema međunarodnoj normi HRN EN ISO 7887.

Metoda vizualnog određivanja boje koristi se gdje obojenost ne prelazi granicu od 70 jedinica Pt/Co skale. Princip metode je određivanje intenziteta žuto smeđe boje uzorka vizualnom usporedbom sa serijom standardnih otopina. Intenzitet boje se izražava u jedinicama Pt/Co skale.

Drugi način određivanja boje je određivanje prave boje optičkim instrumentom, UV/VIS spektrofotometar Lambda 25, za određivanje apsorbancije pri valnoj duljini  $\lambda = 410 \text{ nm}$  (Slika 5). Prava boja vode posljedica je isključivo otopljenih tvari, određena nakon filtracije uzorka vode kroz membranski filter veličine pora  $0,45 \mu\text{m}$ . Ova metoda se koristi za određivanje boje uzoraka u vodama gdje obojenost prelazi granicu od 70 jedinica Pt/Co skale.



Slika 5. UV/VIS spektrofotometar Lambda 25  
Izvor: Autor

### 3.4. Određivanje mutnoće

Mutnoća predstavlja redukciju u transparentiji tekućine uzrokovanu prisustvom neotopljenih tvari. Metoda se specificira kao kvantitativna metoda uz korištenje optičkog instrumenta, turbidimetra (nefelometrijsko određivanje mutnoće), prema međunarodnoj normi HRN EN ISO 7027 (Slika 6). Mutnoća mjerenja ovim postupkom primjenjiva je za vode niske mutnoće (voda za piće i voda u prirodi) i izražava se kao formazin nephelometric units (FNU) s rezultatima mutnoće između 0 FNU do 40 FNU.

Metoda se bazira na komparaciji intenziteta svjetla raspršenog u uzorku pod definiranim uvjetima u odnosu na intenzitet raspršenog svjetla potvrđenog referentnog materijala pod istim uvjetima rada. Dobivena vrijednost mutnoće očitava se direktno s instrumenta.



Slika 6. Turbidimetar, HACH 2100N IS  
Izvor: Autor



### 3.5. Određivanje pH vrijednosti i elektrovodljivosti

Provođenje metode mjerenja pH vrijednosti obavlja se pH metrom prema normiranoj metodi HRN EN ISO 10523:2012 (Slika 7). Osnovni princip elektrometrijskog pH određivanja je određivanje aktivnosti hidrogen iona potenciometrijskim mjerenjem korištenjem kombinirane staklene elektrode. pH vrijednost uzorka očitava se direktno s ekrana instrumenta (Slika 8).

Postupak mjerenja električne vodljivosti provodi se s konduktometrom te primjenjuje se u uzorcima vode za ljudsku potrošnju prema međunarodnoj normi HRN EN 27888:2008, prvo izdanje, listopad 2008., Kakvoća vode - Određivanje električne vodljivosti (ISO 7888:1985;en 27888:1993) (Slika 7). Električna vodljivost predstavlja brojčani izraz za svojstvo vodenih otopina da provode električnu struju. Ovo svojstvo ovisi o prisutnosti iona, njihovoj koncentraciji, mobilnosti, valenciji i temperaturi mjerenja. Izražava se kao mS/m i rezultat se očitava direktno s ekrana instrumenta (Slika 8).



Slika 7. pH metar i konduktometar, Mettler Toledo

Izvor: Autor



Slika 8. Zaslona pH metra

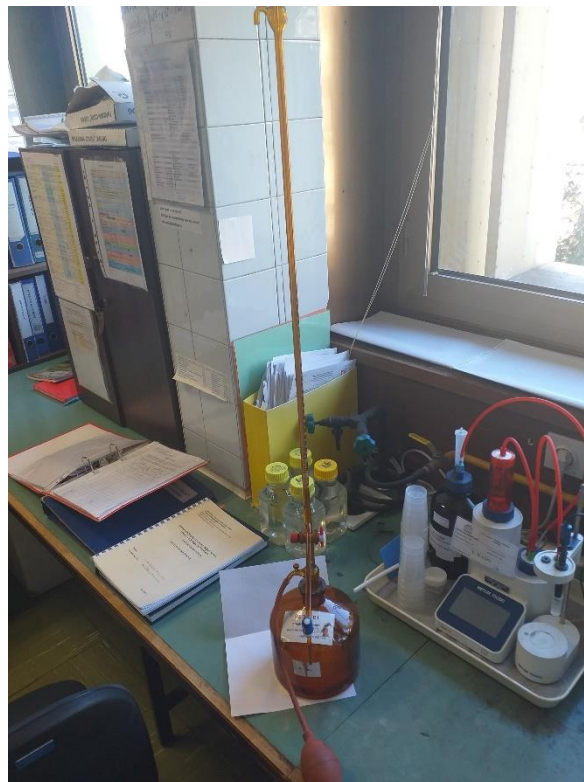
Izvor: Autor

### 3.6. Određivanje klorida

Volumetrijska metoda sa srebrnim nitratom uz kromatni indikator, postupak je koji se primjenjuje za određivanje otopljenih klorida u vodi za ljudsku potrošnju, površinskim i podzemnim vodama, prirodnim mineralnim, izvorskim i stolnim vodama, bazenskoj vodi te otpadnoj vodi prema međunarodnoj normi HRN ISO 9297:1998, prvo izdanje, svibanj 1998.

Metoda je primjenjiva za direktno određivanje otopljenih klorida u koncentraciji između 5 do 150 mg/l. Radno područje metode može doseći 400 mg/l korištenjem birete većeg kapaciteta ili razrijeđivanjem uzorka (Slika 9). Zbog mnogih interferencija tj. smetnji, metoda nije upotrebljiva za jako onečišćene vode niskog sadržaja klorida.

U reakciji klorida s dodanim srebrnim ionima stvara se netopljiva forma srebrnog klorida koji precipitira kvantitativno. Dodatkom male količine srebrnih iona u suvišku dolazi do stvaranja crvenkasto-smeđeg obojenog srebrnog kromata koji nastaje u reakciji s kromatom koji se koristi kao indikator. Ova reakcija koristi se za dokazivanje završne točke titracije. pH se održava u području od 5,0 do 9,5 tijekom reakcije kako bi se omogućila precipitacija.



Slika 9. Bireta, srebrni nitrat (standardna volumetrijska otopina)

### **3.7. Određivanje amonija**

Spektrofotometrijska metoda je metoda koja se primjenjuje za određivanje amonija u vodama za ljudsku potrošnju, površinskim i podzemnim i otpadnim vodama prema međunarodnoj normi HRN ISO 7150-1, prvo izdanje, svibanj 1998.

Metoda se temelji na spektrofotometrijskom određivanju pri valnoj duljini od 655 nm formiranog zelenog obojenog kompleksa koje se stvara pri reakciji amonija sa salicilatnim i hipokloritnim ionima u prisustvu natrijpentacijanoferata(III) (natrij-nitroprusida).

### **3.8. Određivanje nitrita**

Molekularna apsorpcijska spektrofotometrijska metoda primjenjuje se za određivanje nitrita u vodama za piće, vodama u prirodi i otpadnim vodama prema međunarodnoj normi HRN EN 26777, prvo izdanje, svibanj 1998. (ISO 6777:1984; EN 26777:1993).

Nitriti iz otopine reagiraju sa 4-aminobenzen sulfonaminom u prisutnosti fosforne kiseline (pH 1,9), te nastaje diazonijeva sol koja stvara ružičasto obojenje sa N-(1-naftil)-1,2-diaminoetan dihidrokloridom. Spektrofotometrijsko mjerenje apsorpcije provodi se na  $\lambda=540$  nm.

### **3.9. Određivanje nitrata**

Metoda ionske kromatografije primjenjuje se za određivanje otopljenih nitrata u pitkim vodama prema međunarodnoj normi HRN EN ISO 10304-1:2009 (ISO 10304-1:2007;/EN ISO10304-1:2009). Ionska kromatografija proces je kromatografije koji razdvaja ione i polarne molekule na temelju njihovog afiniteta prema ionskom izmjenjivaču.

### **3.10. Određivanje metala**

Prema međunarodnoj normi HRN EN ISO 17294-1:2008; HRN EN ISO 17294-2:2016, tehnikom induktivno spregnute plazme – masena spektrometrija (ICP-MS), određuju se metali: aluminij, željezo, mangan i arsen.

Masena spektrometrija s induktivno spregnutom plazmom je tehnika gdje induktivno spregnuta plazma služi kao ionizacijski izvor, a detekcija se radi pomoću masene spektrometrije. Kod ovog instrumenta koristi se maseni spektrometar sa visokom rezolucijom (high resolution), koji omogućuje korištenje tri različite rezolucije i precizno fokusiranje izotopa. To osigurava kombinacija fizičkog ograničavanja ionskog snopa pri prolasku kroz usku pukotinu, raznovrsnih dimenzija te specifične konstrukcije samog uređaja. Maksimalno razdvajanje izotopa, kojeg mjerimo od mogućih interferencija, ostvaruje se prilikom izbora odgovarajuće rezolucije za pojedini element. Bitne značajke navedenog instrumenta su visoka osjetljivost, multielementna analiza i velik linearni raspon.

### **3.11. Određivanje oksidativnosti (utrošak $\text{KMnO}_4$ )**

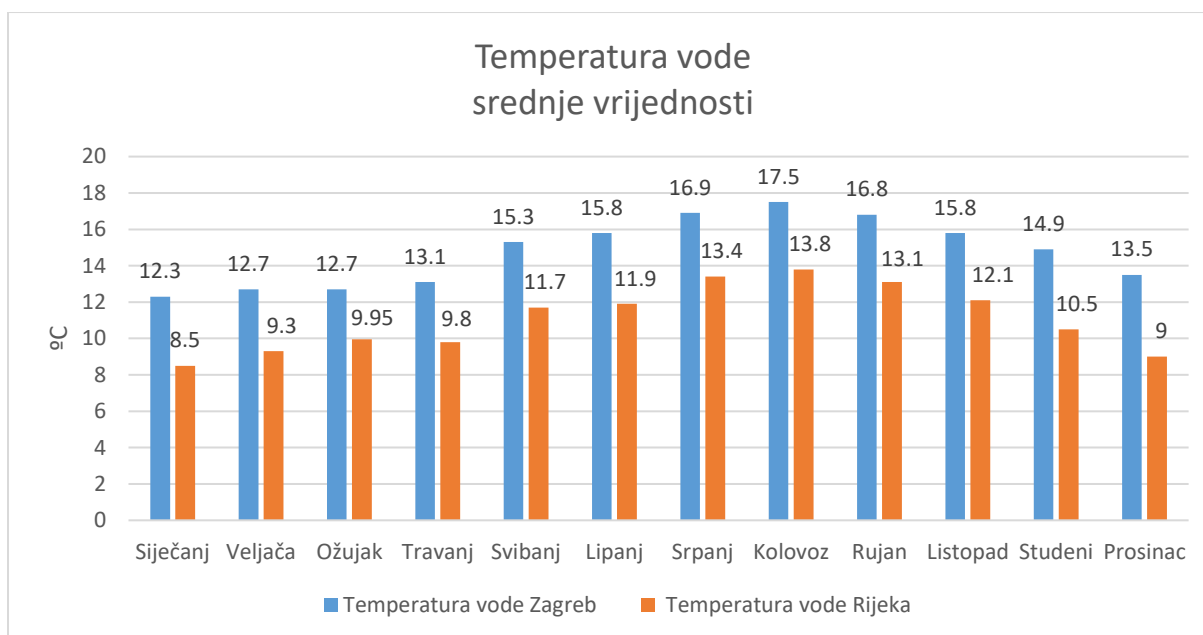
Metoda određivanja permanganantnog indeksa vode, odnosno parametra "oksidativnosti" u vodi za piće, primjenjuje u skladu sa normom HRN EN ISO 8467:2001. Metoda je primjenjiva za vode koje imaju koncentraciju klorida  $< 300$  mg/l. Uzorci kojima je permanganantni indeks  $> 10$  mg/l moraju se prije analize razrijediti. Permanganatni indeks ili utrošak  $\text{KMnO}_4$  jednak je masenoj koncentraciji kisika koji je ekvivalentan količini permanganatnog iona potrošenog u uzorku, koji je tretiran tim oksidantom pri definiranim uvjetima.

Princip same metode temelji se na zagrijavanju uzorka na točki ključanja u vodenoj kupelji s poznatom količinom kalijevog permanganata i sumporne kiseline kroz definirano vrijeme (10 min). Redukcija dijela permanganata oksidirajućim materijalom u uzorku i određivanje utrošenog permanganata dodatkom otopine oksalata u suvišku, nakon čega slijedi retitracija permanganatom.

## 4. REZULTATI

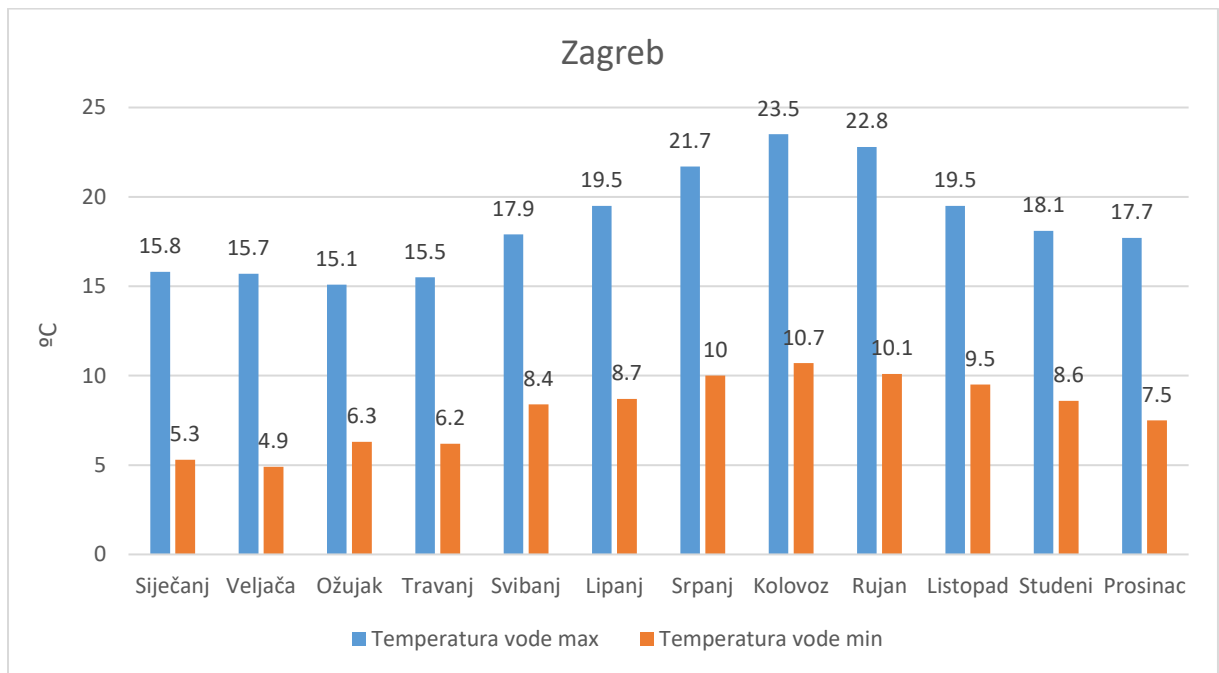
Svi podaci, vezani uz fizikalno – kemijske parametre pitke vode, dobiveni od NZZJZ "Dr. Andrija Štampar" za grad Zagreb i od NZZJZ PGŽ za grad Rijeku, su obrađeni u Windows Excel programu i prikazani grafički kroz srednje vrijednosti te minimalnu i maksimalnu vrijednost. Svaki fizikalno-kemijski parametar je prikazan zasebno te je uspoređivan po mjesecima. Parametri aluminij, arsen, mangan, željezo, amonij i nitrati se nisu uzrokovali i određivali kod pitkih voda u gradu Rijeka za 2020 godinu. za sve ostale parametre broj uzorkovanja iznosi 300, za svaki parametar, kroz 2020 godinu. U gradu Zagrebu broj uzorkovanja za aluminij, arsen, mangan, nitrite i željezo iznosi 97, po parametru, a za ostale po 1398 uzorkovanja po parametru, kroz 2020. godinu.

Graf 1. Srednje vrijednosti temperatura pitkih voda, grada Zagreb i grada Rijeka



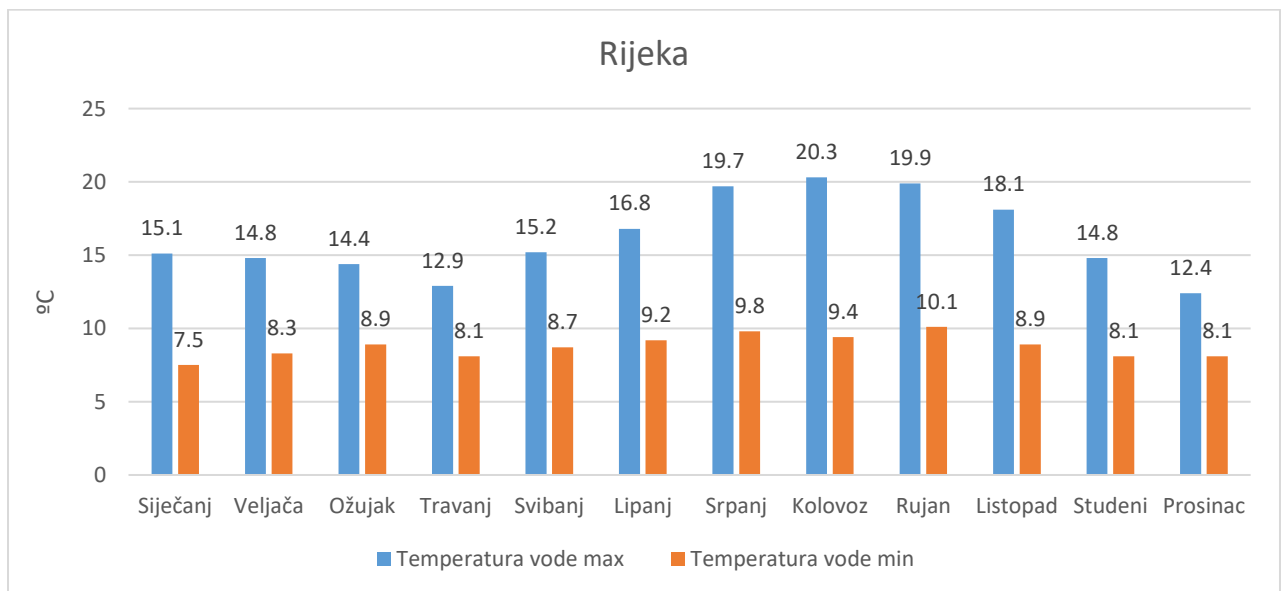
Graf 1 prikazuje srednje vrijednosti temperatura svih uzorkovanja pitkih voda po mjesecima u gradu Zagrebu i gradu Rijeci. Uočljivo su više temperature pitke vode u gradu Zagrebu nego u gradu Rijeci. MDK za temperaturu pitke vode je 25 °C. Vidljivo je iz grafa da za ni jedan grad temperatura ne prelazi MDK, što znači da su svi uzorci ispravni.

Graf 2. Maksimalna i minimalna vrijednost temperature vode u gradu Zagrebu



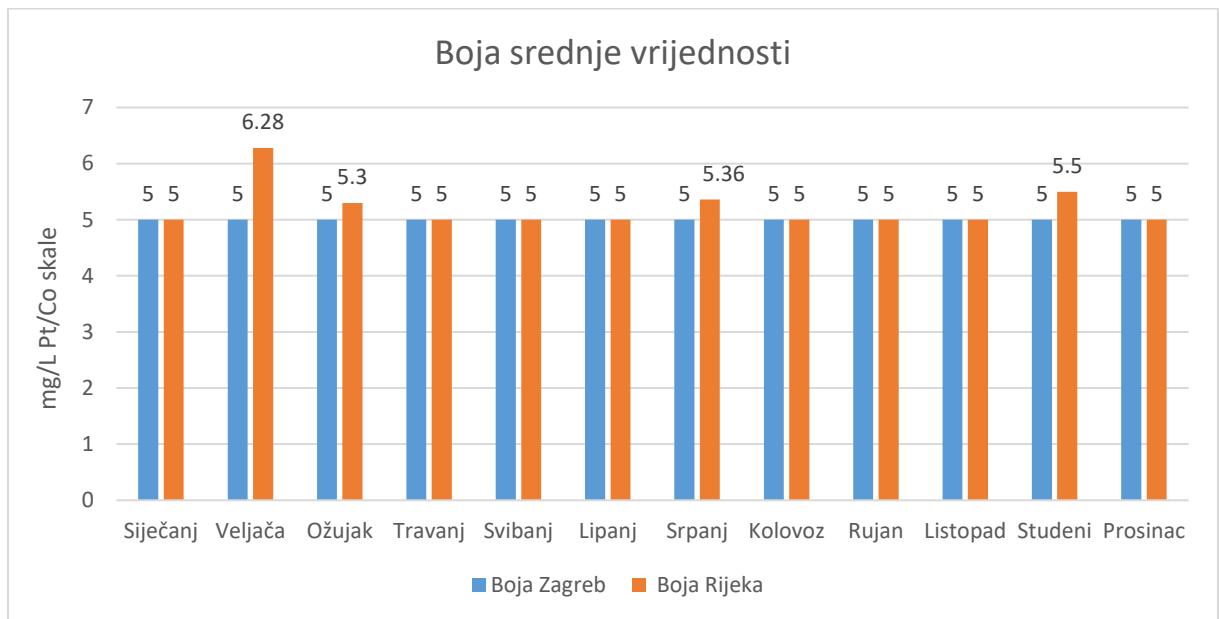
Graf 2 prikazuje maksimalne i minimalne vrijednosti temperature kroz 2020 godinu za grad Zagreb, gdje je vidljivo najviša temperatura u kolovozu (23,5 °C), a najmanja u veljači (4,9 °C).

Graf 3. Maksimalna i minimalna vrijednost temperature vode u gradu Rijeci



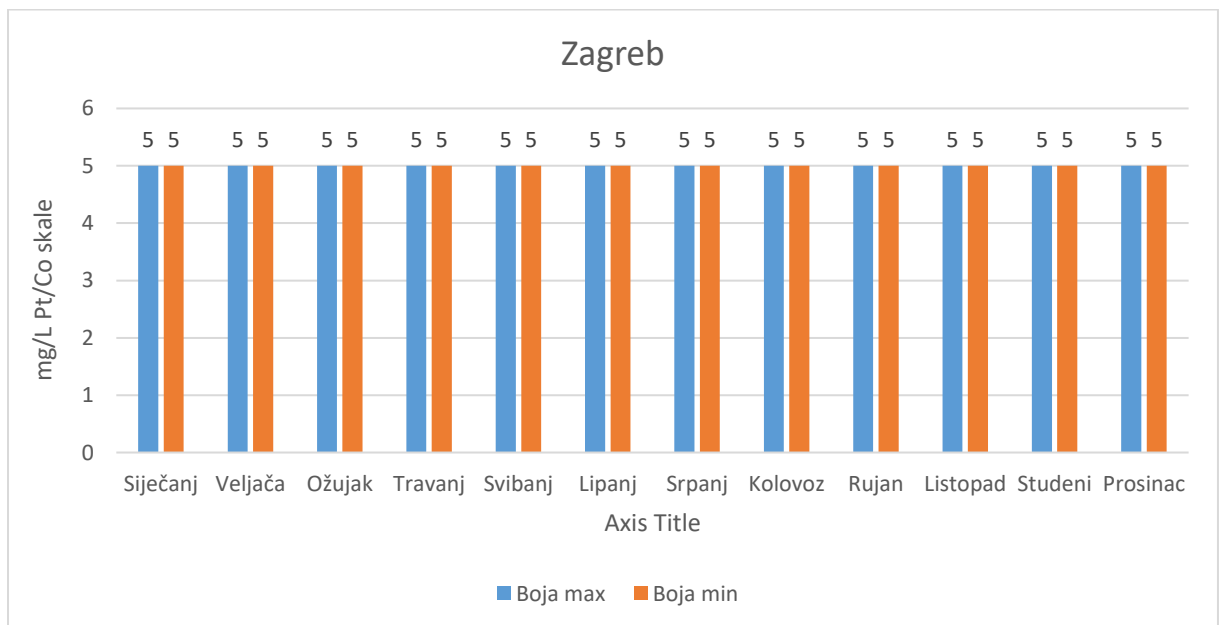
Graf 3 prikazuje maksimalne i minimalne vrijednosti temperature pitkih voda kroz 2020 godinu za grad Rijeku, gdje je vidljivo najviša temperatura u kolovozu (20,3 °C), a najniža u siječnju (7,5 °C).

Graf 4. Srednje vrijednosti za boju pitkih voda



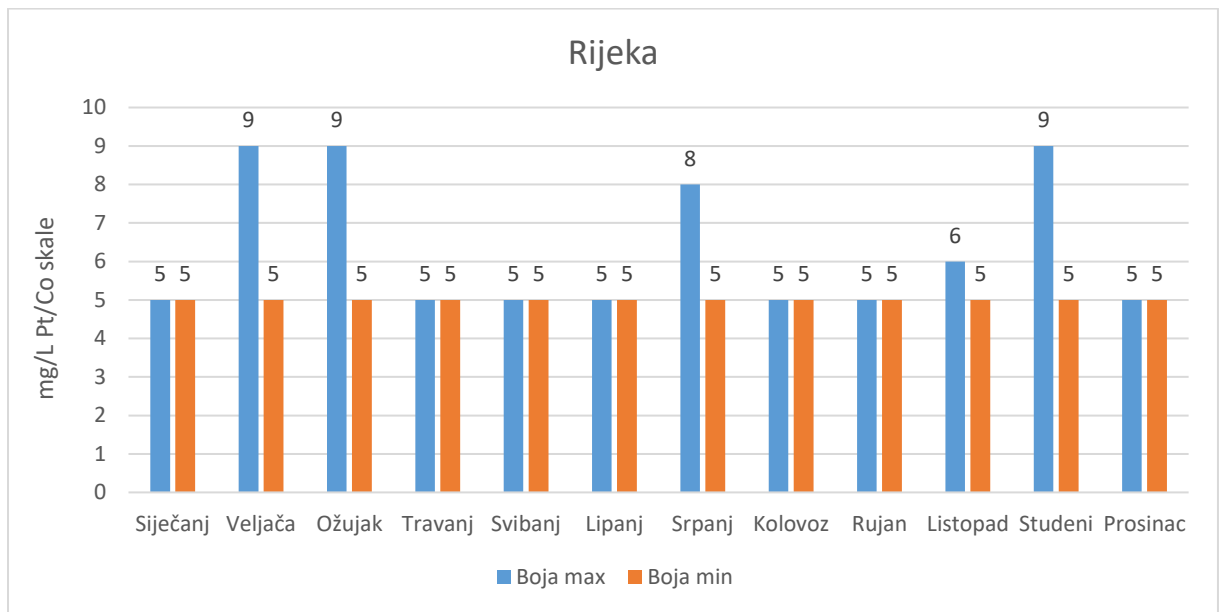
Graf 4 prikazuje srednje vrijednosti parametra boje, gdje je vidljiva veća prisutnost boje kroz veljaču, srpanj i studeni kod grada Rijeke. MDK za boju je 20 mg/L Pt/Co skale, a iz grafa je vidljivo da niti za jedan mjesec vrijednost nije prekoračena te su svi uzroci ispravni.

Graf 5. Maksimalna i minimalna vrijednost za boju, grad Zagreb



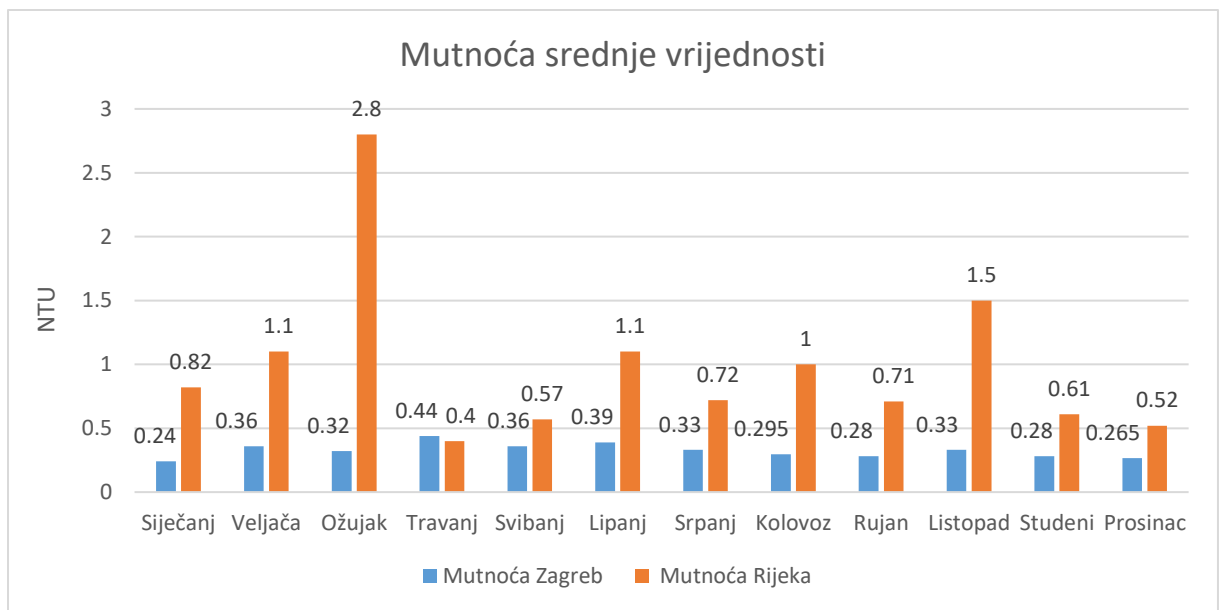
Graf 5 prikazuje jednaku maksimalnu i minimalnu vrijednost prisutnosti boje u uzorcima pitke vode grada Zagreba za 2020 godinu.

Graf 6. Maksimalna i minimalna vrijednost za boju, grad Rijeka



Graf 6 prikazuje da maksimalne vrijednosti za boju su prisutne u uzrocima, u veljači, ožujku i studenom za grad Rijeku tijekom 2020 godine.

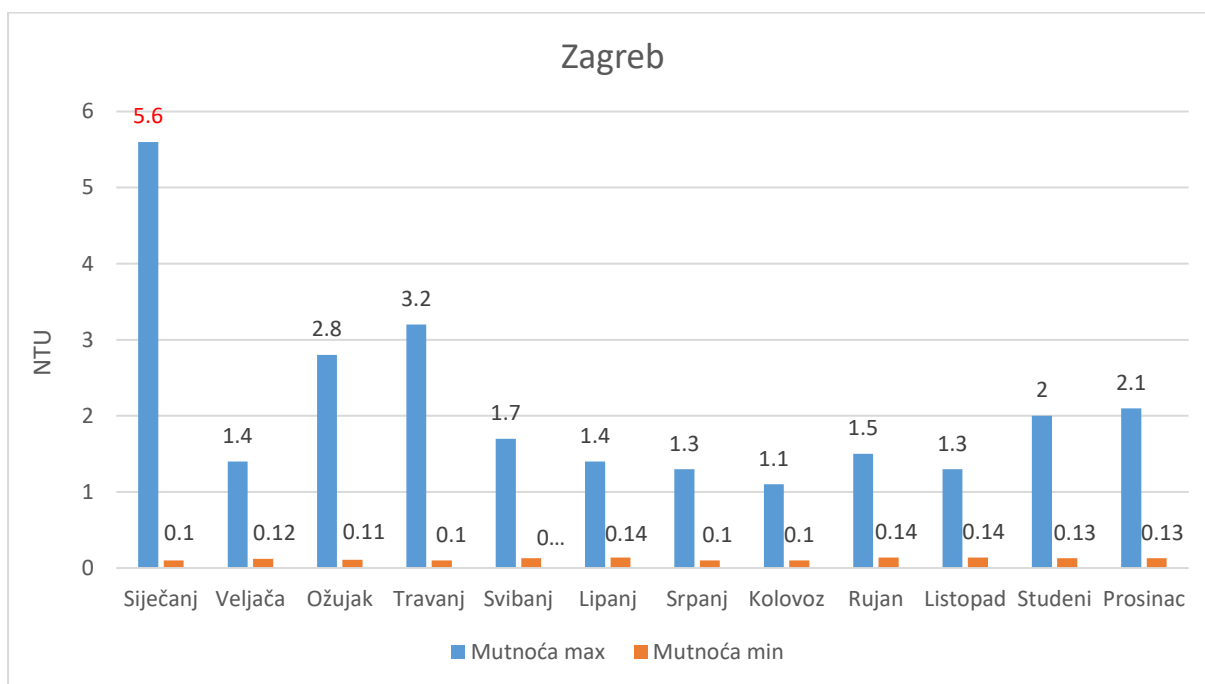
Graf 7. Srednje vrijednosti za mutnoću pitkih voda, grad Zagreb i grad Rijeka



Graf 7 prikazuje srednje vrijednosti za parametar mutnoće u dva navedena grada. Iz grafa je vidljiva povećana vrijednost mutnoće pitkih voda u gradu Rijeci u odnosu na grad Zagreb.

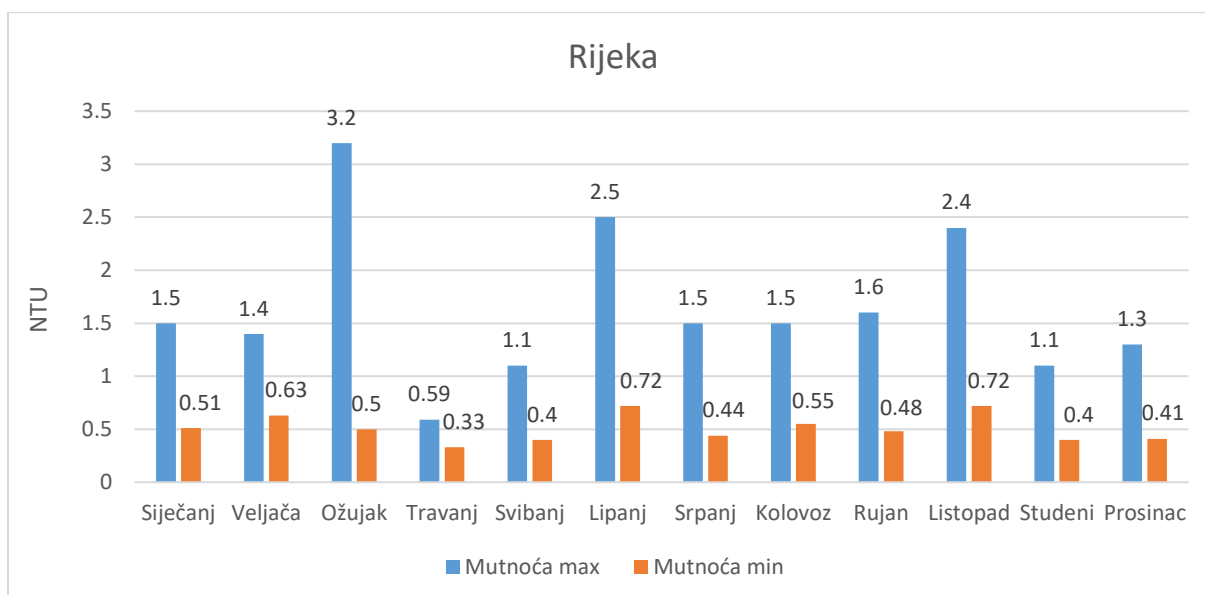


Graf 8. Maksimalna i minimalna vrijednost za mutnoću, grad Zagreb



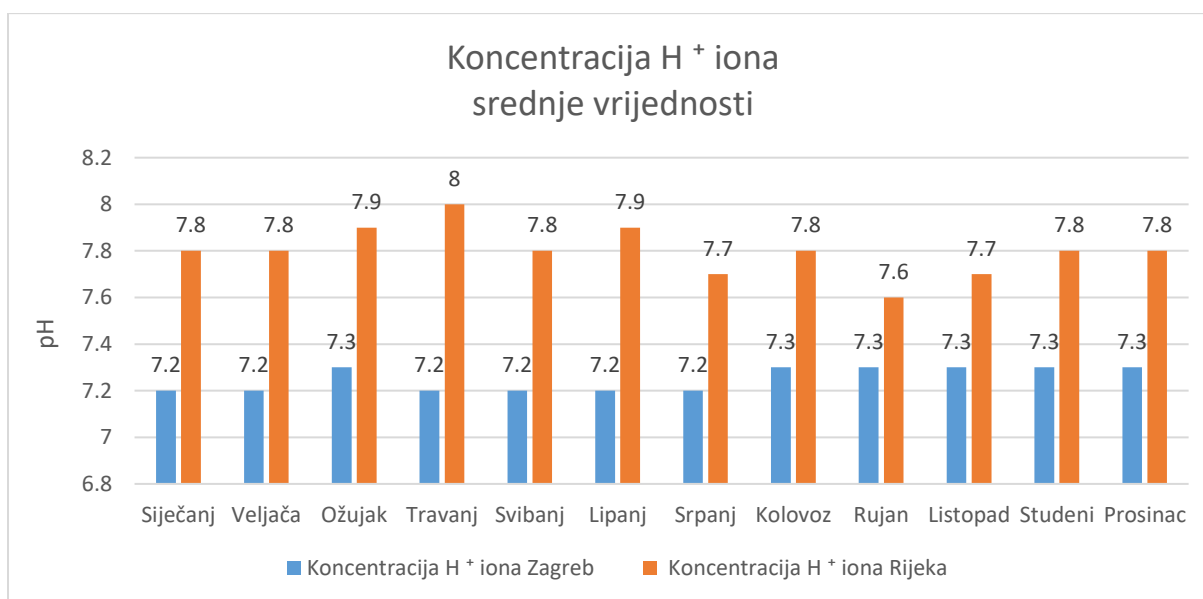
Graf 8 prikazuje maksimalne i minimalne vrijednosti za parametar mutnoće u gradu Zagrebu. MDK za mutnoću pitkih voda iznosi 4 NTU jedinica te je vidljivo iz grafa da jedan uzorak u siječnju iznosi 5,6 NTU jedinica te prelazi MDK i smatra se neispravnim.

Graf 9. Maksimalna i minimalna vrijednost za mutnoću, grad Rijeka



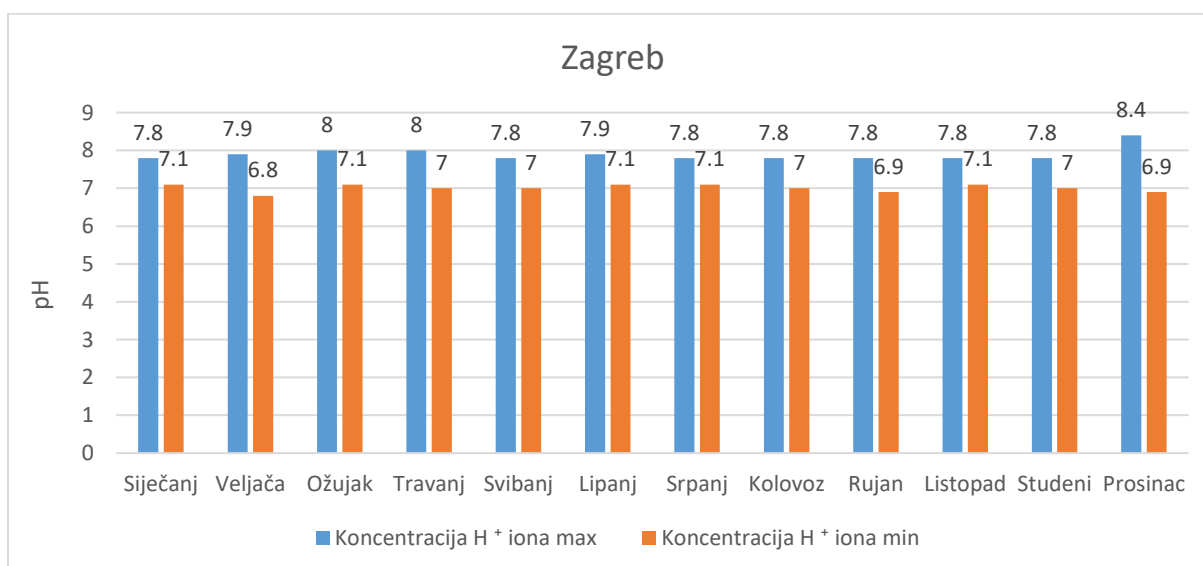
Graf 9 prikazuje maksimalne i minimalne vrijednosti za parametar mutnoće u gradu Rijeci te je vidljivo iz grafa da su svi uzorci kroz 2020 godinu ispravni. Maksimalna vrijednost mutnoće uzorka je prisutna u ožujku (3,2 NTU).

Graf 10. Srednje vrijednosti za koncentraciju vodikovih iona, grad Zagreb i grad Rijeka



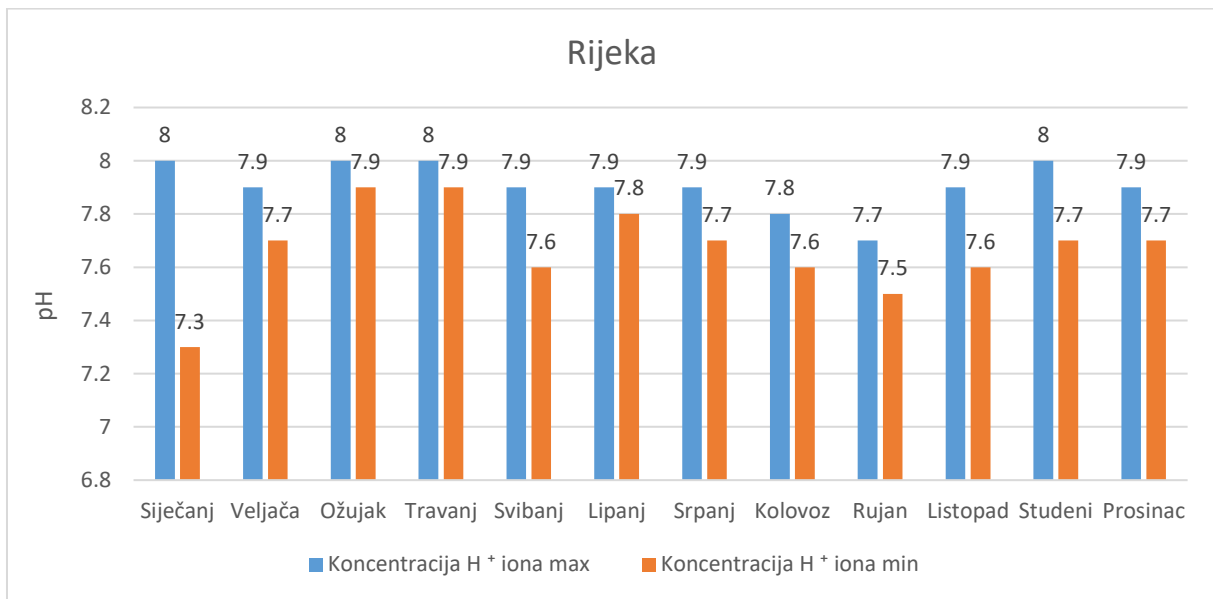
Graf 10 prikazuje srednje vrijednosti uzorkovanja parametra koncentracije vodikovih iona za navedena dva grada. MDK za koncentraciju vodikovih iona tj pH vrijednost je 6.5-9.5 pH jedinica, a iz grafa je vidljivo da su svi uzorci, za oba grada, ispravni.

Graf 11. Maksimalna i minimalna vrijednost za koncentraciju vodikovih iona, grad Zagreb



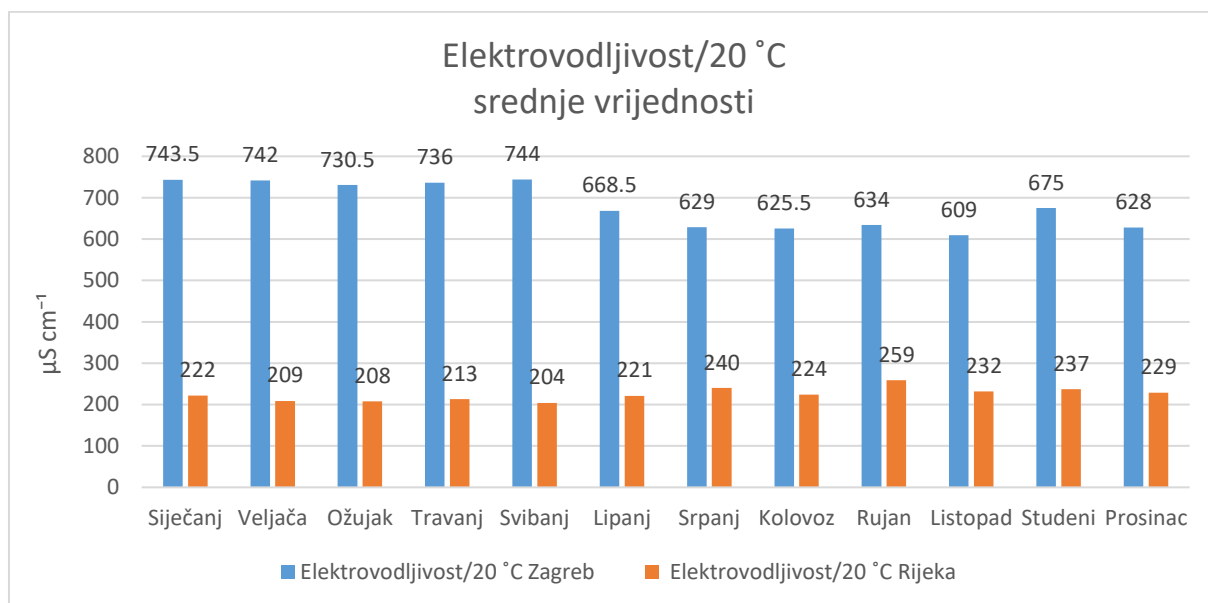
Graf 11 prikazuje da je maksimalna koncentracija vodikovih iona u uzorku pitke vode, u gradu Zagrebu bila u prosincu (8,4 pH), 2020 godine.

Graf 12. Maksimalna i minimalna vrijednost za koncentraciju vodikovih iona, grad Rijeka



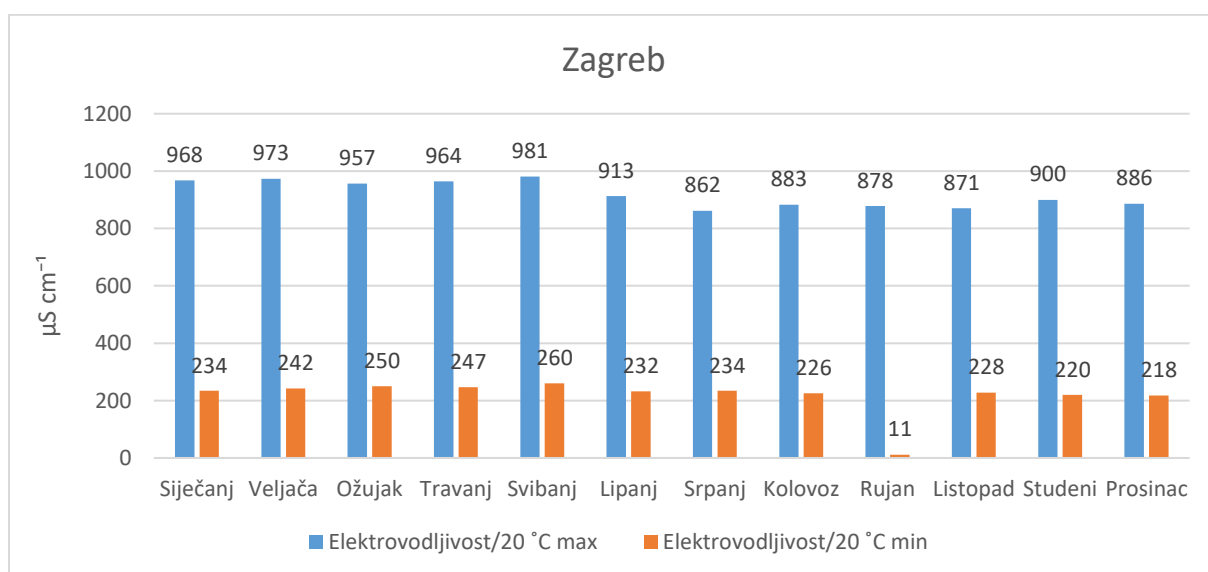
Graf 12 prikazuje da minimalna vrijednost koncentracije vodikovih iona u uzorku je bila u siječnju (7,3 pH), za grad Rijeku, a maksimalne vrijednosti su bile prisutne u uzorcima u siječnju, ožujku, travnju i studenom (8 pH).

Graf 13. Srednje vrijednosti za parametar elektrovodljivosti pri 20 °C, grad Zagreb i grad Rijeka



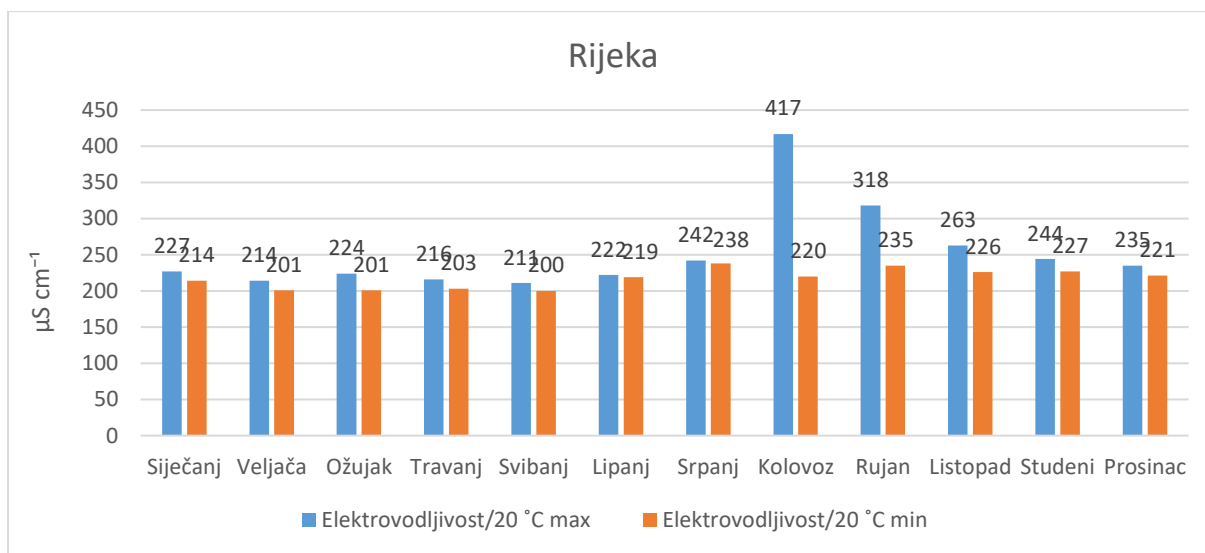
Graf 13 prikazuje srednje vrijednosti za parametar elektrovodljivosti za dva navedena grada. MDK za ovaj parametar iznosi 2500 µS/cm pri 20°C. Iz grafa je vidljivo da ni u jednom mjesecu nije prijeđena dopuštena vrijednost te možemo zaključiti da su svi uzorci ispravni tijekom 2020 godine za ovaj parametar. Nadalje vidimo veće vrijednosti za ovaj parametar u uzorcima pitke vode u gradu Zagrebu u odnosu na grad Rijeku.

Graf 14. Maksimalna i minimalna vrijednost parametra elektrovodljivosti pri 20 °C, grad Zagreb



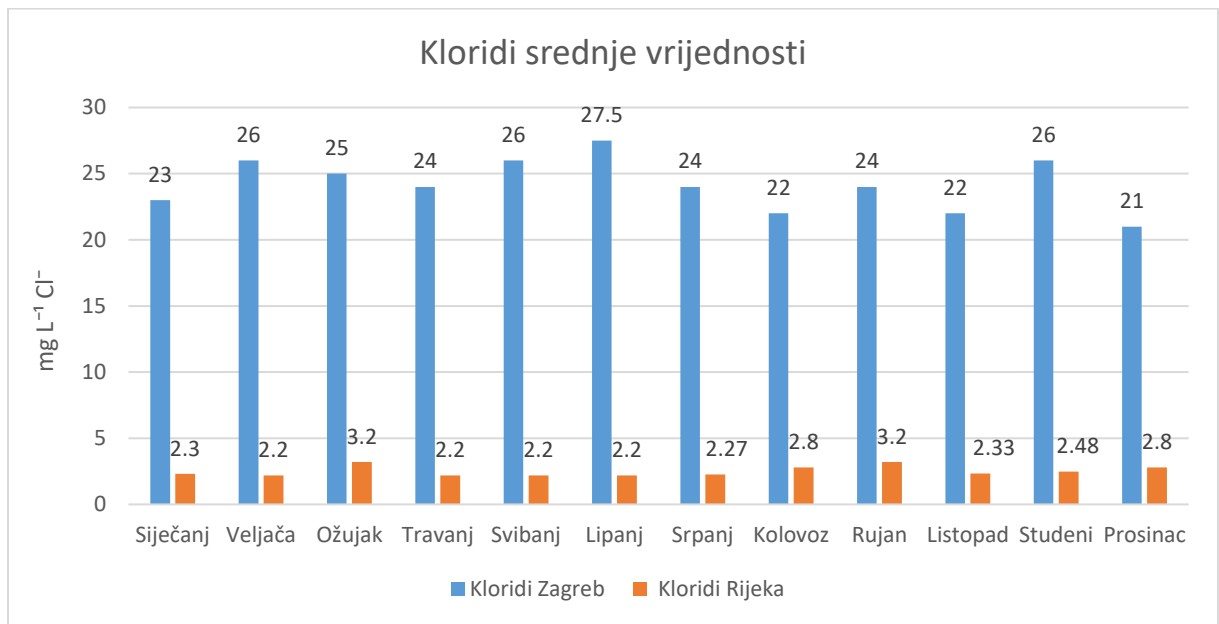
Graf 14. prikazuje da je maksimalna vrijednost elektrovodljivosti za grad Zagreb bila u svibnju (981  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), a najmanja u rujnu (11  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Graf 15. Maksimalna i minimalna vrijednost parametra elektrovodljivosti pri 20 °C, grad Rijeka



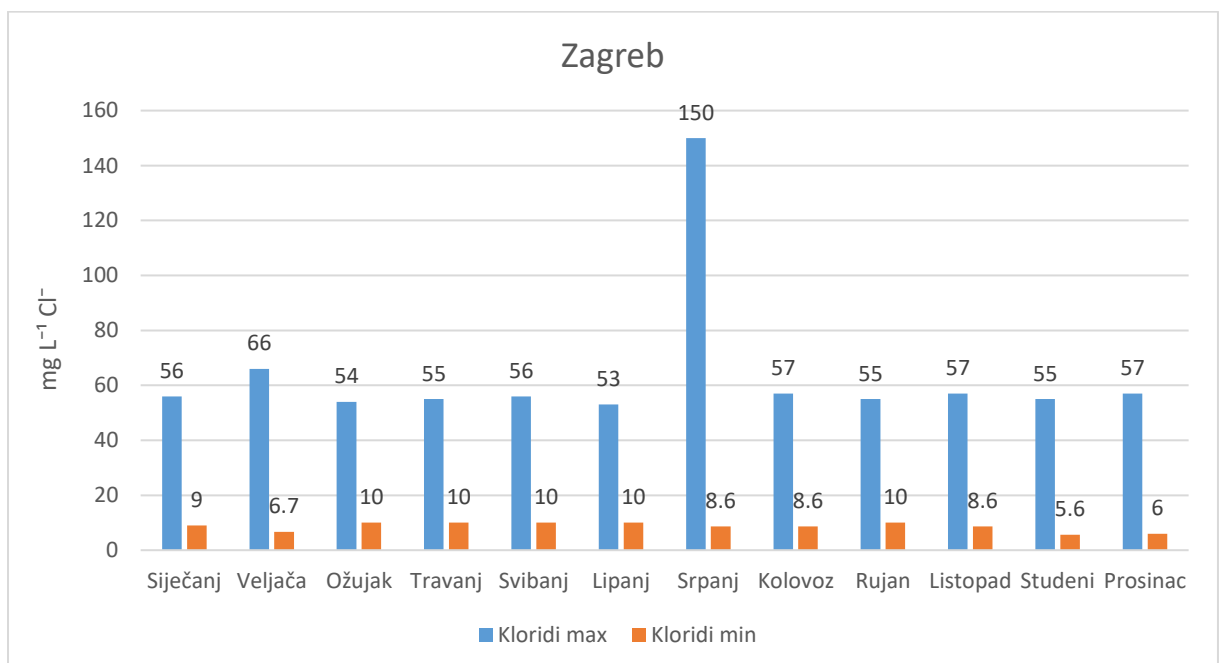
Graf 15 prikazuje da je maksimalna vrijednost elektrovodljivosti za grad Rijeku bila u kolovozu (417  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), a najmanja u svibnju (200  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

Graf 16. Srednje vrijednosti klorida, grad Zagreb i grad Rijeka



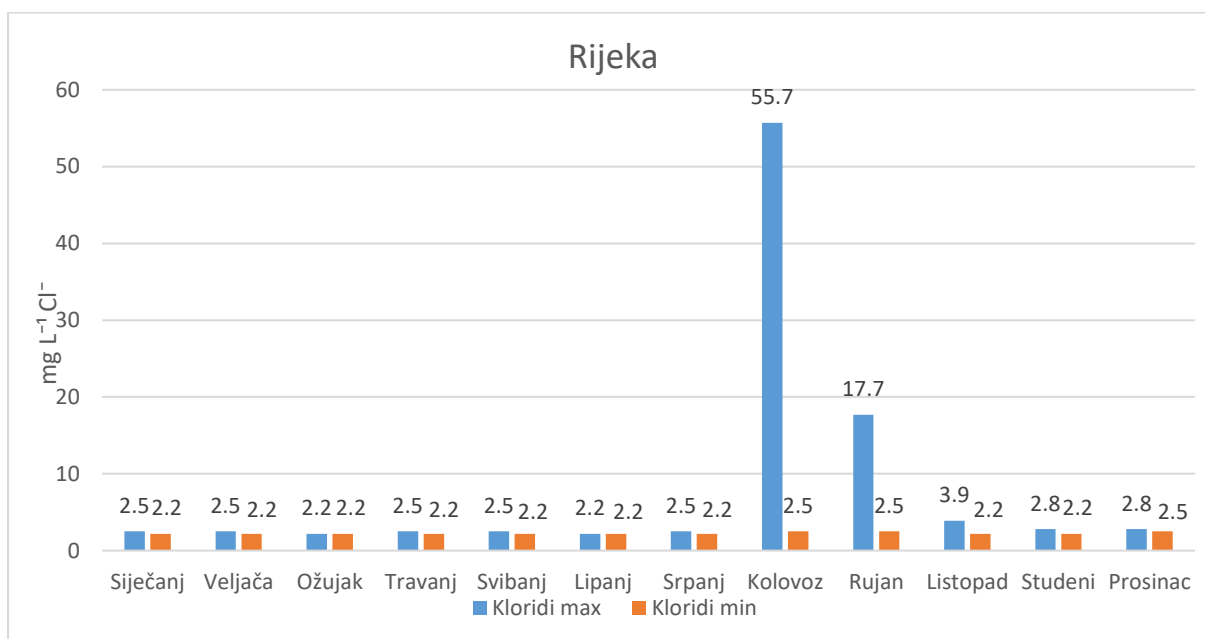
Graf 16 prikazuje srednje vrijednosti parametra klorida te su iz grafa vidljive puno veće vrijednosti klorida u uzorcima pitkih voda kroz mjesece za grad Zagreb u odnosu na grad Rijeku.

Graf 17. Maksimalna i minimalna vrijednost klorida, grad Zagreb



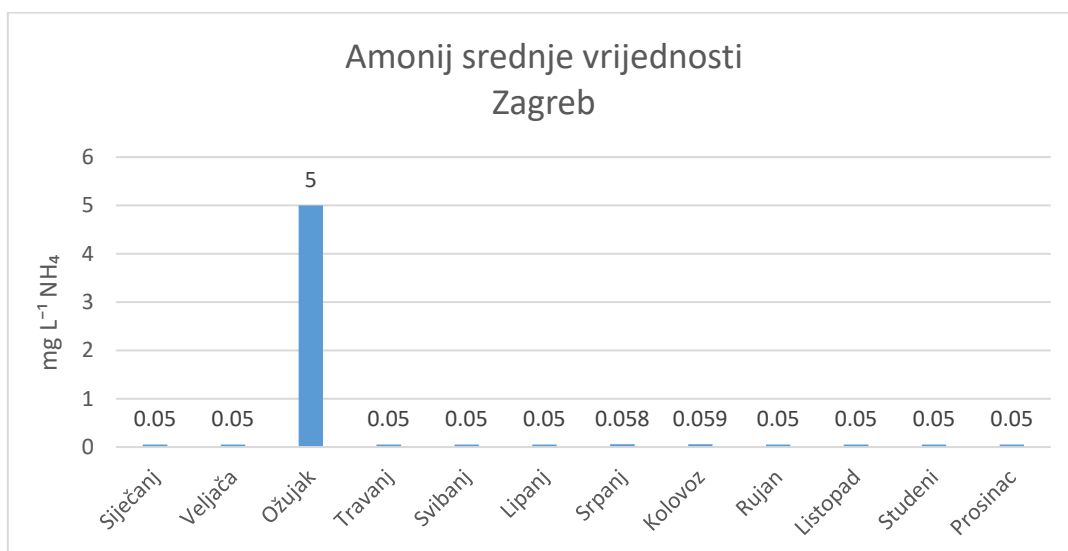
Graf 17 prikazuje maksimalnu prisutnost klorida u uzorku pitke vode u srpnju (150 mg/L), u gradu Zagrebu, dok je najniža u prosincu (6 mg/L). MDK klorida je 250 mg/L i možemo zaključiti da su svi uzorci ispravni.

Graf 18. Maksimalna i minimalna vrijednost klorida, grad Rijeka



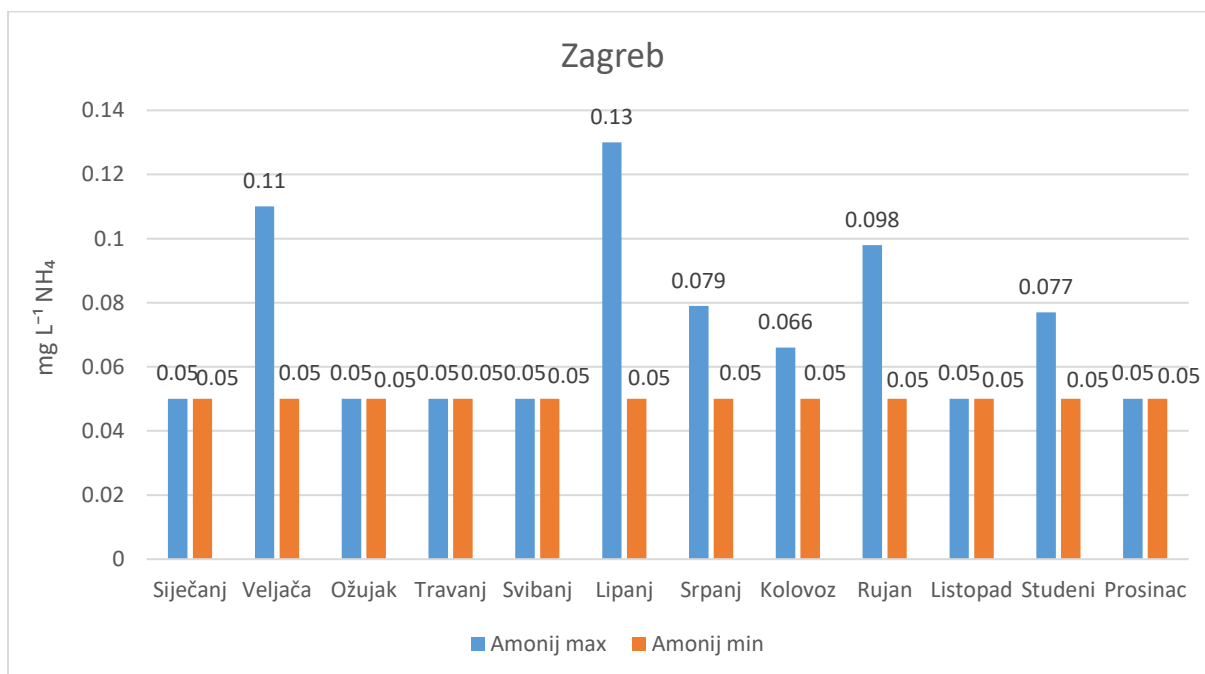
Graf 18 prikazuje da je najveća vrijednost klorida u uzorku dosegnuta u kolovozu (55,7 mg/L), dok manje vrijednosti su se protezale većinom tijekom cijele 2020 godine u gradu Rijeci. Niti jedan uzorak ne prelazi MDK te su svi ispravni.

Graf 19. Srednje vrijednosti amonija, grad Zagreb



Graf 19 prikazuje srednje vrijednosti prisustva amonija u uzorcima pitkih voda grada Zagreba, gdje je najveća vrijednost u ožujku (5 mg/L).

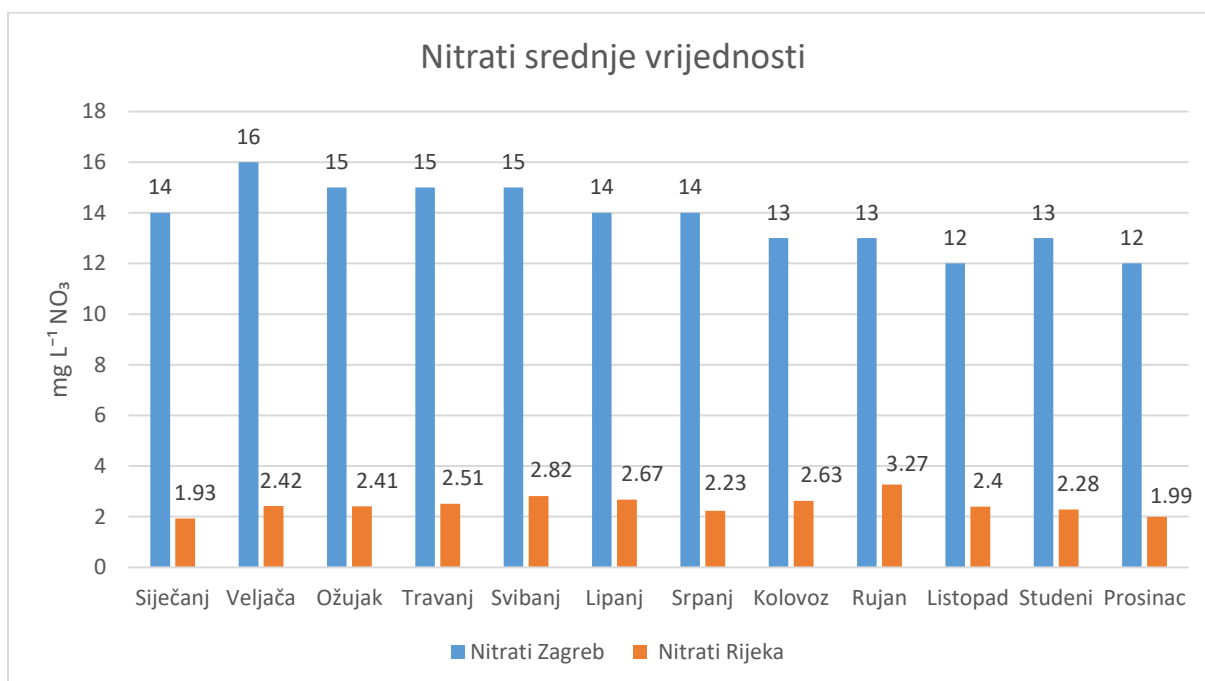
Graf 20. Maksimalna i minimalna vrijednost amonija, grad Zagreb



Graf 20 prikazuje da je većinom tijekom 2020 godine bila prisutna minimalna vrijednost amonija u uzorcima pitkih voda, dok je maksimalna vrijednost amonija dosegnuta u lipnju (0,13 mg/L). MDK za amonij iznosi 0,5 mg/L te možemo zaključiti da niti jedan uzorak ne prelazi MDK i da su svi uzorci ispravni.

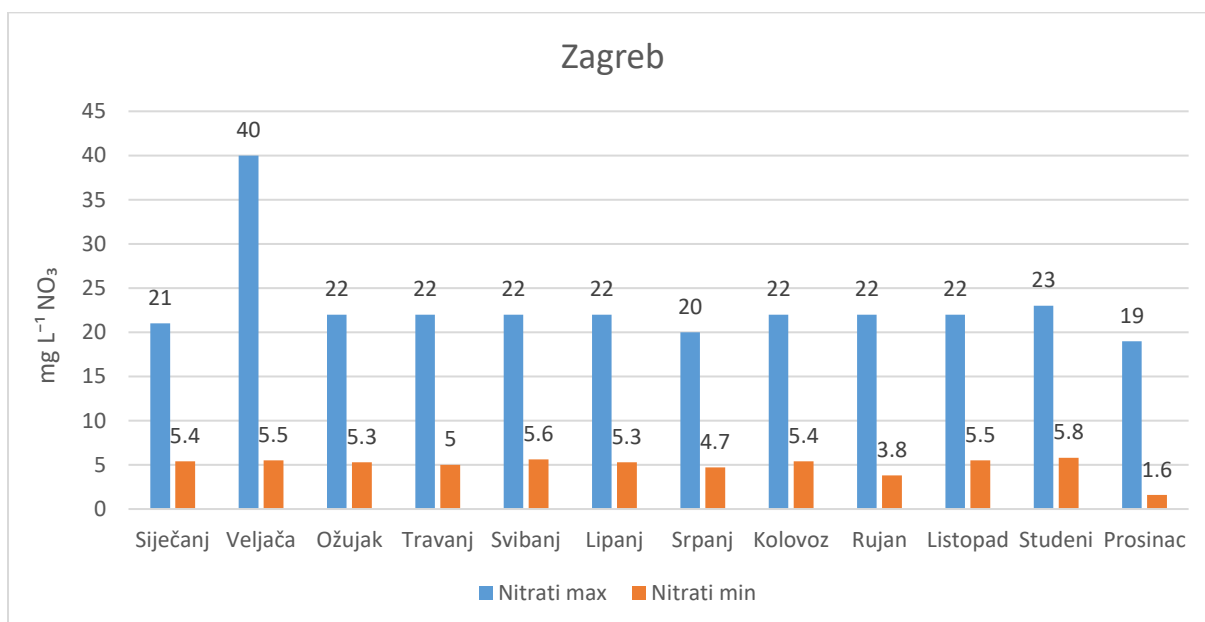


Graf 21. Srednje vrijednosti nitrata, grad Zagreb i grad Rijeka



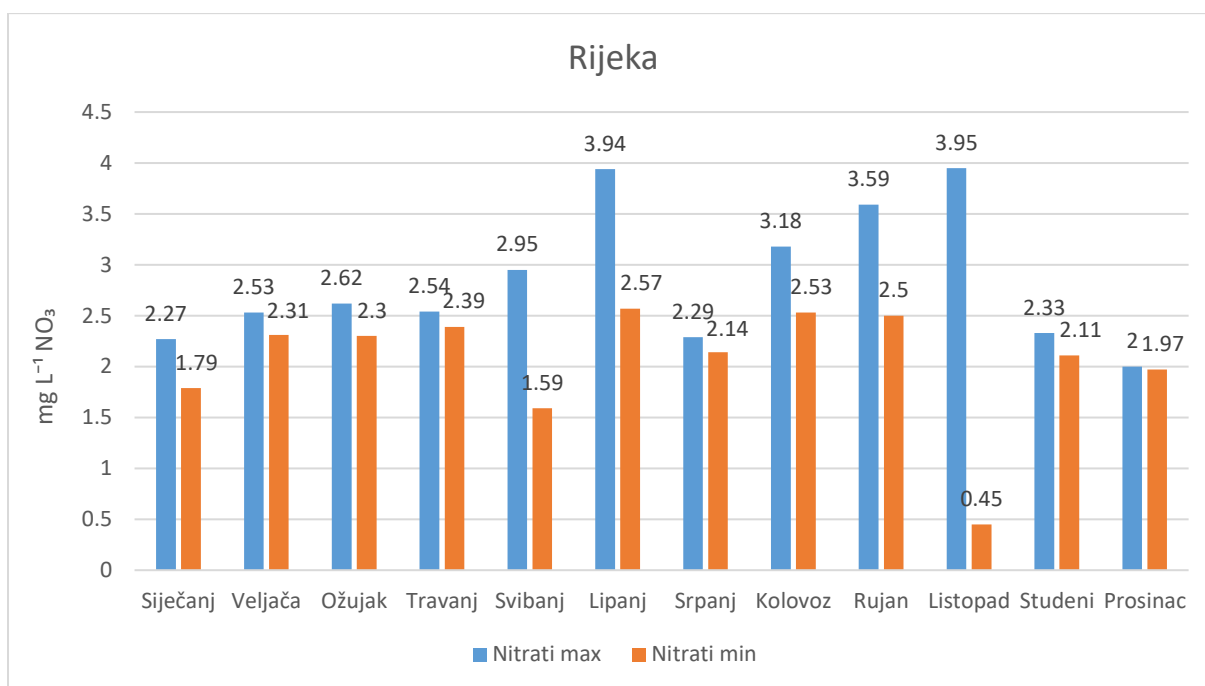
Graf 21 prikazuje da grad Zagreb ima puno više vrijednosti nitrata u uzorcima pitkih voda nego grad Rijeka.

Graf 22. Maksimalna i minimalna vrijednost nitrata, grad Zagreb



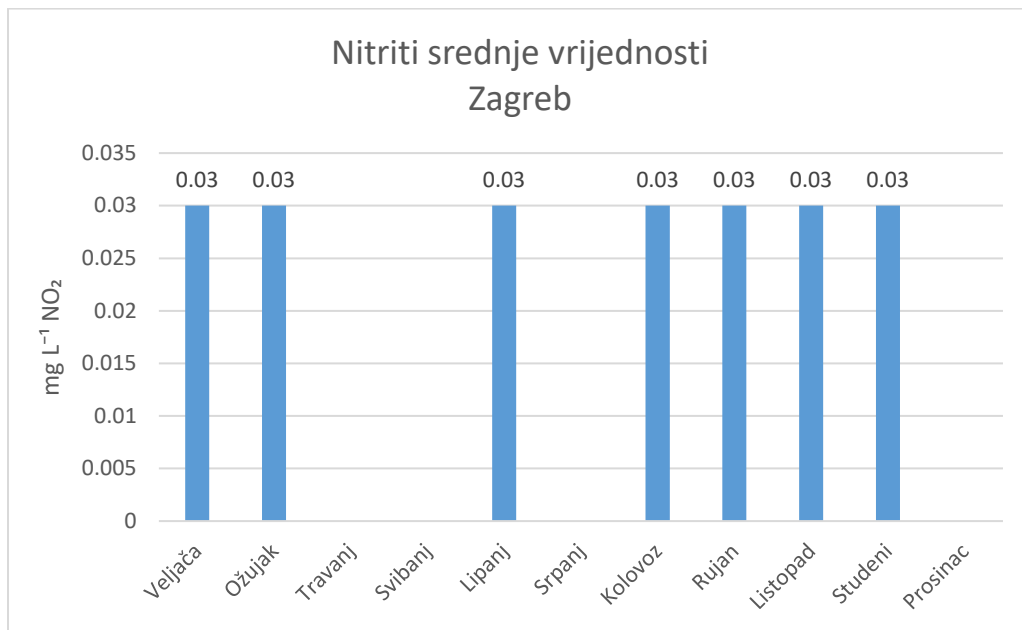
Graf 22 prikazuje da je bila najveća vrijednost nitrata u uzorcima pitkih voda grada Zagreba u veljači (40 mg/L), a najmanja u prosincu (1,6 mg/L). MDK za nitrata iznosi 50 mg/L. Svi uzorci kroz 2020 godinu su ispravni.

Graf 23. Maksimalna i minimalna vrijednost nitrata, grad Rijeka



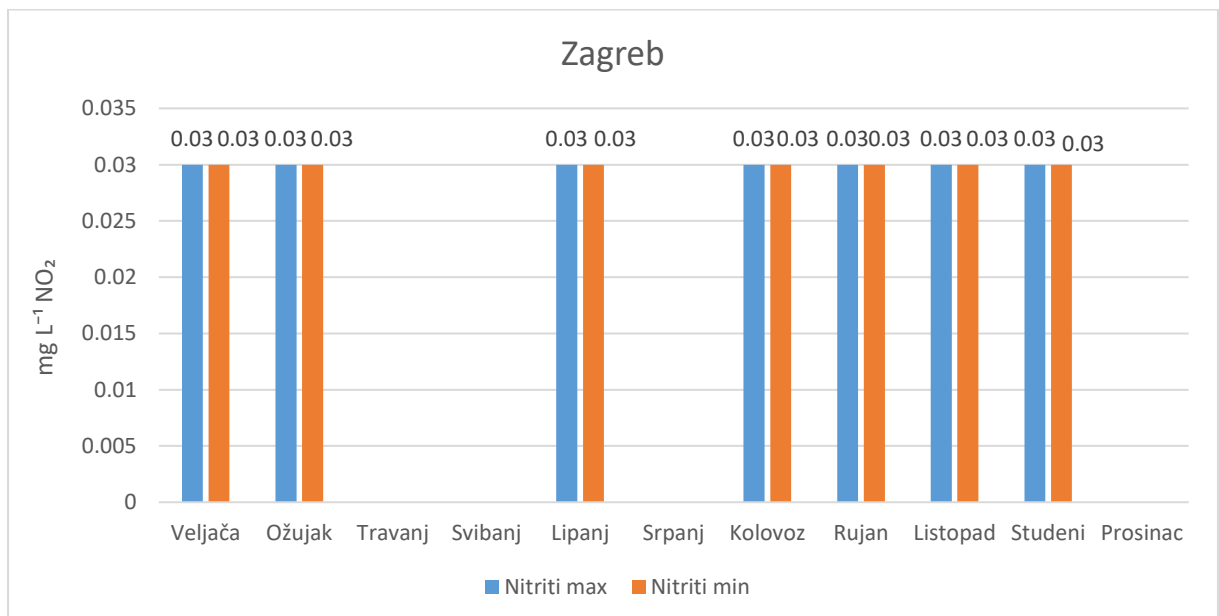
Graf 23 prikazuje da su najveće vrijednosti nitrata u uzrocima za grad Rijeku u lipnju (3,94 mg/L) i listopadu (3,95 mg/L), a najmanja također u listopadu (0,45 mg/L). Niti jedan uzorak ne prelazi MDK za nitrate te su svi uzorci ispravni.

Graf 24. Srednje vrijednosti nitrita, grad Zagreb



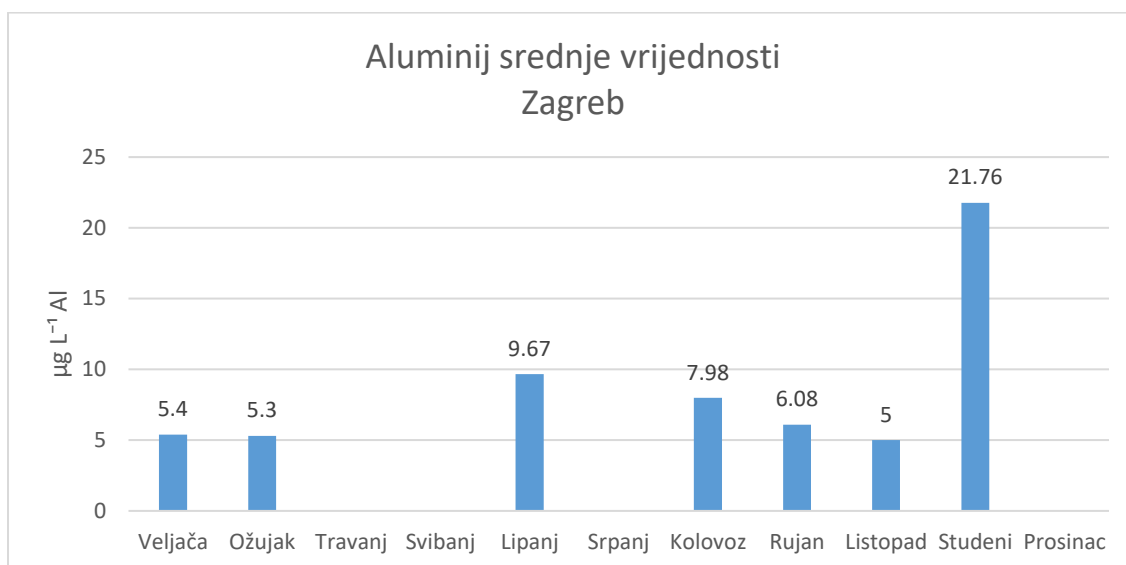
Graf 24 prikazuje da je srednja vrijednost nitrita u uzorcima pitkih voda kroz 2020 godinu, jednaka za grad Zagreb.

Graf 25. Maksimalna i minimalna vrijednost nitrita, grad Zagreb



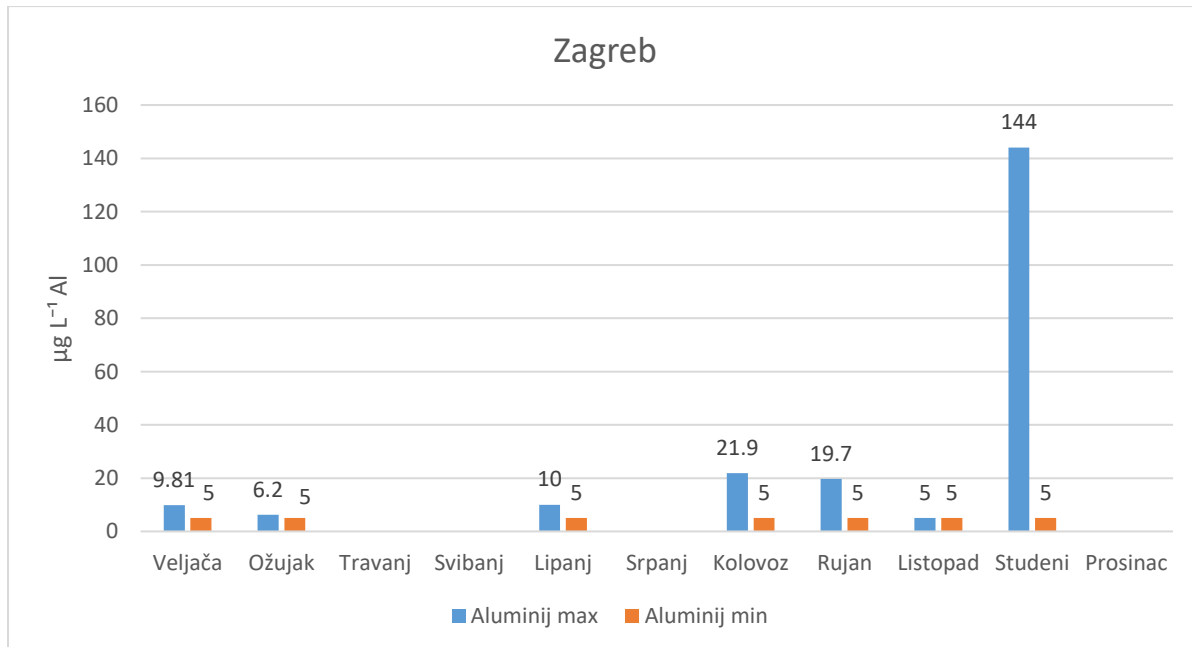
Graf 25 prikazuje da je ista vrijednost za maksimalne i minimalne vrijednosti nitrita u uzorcima, u gradu Zagrebu 2020 godine. MDK za nitrite iznosi 0,5 mg/L te možemo zaključiti da su svi uzorci ispravni.

Graf 26. Srednje vrijednosti aluminija, grad Zagreb



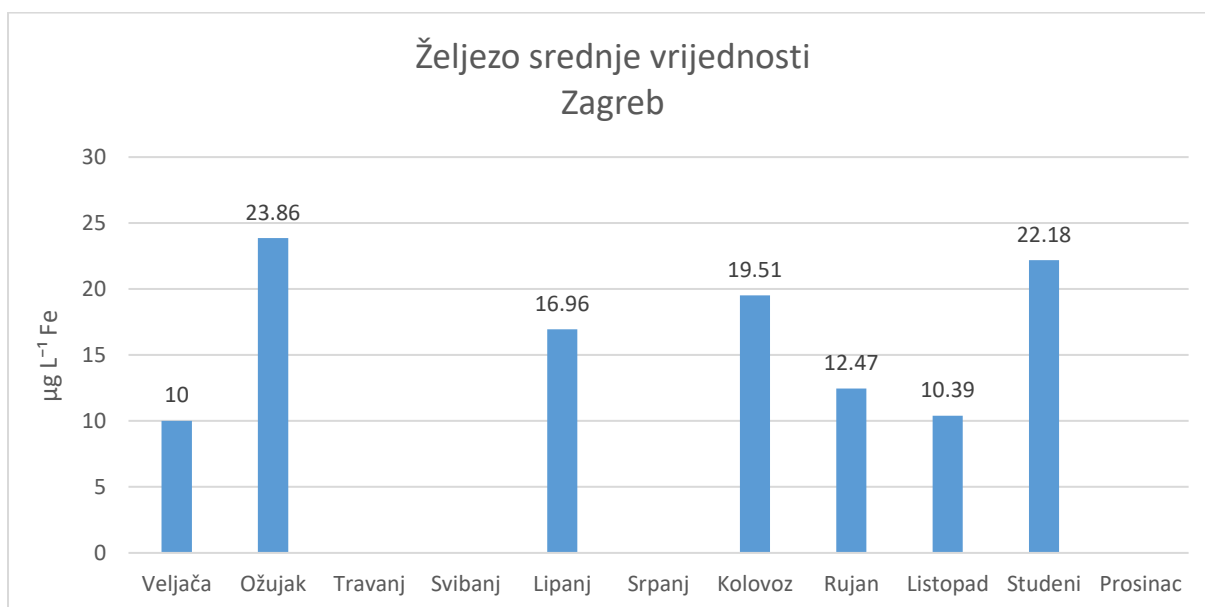
Graf 26 prikazuje srednje vrijednosti prisustva aluminija u uzorcima pitkih voda grada Zagreba za 2020 godinu te je vidljivo da je najveća vrijednost aluminija u uzorcima tijekom studenog (21,76 µg/L).

Graf 27. Maksimalna i minimalna vrijednost aluminija, grad Zagreb



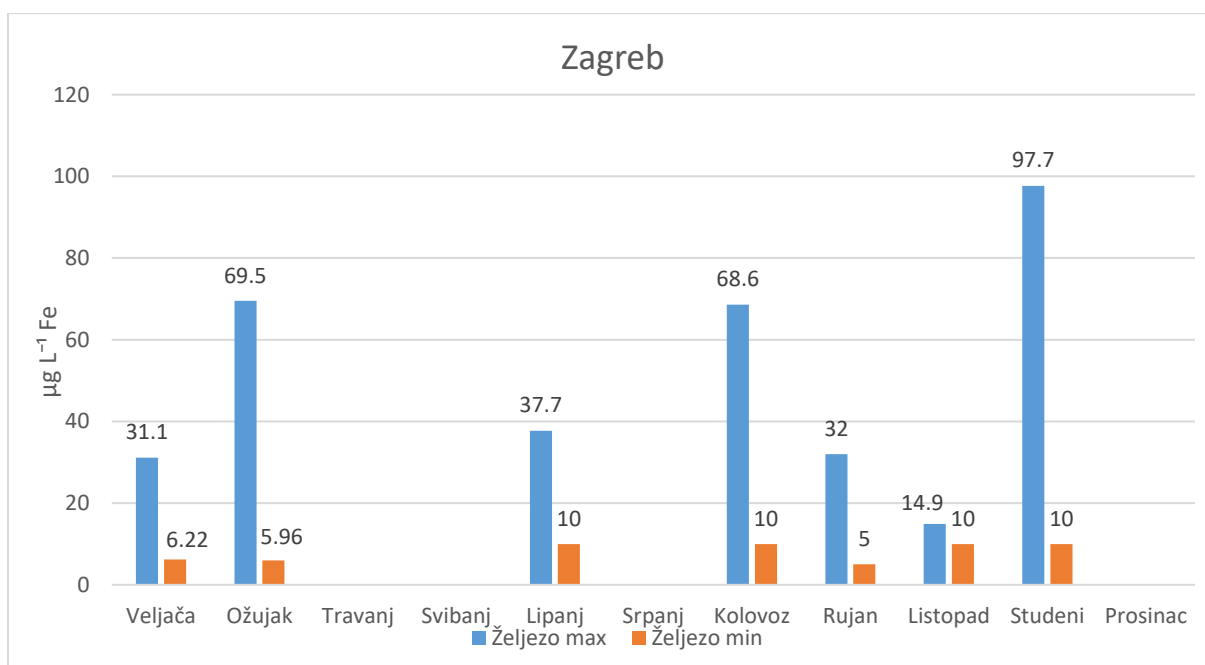
Graf 27 prikazuje da je maksimalna vrijednost aluminija u uzorku prisutna u studenom (144 µg/L). MDK aluminija iznosi 200 µg/L. Možemo zaključiti da niti jedan uzorak ne prelazi MDK te da su svi uzorci ispravni.

Graf 28. Srednje vrijednosti za željezo, grad Zagreb



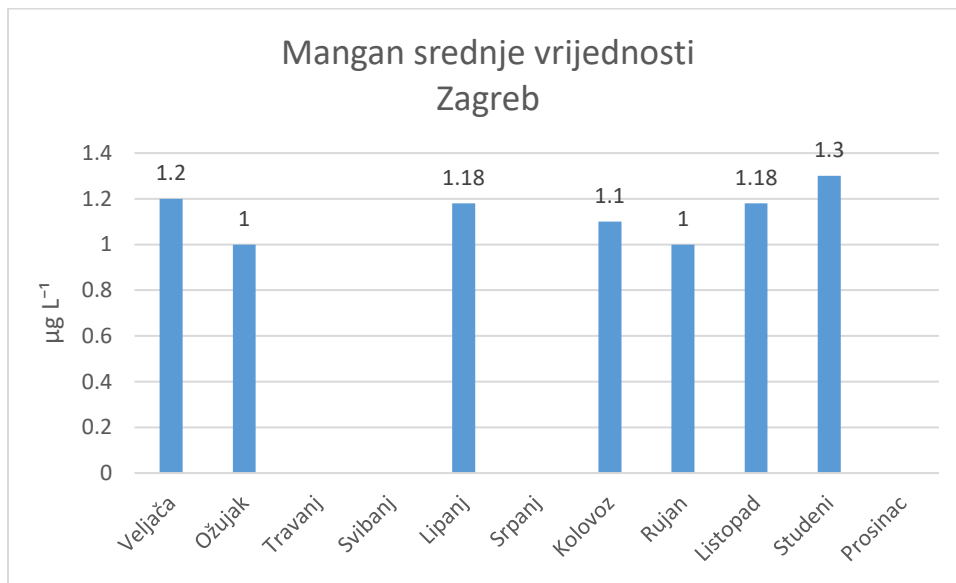
Graf 28 prikazuje da je najveća prisutnost željeza u uzorcima pitkih voda bila tijekom ožujka (23,86 µg/L) i studenog (22,18 µg/L), a najmanja tijekom veljače (10 µg/L) i listopada (10,39 µg/L).

Graf 29. Maksimalna i minimalna vrijednost željeza, grad Zagreb



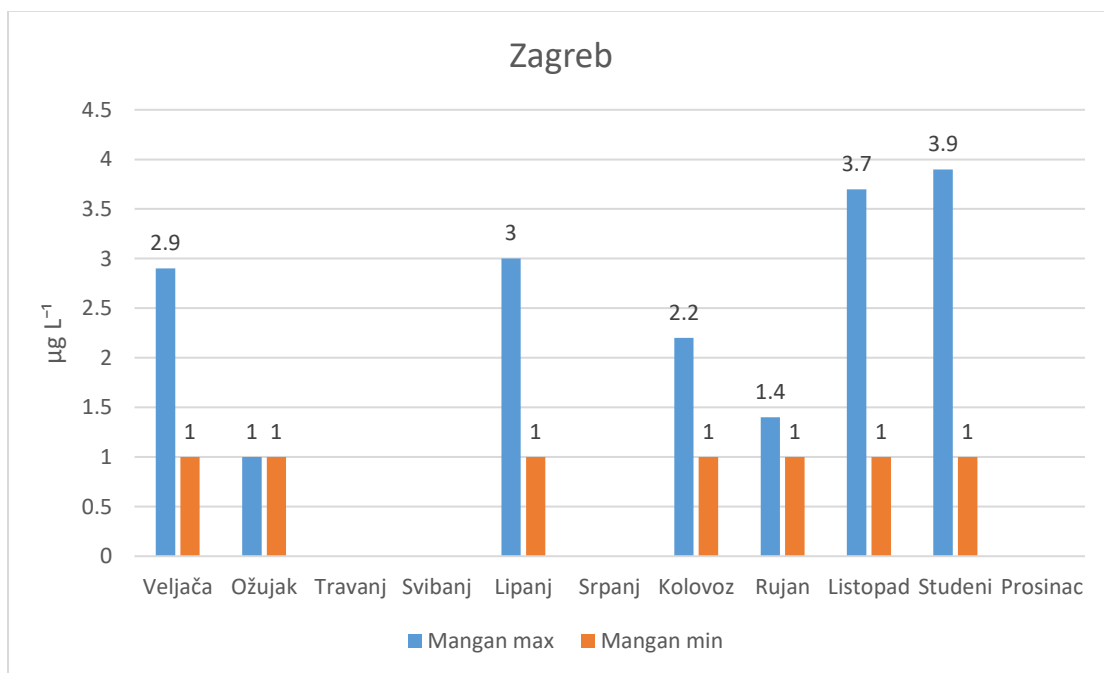
Graf 29 prikazuje da je maksimalna vrijednost željeza bila u uzorku u studenom (97,7 µg/L), a minimalna u rujnu (5 µg/L). MDK za željezo iznosi 200 µg/L te možemo zaključiti da su svi uzorci pitke vode ispravni za grad Zagreb u 2020 godini.

Graf 30. Srednje vrijednosti mangana, grad Zagreb



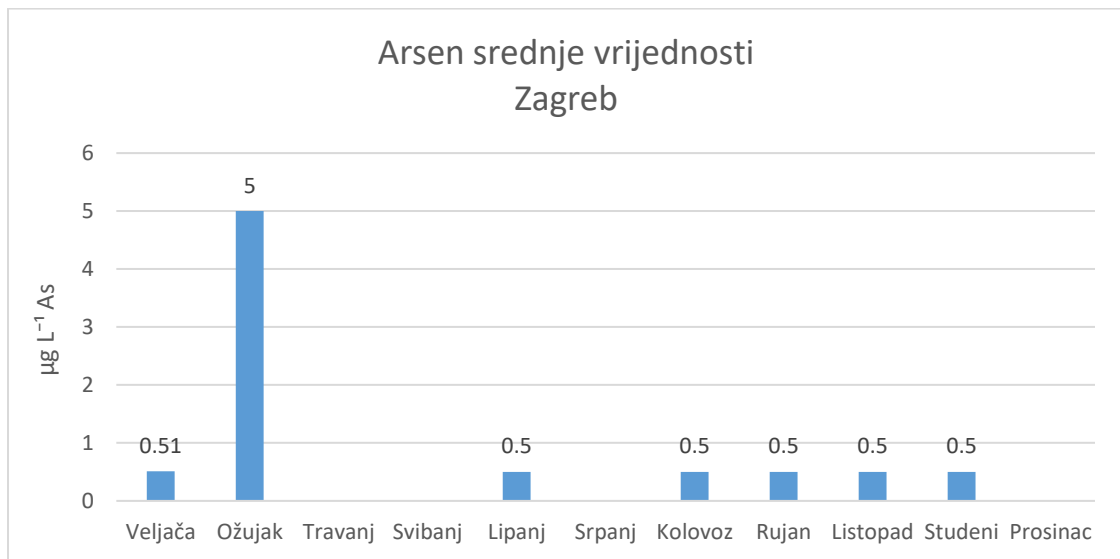
Graf 30 prikazuje da su vrijednosti mangana u uzorcima pitkih voda tijekom 2020 godine za grad Zagreb približno iste.

Graf 31. Maksimalna i minimalna vrijednost mangana, grad Zagreb



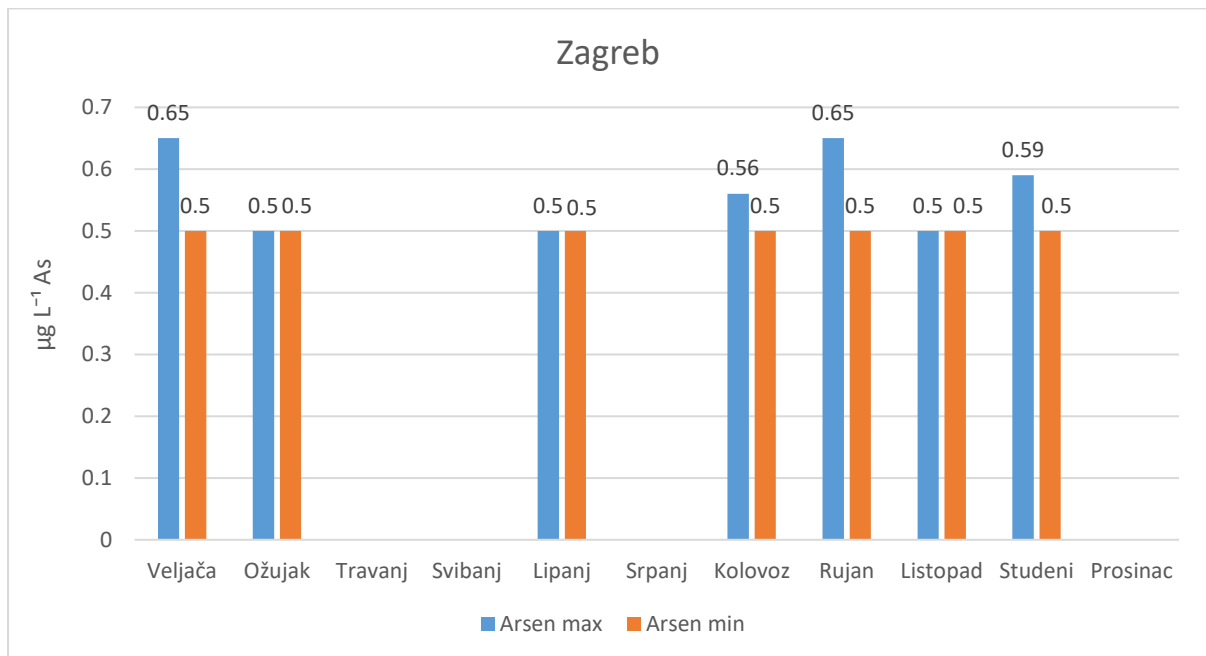
Graf 31 prikazuje da je najveća vrijednost mangana u uzorku u studenom (3,9 µg/L). MDK mangana iznosi 50 µg/L. Možemo zaključiti da su vrijednosti mangana u uzorcima, u gradu Zagrebu, dosta niske te da su svi uzorci ispravni u 2020 godini.

Graf 32. Srednje vrijednosti za arsen, grad Zagreb



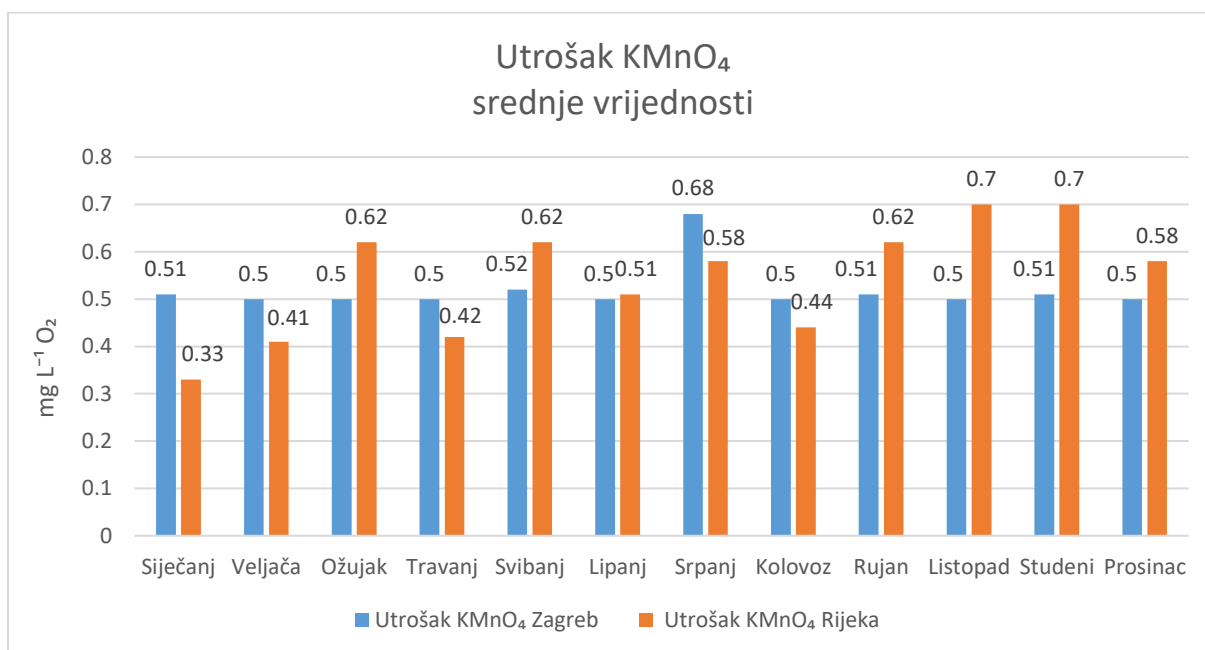
Graf 32 prikazuje da je najveća prisutnost arsena u uzorcima pitkih voda u ožujku ( 5 µg/L) za grad Zagreb.

Graf 33. Maksimalna i minimalna vrijednost arsena, grad Zagreb



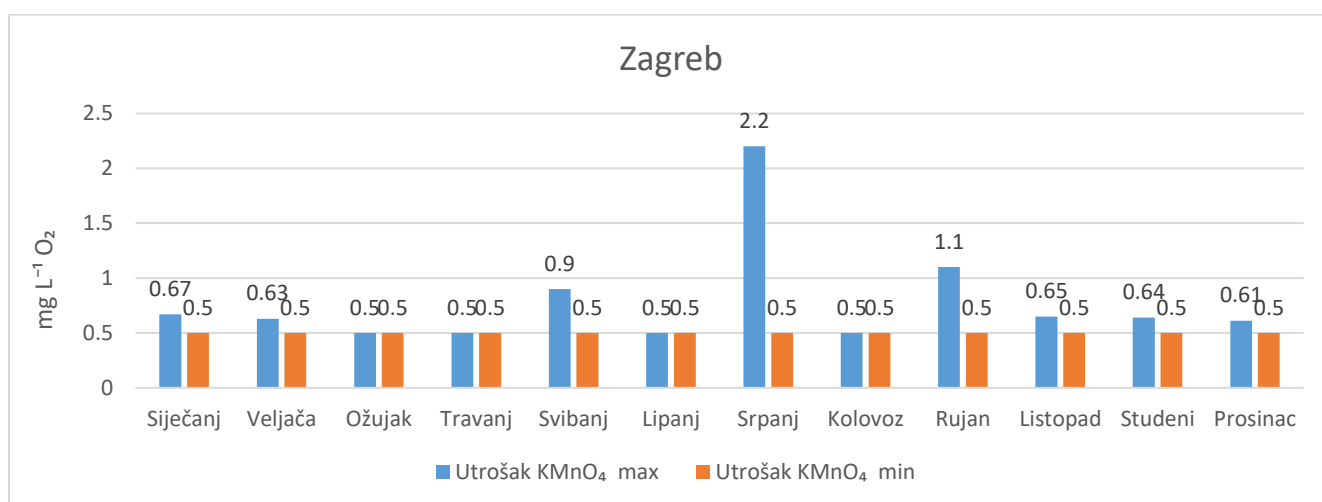
Graf 33 prikazuje da nema velike razlike između maksimalnih i minimalnih vrijednosti arsena u uzorcima pitkih voda grada Zagreba. MDK arsena iznosi 10 µg/L te vidimo da uzorci ne prelaze dopuštene vrijednosti i da su svi uzorci u 2020 godini ispravni.

Graf 34. Srednje vrijednosti utroška  $\text{KMnO}_4$ , grad Zagreb i grad Rijeka



Graf 34 prikazuje da količina utroška  $\text{KMnO}_4$  u gradu Zagrebu kroz mjesece je podjednaka, dok u gradu Rijeci su vidljive malo veće količine utroška u listopadu i studenom (0,7 mg/L). Nije vidljiva velika razlika vrijednosti ovog parametra za dva navedena grada.

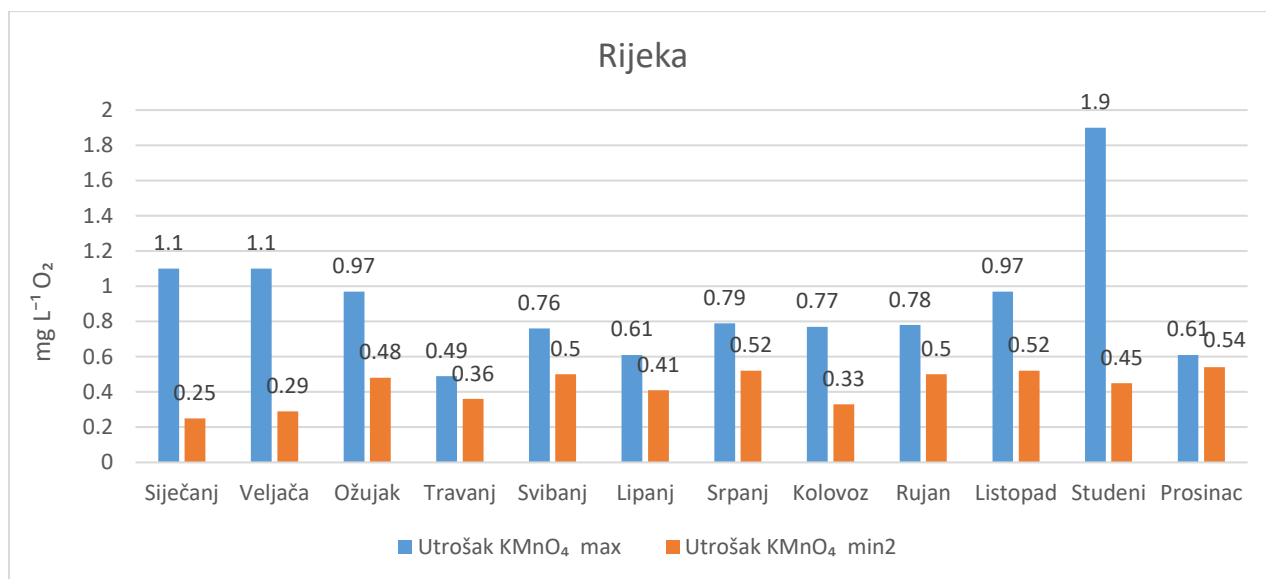
Graf 35. Maksimalne i minimalne vrijednosti utroška  $\text{KMnO}_4$ , grad Zagreb



Graf 35 prikazuje da je najveća vrijednost utroška  $\text{KMnO}_4$  u srpnju (2,2 mg/L). MDK za ovaj parametar iznosi 5 mg/L, te možemo zaključiti da su svi uzorci pitkih voda u 2020 godini ispravni u gradu Zagrebu.



Graf 36. Maksimalne i minimalne vrijednosti utroška  $\text{KMnO}_4$ , grad Rijeka



Graf 36 prikazuje najveću vrijednost utroška ovog parametra u studenom (1,9  $\text{mg/L}$ ), a najmanju u siječnju (0,25  $\text{mg/L}$ ). Niti jedan uzorak ne prelazi maksimalnu dopuštenu vrijednost te sukladno tome svi uzroci pitkih voda za 2020 godinu u gradu Rijeci su ispravni.

Fizikalno – kemijski parametri mirisa i okusa određuju se organoleptički te za oba navedena grada nije utvrđena pristunost mirisa i okusa u uzorcima pitkih voda za oba navedena grada tijekom 2020 godine.

## 5. RASPRAVA

Temperature pitkih voda za oba navedena grada blago su varirale tijekom 2020 godine. U gradu Zagrebu, u rasponu od 12,3 °C – 17, 5 °C, a u gradu Rijeci od 8,5 °C - 13,8 °C te uočljiva je viša temperatura pitkih voda kod grada Zagreba (Graf 1). Poželjno je da budu manje oscilacije temperatura. Najviše temperature voda bile su prisutne tijekom ljetnih mjeseci. Navedeni rasponi temperatura su optimalni za vodu za piće te nam ukazuje na podzemnu vodu stalne temperature koja slabo varira čak i u toplijim mjesecima tijekom godine.

Prisutnost boja u uzorcima pitkih voda je neznatno veća u gradu Rijeci nego u gradu Zagrebu (Graf 4) ali uspoređujući vrijednosti za boju, koje su za oba grada u rasponu od 5-6,25 mg/L Pt/Co skale, sa MDK ovog parametra (20 mg/L Pt/Co skale), možemo zaključiti da je koncentracija boje u uzorcima poprilično niska. Mogući razlog većih prisutnosti boja u pitkih voda grada Rijeke radi većih udjela humusa u tlu. Intenzitet boje također uveliko ovisi o pH. Koncentracije vodikovih iona, odnosno pH vrijednosti blago variraju u gradu Rijeci, u rasponu od 7,6-8 pH jedinica, dok Zagrebu iznosi 7,2-7,3 pH jedinica te je zamjećena neznatno veća pH vrijednost u gradu Rijeci. (Graf 10). Možemo primjetiti da su pitke vode za dva navedena grada blago lužnate te su navedene vrijednosti u optimalnom rasponu, usporedimo li ih sa MDK ovog parametra (6.5-9.5 pH jedinica).

Mutnoća vode u ispitivanom periodu je u jednom ispitivanju prešla dopuštenu vrijednost od 4 NTU, u gradu Zagrebu, u siječnju te iznosila je 5,6 NTU jedinica (Graf 8). Uspoređujući dva navedena grada, veća je prisutnost mutnoće kroz 2020 godinu u gradu Rijeci te iznosi 0,4-2,8 NTU, dok je u Zagrebu 0,24-0,44 NTU (Graf 7). Pojava mutnoće povezana je s obilnim oborinama i ovisna je o krškim vodonosnicima. Povremena pojava blage mutnoće normalna je posljedica nakon velikih oborina osobito u krškim područjima. Povećana mutnoća u gradu Rijeci je ustanovljena u razdoblju od siječnja do ožujka te u listopadu (Graf 9). Uspoređujući je s količinom padalina, koja je između 130-190 mm, logična je takva posljedica zbog navedenih meteoroloških prilika (Slika 10). Dok je u Zagrebu prosječna količina padalina za navedene mjesece 50-80 mm.

	siječanj	veljača	ožujak	travanj	svibanj	lipanj	srpanj	kolovoz	rujan	listopad	studen	prosinac
<b>TEMPERATURA ZRAKA</b>												
Srednja [°C]	5.7	6.2	9.0	12.7	17.2	21.0	23.6	23.3	19.2	14.6	10.3	7.0
Aps. maksimum [°C]	20.0	21.4	25.0	28.9	33.7	36.7	40.0	39.5	34.8	28.8	25.5	20.4
Datum(dan/godina)	20/1974	22/1990	29/2017	28/2012	25/2009	12/2003	19/2007	5/2017	4/1949	1/1956	2/2004	4/1979
Aps. minimum [°C]	-11.4	-12.8	-7.7	-0.2	2.1	7.4	10.4	9.1	4.8	-1.2	-4.5	-8.9
Datum(dan/godina)	9/1985	10/1956	5/1971	14/1986	12/1978	8/1962	16/1970	28/1995	29/1977	30/2012	15/1983	28/1996
<b>TRAJANJE OSUNČAVANJA</b>												
Suma [sati]	107.7	122.6	152.2	178.8	233.9	256.5	300.8	280.4	203.0	163.4	102.0	99.5
<b>OBORINA</b>												
Količina [mm]	133.5	122.7	109.0	109.5	106.4	101.1	78.7	97.4	171.9	180.2	191.7	157.3
Maks. vis. snijega [cm]	28	17	52	-	-	-	-	-	-	-	8	14
Datum(dan/godina)	15/1985	23/2013	10/1976	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	4/1980	18/2010

Slika 10. Prikaz prosječne količine padalina, grad Rijeka

Izvor: [https://meteo.hr/klima.php?section=klima\\_podaci&param=k1&Grad=rijeka](https://meteo.hr/klima.php?section=klima_podaci&param=k1&Grad=rijeka)

Elektrovodljivost vode slabo je varirala ali uspoređujući navedena dva grada, uočljive su puno veće vrijednosti za ovaj parametar kod uzoraka u gradu Zagrebu kroz cijelu godinu (Graf 13). Vrijednosti elektrovodljivosti pitkih voda za grad Zagreb iznose 629-744  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pri 20°C, dok za grad Rijeku iznose 204-260  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pri 20°C (graf 13). Vrijednosti ne prelaze MDK za navedeni parametar. Veća elektrovodljivost pitkih voda grada Zagreba moguća je radi prisutnosti većih količina klorida u vodi te većeg stupnja same tvrdoće vode, u odnosu na grad Rijeku.

Elektrovodljivost pitkih voda dobro kolerira s kloridima koji su za grad Zagreb bili u rasponu od 21-27,5 mg/L, a u gradu Rijeci od 2,2-3,2 mg/L (Graf 16). Zamjećujemo puno veću prisutnost klorida u pitkim vodama grada Zagreba, nego u gradu Rijeci tijekom cijele godine. Najveća koncentracija klorida u uzroku dosegnuta je u srpnju u Zagrebu (150 mg /L), dok je u gradu Rijeci bila u kolovozu ( 55,7 mg/L), kada je vjerovatno došlo do zaslanjivanja izvora u periodu sušnog ljeta (Graf 17,Graf 18). Unatoč blizini mora, možemo reći da pitke vode grada Rijeke imaju vrlo niske koncentracije klorida koji ne utječu na kvalitetu samih pitkih voda. Razlog povećanih koncentracija klorida u pitkim vodama grada Zagreba vjerovatno leži u većoj prisutnosti tvornica i praonica te puno većih količina životinjskih i ljudskih fekalija, u odnosu na grad Rijeku.

Koncentracije nitrata u uzorcima pitkih voda grada Zagreba, iznosile su 12-16 mg/L, te su bile više u odnosu na grad Rijeku, 1,93-3,2 mg/L (Graf 21). Najveća koncentracija nitrata u uzorku, za grad Zagreb, utvrđena je u veljači (40mg/L). Navedena vrijednost je ispod dozvoljene maksimalne koncentracije, koja iznosi 50 mg/L (Graf 22). Tijekom cijele godine je ustanovljena vrlo niska koncentracija nitrata u uzorcima pitkih voda grada Rijeke te sve su vrijednosti daleko ispod MDK za ovaj parametar (Graf 23). Nitrati dopijevaju u životnu sredinu iz više izvora, kao rezultat zagađenja izazvanog ljudskim faktorom, a najviše upotrebom gnojiva. Niže koncentracije nitrata u pitkim vodama grada Rijeke odraz su slabije razvijene stočarske i poljoprivredne aktivnosti u blizini riječkih izvora. Više koncentracije nitrata u pitkim vodama grada Zagreba vjerovatno su posljedica veće primjene dušičnih gnojiva u poljoprivredi, ali i uslijed procjeđivanja fekalnih otpadnih voda iz kanalizacijskih sustava ili septičkih jama.

Koncentracije ostalih anorganskih spojeva dušika, amonija i nitrita, nisu analizirane za grad Rijeku tijekom 2020 godine. U gradu Zagrebu, tijekom cijele 2020 godine, koncentracije amonija u pitkim vodama dokazane su u vrlo niskim vrijednostima te su iznosile od 0,05-0,013 mg/L (Graf 19). Nitriti se također dokazuju u niskim vrijednostima od 0,03 mg/L (Graf 21). Možemo zaključiti da su pitke vode grada Zagreba slabo opterećene spojevima amonija i nitrita te da su navedene vrijednosti daleko ispod dozvoljenih koncentracija reguliranih Pravilnikom.

Prema Pravilniku u gradu Zagrebu ispituju se i metali; aluminij, željezo, mangan i arsen. Aluminij i željezo kao sve prisutni metali dokazuju se u višim koncentracijama u odnosu na ostale metale. Dokazane su niže koncentracije aluminija u pitkim vodama tijekom cijele godine, osim u studenom gdje je jedan uzorak sadržavao povećanu vrijednost od 144 µg/L (Graf 26 i 27). Utvrđene su blago povišene koncentracije željeza u pitkim vodama grada Zagreba, gdje je najveća koncentracija željeza zabilježena u uzorku, u studenom te iznosi 97,7 µg/L (Graf 29). Koncentracije mangana u svim uzorcima tijekom 2020 godine jako su niske te se kreću u vrijednosti od 1-3,9 µg/L (Graf 31). Također su utvrđene vrlo niske koncentracije arsena u uzorcima pitkih voda tijekom cijele godine, koncentracije su bile od 0,5-0,65 µg/L (Graf 33). Sve koncentracije navedenih metala su daleko ispod MDK vrijednosti, osim jednog uzorka povišenih koncentracija aluminija u studenom, ali i dalje ne prelazi dopuštenu granicu vrijednosti.

Vrijednosti utroška  $\text{KMnO}_4$  bile su vrlo niske za oba navedena grada tijekom cijele godine i kretale su se u rasponu od 0,33-0,7 mg/L, što ukazuje na niske vrijednosti

organskih tvari u pitkim vodama (Graf 34). Možemo zaključiti da pitke vode grada Zagreba i grada Rijeke nisu opterećene organskim tvarima i kao takve karakteristične su za vrlo čiste vode u prirodi. Navedene vrijednosti su daleko ispod maksimalno dozvoljene koncentracije koja je regulirana za utrošak  $\text{KMnO}_4$ .

## 6. ZAKLJUČAK

U Hrvatskoj, najviše stanovništva koje je priključeno na javnu vodoopskrbu, pripada gradu Zagrebu i Primorsko-goranskoj županiji. Na temelju provedenog istraživanja te uspoređujući prikupljene podatke o vrijednostima uzorkovanja fizikalno – kemijskih parametara, pitkih voda grada Zagreba i grada Rijeke tijekom 2020 godine, s važećim zahtjevima te propisima vezanim uz pitke vode, dolazimo do zaključka da su sve ispitane vrijednosti bile unutar vrijednosti propisanih Pravilnikom te da su ispitani uzorci ispravni osim jednog uzorka mutnoće, u siječnu, u gradu Zagrebu. Nije moguće spriječiti pojavu mutnoće, ali postoji mogućnost ukljanjanja različitim tehnološkim postupcima.

Uspoređujući dva navedena grada prema fizikalno – kemijskim parametrima pitkih voda, također možemo zaključiti da je Grad Zagreb tijekom 2020 godine imao više temperature pitkih voda te veće koncentracije elektrovodljivosti, klorida i nitrata u uzorcima nego grad Rijeka. Nadalje, grad Rijeka je imao veću prisutnost boja, veću pH vrijednost i pojavu mutnoća tokom cijele godine u odnosu na grad Zagreb. Slijedom navedenog možemo zaključiti da su razlozi povećanja navedenih fizikalno - kemijskih parametara, u gradu Zagrebu, veći broj stanovništva samoga grada, koji uzrokuju zagađenja vezana uz ljudski faktor, povećan broj tvornica te veća upotreba dušičnih gnojiva. Dok kod grada Rijeke, povećane koncentracije navedenih fizikalno – kemijskih parametara, razlog su krški izvori koji su podložni periodičnom замуćenju vode u vrijeme prelaska iz sušnog u kišno hidrološko razdoblje te meteoroške prilike tj prisutnosti velikih oborina.

Ostali fizikalno – kemijski parametri, metali ( željezo, aluminij, mangan i arsen), amonij i nitriti, kao što je već rečeno, nisu bili ispitivani u gradu Rijeci. Razlog tome leži u dugogodišnjem monitoringu, gdje su zaključili da uzorkovanje tih parametara nije potrebno za pitke vode grada Rijeke. Dok kod grada Zagreba postoji potreba za ispitivanjem navedenih parametara i dokazane su tijekom 2020 godine niske koncentracije amonija, nitrita, aluminija, mangana i arsena te blago povišene koncentracije željeza. Voda zahvaćena na izvorima prije distribucije potrošačima obrađuje se kako bi se uklonili, arsen, mangan, amonij, željezo itd. Također je obavezna dezinfekcija radi mikorbiološke ispravnosti vode. Sve ispitane vrijednosti bile su unutar vrijednosti propisane Pravilnikom i nisu prelazile MDK.

Grad Zagreb i grad Rijeka imaju dobro razvijeni vodoopskrbni sustav, gdje su mali gubici vode u mreži. Oba grada imaju stalne rezerve podzemnih voda te dovoljne količine vode za budući razvoj. Ispitivane vode za ljudsku potrošnju dvaju gradova su zdravstveno ispravne i jako dobre kvalitete. Potrebno je i dalje provoditi redovni monitoring pitkih voda te tako provjeravati zdravstvenu ispravnost istih, a dužnost pojedinca je uočiti važnost bogatstva u pitkim vodama koje imamo u Republici Hrvatskoj te razumno koristiti i čuvati dani resurs.

## 7. LITERATURA

1. Brezovnjački, A. Mitovi i činjenice o pitkoj vodi : šest pitanja, četiri scenarija i dva komentara zbog čega je pitka voda najvažniji hrvatski prirodni resurs. Zagreb, AGM, 2011.
2. Quattrini S, Pampaloni B, Luisa Brandi B.M, Natural mineral waters: chemical characteristics and health effects, Dostupno na: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5318167/> , citirano dana 10.03.2021
3. Casado Á, Ramos P, Rodríguez J., Moreno N, Gil P, Types and Characteristics of Drinking Water for Hydration in the Elderly, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2013, Dostupno na: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24915336/> , citirano dana: 10.03.2021
4. Pravilnik o minearnim, prirodnim i izvorskim vodama, 3. Stolna voda, NN 48/2015, Dostupno na: [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015\\_04\\_48\\_943.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_04_48_943.html) , citirano: 10.03.2021.
5. Springer O.P, Springer D, Otrovani modrozeleni planet, Priručnik iz ekologije, ekotoksikologije i zaštite prirode i okoliša, Zagreb, Meridijan, 2008
6. Beraković M, Voda - vječna tajna prirode, Zagreb, Antibarbarus, 2015
7. Jurac, Z. , Otpadne vode, Veleučilište u Karlovcu, Karlovac, 2009
8. Vodoopskrba i odvodnja d.o.o, Dostupno na: <https://www.vio.hr/otnama/vodoopskrba/1494> , citirano dana: 20.03.2021
9. Riđanović J, Opskrba vodom grada Zagreba, Hrvatski geografski glasnik, 1964, Dostupno na: <https://hrcak.srce.hr/56143> , citirano dana: 20.03.2021
10. KD Vodovod i kanalizacija d.o.o., Dostupno na: <https://www.kdrik-rijeka.hr/> , citirano dana: 20.03.2021
11. Nastavni zavod za javno zdravstvo "Dr. Andrija Štampar", Dostupno na: <https://www.stampar.hr/hr/kvaliteta-vode-za-ljudsku-potrosnju-i-zraka-u-gradu-zagrebu-tijekom-epidemije-covid-19> , citirano dana: 20.03.2021
12. Hrvatski zavod za javno zdravstvo, Dostupno na: <https://www.hzjz.hr/sluzbazu-zdravstvena-ekologija/izvjestaj-o-zdravstvenoj-ispravnosti-vode-za-ljudsku-potrosnju-u-republici-hrvatskoj-za-2019-godinu/> , citirano dana: 20.03.2021
13. Nayla Hassan O, Water Quality Parameters, 2019, Dostupno na: <https://www.intechopen.com/books/water-quality-science-assessments-and-policy/water-quality-parameters> , citirano dana: 22.03.2021



14. Patil P.N. Physico-chemical parameters for testing of water -A review, International Journal of Environmental Sciences, 2012, Dostupno na: [https://www.researchgate.net/publication/344323551\\_Physico-chemical\\_parameters\\_for\\_testing\\_of\\_water\\_-A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/344323551_Physico-chemical_parameters_for_testing_of_water_-A_review) , citirano dana: 22.03.2021
15. Bejuk, B. Kvaliteta pitke vode, završni rad, Dostupno na: <https://repozitorij.mev.hr/islandora/object/mev:585/datastream/PDF/> , citirano dana: 22.03.2021
16. Guidelines for drinking-water quality, 4th edition, incorporating the 1st addendum, World Health Organization, Geneva, 2017, Dostupno na: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950> , citirano dana: 22.03.2021
17. Nidhi G, Pankaj P, Jakir H, Effect of physicochemical and biological parameters on the quality of river water of Narmada, Madhya Pradesh, India, Water Science, 2017, Dostupno na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110492916300182>, citirano dana: 23.03.2021
18. Drljo E, Nusprodukti u vodi za piće kao posljedica dezinfekcije hipokloritom, Diplomski rad, 2015, Dostupno na: <https://repozitorij.fkit.unizg.hr/islandora/object/fkit%3A187/datastream/PDF/view> , citirano dana: 25.03.2021

## 8. ŽIVOTOPIS

Zovem se Ana Matić, rođena sam 23.08.1995 u gradu Zagrebu gdje sam završila svoje srednjoškolsko obrazovanje u općoj gimnaziji. Nakon završetka srednje škole, 2014. godine, upisala sam smjer Sanitarnog inženjerstva na Zdravstvenom veleučilištu u Zagrebu te stekla titulu bacc. sanit. ing. Tijekom studiranja sudjelovala sam dva puta na erasmus + programu. Na drugoj godini prediplomskog studija otišla sam jedan semestar u Portugal na fakultetu Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Coimbra, te položila 4 kolegija. Također sam šest mjeseci odradila studentsku praksu na fakultetu Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, u Poljskoj, na odjelu kemije. Nakon toga upisujem diplomski studij Sanitarnog inženjerstva na Medicinskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci.