

Dezinfekcija vode za piće na otoku Krku

Carin, Ana

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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:184:759429>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-04**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI
MEDICINSKI FAKULTET
DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ
SANITARNOG INŽENJERSTVA

Ana Carin

DEZINFEKCIJA VODE ZA PIĆE NA OTOKU KRKU

Diplomski rad

Rijeka, 2019.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
MEDICINSKI FAKULTET
DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ
SANITARNOG INŽENJERSTVA

Ana Carin

DEZINFEKCIJA VODE ZA PIĆE NA OTOKU KRKU

Diplomski rad

Rijeka, 2019.

Mentor rada : Doc.dr.sc. Dijana Tomić Linšak, dipl.sanit.ing

Diplomski rad obranjen je dana ___ u/na _____

_____, pred povjerenstvom u sastavu :

1. Prof.dr.sc. Ivana Gobin, dipl.sanit.ing
2. Doc.dr.sc. Sandra Pavičić Žeželj, dipl.sanit.ing
3. Doc.dr.sc. Dijana Tomić Linšak, dipl.sanit.ing

Rad ima 92. stranice, 55. slika, 4. tablice, 42. literaturnih navoda.

ZAHVALA

Kao prvo, najveća hvala mojoj mentorici doc.dr.sc Dijani Tomić Linšak na vodstvu, iskazanom povjerenju i mnoštvu savjeta koje mi je udijelila kroz pisanje diplomskoga rada.

Također se zahvaljujem voditeljici laboratorija Ponikve voda d.o.o. na otoku Krku, Majdi Meden dipl.sanit.ing. koja mi je ustupila podatke potrebne za obradu te ostalim djelatnicima laboratorija koji su mi pokazali kako se određene analize provode.

I na kraju, jedno veliko hvala mojoj obitelji i roditeljima na beskrajnoj podršci, povjerenju te pomoći tijekom cijelog studija.

SAŽETAK

Dezinfekcija igra veliku ulogu u očuvanju zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju. Podvrgavanjem vode za ljudsku potrošnju dezinfekciji određenim kemijskim sredstvima kao što su klorni preparati uklanjaju se patogeni mikroorganizmi iz vode koji mogu biti uzrok raznih zaraznih bolesti. Uporabom klornih preparata kao što je plinoviti klor, natrijev hipoklorit (NaOCl), klor dioksid (ClO₂) mogu nastati razni kemijski nusprodukti kao što su trihalometani (THM), klorati i kloriti čije su granične vrijednosti u vodi zakonski propisane „Pravilnikom o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju“ (NN 125/2017). Navedeni nusprodukti mogu štetno djelovati na ljudsko zdravlje ako se nalaze u većim koncentracijama u vodi i ako je prisutna duža izloženost istima. Iako oni mogu biti štetni za ljudsko zdravlje, pogubniji mogu biti patogeni mikroorganizmi koji se mogu naći u vodi te se učinkovitost dezinfekcije ne smije dovoditi u pitanje. Cilj ovog rada je prikazati vrijednosti fizikalno-kemijskih i mikrobioloških parametara dobivenih laboratorijskim analizama provedenim na prikupljenim uzorcima vode za ljudsku potrošnju iz četiri vodoopskrbna sustava na otoku Krku te utvrditi njihovu zdravstvenu ispravnost. Analize su proveli djelatnici laboratorija Ponikve voda d.o.o. prema ISO normama, a obrađeni rezultati pripadaju razdoblju od 01.01.2018.-31.12.2018. godine. Također je cilj prikazati vrste dezinfekcije vode koje se provode na otoku Krku, a to su dezinfekcija UV-zračenjem u kombinaciji sa klor dioksidom i dezinfekcija natrijevim hipokloritom te prikazati njihovu usporedbu.

Ključne riječi : voda za ljudsku potrošnju, patogeni mikroorganizmi, dezinfekcija, klorni preparati, kemijski nusprodukti

SUMMARY

Disinfection plays a great role in preserving health safety of water for human consumption. Subjecting water for human consumption to disinfection by certain chemical compounds such as chlorine mixtures, removes pathogenic microorganisms which can cause a plethora of contagious diseases. Usage of chlorine varieties such as gaseous chlorine, sodium hypochlorite (NaOCl) and chlorine dioxide (ClO₂) can lead to production of different chemical byproducts such as trihalomethanes (THM), chlorates and chlorides; whose limit values are legally prescribed in "Regulation on compliance parameters and methods of analysis of water for human consumption" (NN 125/2017). Previously mentioned byproducts can have a negative effect to human health, if found in large concentration in drinking water, especially if the water has been exposed to it for a longer period of time. Although they can be very harmful for human health, even more detrimental are pathogenic microorganisms found in water, which makes the significance of disinfection even more relevant. The aim of this paper is to present values of physicochemical and microbiological parameters, obtained by laboratory analysis conducted on collected samples of water from four water systems of island Krk; as well as determine their drinking quality. Analysis was conducted by laboratory technicians of Ponikva laboratory in compliance with ISO standards, and processed data was collected in the period from 1st January 2018 to 31st December 2018. Moreover, the goal is to present the various ways of disinfecting water on island Krk, which are: disinfection by UV radiation in combination with chlorine dioxide, as well as disinfection by sodium hypochlorite, and compare the two.

Key words: water for human consumption, pathogenic microorganisms, disinfection, chlorine mixtures, chemical byproducts.

Sadržaj

| | | |
|--------|---|----|
| 1 | UVOD..... | 1 |
| 1.1 | Općenito o vodi | 1 |
| 1.2 | Fizikalna svojstva vode | 3 |
| 1.2.1 | Polarnost..... | 3 |
| 1.2.2 | Gustoća..... | 3 |
| 1.2.3 | Viskoznost | 4 |
| 1.2.4 | Površinska napetost | 4 |
| 1.3 | Toplinska svojstva vode | 5 |
| 1.4 | Električna svojstva vode..... | 5 |
| 1.5 | Optička svojstva vode..... | 5 |
| 1.6 | Kemijska svojstva vode | 6 |
| 1.6.1 | Otapanje u vodi..... | 6 |
| 1.6.2 | Disocijacija vode | 6 |
| 1.6.3 | Oksido-redukcijsko djelovanje vode | 7 |
| 1.7 | Voda i njen značaj | 8 |
| 1.8 | Količina pitke vode na Zemlji | 9 |
| 1.9 | Potrošnja vode | 10 |
| 1.10 | Priprema vode za ljudsku potrošnju..... | 10 |
| 1.10.1 | Kondicioniranje | 10 |
| 1.10.2 | Prethodna obrada vode | 11 |
| 1.10.3 | Mehanički i kemijski postupci obrade vode..... | 11 |
| 1.11 | Drugačiji postupci kondicioniranja vode | 13 |
| 1.11.1 | Ultrafiltracija | 14 |
| 1.11.2 | Nanofiltracija..... | 14 |
| 1.11.3 | Reverzna osmoza..... | 14 |
| 1.12 | Dezinfekcija vode za ljudsku potrošnju | 15 |
| 1.12.1 | Čimbenici koji utječu na dezinfekciju..... | 16 |
| 1.12.2 | Značajke dobrog dezinfekcijskog sredstva..... | 17 |
| 1.12.3 | Dezinfekcija klorom i klornim preparatima | 17 |
| 1.12.4 | UV - zračenje..... | 22 |
| 1.13 | Drugi postupci dezinfekcije vode | 23 |
| 1.14 | Kemijsko djelovanje klora u vodi | 24 |
| 1.15 | Načini dobivanja slobodnog rezidualnog klora | 26 |
| 1.15.1 | Dezinfekcijsko djelovanje SRK i VRK..... | 27 |
| 1.15.2 | Kontrola rezidualnog klora..... | 27 |
| 1.16 | Nastanak nusprodukata dezinfekcije vode i njihovi učinci na zdravlje..... | 28 |
| 1.17 | Zakonska regulativa vezana za ispitivanje vode za ljudsku potrošnju | 30 |
| 2 | Cilj istraživanja | 33 |
| 3 | Materijali i metode | 34 |
| 3.1 | Vodoopskrbni sustav Ponikve | 34 |
| 3.2 | Vodoopskrbni sustav Stara Baška | 36 |
| 3.3 | Vodoopskrbni sustav Baška..... | 39 |
| 3.4 | Vodoopskrbni sustav Paprata | 39 |
| 3.5 | Uzorkovanje vode za ljudsku potrošnju | 40 |
| 3.5.1 | Postupak uzimanja uzoraka vode za mikrobiološku analizu..... | 40 |
| 3.5.2 | Postupak uzimanja uzoraka vode za fizikalno-kemijsku analizu..... | 42 |
| 3.6 | Metode određivanja fizikalno-kemijskih parametara u vodi za ljudsku potrošnju | 42 |
| 3.6.1 | Boja i miris | 43 |

| | | |
|--------|---|----|
| 3.6.2 | Mutnoća..... | 43 |
| 3.6.3 | Temperatura..... | 44 |
| 3.6.4 | Koncentracija vodikovih iona (pH vrijednost)..... | 44 |
| 3.6.5 | Utrošak KMnO ₄ | 44 |
| 3.6.6 | Amonij..... | 45 |
| 3.6.7 | Nitrati..... | 45 |
| 3.6.8 | Željezo i mangan..... | 46 |
| 3.6.9 | Vodljivost..... | 46 |
| 3.6.10 | Kloridi..... | 46 |
| 3.6.11 | Alkalitet..... | 47 |
| 3.6.12 | Ukupna tvrdoća..... | 47 |
| 3.6.13 | Kalcijeva tvrdoća..... | 47 |
| 3.7 | Metode određivanja mikrobioloških parametara u vodi za ljudsku potrošnju | 48 |
| 3.7.1 | Metoda membranske filtracije..... | 48 |
| 3.7.2 | Određivanje ukupnog broja bakterija..... | 49 |
| 3.7.3 | Određivanje <i>Pseudomonas aeruginosa</i> metodom membranske filtracije | 50 |
| 3.7.4 | Određivanje broja ukupnih koliforma metodom membranske filtracije ... | 51 |
| 3.7.5 | Određivanje <i>E. coli</i> metodom membranske filtracije..... | 52 |
| 3.7.6 | Određivanje <i>Clostridium perfringens</i> metodom membranske filtracije.... | 53 |
| 3.7.7 | Određivanje enterokoka metodom membranske filtracije..... | 54 |
| 4 | Rezultati..... | 56 |
| 4.1 | Put vode i mjesta uzorkovanja u vodoopskrbnim sustavima (Ponikve, Stara Baška, Baška, i Paprata)..... | 56 |
| 4.2 | Fizikalno-kemijski parametri..... | 58 |
| 4.2.1 | Izvorišta..... | 58 |
| 4.2.2 | Vodosprema..... | 62 |
| 4.2.3 | Mreža..... | 64 |
| 4.3 | Mikrobiološki parametri..... | 66 |
| 4.3.1 | Izvorišta..... | 67 |
| 4.3.2 | Vodosprema..... | 69 |
| 5 | Rasprava..... | 70 |
| 6 | Zaključci..... | 76 |
| 7 | Literatura..... | 79 |

1 UVOD

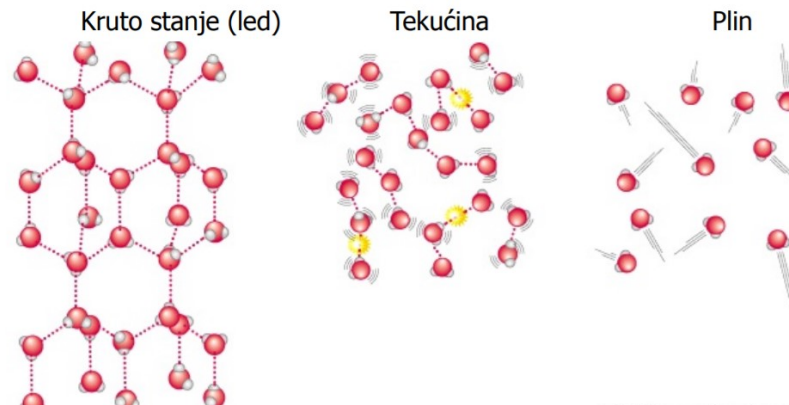
1.1 Općenito o vodi

Voda je najrasprostranjenija tvar u tekućem stanju na Zemlji koju čine dva atoma vodika i atom kisika. Vodu na Zemlji možemo naći u čvrstom (led), tekućem (voda) te plinovitom (vodena para) agregatnom stanju. [1]

U kakvom se stanju nalazi voda ovisi o temperaturi izloženosti vode što pokazuje tablica 1.

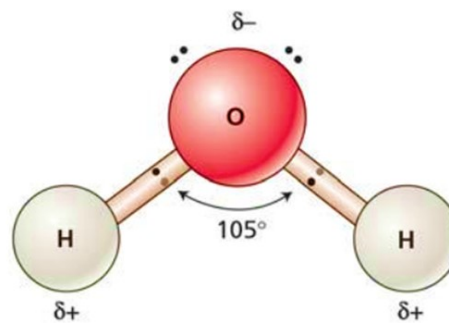
Tablica 1. Agregatna stanja vode (Radovan Halle, 2004.)

| Agregatno stanje vode | Temperatura vode u °C i K (pri atmosferskom tlaku od 101325 Pa) |
|--------------------------------|---|
| Čvrsto (led) | 0° C (273,15 K) |
| Tekuće (voda) | 0°C-100°C |
| Plinovito (vodena para) | Iznad 100°C (373,15 K) |



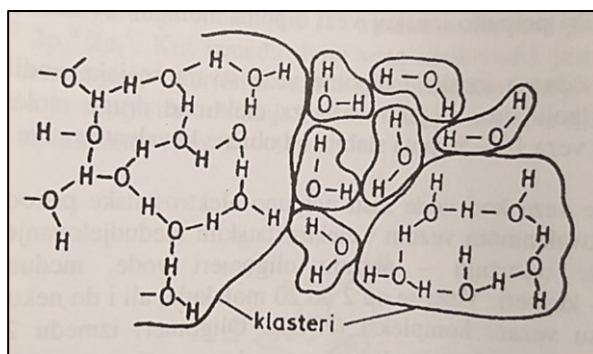
Slika 1. Agregatna stanja vode (izvor : <https://www.fkit.unizg.hr/>)

Dvije važne veze za molekulu vode su kovalentna i vodikova veza. Kovalentnom vezom su povezani atomi vodika na kisik u molekuli vode. Vodikovom vezom međusobno se povezuju dvije ili više molekula vode i to na taj način da se vodikov atom jedne molekule povezuje s kisikom druge molekule vode. Vodikove veze su slabije od kovalentnih veza koje se nalaze unutar molekule vode. [1]



Slika 2. Građa molekule vode (izvor : <https://docplayer.gr/93924726-Voda-in-rastlinska-celica.html>)

Više povezanih molekula vode čine klasterne što je vidljivo na slici 3.



Slika 3. Prikaz povezivanja vode (izvor: Halle, 2004.)

1.2 Fizikalna svojstva vode

1.2.1 Polarnost

Voda je polarna molekula zbog neravnomjerne raspodjele elektrona unutar molekule vode. Polarnost je važna za topivost drugih tvari u vodi. Koliko će neka tvar biti topiva u vodi ovisiti će o polarnim svojstvima tvari i stvaranju vodikovih veza između molekula. U vodi su topive tvari koje su slične vodi, odnosno tvari koje su također polarne. Voda je poznata kao najupotrebljivije otapalo za širok spektar različitih tvari. [2]

Posljedica njezine polarnosti je visoka temperatura tališta (0°C) i vrelišta (100°C) koje odskaču od drugih njoj sličnih tvari. [3]

1.2.2 Gustoća

Gustoća vode ovisi o nekoliko faktora : agregatno stanje, tlak i temperatura. Što je temperatura veća to je gustoća manja. Tako na temperaturi vrelišta vode koja iznosi 100°C i tlaku od 1 bar, gustoća vode je 0,958 kg/dm³. Hlađenjem vode dolazi do smanjenja gustoće te tako na temperaturi ledišta od 0°C i tlaku 1 bar, gustoća tekuće vode iznosi 0,9998 kg/dm³. Kod leda je drugačija situacija, makar je u čvrstom agregatnom stanju gustoća mu iznosi 0,917 kg/dm³ što je manje nego kod tekuće vode. Razlog tome leži u promjeni strukture molekule

vode iz tekućine u led kristalizacijom. Kada voda prelazi iz tekućeg u plinovito agregatno stanje pod djelovanjem veće temperature gustoća vode se smanjuje. Djelovanjem visokog tlaka na istoj temperaturi gustoća raste. [1]

Voda je specifična tvar baš zbog njezine gustoće koja je najveća na 4°C kada se voda nalazi u tekućem obliku, dok druge tvari imaju najveću gustoću u krutom obliku. Takva pojava naziva se anomalija vode. [3]

1.2.3 Viskoznost

Viskoznost ovisi o temperaturi i tlaku. Povišenjem temperature viskoznost se smanjuje, drugim riječima što je temperatura bliža temperaturi ledišta to je viskoznost veća jer dolazi do jačeg vezanja molekula vode. Kada voda prijeđe u led tada više pojam viskoznosti ne upotrebljavamo. Viskoznost vode pri promjeni tlaka ovisi o temperaturi vode. Pri nižim temperaturama $< 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ s porastom tlaka viskoznost vode se smanjuje, a pri višim temperaturama $> 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ s porastom tlaka viskoznost vode se povećava. [1]

1.2.4 Površinska napetost

Velika je radi čvrstih kohezijskih sila između molekula vode. Povećanjem temperature površinska napetost vode u dodiru sa zrakom opada te primjerice na 18°C iznosi $73,10^{-3}\text{ N/m}$, a na 100°C iznosi $52,5 \times 10^{-3}\text{ N/m}$. Na nju utječu otopljene tvari u vodi te je neke povećavaju, a neke snižavaju. Površinske aktivne tvari kao što su detergentski snižavaju površinsku napetost i kod malih koncentracija. Površinska napetost važna je za dizanje i spuštanje tekućina u kapilarama. Za dizanje vode u poroznim materijalima kao što je tlo, beton drvo, cigla i dr., zaslužna je veća površinska napetost. U vodenoj pari zbog velike kinetičke energije nema ni velike površinske napetosti. U čvrstom stanju vode, odnosno ledu površinska napetost nije toliko izražena pa ne može imati utjecaja na promjene na ledu. [1]

1.3 Toplinska svojstva vode

Toplinska svojstva vode izražena su pomoću specifičnog toplinskog kapaciteta i specifične entalpije. Posljedica su polarnih svojstava vode i vodikovih veza između molekula i zato je potrebno ulagati veće količine energije za prijelaze faza. Iako su neke tvari po kemijskom sastavu slične, različita su im toplinska svojstva vode. Pri temperaturi od 25°C specifični toplinski kapacitet vode iznosi 4.180 J/(kg x K). Kod povećanja temperature specifični toplinski kapacitet postaje manji. Specifični toplinski kapacitet postaje manji rastom temperature do 35 °C te nakon što prijeđe tu temperaturu uravnoteženo počinje rasti. Specifični toplinski kapacitet leda iznosi 2.090 J/(kg x K) dok specifična entalpija u točki ledišta iznosi 335 KJ/kg pri tlaku 1 bar. U točki vrelišta specifična entalpija je manja nego u točki ledišta i iznosi 2.225 KJ/kg pri tlaku 1 bar. [1]

1.4 Električna svojstva vode

Uzrokom električnih svojstava vode smatra se njezina građa. Jedna od najpoznatijih dielektričnih konstanti je dielektrična konstanta vode i iznosi oko 80 kod temperature od 20°C. Posljedica toga je velika ionizirajuća moć vode. Električna provodnost vode se povećava većim udjelom elektrolita u njoj. Za čistu vodu ona iznosi $4,2 \times 10^{-6}$ S/m kod temperature od 20°C. [1]. Ovo svojstvo ovisi o ionima prisutnima u vodi, njihovoj koncentraciji i temperaturi. Posebnim instrumentom mjeri se otpor vode između dvije elektrode. [4]

1.5 Optička svojstva vode

Propuštanjem svjetlosti kroz vodu dolazi do pojave optičkih svojstava. Voda je prozirna zbog propuštanja ultraljubičastog vidljivog dijela spektra i njezina prozirnost ovisi o duljini svjetlosnog vala. Za život na Zemlji vrlo je važno da voda skuplja energiju koje Sunce zrači. Do toga dolazi tako što voda apsorbira dio infracrvenog svjetlosnog vala. [1]

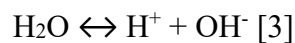
1.6 Kemijska svojstva vode

1.6.1 Otapanje u vodi

Otopiti se u vodi mogu različite čvrste i plinovite tvari. Voda je postojana tekućina radi velike unutarnje energije molekule koja je 242 KJ/mol. Voda je dobro otapalo zbog toga što je postojana, zbog električnih svojstava i građe molekule. Koliko će neka tvar biti topiva u vodi ovisi o polarnosti te tvari i je li može tvoriti vodikove veze između molekula te o adhezijskim silama između molekula tvari i vode. Tvari kod kojih su prisutne adhezijske sile između molekula vode su tvari koje su topljive u vodi i nazivamo ih hidrofilnim tvarima, dok tvari kod kojih nema izraženih adhezijskih sila su hidrofobne i one se ne otapaju u vodi. Što su jače adhezijske sile to su hidrofilne tvari bolje topljive u vodi. Tvari koje su građene od nepolarnih molekula su manje topljive u vodi jer su adhezijske sile između molekula tvari i vode slabe. Zbog privlačenja suprotnih polova molekula, polarne se tvari bolje otapaju u vodi nego nepolarne. Topivost tvari u vodi se također može povećati ako dođe do stvaranja vodikovih veza između molekule vode i otopljene tvari (solut). [1]

1.6.2 Disocijacija vode

Voda disocira na vodikov ion H^+ i hidroksidni ion OH^- prema jednadžbi :



Postoji i hidronij-ion H_3O^+ koji nastaje uslijed hidratacije, odnosno povezivanja molekule vode i iona neke druge tvari topive u vodi. Konstanta disocijacije se izražava omjerom [1]:

$$K = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]}$$

Bez obzira na koncentraciju vodikovih i hidroksidnih iona u vodi, vrijednost ionskog produkta vode (K_w) je stalna.

$$K_w = [H^+][OH^-]$$

Negativnim logaritmom koncentracije vodikovih iona H^+ iskazuje se osobina vodene otopine :

$$pH = -\log [H^+]$$

Kada je vrijednost $pH = 7$ to znači da je vodena otopina neutralna. Ispod te vrijednosti vodena otopina je kisela, a iznad te vrijednosti vodena otopina je lužnata, pri temperaturi od $25^\circ C$.

1.6.3 Oksido-redukcijsko djelovanje vode

Voda je reducens što znači da može otpustiti elektron pa možemo reći da je elektron-donor. To prikazuje reakcija : $2H_2O - 4e^- \leftrightarrow 4H^+ + O_2$

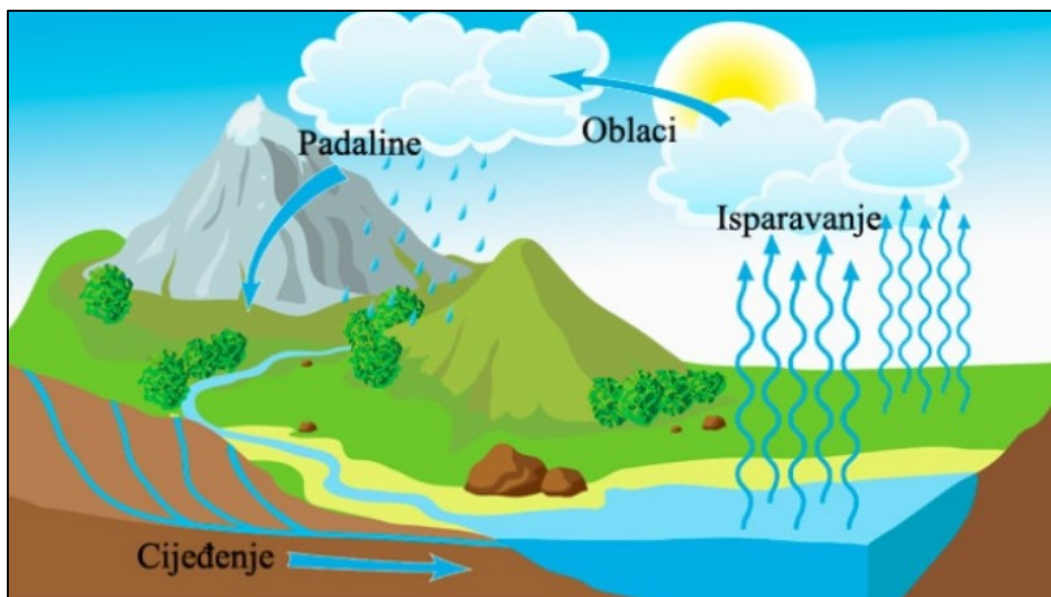
Voda također može biti oksidans što znači da može prihvatiti elektron i tada postaje elektron-akceptor. To prikazuje reakcija : $2H_2O + 2e^- \leftrightarrow OH^- + H_2$

Ove dvije navedene reakcije čine oksido-redukcijsko djelovanje vode. U čistoj vodi oksido-redukcijsko djelovanje je sporo dok jake oksidirajuće i reducirajuće tvari u vodi djeluju izrazito brzo. Element koji vrlo brzo prihvaća elektron je klor i njegova reakcija prijelaza u klor-anion je : $Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$

Klor u otopini vode daje reakciju : $2Cl_2 + 2H_2O \rightarrow 4H^+ + 4Cl^- + O_2$ [1]

1.7 Voda i njen značaj

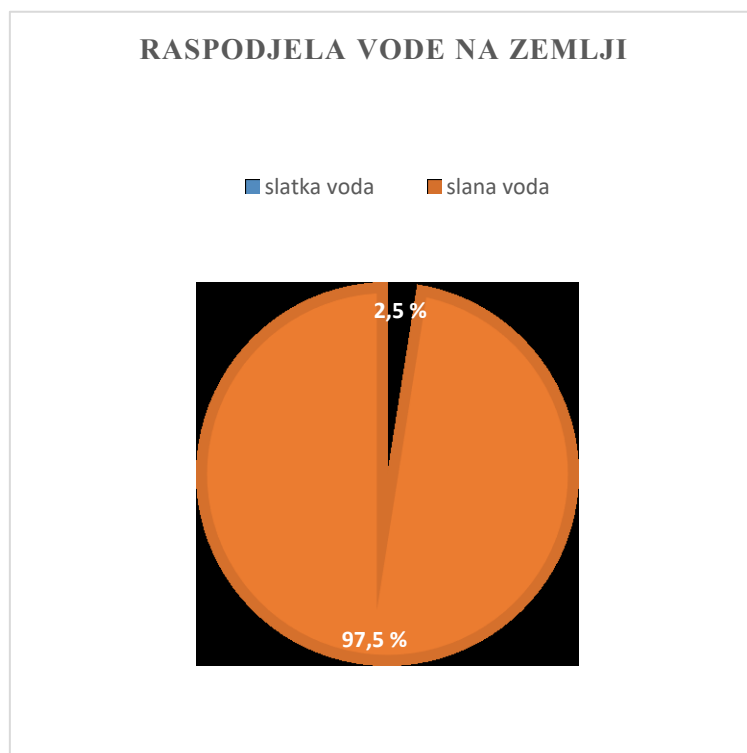
Voda je sastavni dio života na Zemlji. Sastavna je jedinica planeta Zemlje i živih bića na njoj. O vodi ovise mnogobrojni procesi na Zemlji i u ljudskom organizmu. U današnje vrijeme kada su zagađenja okoliša sve veća potrebno je očuvati pitku vodu koja je potrebna za život organizama na Zemlji. Važno je očuvati zdravstveno ispravnu vodu jer o njoj ovisi ljudski život. Voda kruži u prirodi i možemo je naći u svim agregatnim stanjima na Zemlji. Ciklus kruženja vode može se poremetiti čovjekovim aktivnostima i djelatnostima koje obavlja, primjerice radom industrija, poljoprivredom, korištenjem vode za osobne potrebe kao što je kuhanje, pranje, čišćenje i dr., čime se zagađuju izvori vode za ljudsku potrošnju. [5]



Slika 4. Hidrološki ciklus vode (izvor : <https://vodaizvorzivota.weebly.com/kru381enje-vode-u-prirodi.html>)

1.8 Količina pitke vode na Zemlji

Procjena cjelokupnog volumena vode koja se nalazi na Zemlji iznosi 1,4 milijardi km^3 , a od toga slatka voda zauzima oko 2,5% (oko 35 milijuna km^3). Od količine slatke vode oko 24 milijuna km^3 , odnosno oko 69% je neiskoristivo za ljudsku upotrebu jer se nalazi u obliku leda na Sjevernom i Južnom polu ili je na većoj dubini koja je nedostupna ljudima i eksploatacijskim tehnologijama. Ostatak slatke vode koja je dostupna čini podzemna voda na dubini do 2 000 metara što iznosi oko 11 km^3 ili oko 31% ukupnih količina slatke vode. Njezina količina iznosi oko 97% iskoristivih slatkih voda. Od ukupne količine slatke vode, jezera i rijeke zauzimaju oko 105 000 km^3 odnosno 0,3 %. [5]



Slika 5. Prikaz raspodjele vode na Zemlji

1.9 Potrošnja vode

Zbog velikog rasta stanovništva potrošnja pitke vode se iz dana u dan povećava, a zalihe raspoložive pitke vode se smanjuje. Potrošnja tih zaliha iznosi 54% što dokazuje da se potrošnja vode udvostručila u proteklih 100 godina. Udio raspoložive slatke vode 1970. godine je bio 12 900 m³, a 2000. godine se taj udio drastično smanjio na manje od 7000 m³. Zbog neravnomjerne preraspodjele slatke vode procjena za raspoloživu količinu slatke vode za 2025. godinu iznosit će oko 5 100 m³ što predstavlja rizik od nedovoljnih količina slatke vode za ljudske potrebe te se procjenjuje da će dostupnost vode te godine za 3 milijarde ljudi biti manja od 1 700 m³/stanovniku. Potrošnja slatke vode u domaćinstvima razvijenih država iznosi 500 do 800 litara vode po stanovniku što je i desetak puta više nego kod država koje su u razvoju. U pojedinim zemljama u razvoju kao što je Afrika potrošnja slatke vode iznosi 50 do 100 litara po stanovniku, dok u nekim drugim svega 20 do 60 litara po stanovniku. Prema Svjetskoj zdravstvenoj organizaciji (WHO) 1,2 milijardi osoba godišnje umre konzumirajući zdravstveno neispravnu vodu. Razlog tome je što dosta ljudi nema ni pristupa zdravstvenoj ispravnoj vodi jer nema ni pristupa vodoopskrbnom sustavu. Zbog veće potrošnje i zagađenja vode potrebno je očuvati dostupne količine pitke vode. [5]

1.10 Priprema vode za ljudsku potrošnju

1.10.1 Kondicioniranje

Priprava vode, odnosno kondicioniranje vode važno je za uredno nadziranje čistoće vodovodne mreže i uređaja koji se koriste uz neprekidnu dezinfekciju vode. Kondicioniranje vode uključuje postupke uklanjanja neželjenih tvari iz vode i dodavanje vodi elemenata koji joj nedostaju. [6]

Cilj kondicioniranja je zaštita zdravlja potrošača od mogućih biološki i kemijskih štetnih tvari, to jest uzročnika određenih bolesti koje se mogu naći u vodi. Uobičajeni postupci

kondicioniranja vode za piće su : prethodna obrada vode (držanje vode u spremnicima uz prethodnu dezinfekciju), koagulacija, flokulacija, sedimentacija ili taloženje, filtracija i dezinfekcija. Standardnim postupcima kondicioniranja vode postiže se uklanjanje dijela mikroorganizama iz vode i suspendiranih tvari koje uzrokuju mutnoću. [5]

1.10.2 Prethodna obrada vode

U spremnicima vode kao što su jezera provodi se prethodna obrada vode koja uključuje taloženje i prisutnost UV-zračenja kako bi se poboljšala mikrobiološka kakvoća vode. UV-zračenjem se na površini vode djeluje na bakterije koje se nalaze u tom gornjem sloju te one odumiru i talože se na dno. Stajanje vode u spremnicima nekoliko tjedana može smanjiti broj salmonela, enterovirusa i fekalnih indikatora i do 99 %. Kada nije moguće vodu zadržati u spremnicima primjenjuje se prethodna dezinfekcija klorom koja uklanja veći dio bakterija, virusa, parazita i smanjuje broj modrozelenih algi koje nepovoljno djeluju na koagulaciju i filtraciju. [5]

1.10.3 Mehanički i kemijski postupci obrade vode

1.10.3.1 Taloženje (sedimentacija)

Taloženje ili sedimentacija je standardni postupak kondicioniranja vode koji uključuje mehaničko odjeljivanje suspendiranih tvari koje mogu biti organskog i anorganskog podrijetla. Do taloženja može doći stajanjem vode ili ako voda lagano teče. Taloženje se odvija u objektima koji se zovu taložnice. [5]

1.10.3.2 Koagulacija i flokulacija (pahuljičarenje)

Da bi se taloženje suspendiranih tvari ubrzalo mogu se koristiti kemijska sredstva za koagulaciju, primjerice aluminijev fosfat (AlPO_4), željezni(II)sulfat (FeSO_4), željezni(III)sulfat ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) i željezov(III)klorid (FeCl_3) koji kad se otope u vodi neutraliziraju električni naboj

tvari iz vode te tako stvaraju flokule (pahuljice) koje se brže talože na dno. Vrijeme taloženja smanjuje se dodavanjem koagulansa, a samim time mogu se smanjiti i dimenzije taložnica u objektima u kojima se provodi postupak. [5]

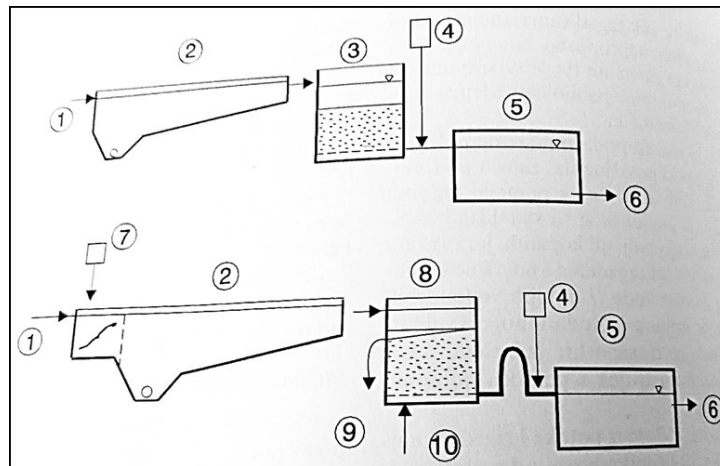
Flokulacija vode je postupak koji se nadovezuje na koagulaciju vode te omogućuje značajno vezanje čestica u nakupine odnosno flokule koje imaju sposobnost adsorpcije tvari iz vode kao što su mikroorganizmi i mineralne tvari koje vodi daju obojenje te ih tako uspješno talože na dno pa se time poboljšavaju senzorske i mikrobiološke karakteristike vode. [7]

Sredstva koja se mogu dodati vodi za provođenje postupka flokulacije su aktivni silicij, aktivni ugljen i ilovača. [1]

1.10.3.3 Filtracija

Nakon što se dio suspendiranih tvari iz vode uklonio taloženjem u spremnicima slijedi filtracija. Drugi dio suspendiranih tvari i mikroorganizama koji su ostali u vodi uklanjaju se filtracijom kroz filtere od pijeska. Filtri prema brzini kretanja vode i učinku kondicioniranja mogu biti spori (engleski ili biološki) i brzi (američki). Prije filtracije sporim filtrima provodi se taloženje bez dodavanja koagulanata te imaju mehaničko, kemijsko i biološko djelovanje. Takvim se načinom djelovanja uklanja najveći dio mikroorganizama koji se zadržavaju na porama filtara, a osobito u gornjim dijelovima filtara. Zbog toga je potrebno povremeno gornje slojeve pijeska ukloniti te zamijeniti novim. Da bi njihov rad bio učinkovit potrebna je velika površina filtra i upotrebljavaju se samo u manjim vodovodnim sustavima. U većim vodovodnim sustavima primjenjuju se brzi filtri kod kojih brzina filtracije može biti i do 25 puta veća nego kod spore filtracije. Brzi filtar djeluje mehanički pa je potrebno prethodno provesti kemijsku obradu koja uključuje koagulaciju, flokulaciju i taloženje. Takvom obradom dobiva se u potpunosti bistra voda. Filtriranje je neminovno pri upotrebi površinskih izvora vode kao vode za piće. Kod podzemnih voda ponekad je potrebno upotrijebiti i dodatne postupke

kondicioniranja da bi se uklonilo željezo, mangan, ugljikov dioksid, sumporovodik, metan i arsen. Da bi se oni uklonili iz vode mogu se primijeniti postupci aeriranja, odnosno raspršivanja kojim voda uspostavlja kontakt s zrakom. Tada također može biti koristan i postupak ozonizacije u njihovom uklanjanju kojim se voda privodi kraju kondicioniranja te je u potpunosti spremna za dezinfekciju. [6]



Slika 6. Shema postupaka kondicioniranja pitke vode : 1. dovod sirove vode, 2. taložnica, 3. spori filtar, 4. dezinfekcija, 5. rezervoar, 6. odvod čiste vode, 7. dodavanje sredstva za koagulaciju, 8. brzi filtar, 9. odvod vode od ispiranja filtra, 10. dovod vode za ispiranje (izvor : Valić,2001.)

1.11 Drugačiji postupci kondicioniranja vode

Membranski postupci su sve više korišteni za uklanjanje boje, mirisa, mikroorganizama i otopljenih organskih tvari u vodi. Za uklanjanje nepoželjnih tvari iz vode koriste se membrane od sintetičkog materijala koje takve tvari vežu na sebe uz pomoć tlaka. Postupci koji se najviše koriste su ultrafiltracija i nanofiltracija. Radi cijene i djelovanja na mikroorganizme je još uvijek najpristupačnija dezinfekcija klorom, ali ima i negativnu posljedicu stvaranja trihalometana pa se više koristi ultrafiltracija kod vode koja u sebi ima otopljene organske tvari koje su prekursori za nastanak trihalometana. Moguća je upotreba i reverzne osmoze koja se koristi za desalinizaciju morske vode. [6]

1.11.1 Ultrafiltracija

Ultrafiltracija je postupak obrade vode kojim se uklanjaju veće molekule otopljenih tvari, spore i virusi i postupak je sličan reverznoj osmozi. Membrane koje se koriste za ultrafiltraciju imaju veće pore (0,002 - 0,03 μm) te se upotrebljavaju tlakovi manji od 5 bara. [8]

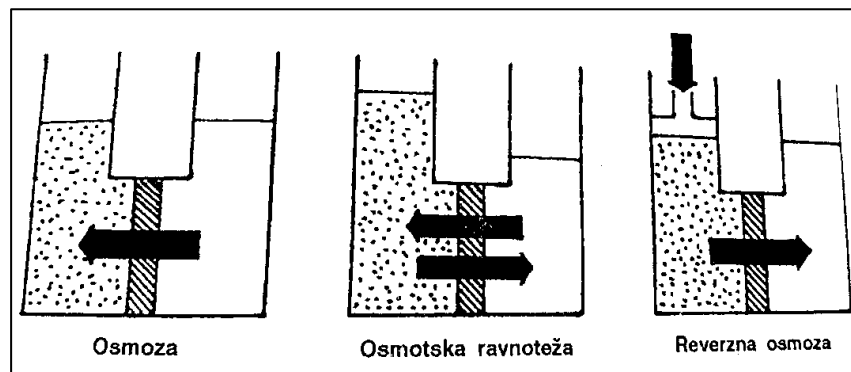
1.11.2 Nanofiltracija

Nanofiltracija je postupak obrade vode koji se odvija na membrani sa karakteristikama između ultrafiltracije i reverzne osmoze i može biti učinkovita za uklanjanje boja i organskih tvari. Pore membrana su veličine 0,001-0,01 μm i omogućuju prolaz monovalentnih iona kao što su natrij ili kalij, ali ne propuštaju veliku količinu dvovalentnih iona kao što su kalcij i magnezij i veće organske molekule. Tlakovi koji se primjenjuju su oko 5 bara. [8]

1.11.3 Reverzna osmoza

Postupak u kojem otapalo iz otopine niže koncentracije prolazi kroz polupropusnu membranu u otopinu više koncentracije da bi se koncentracije izjednačile zove se osmoza. Postupak obrnut tome naziva se reverzna osmoza, odnosno prelazak otapala iz veće koncentracije u područje manje koncentracije povećanjem tlaka otopine više koncentracije. Tlakovi koji se primjenjuju su između 15 i 50 bara. Pore membrana su manje od 0,002 μm te reverznom osmozom monovalentni ioni i organske tvari molekulske mase veće od 50 ostaju na membranama a otapalo prolazi. Navedeni postupak se često koristi za odsoljavanje (desalinizaciju) morske vode i vode bogate raznim mineralima da bi se dobila pitka voda kao što je slučaj na jednom dijelu otoka Krka (Stara Baška). Tim procesom se povećava tlak morske vode, odnosno slane vode koji je veći od samog osmotskog tlaka te dolazi do propuštanja čiste

vode (permeat) kroz membranu, a na membrani ostaju tvari kao što su kloridi (koncentrat) i to se događa u obrnutom smjeru od procesa osmoze. [8]



Slika 7. Razlika između osmoze i reverzne osmoze (izvor: Halle, 2004.)

1.12 Dezinfekcija vode za ljudsku potrošnju

Dezinfekcija vode je postupak uklanjanja mikroorganizama iz vode i zadnji je dio u provođenju kondicioniranja vode te je najučinkovitiji postupak za sprječavanje hidričnih epidemija. Ona je neupitna u vodoopskrbi pitkom vodom. Važna je zbog uklanjanja i reduciranja broja mikroorganizama (bakterije, virusi, paraziti i praživotinje) u površinskoj i podzemnoj vodi koje mogu biti izložene fekalnoj kontaminaciji te je tada nužno korištenje različitih kemijskih sredstava kao što je klor. Kako bi se smanjila populacija mikroorganizama u vodi provode se odgovarajuće mjere na samom izvorištu vode, u spremnicima vode i tijekom njezinog transporta do potrošača. Korištenje kemijskih dezinficijensa u obradi vode obično rezultira stvaranjem kemijskih nusprodukata. Nusprodukti mogu predstavljati opasnost za zdravlje ljudi, ali veću opasnost ipak predstavljaju mikroorganizmi iz vode ako se ne uklone dezinfekcijom. Korištenjem odgovarajuće koncentracije dezinficijensa povećava se učinkovitost dezinfekcije vode te se tako smanjuje rizik za zdravlje ljudi od prisustva mikroorganizama. Za dezinfekciju vode najčešće se koristi postupak kloriranja. Još se koriste razni postupci poput ozoniranja, UV-zračenje, klor dioksida i dr. Ovakvim postupcima se

učinkovito uklanjaju i uništavaju bakterije u vodi i inaktiviraju različiti virusi i protozoe kao što su Giardia i Cryptosporidium. Efikasan način uklanjanja cista i oocista protozoa je spoj filtracije, koagulacije i flokulacije kako bi se odvojile čestice i zamućenost te se tada vrši dezinfekcija jednim sredstvom, a može i kombinacijom sredstava. Stajanjem vode u spremnicima nakon dezinfekcije i prije opskrbe pučanstva može unaprijediti dezinfekciju jer je dezinficijens duže u kontaktu s vodom. To može biti naročito bitno za uspješno uklanjanje otpornijih mikroorganizama kao što je Giardia i poneki virusi. [9]

U vodu se mogu dodavati oksidacijska sredstva jer oksidiraju spojeve poput željeza i mangana koje je kasnijim procesima lakše ukloniti. Oksidacija olakšava kontrolu rasta mikroorganizama u sustavu i odvajanje nepoželjnih čestica na filterima. Takvim postupcima se smanjuje zamućenost vode. Za prethodnu obradu vode oksidacijskim sredstvom može se koristiti kalijev permanganat. Ponekad je potrebno vodi dodati više kalijevog permanganata te može doći i do predoziranja vode sa njime na što upućuje ružičasto obojenje vode. Trihalometani, halooctena kiselina i bromati jedni su od oksidacijskih nusprodukata koji mogu nastati provođenjem postupka oksidacije. Klor se također može koristiti kao oksidacijsko sredstvo i njegovom se primjenom mogu vrlo brzo razviti nusprodukti. [10]

1.12.1 Čimbenici koji utječu na dezinfekciju

Uspješnost dezinfekcije ovisi o mnogo faktora kao što su koncentracija dezinfekcijskog sredstva koje se primjenjuje, pH, temperaturi, vremenu kontakta i dr. Navedeni čimbenici utječu na osjetljivost mikroorganizama na dezinfekciju. Temperatura i pH utječu na brzinu kemijskih reakcija odnosno na brzinu provođenja dezinfekcije. Ovisno koje sredstvo se koristi potrebna je viša ili niža temperatura vode pa tako i pH. Uzrok povećane otpornosti mikroorganizama na dezinfekciju može biti njihovo vezanje ili udruživanje na čestice u vodi. Na učinkovitost

dezinfekcije također utječe i mutnoća. Suspendirane čestice ometaju postupak dezinfekcije i ako je voda mutna postupak se neće u potpunosti izvršiti. [10]

1.12.2 Značajke dobrog dezinfekcijskog sredstva

Dobro dezinfekcijsko sredstvo čini [11]:

1. Moć uništavanja patogenih mikroorganizama u vodi
2. Postizanje učinkovitog učinka uklanjanja mikroorganizama u kratkom roku
3. Zadržavanje senzorskih svojstava vode i nemogućnost stvaranja toksičnih tvari primjenom odgovarajućih doza dezinfekcijskog sredstva
4. Djelovanje sredstva i nakon dezinfekcije (rezidualno djelovanje) radi mogućeg kasnijeg mikrobiološkog zagađenja vode
5. Jednostavno određivanje koncentracije dezinficijensa u vodi u najbržem mogućem vremenu
6. Pristupačna cijena te laka i sigurna uporaba
7. Jednostavna oprema za rukovanje koja ne zahtjeva posebne vještine i znanja

1.12.3 Dezinfekcija klorom i klornim preparatima

Dezinfekcija klorom naziva se još i klorinacija i najčešći je postupak dezinfekcije vode zbog svoje pristupačnosti i efikasnosti. Uređaji kojima se vrši dezinfekcija nazivaju se klorinatori, a oni mogu biti otopinski i plinski. [6]

1.12.3.1 Klorni preparati

Postoje više preparata klora, a neki od njih su :

- ⇒ Elementarni klor
- ⇒ Klorno vapno

- ⇒ Natrijev hipoklorit
- ⇒ Izocijanurati
- ⇒ Kloramini
- ⇒ Klorov dioksid

Elementarni klor može se nabaviti stlačen u čeličnim bocama i za njegovo doziranje i kontroliranje koriste se plinski klorinatori. Klorno se vapno primarno koristi za ručnu dezinfekciju. Jedan od načina dezinfekcije vodovodne vode je priprava 1% - otopine koja se dodaje vodi neprekidno pomoću otopinskog klorinatora. Natrijev hipoklorit poznat još pod nazivom Varikina i može se naći na tržištu kao 3-4% -tna otopina. 10-15%-tna otopina nosi naziv i otopina natrijevog hipoklorita. Izocijanurati su po kemijskom sastavu natrijeve soli izocijanurne kiseline koja se još koristi pod nazivom Izosan i njihovim otapanjem u vodi nastaje hipoklorasta i izocijanurna kiselina . To je preparat čije se rezidue dosta dugo zadržavaju i teže se gube iz vode, a za to je zaslužna izocijanurna kiselina. Od izocijanurata može se koristiti Natrijdiklorizocijanurat koji se upotrebljava za dezinfekciju u praškastom obliku ili u tabletama te je kao takav prikladan za doziranje. Stvara rezidualni klor i usporedbom s drugim sredstvima ono je skuplje. Koristi se za dezinfekciju zdenaca, bazena i cisterni. Upotrebom kloramina kao dezinfekcijskog sredstva nastaje manje klororganskih spojeva nego kod klora i duže ostaju u vodi nego ostali klorni preparati te se može primijeniti ručno na bazenima. Dezinfekcija klor dioksidom jedino je moguća kod vodovodne vode i on se stvara na crpilištima vode. U jednu ruku klor dioksid je vrlo važan u dezinfekciji jer ne stvara klororganske tvari u onečišćenoj vodi dok na drugu ruku njegovom primjenom se u vodi mogu razviti kloriti (ClO_2^-) koji mogu dovesti do razvoja methemoglobinemije. [6]

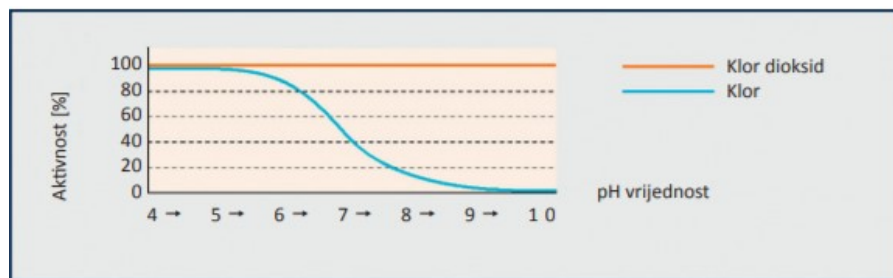
Tablica 2. Klorni preparati (izvor : Valić,2001.)

| Ime klornog preparata | Kemijska formula | Sadržaj aktivnog Cl ₂ % | Količina u g/m ³ vode |
|---|--------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| Žavelova voda (natrijev hipoklorit) | NaOCl | 10-12 | 10 |
| Varikina | NaOCl | 3-5 | 30 |
| Klorno vapno (kalcijev klorid-hipoklorit) | CaCl(OCl) | 25-30 | 5 |
| Izosan (natrijev dikloro-izocijanurat) | Cl ₂ Na(NCO) ₃ | 60 | 2 |
| Razni kloramini | | 40 | 8 |
| Kaporit (kalcijev hipoklorit) | CaCl(OCl) ₂ | 60-70 | 1,5 |

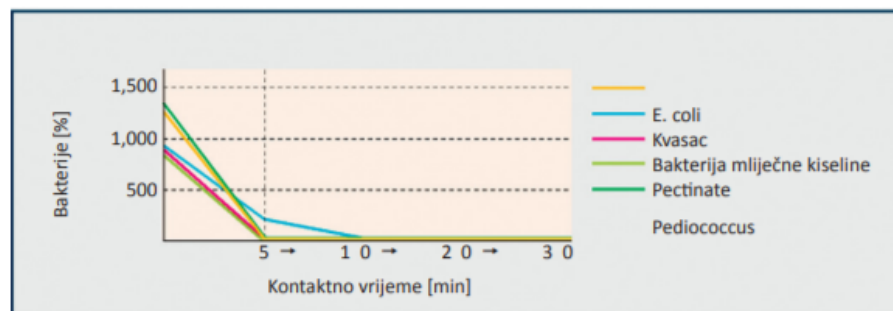
1.12.3.2 Dezinfekcija klor dioksidom (ClO₂)

Klor dioksid koristi se kao sredstvo za dezinfekciju i može se smatrati kao zamjena za ozon i plinoviti klor te u odnosu na njih je selektivniji oksidans. Ne skladišti se već se priprema prilagođenom opremom u vodoopskrbnim objektima. Osim za dezinfekciju vode služi i za kontroliranje okusa, mirisa te tvari poput mangana i željeza u vodi. Karakterizira ga dobra topljivost u vodi, posebice hladnoj vodi, a njegova učinkovitost prema bakterijama se postiže pri pH vrijednostima između 5-10. Baktericidno djelovanje klor dioksida prepisuje se oksidaciji proteina koji sadrže tirozin, metionil ili cistein koji utječu na važna strukturna područja metaboličkih enzima ili membranskih proteina. Prednosti klor dioksida su mnogobrojne, primjerice ne reagira s amonijakom koji je zaslužan za smanjivanje rezidualnog klora, ostaje

stalno prisutan u sustavu, ne stvara tvari koje su zaslužne za izražen miris vode, utječe na smanjenje biofilmova u vodoopskrbnom sustavu. Prednost klor dioksida je također što ne stvara kemijske nusprodukte kao što su trihalometani i bromati, međutim njegovom primjenom nastaju drugi nusprodukti, a to su kloriti i klorati. Klor dioksid se koristi za dezinfekciju vodovoda i bazena za plivanje. [10]



Slika 8. Učinkovito djelovanje klor dioksida pri porastu pH (izvor: 3-m. Dostupno na : http://www.3-m.hr/upload_data/site_files/3m-klor-dioksid-katalog.pdf Pristupljeno : 11.4.2019.)



Slika 9. Učinkovito djelovanje klor dioksida pri niskim koncentracijama i u kratkom vremenu (izvor: 3-m. Dostupno na : http://www.3-m.hr/upload_data/site_files/3m-klor-dioksid-katalog.pdf Pristupljeno : 11.4.2019.)



Slika 10. Uredaj za dezinfekciju klor dioksidom

1.12.3.3 Natrijev hipoklorit (NaOCl)

Natrijev hipoklorit je spoj koji se upotrebljava u tekućem agregatnom stanju kao otopina te daje slobodni rezidualni klor. Otopina natrijevog hipoklorita dozira se uporabom električne dozirne pumpe. Može se koristiti za dezinfekciju vodoopskrbnih sustava, bazena, u domaćinstvu kao sredstvo za izbjeljivanje. Otopina natrijevog hipoklorita može reagirati s drugim tvarima te postati zapaljiva pa mora se voditi računa oko korištenja, smještaja i prijevoza. NaOCl se otapa u vodi i stvaraju se hipokloritna kiselina (HOCl) i hipokloritni ion (OCl⁻) koji imaju dezinfekcijsko djelovanje. Korištenjem NaOCl dolazi do povećanja pH vode te se za snižavanje pH koristi klorovodična kiselina (HCl) kako bi se dezinfekcija učinkovito izvršila. Jedne od prednosti korištenja NaOCl su lako doziranje, skladištenje, transport i rezidualno djelovanje. Jednako je učinkovita uporaba kao i kod plinovitog klora. Nedostaci

natrijevog hipoklorita su razvitak klororganskih spojeva, nestabilnost pri dužem stajanju, mogućnost gubitka aktivne komponente i mogućnost korozivnog djelovanja. [12]



Slika 11. Uređaj za dezinfekciju natrijevim hipokloritom

1.12.4 UV - zračenje

Ultraljubičasto zračenje(UV) pripada elektromagnetskom zračenju valnih duljina 40-400 nm i može se podijeliti na UV-A, UV-B, UV-C ili vakuum-UV. UV-B i UV-C zračenje (200-310 nm) koristiti se kao metoda redukcije patogena u vodi za piće kao što su bakterije, virusi, gljivice, alge, protozoe i bakteriofaga. Najučinkovitije djelovanje na bakterije je pri valnoj duljini 265 nm. UV-zračenje djeluje na bakterije tako što onemogućava transkripciju i replikaciju nukleinskih kiselina te se bakterije ne mogu razmnožavati i ugibaju. [10]

Prednost UV zračenja kao dezinfekcijskog sredstva je to što ne stvara kemijske nusprodukte, miris i okus vode ostaju isti, jednostavno korištenje i dr. Međutim kod primjene UV-zračenja nema rezidualnog djelovanja kao što je to kod primjene klora. Mutnoća vode može narušiti učinkovitost primjene takvog načina dezinfekcije vode te je potrebno vodu prethodno obraditi. [13]



Slika 12. Uređaji za UV dezinfekciju

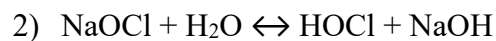
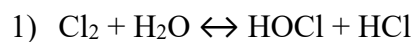
1.13 Drugi postupci dezinfekcije vode

Osim kloriranja mogu se primjenjivati postupci kao što su bromiranje, jodiranje, UV-zračenje, gama zračenje, ultrazvuk i ozonizacija. Bromiranje se kao postupak dezinfekcije koristi jako rijetko i to samo za bazene za plivanje te takvim postupkom mogu nastati bromorganski spojevi. Kada je potrebno izvršiti dezinfekciju manje količine vode prikladan je postupak jodiranja. Može se koristiti pojedinačno kao tableta ili kao tinktura joda (oko 8 kapi/L vode). Dobar je kao dezinfekcijsko sredstvo i može se primijeniti na jako onečišćenoj vodi. Veliki plus preparata na bazi joda je što ne stvaraju jodorganske spojeve to jest ne dolazi do reakcije joda s organskom tvari u vodi te je radi toga lakša primjena joda nego li klornih preparata. Najčešće se jodiraju bazeni za plivanje. Nedostaci primjene joda kao dezinfekcijskog sredstva su miris i boja koja nastaju te skupoća samog postupka. Zbog visoke cijene uređaja za dezinfekciju, dezinfekcija UV-zrakama, gama zrakama i utrazvukom nije toliko česta. Takav način dezinfekcije primjenjuje se u vodovodima i prednost im je što ne stvaraju organoleptičke smetnje. Ozonizacija je jedan od najučinkovitijih postupaka jer djeluje dobro na viruse i bakterije te uklanja boju vode (oksidira razne organske spojeve koji se nalaze u vodi), ali

mijenja miris i okus vode. Ozon se proizvodi uređajima koje je potrebno ugraditi na mjestima dezinfekcije vode, odnosno u većim objektima s cirkulacijom vode kao što su vodovodi i bazeni za plivanje. Mana ozonizacije je skupoća postupka i nedostatak rezidualnog djelovanja. [6]

1.14 Kemijsko djelovanje klora u vodi

Hidrolizom klora i njegovih spojeva u vodi nastaje hipokloritna kiselina (HOCl). To je objašnjeno sljedećim reakcijama :



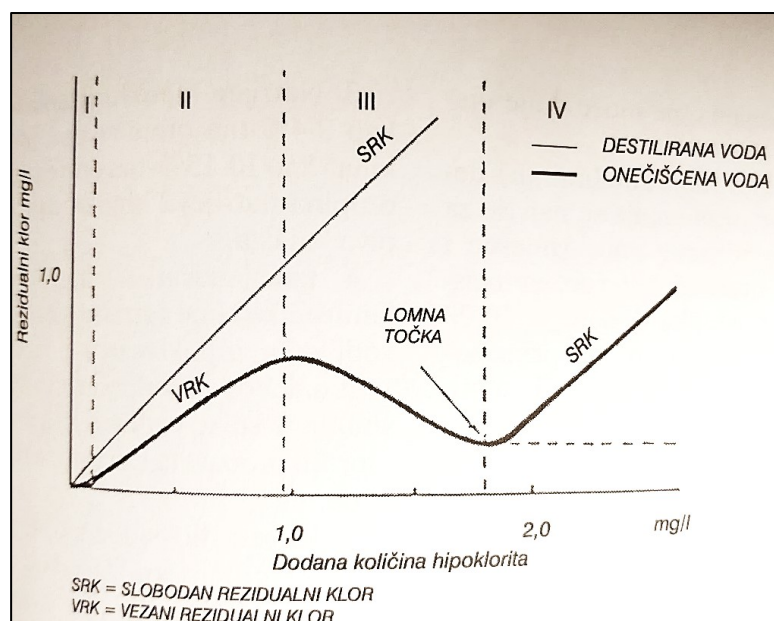
Hipokloritna kiselina i njezin hipokloritni ion (OCl^-) efikasno djeluju na bakterije i viruse u vodi. [6]



Disocijacijom hipokloritne kiseline nastaje hipokloritni ion (OCl^-) koji ima slabije djelovanje od hipokloritne kiseline. Pri pH 5 disocijacija hipokloritne kiseline je najmanja te je tada djelovanje dezinfekcije najučinkovitije. Hipokloritna kiselina ima do 80 puta veći dezinfekcijski učinak od hipokloritnog iona. Zato je dezinfekcija vode pri nižem pH učinkovitija. [1]

Temperatura vode također utječe na učinkovitost dezinfekcije. Njezinim opadanjem pada učinkovitost dezinfekcije. Dodatkom klora vodi namijenjenoj za piće u kojoj se nalaze suspendirane organske tvari, amonij, željezo, mangan i slične tvari koje reagiraju s hipokloritom sudjelujući u reakcijama oksidacije, supstitucije i adicije kojima nastaje fenomen lomne točke. Lomna točka je točka iznad koje nastaje slobodni rezidualni klor. Slobodni rezidualni klor (SRK) je količina klora koja se nalazi u obliku HOCl i OCl^- . Faze nastanka rezidualnog klora

prikazane su slikom 13. U 1. fazi klor razgrađuje organske komponente (željezo, mangan). Količina klora koja se utroši na proces oksidacije te da bi se organske tvari razgradile zove se klorna potreba vode. Klorna potreba vode ovisi o količini organskih tvari u vodi te što je više takvih tvari biti će i ona veća. U 2. fazi pod utjecajem većih količina klora dolazi do adicije i supstitucije između klora i amonijaka te nastaje vezani rezidualni klor (VRK). VRK čine kemijski spojevi poput kloramina i klororganskih spojeva. Klororganski spojevi znaju izazvati organoleptičke smetnje jakim mirisom vode. U 3. fazi dodatno se povećava koncentracija hipoklorita te dolazi do oksidacije kloramina i klororganskih spojeva te se tako smanjuje koncentracija hipoklorita. Točka gdje završava oksidacija spojeva iz sve tri faze i gdje počinje nastanak SRK (slobodni rezidualni klor) i VRK naziva se lomna točka i ona predstavlja koncentraciju rezidualnog klora. SRK i VRK čine rezidualni klor (RK) koji predstavlja koncentraciju klora koja je ostala neiskorištena nakon reakcija u vodi. SRK može se naći u čistoj ili očišćenoj vodi bez zagađenja organskim tvarima kao što je amonijak. Također se može naći i u onečišćenoj vodi ako se koristi veća koncentracija hipoklorita od one koja je potrebna da bi došlo do nastanka slobodnog rezidualnog klora. Ako se koristi manja koncentracija hipoklorita od potrebne može doći do pojave VRK u onečišćenoj vodi i ako se voda tretira sintetskim kloraminima. Upotrebom elementarnog klora, natrijeva i kalcijeva hipoklorita te izacijanurata nastaje SRK. Njihovom primjenom u onečišćenoj vodi može nastati i VRK, ali se njegova koncentracija može kontrolirati opreznom upotrebom tih sredstava. [6]



Slika 13. Nastanak slobodnog i vezanog rezidualnog klora (izvor: Valić, 2001.)

1.15 Načini dobivanja slobodnog rezidualnog klora

SRK može nastati upotrebom klora i hipoklorita u vodi. pH i temperatura vode diktiraju dodavanje klora vodi, a inače to iznosi do 0,5 mg klora/L vode za vodu bez onečišćenja kao što je podzemna voda. Kada je pH povišen, a temperatura snižena tada treba dozirati do 0,5 mg/L. U takvoj vodi potrebno je pratiti koncentraciju RK. Prisutnost SRK u vodi ukazuje na učinkovitu upotrebu klora kao dezinfekcijskog sredstva. Ako se u vodi pojavi VRK tada je potrebno mijenjati postupak i provesti prekloriranje vode. Postupak prekloriranja može se vršiti u onečišćenoj i djelomice očišćenoj vodi. Dobra strana primjene prekloriranja je ta što se u vodi klor uglavnom nalazi kao SRK u većim koncentracija te tako ima dulji učinak. Uz prekloriranje koristi se i dekloriranje za zaštitu uskladištene vode, primjerice vode u kućnim i mjesnim cisternama. Za postupku prekloriranja dodaje se 10-20 mg klora/L vode. Postupak dekloriranja vrši se prije same upotrebe vode na izljevu ili u posudi koja se nalazi u blizini cisterne. Za dekloriranje može se rabiti aktivni ugljen kao filtar na izljevu, zatim natrijev tiosulfat (do dva kristalića na posudu za piće), vitamin C i SO₂ koji se mogu automatski dozirati na vodovodnim

spremnici. U vodu koja ima miris na klor nije potrebno ponovno dodavanje dezinficijensa i nije potrebno vršiti kontrolu RK. Mjerenje RK vrši se kemijskim metodama u uzorcima vode kod prekloriranja te se kod njega pojavljuje lomna točka koja ukazuje na povećanje vrijednosti za 0,5 mg/klor. VRK u vodi mora iznositi manje od 1/3 ukupnog rezidualnog klora. Kod onečišćene vode mora se češće kontrolirati koncentraciju klora kojom se postiže lomna točka zbog razlike u onečišćenju. [6]

1.15.1 Dezinfekcijsko djelovanje SRK i VRK

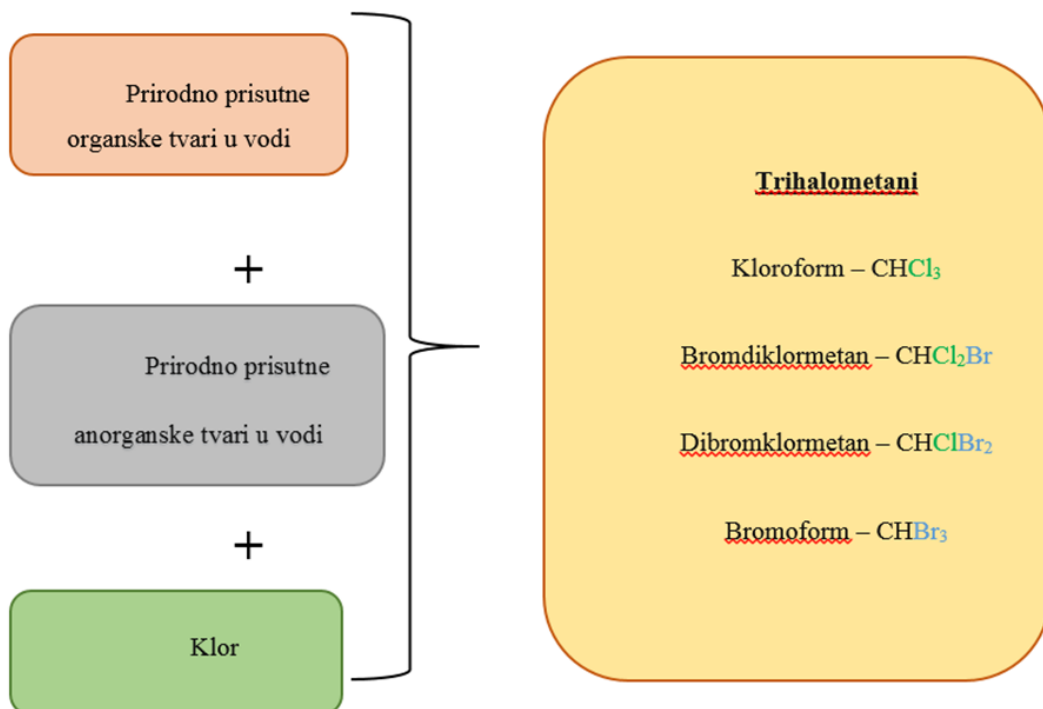
Slobodni rezidualni klor djeluje na viruse i bakterije brzo i u manjim koncentracijama (klor u stanju HOCl i OCl⁻) dok vezani rezidualni klor djeluje sporije i uz upotrebu većih koncentracija. Slabije djelovanje imaju monokloramini (predstavnicu VRK) nego SRK, a drugi organski kloramini imaju još manje djelovanje. Na učinkovitost dezinfekcije utječe i otpornost mikroorganizama prema rezidualnom kloru. Najotporniji mikroorganizmi na SRK su *Entamoeba histolytica* i *Bacillus anthracis*. Zatim slijede virusi pa patogene enterobakterije i najmanje otporna bakterija na SRK je *Escherichia coli*. Mehanizam djelovanja klora i klorinih preparata na bakterijsku stanicu se temelje na razaranju enzima dijastaze koja je bakteriji potrebna za pretvaranje škroba u šećer. [6]

1.15.2 Kontrola rezidualnog klora

Koncentracije slobodnog i vezanog rezidualnog klora u kloriranoj vodi se kontroliraju i prate provođenjem nekoliko metoda. Tri najčešće metode su : amperometrijska titracija, kolorimetrijsko i titrimetrijsko dokazivanje dietil para fenilen diaminom (DPD) i kolorimetrijsko dokazivanje siringaldazinom. Njima se mogu kvantitativno utvrditi SRK i VRK. [6]

1.16 Nastanak nusprodukata dezinfekcije vode i njihovi učinci na zdravlje

Nusprodukti dezinfekcije nastaju reakcijom dezinficijensa s organskim i anorganskim tvarima u vodi tijekom dezinfekcije. Prekursore nastanka nusprodukata predstavljaju ukupna organska tvar, obično mjerena kao ukupni organski ugljik što predstavlja oznaka TOC i anorganske tvari kao što su bromidni ioni (Br^-) te se kao takvi mogu prirodno naći u vodi. Najvažnije nusprodukte kloriranja predstavljaju trihalometani (THM), halooctene kiseline, haloketoni i haloacetonitrili. U trihalometane spadaju kloroform, bromdiklormetan, dibromklormetan i bromoform koji mogu nastati reakcijom klora s organskim tvarima kao što su huminske i fulvične kiseline. Najzastupljeniji je uglavnom kloroform, ali kada je u vodi prisutna veća koncentracija bromida tada prevladavaju bromirani trihalometani. [14]



Slika 14. Nastanak trihalometana

Trihalometani i nešto manje halooctene kiseline predstavljaju indikatorske spojeve za potencijalno štetne spojeve koji nastaju dodatkom klora u vodu. Razine trihalometana i

haloocetene kiseline u vodi regulirane su u mnogim zemljama zakonskim propisima. Količine nusprodukata u vodi mogu se smanjiti promjenom uvjeta u procesu obrade vode kao što je smanjenje prekursora prisutnih u vodi prije dezinfekcije zatim upotrebom nekog sredstva koji stvara manje nusprodukata te uklanjanjem nusprodukata prije distribucije vode. Količina nusprodukata se također može smanjiti primjenom manjih količina klora, međutim mora se voditi računa da to nema utjecaja na učinkovitost dezinfekcije. Prekursori se mogu ukloniti iz vode pojačanom koagulacijom, a za bolji učinak uklanjanja mogu se koristiti veće doze koagulanata te pH koagulacije mora biti niži nego što je kod uobičajenog postupka kloriranja. Proizvodnja nusprodukata ovisi o pH vrijednosti. Snižanjem pH vrijednosti nastati će manje trihalometana dok će doći do porasta haloocetene kiseline. Povišenjem pH vrijednosti dolazi do smanjenja nastanka haloocetene kiseline, a nastanka više trihalometana. Kako bi se smanjile količine nusprodukata moguće je i promijeniti dezinfekcijsko sredstvo, a odabir sredstva ovisi o samom procesu obrade vode i kvaliteti sirove vode. Primjerice zamjena klora s monokloraminom osigurava održavanje rezidua klora u distribucijskom sustavu i smanjuje nastanak trihalometana i njihov daljnji razvoj u sustavu. Unatoč tome što je monokloramin stabilniji u distribucijskom sustavu, on je manje učinkovit te se ne smije upotrebljavati kao primarno sredstvo dezinfekcije. Alternativa kemijskoj dezinfekciji pri čemu nema nastanka nusprodukata je UV-zračenje ili membranski procesi. Pošto nema rezidualnog učinka poželjno je dodati malu količinu klora da bi se očuvalo rezidualno djelovanje u distribucijskom sustavu. Ostali nusprodukti koji se mogu pojaviti u vodi su kloriti (ClO_2^-) i klorati (ClO_3^-), a oni mogu nastati razgradnjom klor dioksida (ClO_2) u vodi. Klorati također mogu nastati upotrebom natrijevog hipoklorita (NaOCl). [8]

Putevi izloženosti nusproduktima dezinfekcije mogu biti : ingestija pitke vode, preko kože tijekom kupanja i tuširanja toplom vodom i udisanjem aerosola tijekom isparavanja vode.

[15]

Toksikološka istraživanja su pokazala da trihalometani mogu dovesti do razvoja raka jetre i bubrega te da imaju negativan učinak na razvoj i reprodukciju, dok kloriti i klorati mogu dovesti do iritacije usta i jednjaka, urođenih mana i methemoglobinemije. [16]

1.17 Zakonska regulativa vezana za ispitivanje vode za ljudsku potrošnju

Kontrola vode za ljudsku potrošnju vrši se stalno i kontinuirano kako bi se smanjile potencijalne opasnosti u vodi koje mogu štetno djelovati na ljudsko zdravlje. Kontrola podrazumijeva izlazak na teren i uzimanje uzoraka vode te provođenje laboratorijskih metoda i analiza. Nadzor terena uključuje nadgledanje objekta i njegovog stanja, stanja okoliša i određivanje zone sanitarne zaštite izvorišta, saznanje o podrijetlu vode i koliko se ljudi opskrbljuje tom vodom te ako je došlo do nedavnih promjena u sustavu. Potrebno je stalno praćenje tih podataka kako bi se mogli što lakše utvrditi izvori onečišćenja. [6]

Sve su te aktivnosti propisane zakonskim regulativama. Da bi voda bila zdravstveno ispravna i da bi ju ljudi mogli konzumirati, u njoj ne smiju biti prisutne tvari koje mogu predstavljati opasnost za čovjeka i također je potrebno da zadovoljava određene uvjete kvalitete. Maksimalno dozvoljene koncentracije (MDK) parametara vode za ljudsku potrošnju propisane su prema „Zakonu o vodi za ljudsku potrošnju“ (NN 56/13, 64/15, 104/17 i 115/18) točnije „Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe“ (NN 125/2017). Ispitivanja i analize vode provode zavodi za javno zdravstvo i ovlaštene laboratoriji. Ispitivanja i analize koje se provode u laboratorijima obuhvaćaju kontrolu mikrobioloških, fizikalno-kemijskih, kemijskih, indikatorskih parametara i parametara radioaktivnosti vode za ljudsku potrošnju. U ovom radu ispitivali su se mikrobiološki i fizikalno-kemijski parametri koji su prikazani u tablicama 3. i 4. te su prikazane njihove maksimalno dopuštene koncentracije (MDK).

Tablica 3. Mikrobiološki parametri (izvor : „Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju“ (NN 125/2017))

| Mikrobiološki parametri | Jedinice | M.D.K |
|--------------------------------|-----------------|--------------|
| Escherichia coli (E.coli) | Broj/100 ml | 0 |
| Ukupni koliformi | Broj/100 ml | 0 |
| Enterokoki | Broj/100 ml | 0 |
| Broj kolonija 22° C | Broj/1 ml | 100 |
| Broj kolonija 36° C | Broj/1 ml | 100 |
| Clostridium perfringens | Broj/100 ml | 0 |
| Pseudomonas aeruginosa* | Broj/100 ml | 0 |

Pseudomonas aeruginosa* - određuje se u uzorcima vode iz objekata od javnozdravstvenog značaja (bolnice, vrtići, starački domovi)

Tablica 4. Fizikalno-kemijski parametri (izvor : „Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju“ (NN 125/2017))

| Fizikalno-kemijski parametri | Jedinice | M.D.K |
|--|---------------------|---------|
| Boja | Mg/PtCo skale | 20 |
| Mutnoća | NTU | 4 |
| Okus | - | bez |
| Miris | - | bez |
| Koncentracija vodikovih iona (pH vrijednost) | pH jedinica | 6,5-9,5 |
| Vodljivost | µS/cm/20°C | 2500 |
| Amonij ¹ | mg/l | 0,50 |
| Nitriti ¹ | mg/l | 0,50 |
| Nitrati | mg/l | 50 |
| Kloridi | mg/l | 250 |
| Utrošak KMnO ₄ ² | O ₂ mg/l | 5 |
| Slobodni rezidualni klor | mg/l | 0,5 |
| THM (trihalometani) ukupni | µg/l | 100 |
| Kloriti i klorati | µg/l | 400 |
| Temperatura | °C | 25 |
| Aluminij ³ | µg/l | 200 |
| Željezo ³ | µg/l | 200 |
| Arsen ³ | µg/l | 10 |
| Mangan ³ | µg/l | 50 |

¹kada se kao dezinfekcijsko sredstvo koristi kloramin

²nije potrebno mjeriti ako su vrijednosti TOC (ukupni organski ugljika) zadovoljavajuće

³nužno kod korištenja flokulacijskog sredstva ili kod prirodno povećane koncentracije neke tvari

2 Cilj istraživanja

Cilj ovog rada je ukazati na važnost provođenja dezinfekcije kao jedne od glavnih mjera suzbijanja hidričnih infekcija. U radu su prikazana kemijska sredstva koja se koriste kako bi se takve situacije spriječile, s naglaskom na korištenje klornih preparata. Rad prikazuje podatke dobivene provedbom analiza u laboratoriju Ponikve voda d.o.o. na otoku Krku prije i poslije dezinfekcije vode. Dezinfekcija vode se provodila UV- zračenjem u kombinaciji s klor dioksidom (ClO_2) i natrijevim hipokloritom (NaOCl). Primjenom klornih preparata kao što je klor dioksid i natrijev hipoklorit nastaju kemijski nusprodukti na koje se rad osvrće i ukazuje na važnost njihove kontrole u vodi za piće. Njihove maksimalno dopustive koncentracije (MDK) propisane su zakonom, odnosno definirane su „Pravilnikom o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju“ (NN 125/2017). Cilj ovog rada je također prikazati i usporediti dobivene vrijednosti fizikalno-kemijskih i mikrobioloških parametara dobivenih analiziranjem uzoraka vode vodoopskrbnih sustava otoka Krka tijekom 2018. godine te ukazati na uspješnost primijenjene dezinfekcije. Fizikalno-kemijski i mikrobiološki parametri ispituju se prema „Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju“ (NN 125/2017).

3 Materijali i metode

Za potrebe ovog rada koristili su se materijali i metode koje se koriste za analizu vode za ljudsku potrošnju iz vodoopskrbnih sustava na otoku Krku. Analize vode provode djelatnici laboratorija Društva PONIKVE voda d.o.o. KRK i zahvaljujući njima dobiveni su podaci koji su poslužili za daljnju obradu u ovom radu. Podaci prikazuju vrijednosti mikrobioloških i fizikalno-kemijskih parametara u 2018. godini (01.01.2018.-31.12.2018.). Određivanje parametara vode za ljudsku potrošnju provodi se prema „Zakonu o vodi za ljudsku potrošnju“ (NN 56/13, 64/15, 104/17, 115/18) i „Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe“ (NN 125/17).

Otok Krk koristi četiri vodoopskrbna sustava i to su :

1. Vodoopskrbni sustav Ponikve
2. Vodoopskrbni sustav Stara Baška
3. Vodoopskrbni sustav Baška
4. Vodoopskrbni sustav Paprata

Preko ljeta kada je turistička sezona u tijeku i kada se potrebe za vodom povećaju te ako dođe do nedostatka vode koristi se voda iz vodoopskrbnog sustava Rijeka. [17]

3.1 Vodoopskrbni sustav Ponikve

Vodoopskrbni sustav Ponikve koristi vodu iz izvorišta Vela Fontana koja pokriva 70 % potreba za vodom. Na izvorištu Vela Fontana (vodozahvat) provodi se aeriranje vode. Nakon aeriranja vode slijede procesi obrade vode uređajem koji se sastoji od četiri povezana filtera koji su pod tlakom. Filteri se sastoje od više slojeva a to su : hidroantracit, kvarcni pijesak i aktivni ugljen. Slijedeći postupak obrade vode nakon filtriranja je dezinfekcija vode.

Dezinfekcija se prvo provodi UV zračenjem, zatim klor dioksidom prije puštanja vode u mrežu. Tijekom ljetnih mjeseci kada temperatura vode poraste može doći do većih vrijednosti od zadane MDK za parametar temperature vode u vodoopskrbnom sustavu Ponikve. Zbog takve situacije Ministarstvo zdravstva Republike Hrvatske odobrilo je odstupanje do 27°C vodoopskrbnom sustavu Ponikve do 30. rujna 2019. godine uz redovno obavještanje potrošača o odstupanjima parametra vode za ljudsku potrošnju od MDK vrijednosti. [18]



Slika 15. Akumulacijsko jezero Ponikve



Slika 16. Višeslojni filteri za obradu vode na vodozahvatu Vela Fontana

3.2 Vodoopkrbni sustav Stara Baška

Mjesto Stara Baška na otoku Krku opskrbljuje se vodom iz bunara Stara Baška. Zbog velikog sadržaja minerala ta voda je bočata te je za nju potrebna posebna obrada, a to je desalinizacija vode postupkom reverzne osmoze kojom se uklanjaju ioni iz vode kao što su kloridi. Desalinizacija se provodi u dva uređaja za obradu vode te se nakon izvršene obrade voda dezinficira natrijevim hipokloritom. Sustav obrade vode je automatiziran te se prate parametri kao što su temperatura vode, mutnoća, pH i rezidualni klor. [18]



Slika 17. Uređaj za očitavanje mutnoće (turbidimetar) vode prije i poslije filtriranja vode



Slika 18. Uređaj za očitavanje pH vode prije i poslije desalinizacije



Slika 19. Uređaj za očitavanje rezidualnog klora



Slika 21. Uređaj za regulaciju veličina kapljica i frekvencije ispuštanja NaOCl

3.3 Vodoopskrbni sustav Baška

Vodoopskrbni sustav Baška koristi vodu iz bunara (EB1, EB2 i EB3) Bašćanske kotline. Kvaliteta vode tih bunara je jako dobra te nema procesa pročišćavanja vode nego se vrši samo dezinfekcija vode natrijevim hipokloritom. [18]

3.4 Vodoopskrbni sustav Paprata

Vodoopskrbni sustav Paprata koristi vodu sa izvorišta Paprata. Ta voda je također dobre kvalitete kao i ona u Baškoj te se ne vrši pročišćavanje vode nego samo dezinfekcija natrijevim hipokloritom. [18]

3.5 Uzorkovanje vode za ljudsku potrošnju

Uzorkovanje vode vrši se prema odredbama „Zakona o vodi za ljudsku potrošnju“ (NN 56/13, 64/15, 104/17 i 115/18) i „Pravilnika o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju“ (NN 125/2017) koji nalažu koliko se često uzimaju uzorci vode, koliko je uzoraka vode potrebno za analizu te mjesta uzorkovanja. Uzorci vode se uzimaju da bi se izvršio monitoring te potrebne službene kontrole. Zakon nalaže prikupljanje uzoraka nakon prerade i dezinfekcije vode, iz spremnika vode za ljudsku potrošnju, mreže vodovoda i mjesta potrošnje, na vodocrpilištima (u slučaju da se voda izravno upotrebljava za ljudsku potrošnju) i na mjestima gdje se voda puni u boce ili neku drugu prikladnu ambalažu. Vodu mogu uzorkovati samo ovlaštene osobe koje su za to obučene. Nakon uzorkovanja vode potrebno je uzorke konzervirati i u temperaturnom lancu transportirati do laboratorija i provedbe same analize. [19]

3.5.1 Postupak uzimanja uzoraka vode za mikrobiološku analizu

Vodu je potrebno uliti u sterilne boce volumena 500 do 1000 ml. Prije ulijevanja vode u bocu potrebno je početak slavine gdje voda curi proći plamenom ili prebrisati alkoholom kako bi se otvor slavine dezinficirao. Prije uzorkovanja vode koja je klorirana potrebno je u bocu uliti 0,1 ml 10%-tne otopine natrijtiosulfata ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) kako bi se spriječio učinak klora u vodi. Zatim je potrebno pustiti vodu da teče nekoliko minuta (2-3) i tek tada napuniti bocu te staviti čep pazeći da ne dođe do kontaminacije. Prilikom uzorkovanja potrebno je izmjeriti vrijednost slobodnog rezidualnog klora DPD metodom (dietil-p-fenilen-diamin). Mjerenje se vrši dodatkom otopine pufera, DPD reagensa i uzorka vode u kivetu te ju je potrebno promiješati i nakon toga uređajem očitati vrijednost koja se izražava u mg/L Cl_2 . Klor s dodanim reagensom daje ružičasto obojenje koje je vidljivo na slici 23. Nakon uzorkovanja vode, uzorke je nužno predati laboratoriju u što kraćem vremenu (do 4 sata) pod određenom temperaturom ($+4^\circ\text{C}$)

tako da uzorci vode ostanu očuvani. Uzorci na sebi moraju imati obilježeno mjesto i vrijeme uzorkovanja, vrijednost temperature vode i vrijednost rezidualnog klora. [20]



Slika 22. HACH uređaj za mjerenje rezidualnog klora



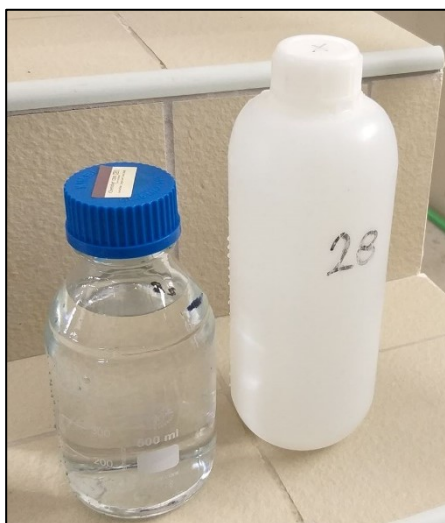
Slika 23. DPD reagens i pufer za mjerenje rezidualnog klora



Slika 24. Kiveta za mjerenje rezidualnog klora

3.5.2 Postupak uzimanja uzoraka vode za fizikalno-kemijsku analizu

Voda za potrebe ovih analiza uzorkuje se u staklene ili plastične boce volumena koji je zadan normom. U slučaju uzorkovanja vode za neke određene parametre potrebna je i odgovarajuća ambalaža i priprema takvog uzorka prema određenom standardu. Kao i kod uzorkovanja za mikrobiološku analizu vode, uzorke je potrebno označiti i predati u laboratorij što je prije moguće. [20]



Slika 25. Uzorci vode za mikrobiološku i fizikalno-kemijsku analizu

3.6 Metode određivanja fizikalno-kemijskih parametara u vodi za ljudsku potrošnju

Fizikalno-kemijski parametri koji su se određivali su: boja, mutnoća, miris, temperatura vode, koncentracija vodikovih iona (pH), utrošak KMnO_4 , amonij, nitrat, mangan, željezo, vodljivost, klorid, m-alkalitet, p-alkalitet ukupna tvrdoća, kalcijeva tvrdoća i slobodni klor.

3.6.1 Boja i miris

Voda za ljudsku potrošnju bi trebala biti bez mirisa, međutim ponekad zbog prisutnosti određenih tvari miris vode postaje izraženiji. Te tvari mogu biti različiti mikroorganizmi (miris po ribi), fekalije i sumporovodik (miris pokvarenih jaja). [20]

Boja vode može potjecati od prirodnih organskih tvari kao što su huminska i fulvična kiselina, metalnih iona kao što su mangan i željezo (Mn i Fe) koji se prirodno nalaze u vodi, različitih organskih i anorganskih tvari koje ispuštaju industrijska postrojenja, organizama i biljaka koje se nalaze u vodi i dr. One nisu samo uzrok obojenja vode nego mogu smetati u kasnijoj obradi vode, odnosno mogu umanjiti učinkovitost dezinfekcije vode ako se ne uklone. Boju je potrebno ukloniti da bi voda bila spremna za daljnju obradu i na kraju, upotrebu. Postoji prava i prividna boja vode. Prividna boja vode se sastoji od prave boje i koloidnih i suspendiranih tvari koje se nalaze u vodi, a određuje se u uzorku koji nije filtriran ni centrifugiran. Prava boja je boja koja ostaje nakon što se mutež ukloni, a sastoji se od tvari koje su otopljene u njoj. Određuje se nakon što je uzorak filtriran i centrifugiran. [21]

Određivanje boje vrši se vizualnom metodom koja se temelji na usporedbi otopina različitih intenziteta žuto-smeđe boje s bojom uzorka. Obojenje vode mjeri se pomoću °Pt/Co skale. Metoda se temelji na normi HRN EN ISO 7887:2012. [22]

3.6.2 Mutnoća

Mutnoću vode uzrokuju suspendirane i koloidne čestice organskih i anorganskih tvari, tla i vodeni mikroorganizmi. Količina i veličina suspendiranih i koloidnih čestica imaju utjecaja na jakost mutnoće. Da bi se mutež vode uklonila koriste se sedimentacija i filtracija te se time omogućuje učinkovita provedba dezinfekcije. [21]

Instrument koji mjeri mutnoću naziva se turbidimetar i rezultat iskazuje u NTU jedinicama. Mjerenje se temelji na optičkom svojstvu koloidnih otopina da ulaznu zraku svjetla raspršuje u svim pravcima (tzv. Tyndalov efekt). Metoda se temelji na normi HRN EN ISO 7027:2001. [23]

3.6.3 Temperatura

Temperatura je vrlo važan parametar u određivanju zdravstvene ispravnosti vode. Njezina vrijednost trebala bi biti približno jednaka tijekom cijele godine bez prevelikih odstupanja jer to utječe na kakvoću vode. Vrijednosti temperature ne bi smjele prelaziti MDK koja za vodu za ljudsku potrošnju iznosi 25°C. [20]

3.6.4 Koncentracija vodikovih iona (pH vrijednost)

Jedno od važnijih analiza vode je mjerenje pH vrijednosti jer o njoj ovise brojni postupci u obradi vode za ljudsku potrošnju ili otpadne vode. Metoda određivanja pH vrijednosti vode temelji se na potenciometrijskom mjerenju aktivnosti H^+ iona koristeći dvije elektrode. Metoda se temelji na normi HRN EN ISO 10523:2012. [24]

3.6.5 Utrošak $KMnO_4$

Dodavanjem kalijevog-permanganata ($KMnO_4$) u vodu dolazi do njegove razgradnje i oslobađanja kisika koji je zaslužan za oksidaciju organske tvari u vodi. Koliko će se kalijevog-permanganata ($KMnO_4$) potrošiti ovisi o strukturi i količini organske tvari u vodi. Određivanje se vrši dodavanjem 100 ml uzorka i 10 ml sumporne kiseline (H_2SO_4) u tikvicu od 200 ml. Zatim se pripremljena tikvica stavi u vrelu vodenu kupelj na 10 minuta da se grije. Biretom se dodaje 10 ml otopine kalijevog-permanganata u tikvicu te se stavlja kuhati još 20 min. Nakon toga se u tikvicu dodaje 10 ml amonijevog oksalata [$(NH_4)_2C_2O_4 \cdot H_2O$] te slijedi titracija s

kalijevim-permanganatom do pojave ružičaste boje. Rezultat se izražava u mg/L O₂. Metoda se temelji na normi HRN EN ISO 8467:2001. [25]

3.6.6 Amonij

Amonijak (NH₃) se sastoji od dušika koji u vodu može doći putem oborina ispiranjem atmosfere. Dušikovi spojevi kao što je amonijak ukazuju na organsko zagađenje te se oni smatraju nepoželjnima jer smanjuju koncentraciju kisika u vodi. [20]

Koncentracija amonijaka određuje se pomoću spektrofotometra pri valnoj duljini od 655 nm. Metoda se temelji na formiranju žutog obojenja koje se stvara pri reakciji amonijaka sa salicilatnim i hipokloritnim ionima u prisustvu natrijpentacijanoferata (sadržan u salicilat-citratnoj otopini). Postupak određivanja se provodi tako da se u odmjernu tikvicu od 50 ml doda 40 ml uzorka i 4 ml salicilat-citratne otopine. Zatim se dobivenu otopinu promućka te doda 4 ml otopine natrij dikloroizocijanurata te ponovo promućka. Zatim se tikvicu s otopinom nadopuni destiliranom vodom do oznake. Tako pripremljena otopina mora stajati najmanje 60 minuta u vodenoj kupelji na 25°C i nakon toga se mjeri apsorbancija na 655 nm prema slijepoj probi. Rezultat se izražava u mg/L NH₄. Metoda se provodi na temelju norme HRN EN ISO 7150-1:1998. [26]

3.6.7 Nitrati

Prisutnost nitrata u vodi može biti uzrokovano organskim zagađenjem vode. Ova metoda se primjenjuje za određivanje nitrata u uzorcima vode s malim sadržajem organskih tvari kao što su nezagađene prirodne vode i vode za piće. Metoda se temelji na određivanju apsorbancije uzorka na 220 nm i 275 nm. Mjerenje UV-apsorbancije omogućuje brzo određivanje nitrata. Rezultat se izražava u mg/L NO₃. [27]

3.6.8 Željezo i mangan

Željezo može dospjeti u vodu otapanjem iz tla i stijena. Također uz njega u vodi može biti prisutan i mangan koji vodi daje specifičan metalan okus te ga je važno ukloniti. [20]. Oni se u vodi mogu odrediti instrumentom koji se naziva atomski apsorpcijski spektrometar te se rezultat se iskazuje u $\mu\text{g/L}$. [21]

3.6.9 Vodljivost

Svojstvo vodene otopine da provodi električnu struju naziva se elektrovodljivost i ono ovisi o vrsti i koncentraciji iona u otopini i temperaturi mjerenja. Mjerenje se vrši uranjanjem elektrode instrumenta koji očitava rezultat. Mjerna jedinica za elektrovodljivost je $\mu\text{S/cm}/20^\circ\text{C}$. Mjerenje se temelji na normi HRN EN 27888:2008. [28]

3.6.10 Kloridi

Kloridi se prirodno nalaze u vodama sadržani u spojevima kao što su soli NaCl , CaCl_2 i MgCl_2 . Oni se u vodi mogu pojaviti otapanjem minerala u zemlji, miješanjem morske vode s slatkom vodom i ispuštanjem otpadnih voda iz industrija. Koncentracija klorida je veća u morskoj vodi i na većim dubinama vode. [20]. Određivanje klorida vrši se u neutralnoj ili slabo kiselj sredini titracijom standardnom otopinom srebro-nitrata (AgNO_3) uz indikator kalijev kromat (K_2CrO_4). Kloridi se istalože u obliku srebro-klorida prije nastanka tamnocrvenog srebro-kromata koji ukazuje na završetak titracije. Određivanje se vrši dodavanjem 100 ml uzorka ili određenog alikvota u Erlenmayer tikvicu koja se onda nadopuni do 100 ml te joj se doda 1 ml indikatora kalijeva kromata (K_2CrO_4). Nakon dodavanja kalijeva kromata potrebno je titrirati otopinu sa standardnom otopinom srebro-nitrata (AgNO_3) do trenutka kada boja otopine prijeđe iz žute u tamnocrvenu boju. Rezultat izraziti u mg/L klorida, Cl^- . Metoda se temelji na normi HRN ISO 9297:1998. [29]

3.6.11 Alkalitet

Alkalitet označava mogućnost reakcije vodenog medija s vodikovim ionima. Karbonatni, hidrogenkarbonatni i hidroksidni ioni su najčešći ioni koji tvore alkalitet i smatraju se njegovim uzrokom. Otapanjem mineralnih tvari u tlu i atmosferi nastaje alkalitet prirodnih voda. Alkalitet se mjeri kiselo bazičnom titracijom i izražava se u mg/l CaCO₃. Metoda se temelji na normi HRN EN ISO 9963-1:1998. [30]

3.6.12 Ukupna tvrdoća

Ukupna tvrdoća označava koncentraciju kationa kalcija i magnezija u uzorku i izražava se u mg/L CaCO₃ ili njemačkim stupnjevima tvrdoće °Nj. Određivanje ukupne tvrdoće vode temelji se na nastanku izrazito plave boje titracijom uzorka s Kompleksonom III (EDTA) uz indikator Eriochrom crno T. Komplekson III tvori kompleksne spojeve sa metalnim kationima u alkalnoj sredini. Uzorcima vode kod kompleksometrijskih titracija se dodaju puferi da bi voda bila stalne pH vrijednosti i ona mora biti sporija uz miješanje tikvice. Ako se u vodi nalazi više kationa metala kao što su željezo, mangan i bakar potrebno ih je prevesti u stabilnije spojeve kako ne bi reagirali s Kompleksonom. [31]

3.6.13 Kalcijeva tvrdoća

Određivanje kalcija temelji se na nastanku izrazito ljubičaste boje koja nastaje kada se uzorak titrira s Kompleksonom III (EDTA) uz indikator Murexid. Koncentracija kalcijevih iona u uzorku izražava se u njemačkim stupnjevima tvrdoće °Nj. Postupak određivanja se provodi dodavanjem 100 ml uzorka u Erlenmayer tikvicu od 300 ml te se nakon toga doda 2 ml 30 % NaOH i vrlo malo indikatora Murexid. Otopinu je zatim potrebno brzo titrirati s 0,1 M Kompleksonom III do prijelaza boje iz crvene u izrazito ljubičastu boju (brzom titracijom se sprječava taloženje Ca(OH)₂). Rezultat se izražava u mg/L CaCO₃. [32]

3.7 Metode određivanja mikrobioloških parametara u vodi za ljudsku potrošnju

Mikrobiološki parametri koji su se određivali su : *Escherichia coli*, ukupni koliformi, Enterokoki, *Pseudomonas aeruginosa*, *Clostridium perfringens*, broj kolonija na 22 °C i na 36 °C.

3.7.1 Metoda membranske filtracije

Metoda membranske filtracije služi za određivanje prisutnosti i broja mikroorganizama u uzorcima vode, a vrši se uređajem za membransku filtraciju. Uređaj se sastoji od membranskog filtera s porama određenih veličina kroz koje prolazi voda, a na filteru se zadrže bakterije koje se mogu odrediti daljnjom obradom. Metodom membranske filtracije određivali su se ukupni koliformi, enterokoki, *E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa* i *Clostridium Perfringens*. [33]

3.7.1.1 Postupak rada na uređaju za membransku filtraciju

Prvo slijedi čišćenje i dezinficiranje radnih površina dezinficijensom. Zatim se prinesu hranjive podloge i membranski filteri za rad. Potrebno je upaliti plamenik i njime sterilizirati držač filtera, lijevak i pincetu te pripremiti jednu čašu s alkoholom u koju se stavlja pinceta. Sterilnom pincetom staviti sterilni membranski filter na središte držača filtera. Uzorak vode se ulijeva u lijevak i uključivanjem vakuum pumpe voda se odvaja iz lijevka. Kada se uzorak profiltrira potrebno je filter prebaciti na hranjivu podlogu. [33]

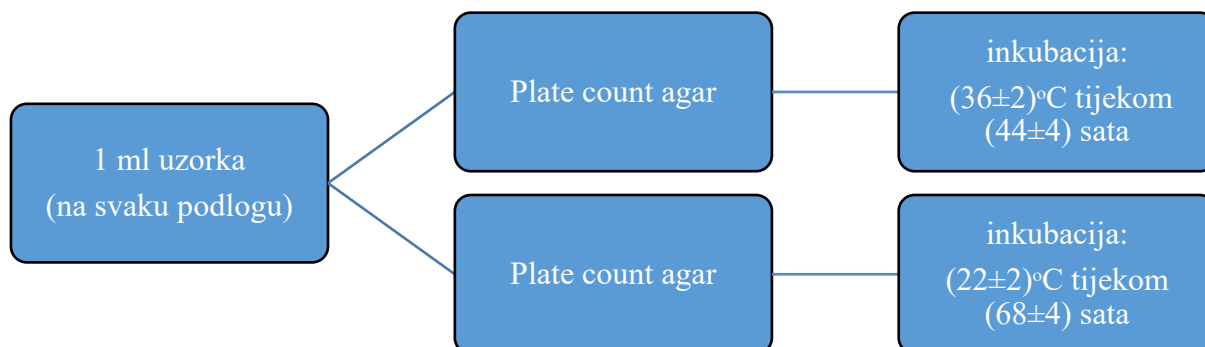


Slika 26. Uređaj za membransku filtraciju (izvor : Inkolab. Dostupno na : <http://inko.hr/>)

3.7.2 Određivanje ukupnog broja bakterija

Određivanjem ukupnog broja bakterija u vodi za ljudsku potrošnju može se utvrditi učinkovitost postupaka obrade vode kao što su filtracija i dezinfekcija vode. Te bakterije nisu patogene te ih je lako ukloniti iz vode navedenim postupcima. [34]

Metoda se provodi tako da se uzorci vode koji se nalaze u sterilnim bocama protresu te pipetom prenesu po 1 ml vode i nacijepu na dvije hranjive podloge Plate count agara. Zatim je potrebno izmiješati nasad sa podlogom. Podloge je potrebno preokrenuti te jednu inkubirati na $(36\pm 2)^{\circ}\text{C}$ tijekom (44 ± 4) sata, a drugu podlogu inkubirati na $(22\pm 2)^{\circ}\text{C}$ tijekom (68 ± 4) sata. Nakon inkubacije izbroje se narasle kolonije te se rezultat iskaže kao broj bakterija u 1 ml. [35]



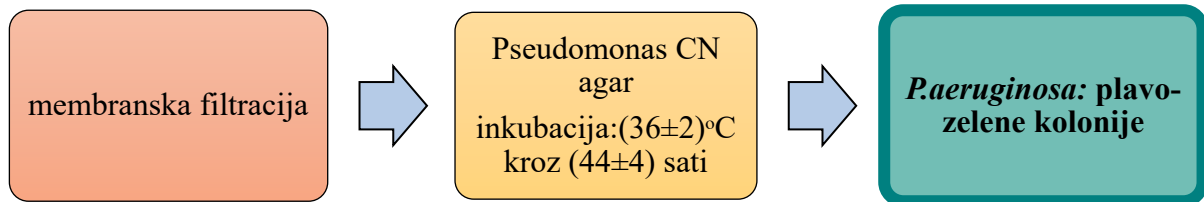
Slika 27. Postupak određivanja ukupnog broja bakterija

3.7.3 Određivanje *Pseudomonas aeruginosa* metodom membranske filtracije

Pseudomonas aeruginosa je gram negativna, nesporogena, štapićasta te katalaza i oksidaza pozitivna bakterija. Ima oksidativni metabolizam, reduciraju nitrata preko nitrita te proizvode amonijak razgradnjom acetamida. Oko 98% sojeva bakterije *Pseudomonas aeruginosa* sadrže fluorescentni pigment koji ima svojstvo topivosti u vodi. Navedenom soju za rast odgovara temperatura 42°C, dok *Pseudomonas fluorescens* raste na puno manjoj temperaturi koja iznosi 4°C. [33]

Postupak započinje sterilizacijom metalnih dijelova uređaja za membransku filtraciju plamenikom. Zatim se sterilnom pincetom stavi filter papir na središte držača filtera. Bocu u kojoj se nalazi uzorak dobro se promiješa te se otvor boce spali plamenikom i doda 100 ml uzorka u lijevak za filtraciju. Po završetku filtracije se sterilnom pincetom odvoji filter papir i prenese na selektivnu hranjivu podlogu (*Pseudomonas* CN agar). Prilikom stavljanja filter papira treba paziti da ne nastanu mjehurići zraka između filter papira i podloge. Nasađena podloga se preokrene (poklopac Petrijeve zdjelice je dolje) i stavi u termostat na (36±2)°C kroz

(44±4) sati. Nakon inkubacije se filter papir pregleda UV lampom i izbroje se sve plavo-zelene kolonije. Rezultat se izrazi brojem bakterija u 100 ml. [36]



Slika 28. Postupak određivanja *P. aeruginosa*

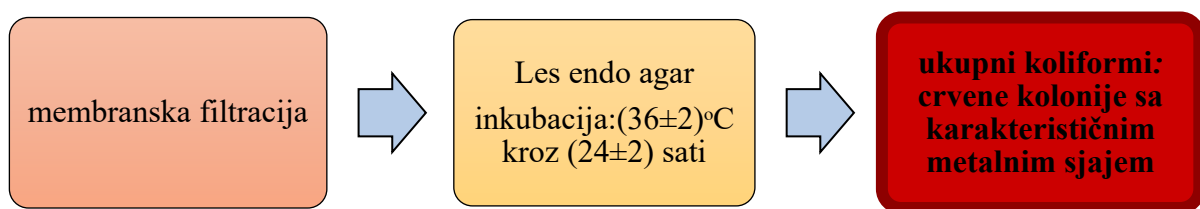
3.7.4 Određivanje broja ukupnih koliforma metodom membranske filtracije

Koliformne bakterije predstavljaju indikatore fekalnog zagađenja vode. One su primarno nepatogene bakterije koje se nalaze u probavnom sustavu ljudi i životinja putem kojeg se izlučuju te tako mogu dospjeti u okoliš i vodu. [37]

Također su oportunistički patogeni koji mogu uzrokovati bolest kod imunokompromitiranih osoba, odnosno osoba sa slabim imunosnim sustavom. Podloga za dokazivanje navedenih bakterija sadrži laktozu. One su laktoza fermentirajuće bakterije pa dolazi do nastanka acetaldehida koji u reakciji s natrij-sulfitom i fuksinom tvore crveno obojenje kolonija. Metalni sjaj nastaje jer bakterije proizvode aldehid koji fermentira laktozu. [33]

Postupak započinje sterilizacijom metalnih dijelova uređaja za membransku filtraciju plamenikom. Zatim se sterilnom pincetom stavi filter papir na središte držača filtera. Bocu u kojoj se nalazi uzorak dobro se promiješa te se otvor boce spali plamenikom i doda 100 ml

uzorka u lijevak za filtraciju. Po završetku filtracije se sterilnom pincetom odvoji filter papir i prenese na selektivnu hranjivu podlogu (Les endo agar). Prilikom stavljanja filter papira treba paziti da ne nastanu mjehurići zraka između filter papira i podloge. Nasađenu podlogu potrebno je preokrenuti (poklopac Petrijeve zdjelice je dolje) i staviti u termostat na $(36\pm 2)^{\circ}\text{C}$ kroz (24 ± 2) sati. Nakon inkubacije se izbroje crvene kolonije sa karakterističnim metalnim sjajem. Rezultat se izrazi brojem bakterija u 100 ml. [38]



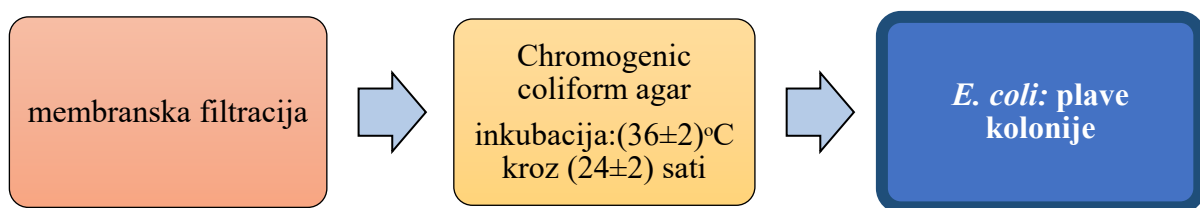
Slika 29. Postupak određivanja ukupnih koliforma

3.7.5 Određivanje *E. coli* metodom membranske filtracije

Bakterija *E. coli* spada u porodicu *Enterobacteriaceae* (crijevne bakterije) koje se nalaze u probavnom traktu ljudi i životinja. Ona je jedna od pokazatelja fekalnog zagađenja vode te je njezino prisustvo u vodi jako bitno odrediti. [39]

Hranjiva selektivna podloga za dokazivanje *E. coli* sadrži X-GLUC (kromogeni supstrat za detekciju β -glukuronidaze) i Salmon-GAL (kromogeni supstrat za detekciju β -galaktozidaze) koji omogućuju razlikovanje *E. coli* od koliformnih bakterija. Ako je *E. coli* prisutna doći će do hidrolize X-GLUC te će nastati plavo obojene kolonije. Postupak započinje sterilizacijom metalnih dijelova uređaja za membransku filtraciju plamenikom. Zatim se sterilnom pincetom stavi filter papir na središte držača filtera. Bocu u kojoj se nalazi uzorak

dobro se promiješa te se otvor boce spali plamenikom i doda 100 ml uzorka u lijevak za filtraciju. Po završetku filtracije se sterilnom pincetom odvoji filter papir i prenese na selektivnu hranjivu podlogu (Chromogenic coliform agar). Prilikom stavljanja filter papira treba paziti da ne nastanu mjehurići zraka između filter papira i podloge. Nasađena podloga se preokrene (poklopac Petrijeve zdjelice je dolje) i stavi u termostat na $(36\pm 2)^{\circ}\text{C}$ kroz (24 ± 2) sati. Nakon toga se izbroje sve plave kolonije te se rezultat izrazi brojem bakterija u 100 ml. [40]



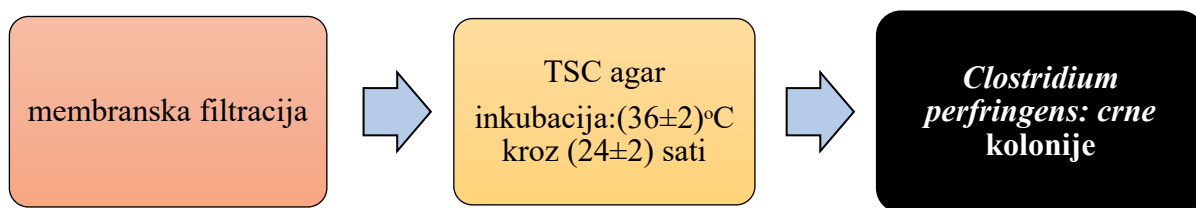
Slika 30. Postupak određivanja *E. coli*

3.7.6 Određivanje *Clostridium perfringens* metodom membranske filtracije

Bakterija *Clostridium perfringens* je predstavnik skupine mikroorganizama koje se nazivaju sulfitreducirajuće klostridije (SRK) i indikatori su fekalnog zagađenja. One su gram-pozitivni sporogeni štapići. Njihove spore su otporne na razne uvjete u okolišu pa se SRK mogu naći posvuda. Razvijaju se u anaerobnim uvjetima bez kisika i mogu reducirati sulfit do sulfida. Sulfid tada reagira sa prisutnom soli teškog metala u hranjivoj podlozi i time nastaje crni talog zbog kojeg bakterije poprime crnu boju. [33]

Postupak započinje sterilizacijom metalnih dijelova uređaja za membransku filtraciju plamenikom. Zatim se sterilnom pincetom stavi filter papir na središte držača filtera. Bocu u kojoj se nalazi uzorak dobro se promiješa te se otvor boce spali plamenikom i doda 100 ml uzorka u lijevak za filtraciju. Po završetku filtracije se sterilnom pincetom odvoji filter papir i

prenese na selektivnu hranjivu podlogu (TSC agar). Prilikom stavljanja filter papira treba paziti da ne nastanu mjehurići zraka između filter papira i podloge. Zatim se u plastičnu vrećicu sa zatvaračem unese podloga i reagens za stvaranje plina i vrećica se zatvori (anaerobni uvjeti). Vrećica s podlogom se inkubira u termostatu na 44°C kroz 48 sati. Potom se izbroje sve crne kolonije te se rezultat izrazi brojem bakterija u 100 ml. [41]



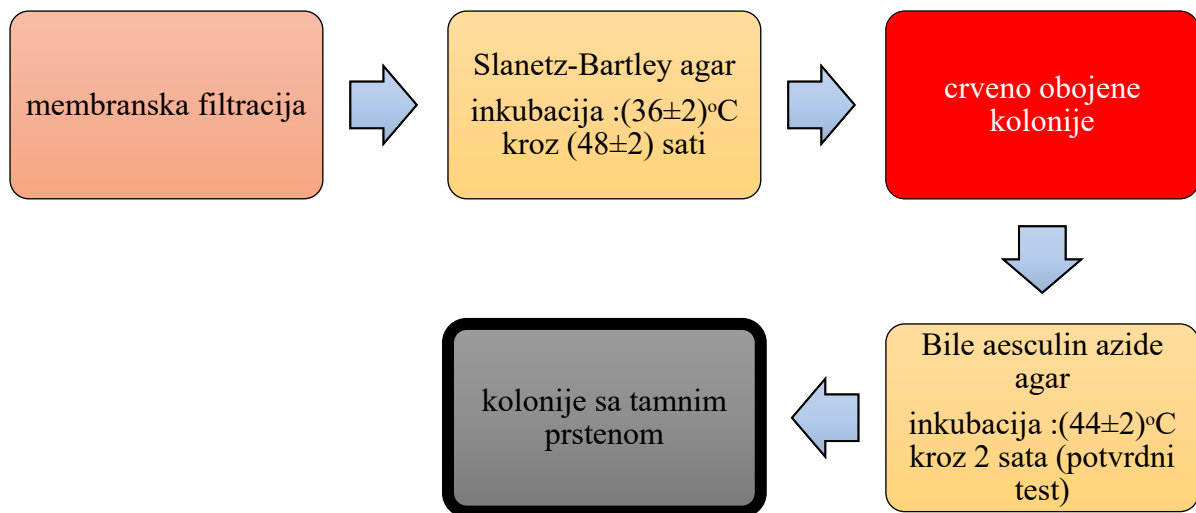
Slika 31. Postupak određivanja *Clostridium perfringens*

3.7.7 Određivanje enterokoka metodom membranske filtracije

Enterokoki su gram pozitivne bakterije i potječu iz roda *Enterococcus*. Još se nazivaju i fekalni streptokoki i oni predstavljaju indikatore fekalne kontaminacije vode za piće. Imaju značajnu ulogu u ispitivanju zdravstvene kakvoće vode jer njihova prisutnost može označavati prisutnost raznih patogenih bakterija kao što su *Salmonella* i *Campylobacter*. Dva važna predstavnika su *E. fecalis* i *E. faecium*. Dokaz da su enterokoki prisutni u vodi su kolonije sa crnim prstenom na podlozi koji nastaje vezanjem produkta hidrolize eskulina, a to je 6,7-dihidroksikumarin s solima željeza u podlozi. [33]

Postupak započinje sterilizacijom metalnih dijelova uređaja za membransku filtraciju plamenikom. Zatim se sterilnom pincetom stavi filter papir na središte držača filtera. Bocu u kojoj se nalazi uzorak dobro se promiješa te se otvor boce spali plamenikom i doda 100 ml uzorka u lijevak za filtraciju. Po završetku filtracije se sterilnom pincetom odvoji filter papir i

prenese na selektivnu hranjivu podlogu (Slanetz-Bartley agar). Prilikom stavljanja filter papira treba paziti da ne nastanu mjehurići zraka između filter papira i podloge. Nasađena podloga se preokrene (poklopac Petrijeve zdjelice je dolje) i stavi u termostat na $(36\pm 2)^{\circ}\text{C}$ kroz (48 ± 2) sati. Ako dođe do nastanka crveno obojenih kolonija potrebno je membranu sa Slanetz-Bartley agara staviti na Bile aesculin azide agar te inkubirati na $(44\pm 2)^{\circ}\text{C}$ kroz 2 sata (potvrđni test). Prebroje se sve kolonije sa tamnim prstenom te se rezultat izrazi brojem bakterija u 100 ml. [42]

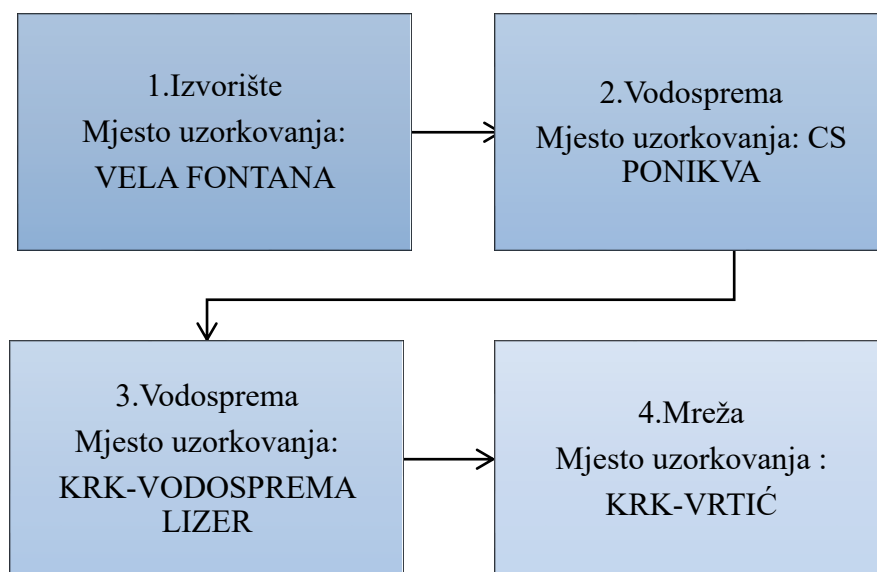


Slika 32. Postupak određivanja enterokoka

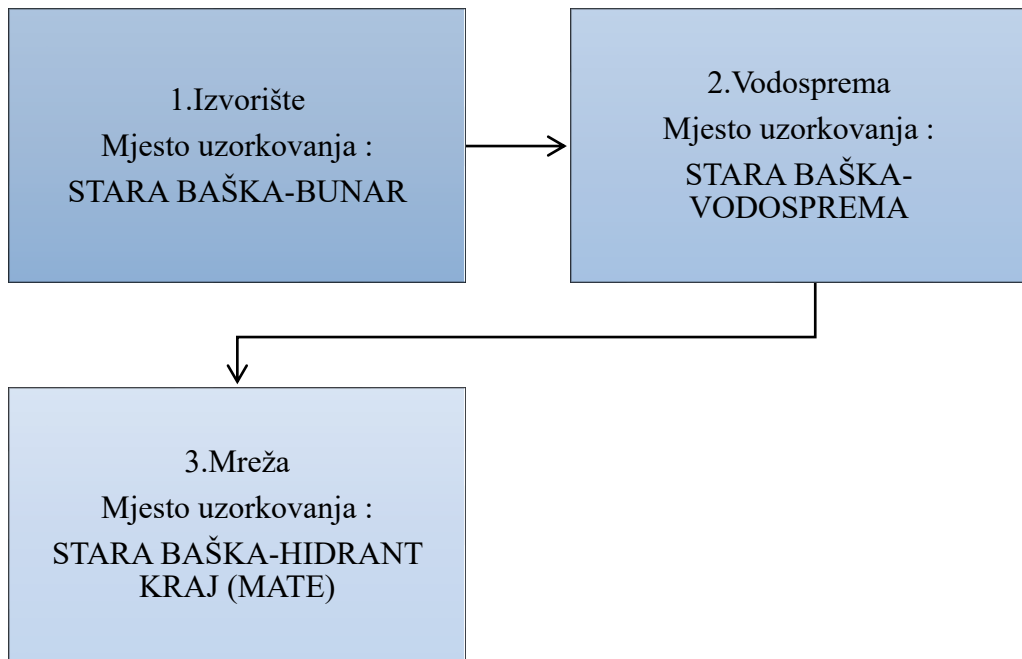
4 Rezultati

Rezultati prikazuju vrijednosti fizikalno-kemijskih i mikrobioloških parametara vode za ljudsku potrošnju sa različitih vodoopskrbnih sustava na otoku Krku u razdoblju od 01.01.2018. do 31.12.2018 godine. Uzorke vode analizirali su djelatnici internog laboratorija Komunalnog društva Ponikve voda d.o.o. na Krku. Na otoku Krku se nalaze četiri vodoopskrbna sustava koja zajedno opskrbljuju vodom 99 % otoka. Uzorci vode su se uzimali na različitim mjestima vodoopskrbnih sustava, a to su : izvorišta, vodospreme i mreže koje označuju krajnju točku puta do potrošača. Uzorci vode su se najprije uzimali na izvorištu gdje je voda još sirova, odnosno ne obrađena. Zatim su se uzimali u vodospremama gdje voda prolazi kroz postupke obrade kao što je aeriranje i filtriranje i na kraju u vodoopskrbnoj mreži kada je voda obrađena i dezinficirana. Voda se uzorkuje da bi se pratila učinkovitost obrade i dezinfekcije vode te utvrdila njezina zdravstvena ispravnost.

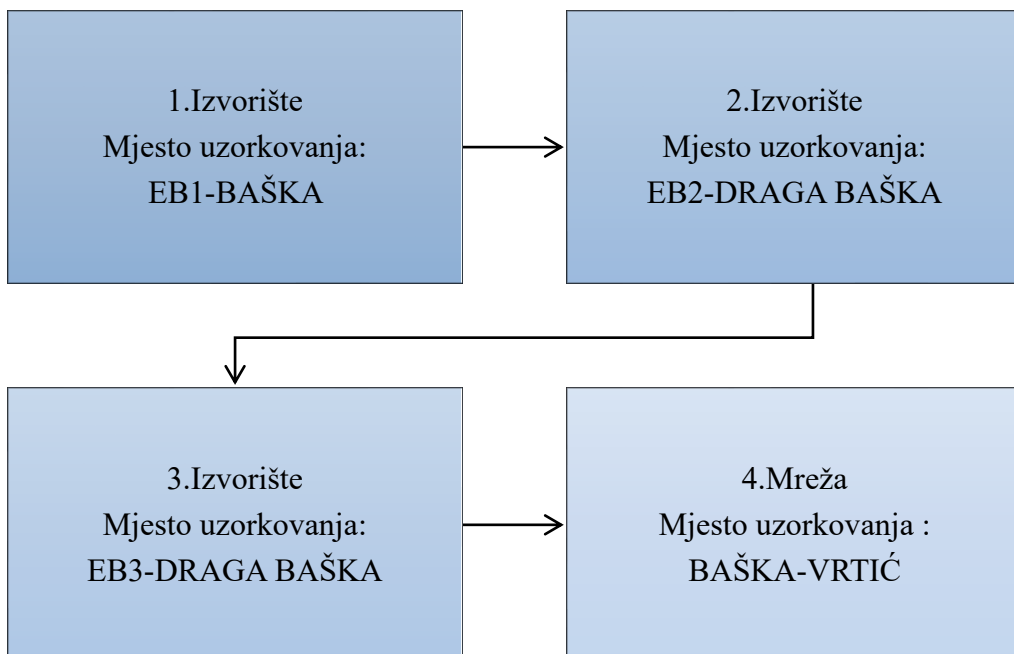
4.1 Put vode i mjesta uzorkovanja u vodoopskrbnim sustavima (Ponikve, Stara Baška, Baška, i Paprata)



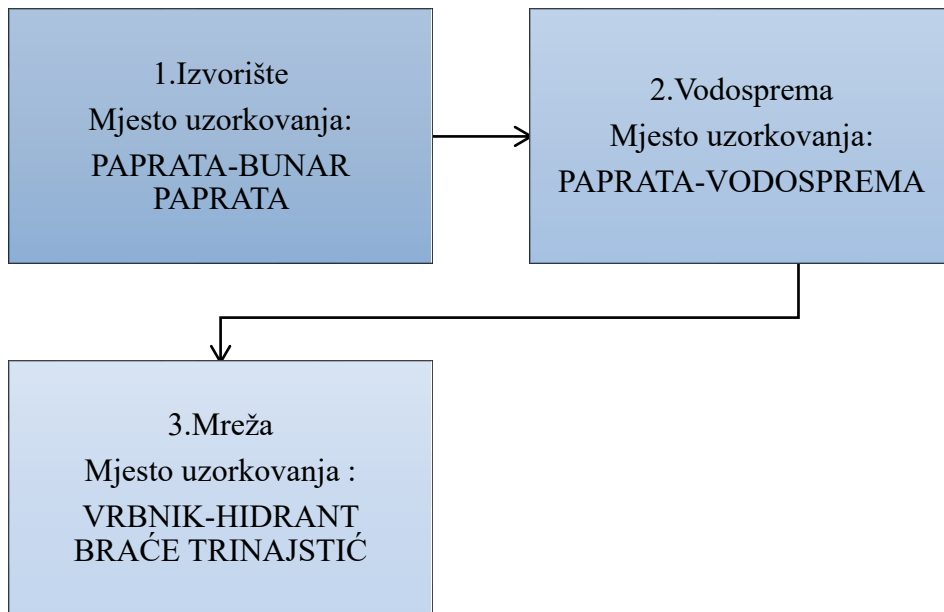
Slika 33. Vodoopskrbni sustav Ponikve (dezinfekcija UV-zračenjem i klor dioksidom)



Slika 34. Vodoopskrbni sustav Stara Baška (dezinfekcija natrijevim hipokloritom)



Slika 35. Vodoopskrbni sustav Baška (dezinfekcija natrijevim hipokloritom)

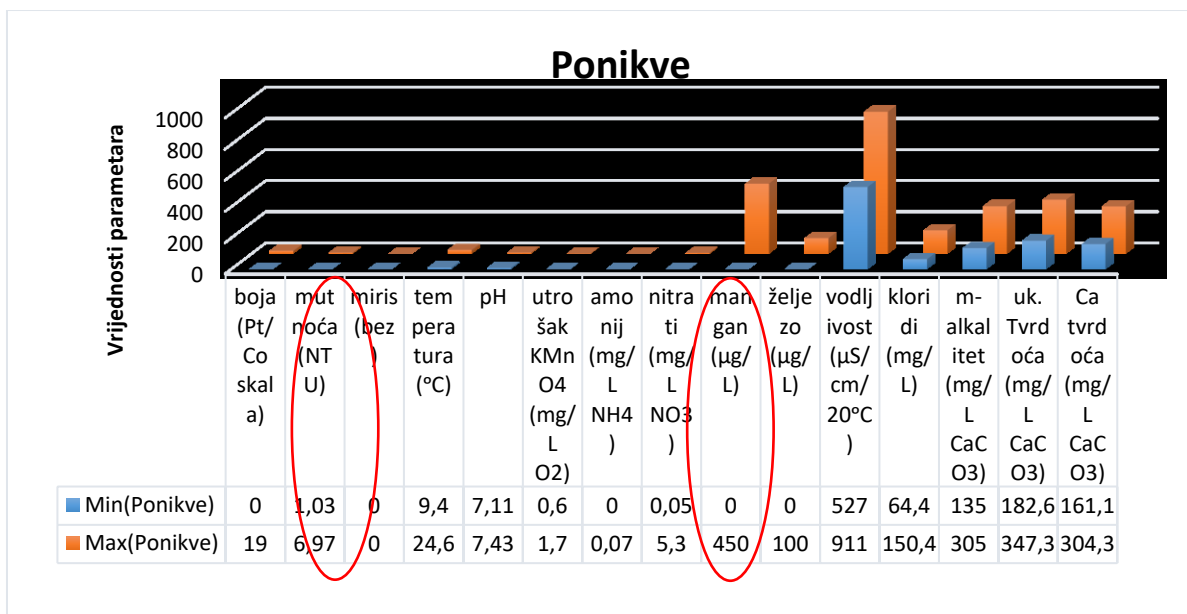


Slika 36. Vodoopskrbni sustav Paprati (dezinfekcija natrijevim hipokloritom)

4.2 Fizikalno-kemijski parametri

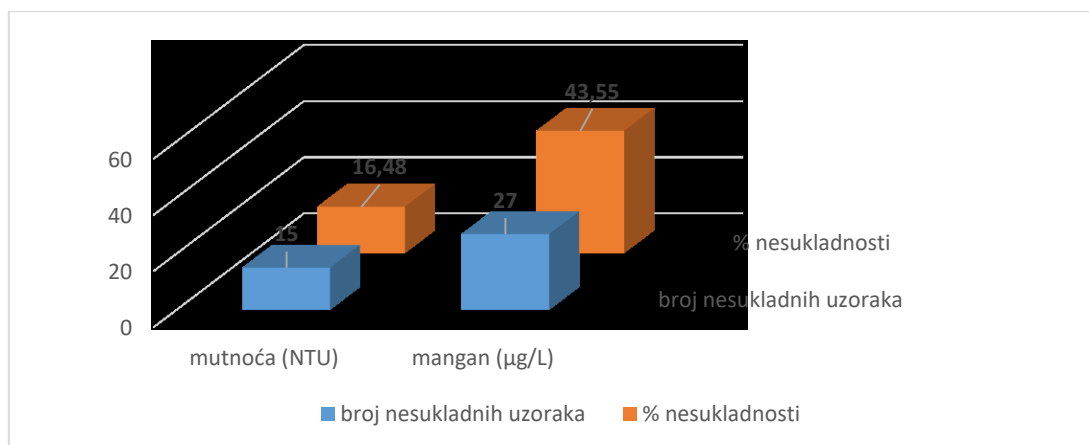
4.2.1 Izvorišta

Maksimalno dozvoljene koncentracije (MDK) fizikalno-kemijskih parametara određene su „Pravilnikom o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju“ (NN 125/2017).

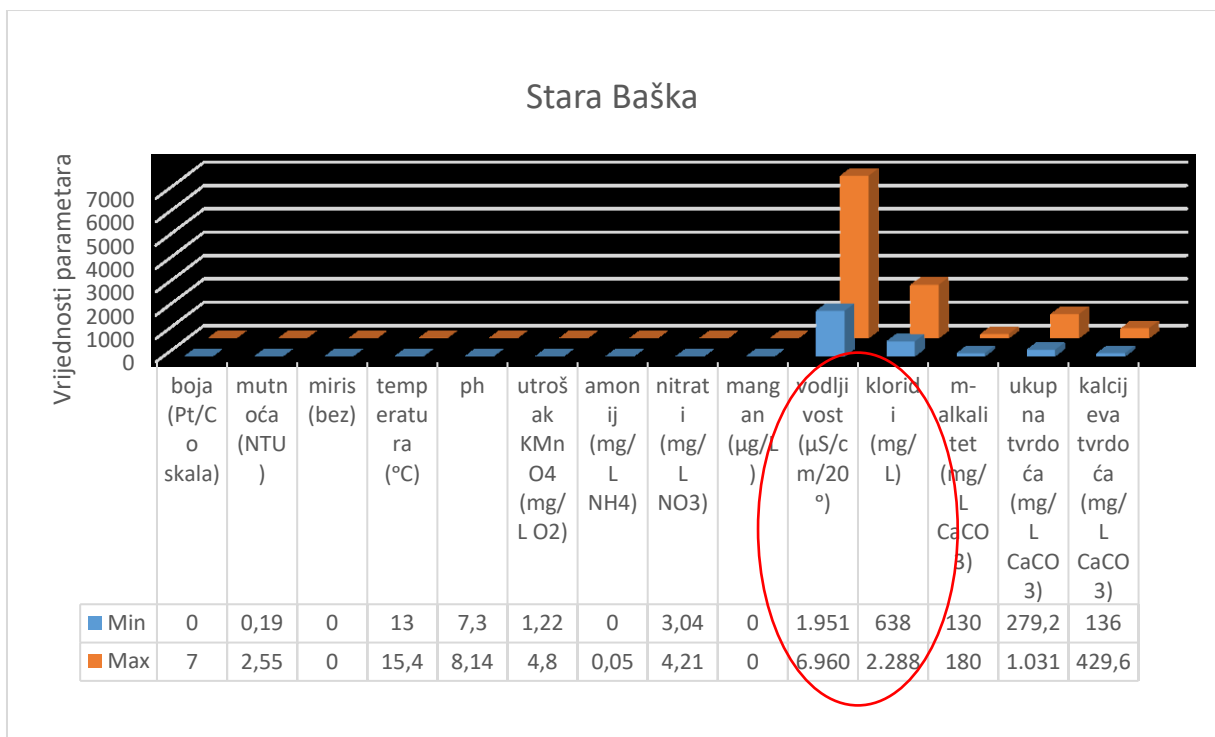


Slika 37. Prikaz vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode sa izvorišta Ponikve (Vela Fontana)

Vrijednosti mutnoće i mangana sa izvorišta Ponikve (Vela Fontana) su iznad zadanih MDK vrijednosti Pravilnika (NN 125/2017). MDK za mutnoću iznosi 4 NTU, a za mangan iznosi 50 µg/L. Najveća izmjerena vrijednost mutnoće iznosi 6,97 NTU, dok najveća izmjerena vrijednost mangana iznosi 450 µg/L.

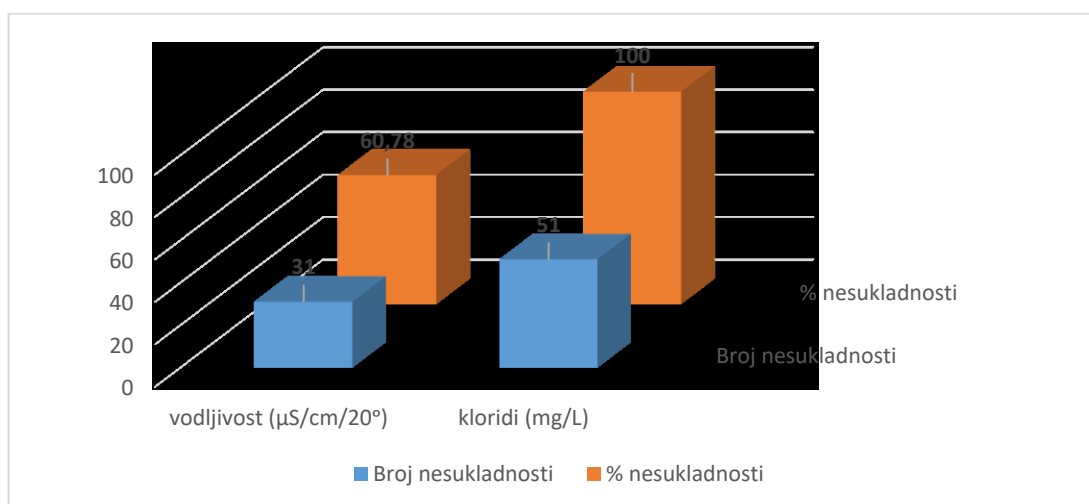


Slika 38. Prikaz nesukladnih uzoraka sa izvorišta Ponikve (Vela Fontana)

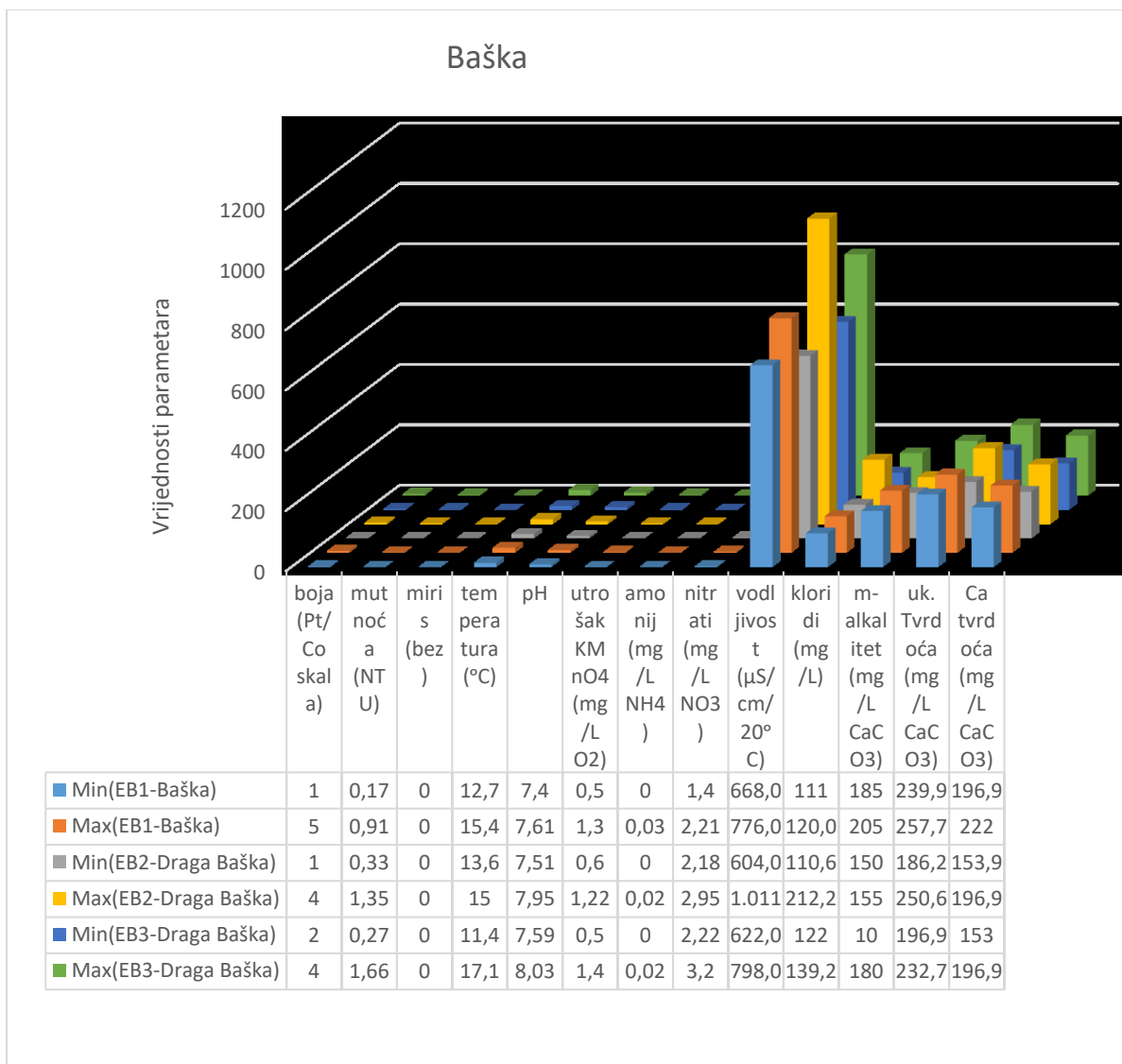


Slika 39. Prikaz vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode sa izvorišta Stara Baška (bunar)

Vrijednosti vodljivosti i klorida sa izvorišta Stara Baška su iznad zadanih MDK vrijednosti Pravilnika (NN 125/2017). MDK za vodljivost iznosi 2500 µS/cm/20°C, dok za kloride iznosi 250 mg/L. Najviša izmjerena vrijednost za vodljivost je 6960 µS/cm/20°C, a za kloride je 2288 mg/L.

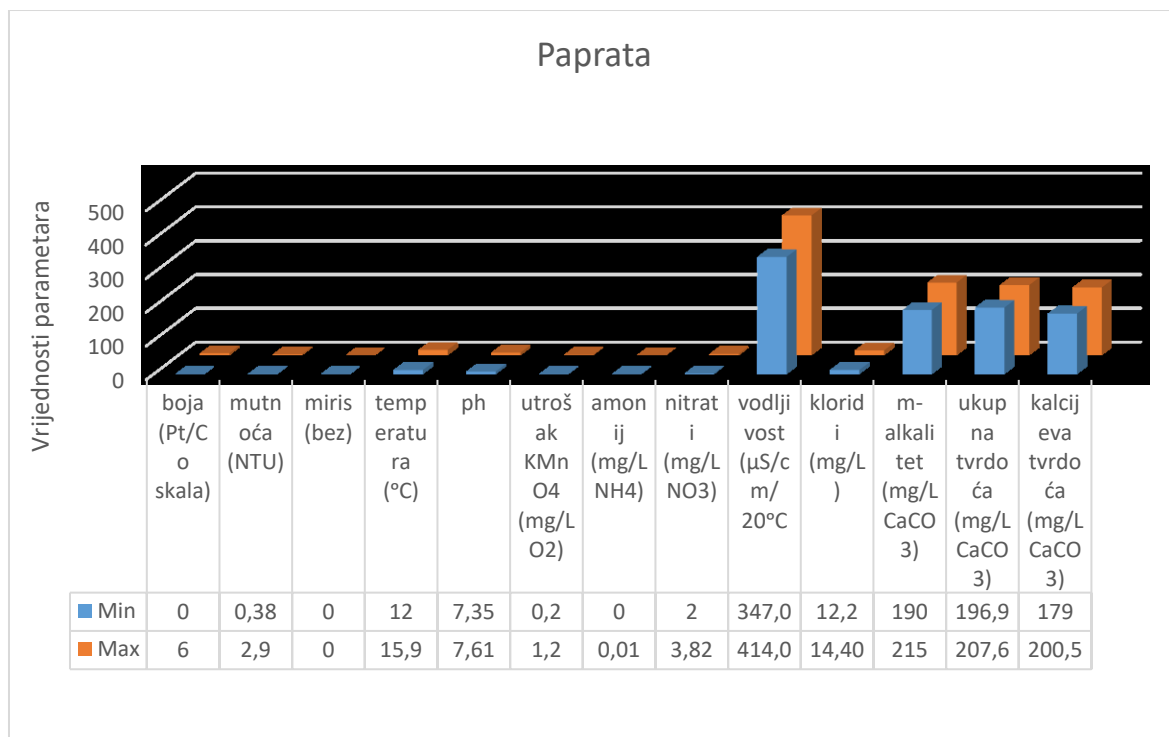


Slika 40. Prikaz nesukladnih uzoraka sa izvorišta Stara Baška (bunar)



Slika 41. Prikaz vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode bunara EB1(Baška), EB2 i EB3(Draga Baška)

Vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode bunara (EB1,EB2 i EB3) su unutar MDK koje nalaže Pravilnik (NN 125/2017).

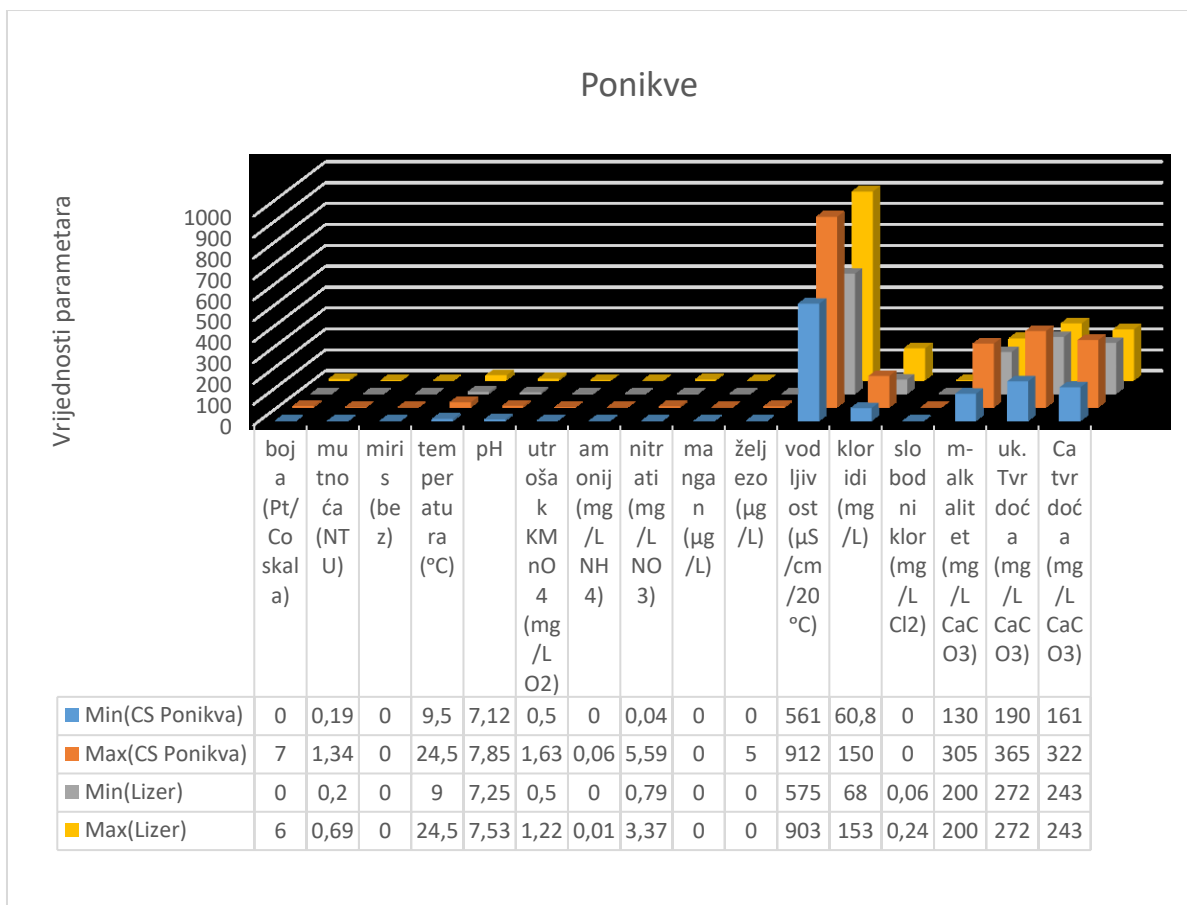


Slika 42. Prikaz vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode sa izvorišta Paprata (bunar)

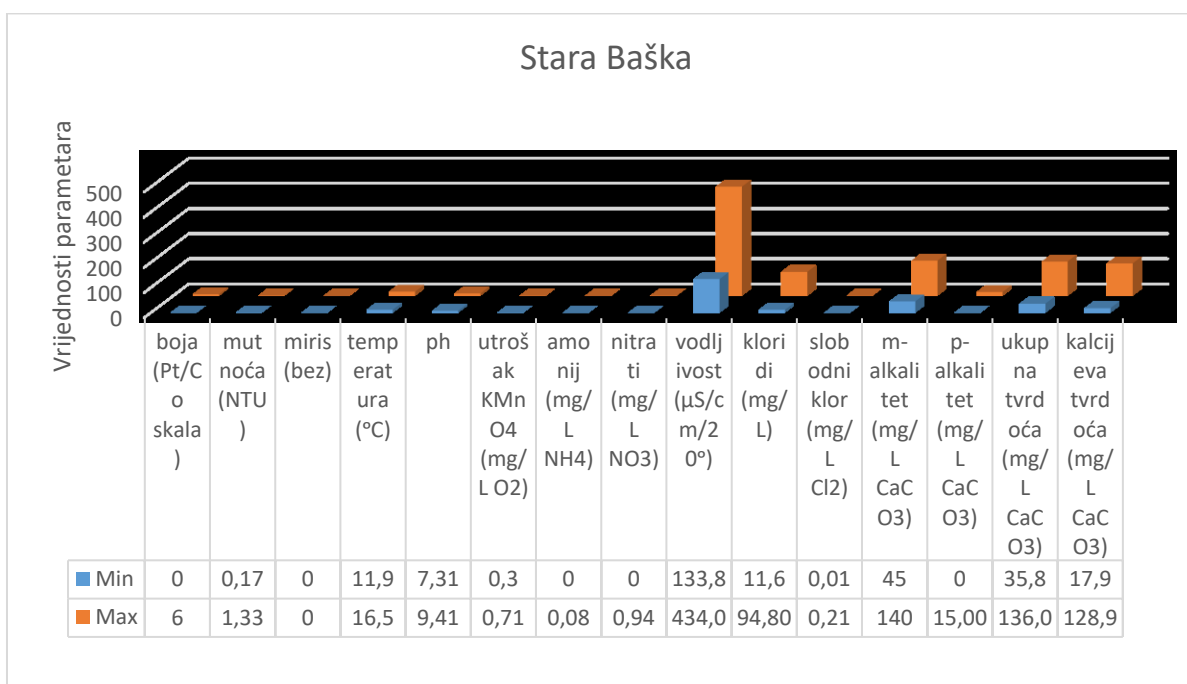
Vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode na izvorištu Paprata su unutar MDK vrijednosti propisanih Pravilnikom (NN 125/2017).

4.2.2 Vodosprema

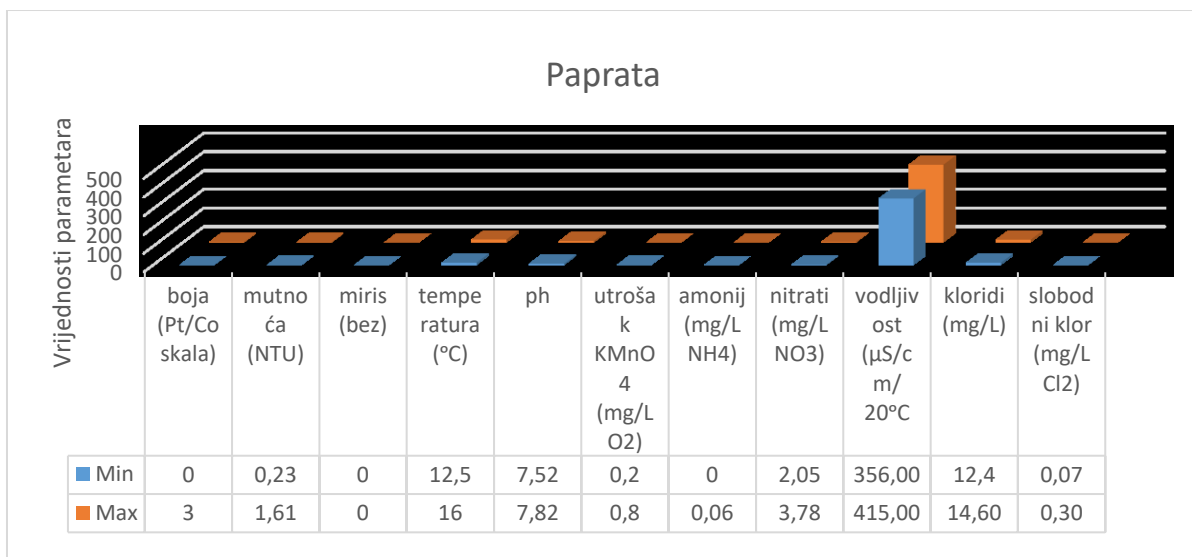
Sve vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode iz vodosprema Ponikve, vodospreme Stara Baška i vodospreme Paprata su unutar MDK vrijednosti propisanih Pravilnikom (NN 125/2017).



Slika 43. Prikaz vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode iz vodosprema Ponikve (CS Ponikva i vodosprema Lizer)



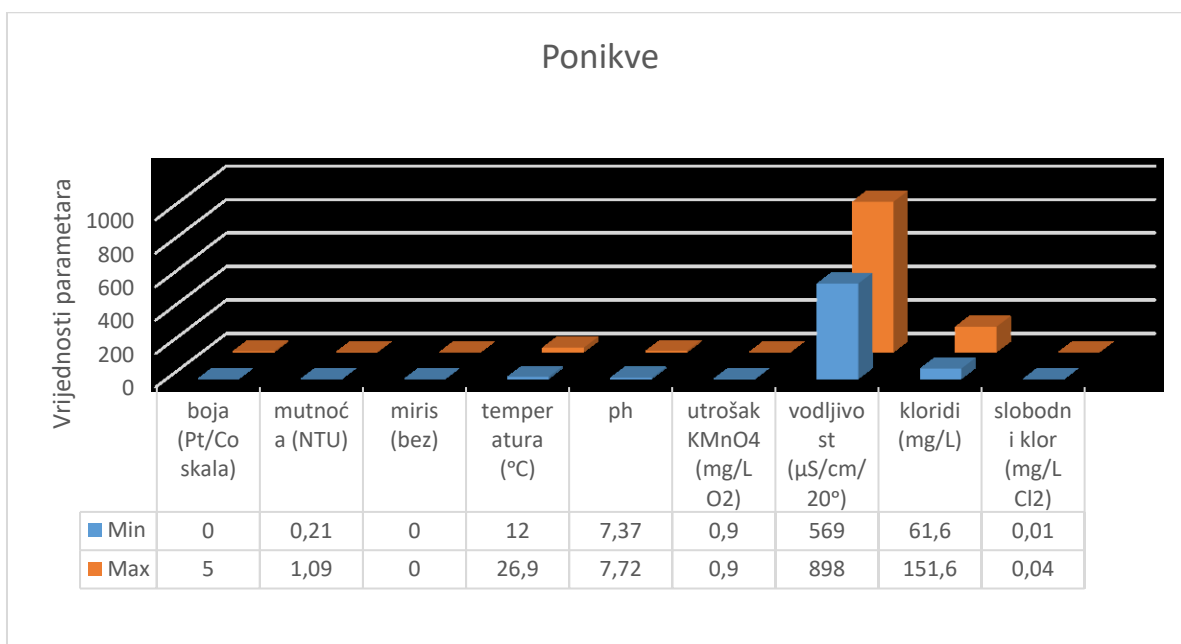
Slika 44. Prikaz vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode iz vodospreme Stara Baška



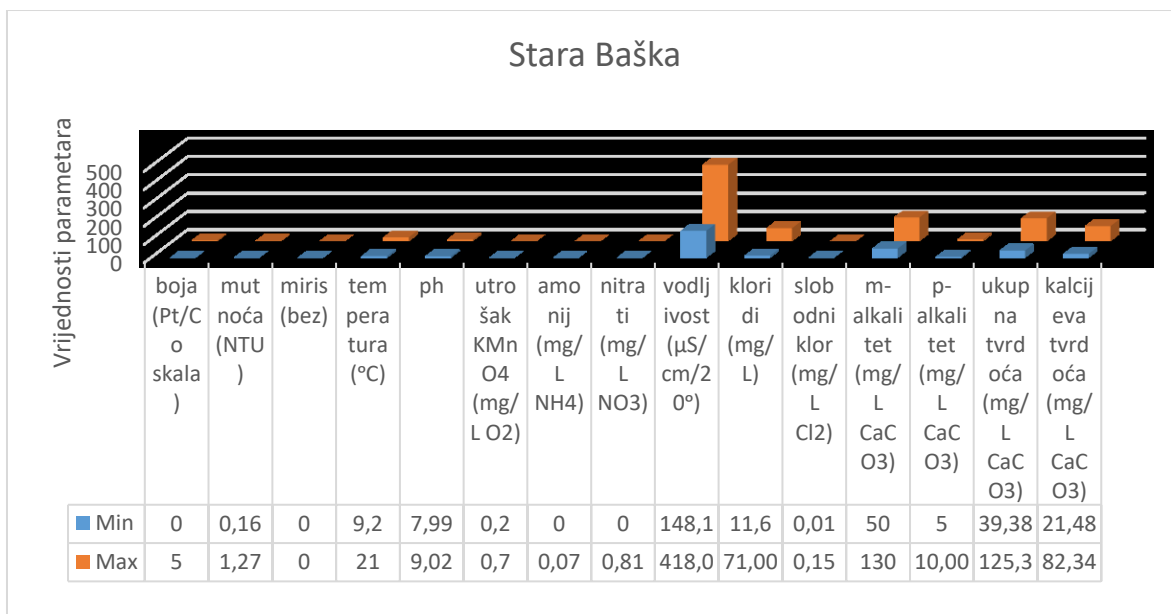
Slika 45. Prikaz vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode iz vodospreme Paprata

4.2.3 Mreža

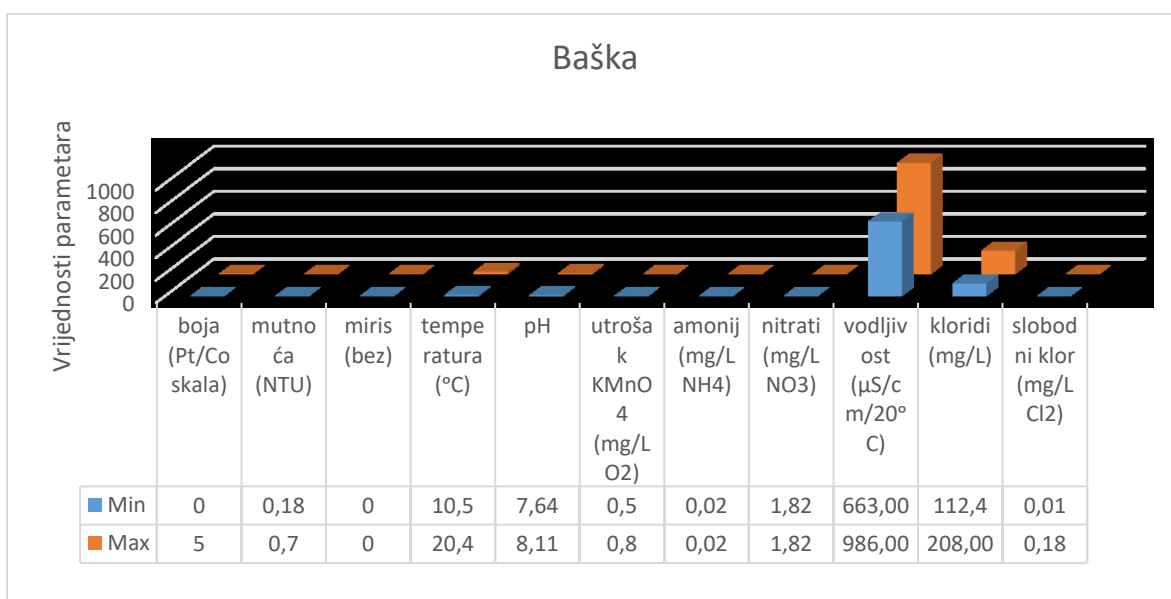
Vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode iz svih mreža koje uključuju Ponikve, Staru Bašku, Bašku i mrežu Paprata su unutar MDK vrijednosti propisanih Pravilnikom (NN 125/2017).



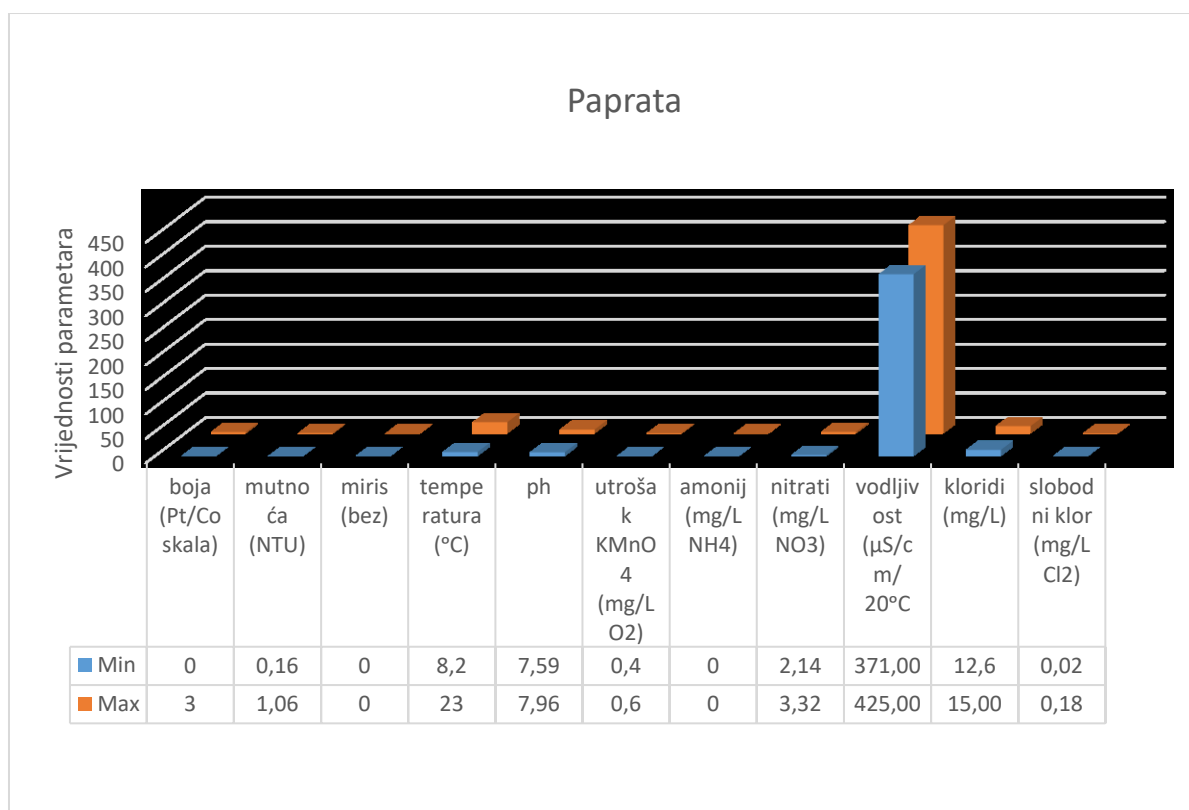
Slika 46. Prikaz vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode iz mreže Ponikve (vrtić)



Slika 47. Prikaz vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode iz mreže Stara Baška (hidrant kraj (Mate))



Slika 48. Prikaz vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode iz mreže Baška (vrtić)

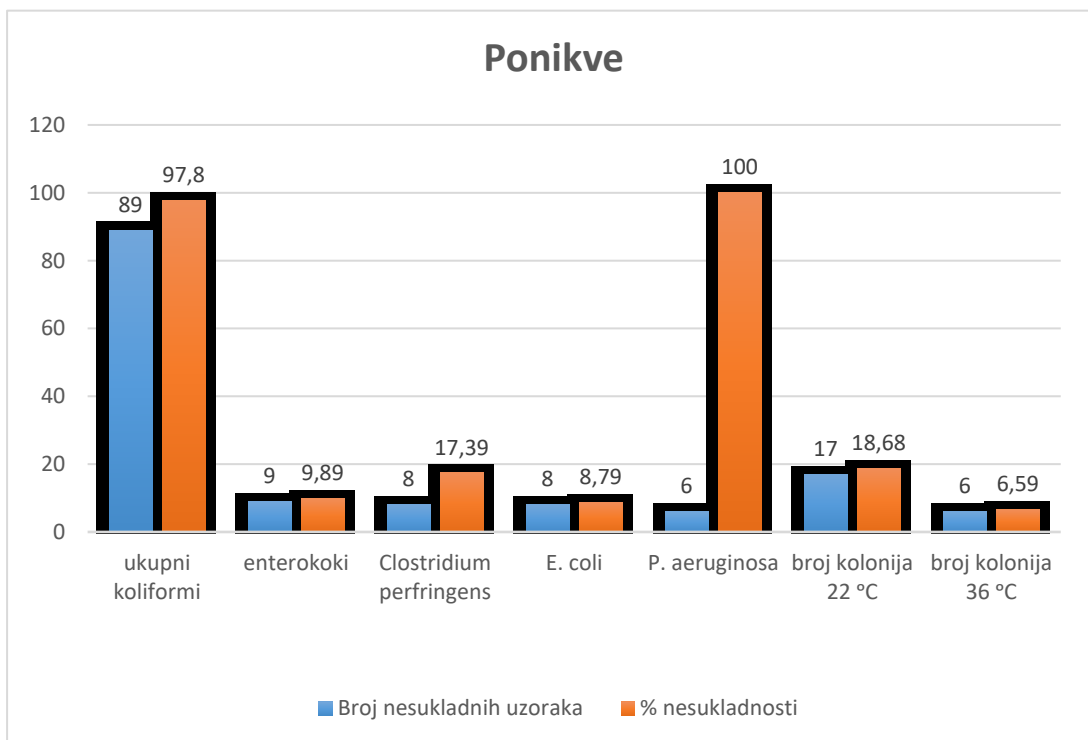


Slika 49. Prikaz vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode iz mreže Paprata (Vrbnik-hidrant braće Trinajstić)

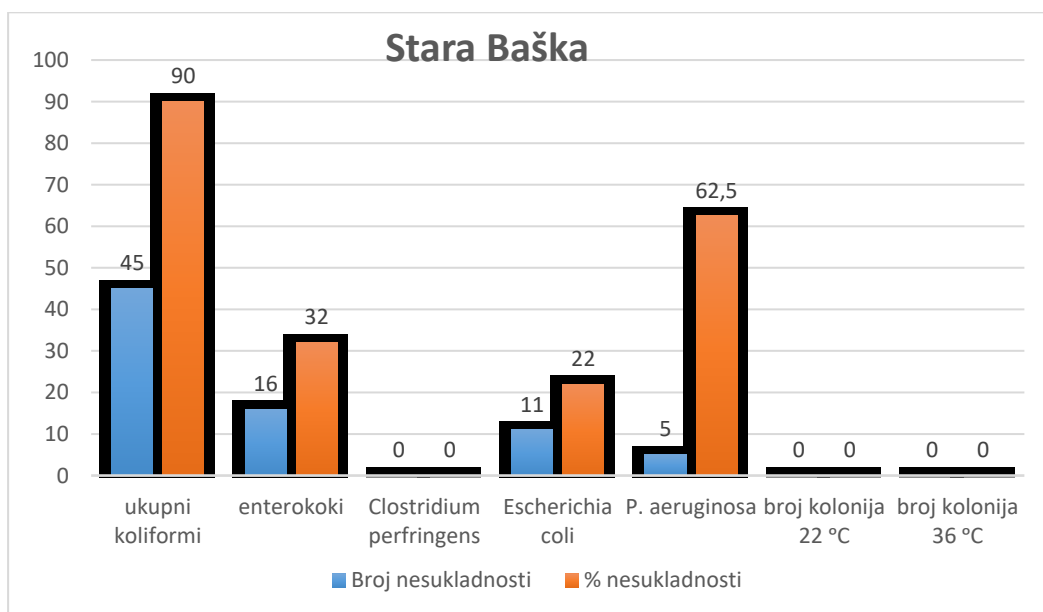
4.3 Mikrobiološki parametri

Maksimalno dozvoljene koncentracije (MDK) mikrobioloških parametara određene su „Pravilnikom o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju“ (NN 125/2017).

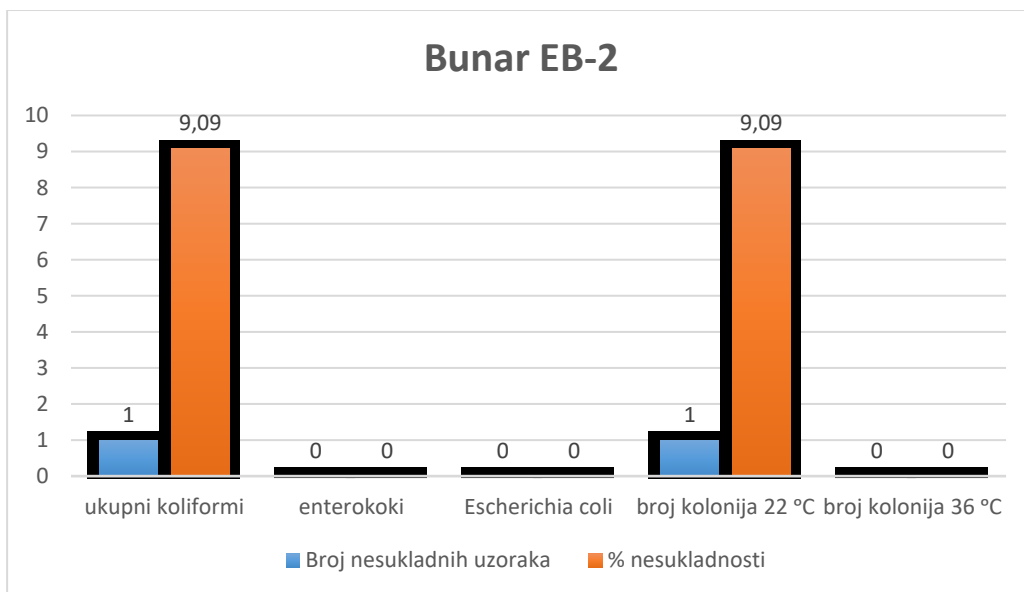
4.3.1 Izvorišta



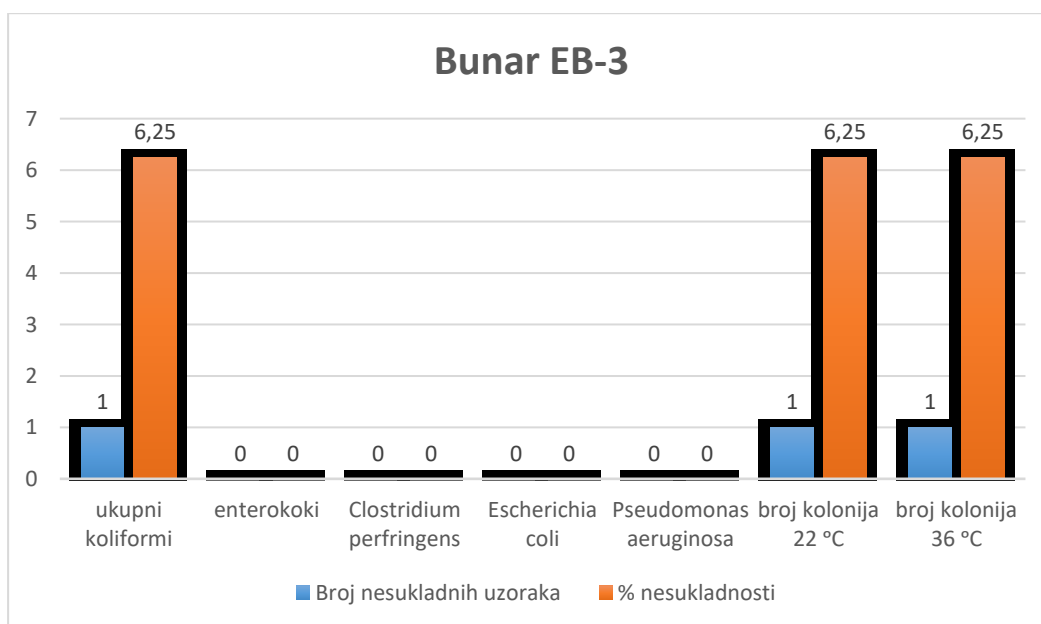
Slika 50. Prikaz mikrobioloških parametara vode sa izvorišta Ponikve (Vela Fontana)



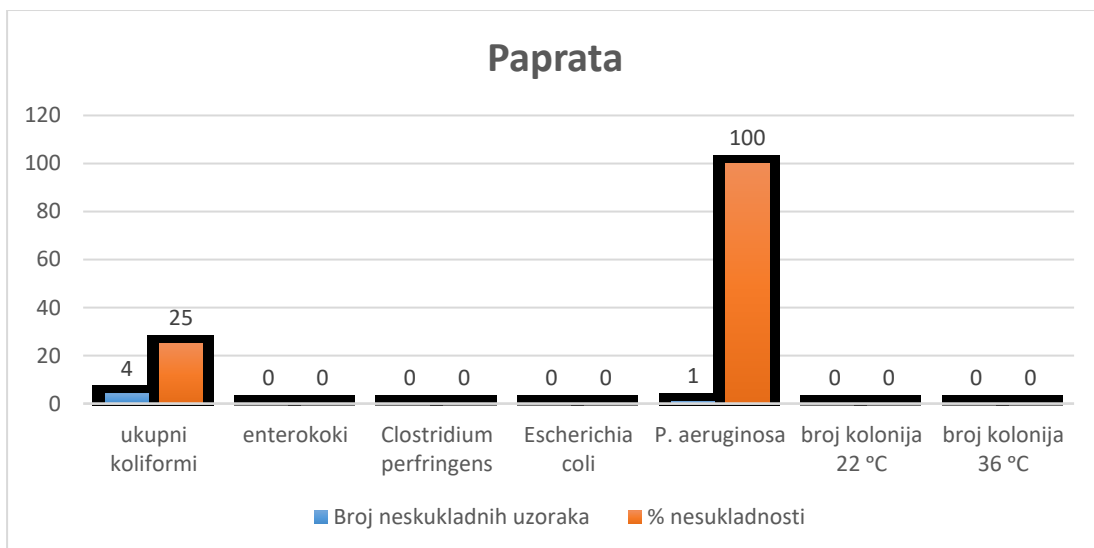
Slika 51. Prikaz mikrobioloških parametara vode sa izvorišta Stara Baška (bunar)



Slika 52. Prikaz mikrobioloških parametara vode sa izvorišta EB-2

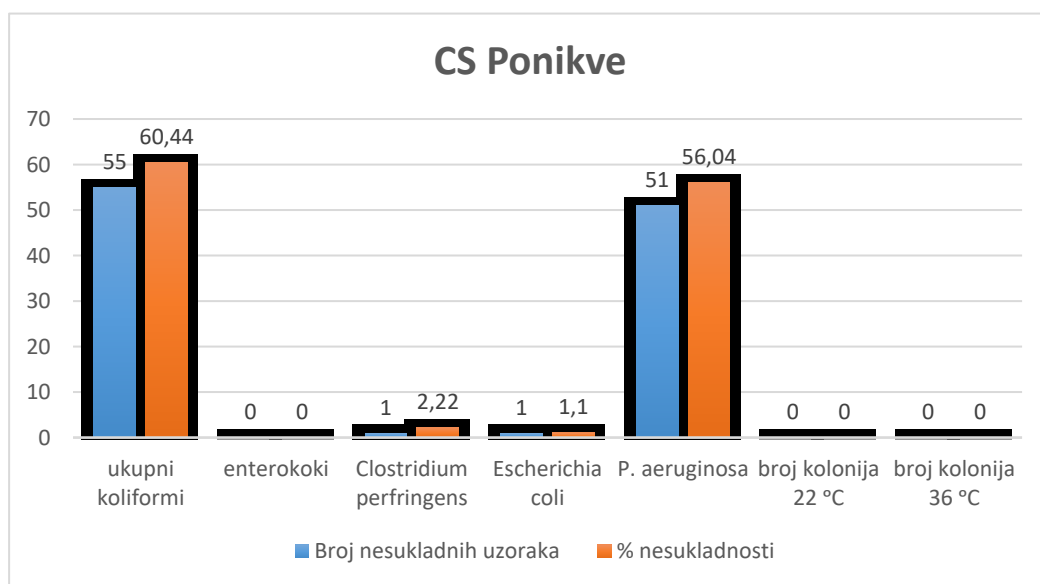


Slika 53. Prikaz mikrobioloških parametara vode sa izvorišta EB-3



Slika 54. Prikaz mikrobioloških parametara vode sa izvorišta Paprata (bunar)

4.3.2 Vodosprema



Slika 55. Prikaz mikrobioloških parametara vode iz vodospreme CS Ponikve

5 Rasprava

Rad prikazuje rezultate dobivene mikrobiološkim i fizikalno-kemijskim analizama uzoraka vode za ljudsku potrošnju vodovoda na otoku Krku provedenih u laboratoriju Ponikve voda d.o.o. kroz cijelu 2018. godinu. Cilj je prikazati parametre koji se ispituju u vodi te utvrditi jesu li analizirani uzorci vode sukladni „Pravilniku o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju“ (NN 125/2017), odnosno utvrditi njihovu zdravstvenu ispravnost. Zdravstvena ispravnost utvrđivala se u uzorcima sirove, neprerađene vode koja nije podvrgnuta dezinfekciji klorom (prije dezinfekcije), zatim u uzorcima vode iz vodosprema te u uzorcima vode iz vodoopskrbnih mreža (poslije dezinfekcije).

U uzorcima vode sa izvorišta Vela Fontana vodoopskrbnog sustava Ponikve zabilježene su povišene vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara mutnoće i mangana. Najviša izmjerena vrijednost mutnoće je 6,97 NTU, dok je za mangan izmjereno 450 µg/L što je daleko iznad njegove propisane MDK vrijednosti koja iznosi 50 µg/L (slika 37.). Broj ispitivanih uzoraka na mutnoću je 91, a utvrđeno je 15 nesukladnih uzoraka (16,48 %). Mangan se određivao u 62 uzorka od kojih je 27 uzoraka nesukladnih, odnosno 43,55 % (slika 38.). Vrijednosti alkaliteta, ukupne tvrdoće i kalcijeve tvrdoće slične su vrijednostima sa drugih izvorišta (slika 37.). Mutnoća vode ukazuje na čistoću vode i uspješnost filtracije. Ona može potjecati od raznih raspršenih i koloidnih tvari kao i od mikroorganizama koji se mogu vezati za nečistoće u vodi. Vodu je potrebno obraditi postupcima kao što su sedimentacija i filtracija kako bi se uklonile tvari koje uzrokuju mutnoću vode. Njezino uklanjanje je važno jer prisutnost mutnoće može smanjiti učinkovitost dezinfekcije. Prema povišenoj vrijednosti mutnoće može se zaključiti da se tvari koje ju uzrokuju nisu dovoljno istaložile te se nisu u potpunosti uklonile filtracijom. U određenim dijelovima godine dolazi do povećanja koncentracije mangana u vodi sa izvora Vela Fontana koji može uzrokovati obojenje vode, ali se može ukloniti iz vode postupkom aeriranja.

Povećanje mangana često prati i povećanje koncentracije željeza u vodi koji se također uklanja aeriranjem. Voda sa izvorišta sadrži visoke koncentracije minerala kao što su kloridi te se smatra visoko mineraliziranom vodom. Vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode iz vodospreme CS Ponikve i Lizer su slične, a najviše među bojom, temperaturom, pH, utroškom KMnO_4 , željezom i manganom, dok su se najviše razlikovale u vrijednostima alkaliteta, ukupne i kalcijeve tvrdoće (slika 43.). Njihove vrijednosti zadovoljavaju propisane MDK vrijednosti. Najveće vrijednosti parametara vodljivosti i klorida među vodospremama imaju vodospreme Ponikve. Razlog tome je bogati mineralni sastav te vode. Analiza uzoraka vode sa izvorišta na mikrobiološke parametre pokazala je da veliki broj uzoraka ne zadovoljava kriterije Pravilnika (NN 125/2017). Najveći postotak nesukladnih uzoraka sadrži bakteriju *Pseudomonas aeruginosa* (100 %) i ukupne koliforme (97,8%) koje se javljaju u većim vrijednostima nego što je propisano (slika 50.). Te se bakterije također pojavljuju i u uzorcima vode iz vodospreme CS Ponikve. Također su u uzorcima vode sa izvorišta Ponikve utvrđene veće vrijednosti od dozvoljenih ukupnog broja bakterija (na 22°C i 36°C). Od 91 uzorka iz vodospreme CS Ponikve ispitanih na ukupne koliforme, nesukladno ih je 55, dok je na *P. aeruginosa* ispitano također 91 uzorak od kojih je nesukladno 51 uzorak. Na bakteriju *Clostridium perfringens* ispitano je 45 uzoraka od kojih je 1 utvrđen nesukladnim. Bakterija *E. coli* ima najmanji utvrđeni postotak nesukladnosti jer je od 91 ispitivanog uzorka bio utvrđen samo jedan nesukladan uzorak. Ostali parametri sadrže vrijednosti koje su ispod MDK vrijednosti te tako zadovoljavaju uvjete Pravilnika (NN 125/2017) (slika 55.). Ukupni koliformi kao i *E. coli*, *C.perfringens* i enterokoki dio su crijevne mikroflore životinja i ljudi te tako mogu dospjeti u vodu. Oni su indikatori fekalnog zagađenja vode te mogu ukazati na moguću prisutnost patogenih mikroorganizama u vodi koji uzrokuju hidrična oboljenja. *P.aeruginosa* lako može dospjeti u vodu jer je bakterija koja je prisutna svuda u okolišu. Predstavlja zdravstveni rizik samo za imunokompromitirane osobe te se određuje u uzorcima vode iz ustanova i objekata u kojima borave rizične dobne

skupine kao što su starije osobe i vrtićka djeca. Također može stvarati biofilmove u vodoopskrbnim sustavima što pospješuje njegovu rezistenciju. Da bi se mikroorganizmi uklonili iz vode za ljudsku potrošnju, u vodoopskrbnom sustavu Ponikve koristi se dezinfekcija UV-zračenjem u kombinaciji s klor dioksidom. Dezinfekcija vode UV-zračenjem upotrebljava se nakon filtracije vode sa izvorišta te se voda odvodi u vodospremu. UV-zračenje ne uklanja sve mikroorganizme u potpunosti i nema rezidualnog djelovanja te se dodatno koristi klor dioksid kako bi se postiglo rezidualno djelovanje. Vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode iz mreže Ponikve zadovoljavaju vrijednosti propisane Pravilnikom (NN 125/2017), međutim među njima se ističe visoka vrijednost temperature vode koja iznosi 26,9 °C. Vrijednosti vodljivosti i klorida su visoke u usporedbi s ostalim vrijednostima drugih mreža (slika 46.). Zbog visokih temperatura ljeti dolazi do povećanja temperature vode u mreži vodoopskrbnog sustava Ponikve pa vrijednosti temperature vode budu veće od propisanih. Radi toga je vodoopskrbni sustav Ponikve dobilo rješenje za odstupanje od MDK vrijednosti doneseno od Ministarstva zdravstva (vrijedi do 30.09.2019.) te prilagođena MDK za temperaturu vode iznosi 27°C.

Vodoopskrbni sustav Stara Baška razlikuje se od ostalih po tome što koristi bočatu vodu bunara za dobivanje vode za ljudsku potrošnju posebnim postupkom obrade koji se naziva desalinizacija. Ona se provodi jer bočata voda sadrži visoke koncentracije mineralnih tvari kao što su kloridi, natrij i sulfati te takva voda nije za piće. Na izvorištu Stara Baška broj uzoraka analiziranih na parametar vodljivosti je 51, a broj nesukladnih uzoraka iznosi 31, odnosno 60,78% (slika 40.). Svi uzorci ispitivani na kloride (njih ukupno 51) imali su vrijednosti veće od zadane te nisu bili sukladni Pravilniku (NN 125/2017) (slika 40.). Može se zaključiti da upravo obogaćeni mineralni sastav vode utječe na veće vrijednosti vodljivosti i klorida. Sastav također utječe i na ukupnu tvrdoću vode te uzorci sa izvorišta prije desalinizacije imaju visoke vrijednosti koje sežu do 1031,04 mg/L CaCO₃ što je najveća vrijednost ukupne tvrdoće među

izvorištima. Nakon postupka desalinizacije vrijednosti klorida i vodljivosti su unutar zadanih MDK vrijednosti, a i vrijednosti tvrdoće postaju manje. Na izvorištu Stara Baška najveći postotak mikrobiološki nesukladnih uzoraka pripada ukupnim koliformima (90%) i bakteriji *P. aeruginosa* (62,50%). Od ukupno 50 analiziranih uzoraka na ukupne koliforme, nesukladnih uzoraka je 45. Od 8 ispitivanih uzoraka na *P. aeruginosa*, 5 je nesukladnih uzoraka. Mikrobiološkim analizama vode sa izvorišta također su utvrđeni zdravstveno neispravni uzorci vode koji sadrže enterokoke (32%) i *E. coli* (22%) (slika 51.). Navedene bakterije se dezinfekcijom vode natrijevim hipokloritom učinkovito uklanjaju što pokazuje utvrđena zdravstvena ispravnost uzoraka vode uzetih iz vodospreme i mreže. Uspoređujući vrijednosti alkaliteta, ukupne tvrdoće i kalcijeve tvrdoće vodospreme Stara Baška sa vrijednostima vodosprema Ponikve vidljivo je da su vrijednosti tih parametara manje kod vode iz vodospreme Stara Baška (slika 44.).

Vode bunara EB-1, EB-2 i EB-3 u Baškoj su dobre fizikalno-kemijske kakvoće zbog dubina na kojima se voda nalazi pa se ne primjenjuju postupci pročišćavanja i obrade vode nego samo dezinfekcija natrijevim hipokloritom. Vrijednosti parametra vodljivosti sva tri bunara variraju u rasponu od 604 do 1011 $\mu\text{S}/\text{cm}/20^\circ\text{C}$ (slika 41.). Vrijednosti klorida i vodljivosti na izvorištu EB-2 su veće u usporedbi s ostalim izvorištima (osim u Staroj Baški gdje vrijednosti prelaze MDK). Raspon vrijednosti klorida iznosi 110,6-212,2 mg/L, a vodljivosti 604-1011 $\mu\text{S}/\text{cm}/20^\circ\text{C}$ (slika 41.). Vrijednosti ukupne tvrdoće koje se kreću u rasponu od 186,16 do 257,76 mg/L CaCO_3 ukazuju na to kako je voda ovih bunara bogatog ionskog sastava koji utječe na povećanje tvrdoće vode. Na izvorištu EB-2 utvrđena su dva mikrobiološki nesukladna uzorka. Od ukupno 11 uzoraka ispitivanih na ukupne koliforme utvrđen je jedan nesukladan uzorak. Prisustvo ukupnih koliforma ukazuje na fekalno onečišćenje vode. Od 11 ispitivanih uzoraka na ukupne bakterije (pri 22°C) također je utvrđen jedan nesukladan uzorak (slika 52.). Na izvorištu EB-3 utvrđena su tri mikrobiološki nesukladna uzorka. Od 16 analiziranih uzoraka

na ukupne koliforme utvrđen je jedan nesukladan uzorak. Također je utvrđen jedan nesukladan uzorak ukupnog broja bakterija (na 22°C) i jedan nesukladan uzorak ukupnog broja bakterija (na 36° C) od ukupno 16 analiziranih uzoraka za svaku temperaturu (slika 53.).

Voda izvora Paprata je dobre fizikalno-kemijske kvalitete kao i voda bunara u Baškoj te se također ne obrađuje već samo dezinficira natrijevim hipokloritom. Vrijednosti klorida na izvorištu Paprata kreću se između 12,2-14,40 mg/L te u usporedbi s drugim izvorištima imaju najnižu vrijednost (slika 42.). Najmanju vrijednost klorida među vodospremama i mrežama također ima sustav Paprata. Mikrobiološkom analizom uzoraka vode sa izvorišta utvrđeno je 5 nesukladnih uzoraka. Od ukupno 16 analiziranih uzoraka na ukupne koliforme, četiri su zdravstveno neispravna (25 %). Jedan je uzorak analiziran na *P. aeruginosa* i on je također zdravstveno neispravan (slika 54.). Mikrobiološka kvaliteta vode iz vodospreme i mreže bila je izvrsna što ukazuje na dobro izvršenu dezinfekciju.

Usporedbom rezultata ovog rada (rezultata zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju četiri vodovoda na otoku Krku) s rezultatima vodovoda Delnice, može se utvrditi kako su vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara ispitivanih u uzorcima vode tih sustava unutar propisanih MDK vrijednosti. Rezultati vodovoda Delnice su navedeni u Izvještaju o zdravstvenoj ispravnosti vode za ljudsku potrošnju na području Primorsko-Goranske županije u 2018. godini koje je objavio Nastavni zavod za javno zdravstvo Primorsko-Goranske županije. Uzorci voda vodovoda na otoku Krku i Delnica bili su bez boje i mirisa. Vrijednosti parametra mutnoće nešto su više kod vodovoda Delnice i kreću se od 0,37-3,5 NTU. Vrijednosti parametra vodljivosti izmjerenih u uzorcima vode vodovoda Delnice niže su od vrijednosti vodovoda na Krku i kreću se od 288 do 371 $\mu\text{S}/\text{cm}/20^\circ\text{C}$. Vrijednosti parametra ukupne tvrdoće kreću se između 160 i 167 mg/L CaCO_3 i u usporedbi s vrijednostima vodovoda na Krku imaju niže vrijednosti (osim kod vodospreme i mreže Stara Baška gdje se vrijednosti vidno smanje

nakon desalinizacije vode na izvorištu). Usporedbom vrijednosti klorida vodoopskrbnih sustava Ponikve, Stara Baška i Baška s vodovodom Delnice utvrđene su niže vrijednosti kod uzoraka vode vodovoda Delnica, a kreću se od 5,4-24,5 mg/L. Usporedbom vrijednosti klorida s vodovodom Paprata, Delnice imaju veću vrijednost. Može se zaključiti kako voda vodoopskrbnih sustava otoka Krka sadrži više mineralnih tvari koje pridonose većim vrijednostima parametara vodljivosti i klorida. Mikrobiološkim analizama uzoraka vode vodovoda Delnice nije utvrđen niti jedan nesukladan uzorak, međutim u navedenim rezultatima ne piše da li je uzorkovana voda sa izvora ili iz vodoopskrbne mreže Delnice pa se ne mogu u potpunosti rezultati usporediti sa rezultatima na Krku. Na Krku ima utvrđenih mikrobiološki nesukladnih uzoraka vode koji pripadaju sirovoj (neprerađenoj) vodi na izvorištima gdje voda nije podvrgnuta postupku dezinfekcije te u samo jednoj vodospremi, CS Ponikve. Međutim, svi uzorci vode iz mreže bili su zdravstveno ispravni (nakon obavljene dezinfekcije). [18]

Dezinfekcija UV-zračenjem u kombinaciji s klor dioksidom kao i dezinfekcija natrijevim hipokloritom koje se provode na otoku Krku jednako su učinkovite u suzbijanju mikroorganizama u vodi . Međutim korištenje UV-zračenja kao dezinfekcijskog sredstva nije dovoljna za potpunu dezinfekciju te se koristi u kombinaciji sa klor dioksid koji ima rezidualno, odnosno naknadno djelovanje koje UV-zračenje nema.

6 Zaključci

- ⇒ Razlika fizikalno-kemijskih osobina vode pojedinih izvorišta potencirana je razlikom u mineralnom sastavu te zbog toga dolazi do velikih odstupanja u vrijednostima fizikalno-kemijskih parametara vode na izvorištima.
- ⇒ Najveća vrijednost parametra ukupne tvrdoće utvrđena je na izvorištu Stara Baška (bunar).
- ⇒ Najveće vrijednosti klorida i vodljivosti koje ne prelaze MDK izmjerene su u uzorcima vode iz bunara EB-2 u Baškoj.
- ⇒ Najniža vrijednost klorida određena je na izvorištu Paprata.
- ⇒ Najveće izmjerene vrijednosti klorida i vodljivosti među vodospremama imaju vodospreme Ponikve.
- ⇒ Najmanju izmjerenu vrijednost klorida među vodospremama ima vodosprema Paprata.
- ⇒ Najveća izmjerena vrijednost temperature je u mreži vodoopskrbnog sustava Ponikve.
- ⇒ Među mrežama najveće vrijednosti klorida i vodljivosti ima mreža vodoopskrbnog sustava Baška.
- ⇒ Najmanju izmjerenu vrijednost klorida među mrežama ima mreža vodoopskrbnog sustava Paprate.
- ⇒ Jedino na izvorištu EB-1 nije utvrđen niti jedan mikrobiološki nesukladan uzorak.
- ⇒ Mikrobiološki nesukladni uzorci vode utvrđeni su u vodospremi Ponikve (CS Ponikve), dok u ostalim vodospremama Krk nema utvrđenih nesukladnih uzoraka.
- ⇒ U mrežama vodoopskrbnih sustava Ponikve, Stara Baška, Baška i Paprate nije utvrđen niti jedan mikrobiološki nesukladan uzorak što potvrđuje dobru provedbu dezinfekcije.

- ⇒ Dezinfekcija UV-zračenjem u kombinaciji s klor dioksidom i dezinfekcija natrijevim hipokloritom učinkovito djeluju na smanjenje broja bakterija u uzorcima vode za ljudsku potrošnju.
- ⇒ Provođenje dezinfekcije vode vrlo je važna mjera kojom se vrši kontrola zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju i osigurava njezina kakvoća što pokazuju ovakva ispitivanja i analize.
- ⇒ Važno je kontinuirano i praćeno provođenje dezinfekcije vode kako bi se održavala dobra kvaliteta vode bez opasnosti po zdravlje ljudi.

Životopis

Zovem se Ana Carin. Rođena sam 31.05.1995. godine u Zagrebu. Osnovnu školu sam završila u Gornjem Stupniku 2010. godine. Iste godine upisujem smjer prirodoslovne gimnazije u Prirodoslovnoj školi Vladimira Preloga u Zagrebu. Uspješno sam položila državnu maturu te sam svoje školovanje odlučila nastaviti na redovnom studiju Sanitarnog inženjerstva na Zdravstvenom veleučilištu, u Zagrebu 2014. godine. Nakon 3.godine studiranja na veleučilištu stekla sam zvanje bacc.san.ing te nastavila studij sanitarnog inženjerstva na Medicinskom fakultetu u Rijeci 2017. godine.

7 Literatura

- [1] T. S., Zaštita voda, Zagreb: Hrvatsko društvo građevinskih inženjera, 1997..
- [2] C. L. Li CJ, »Organic chemistry in water,« pp. (35),68-82, 2006.
- [3] H. R., Kemizam i obradba vode, Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 2004.
- [4] S. D. D. R. Patil. P.N, »Physico-chemical parameters for testing of water – A review,« *International journal of environmental sciences*, svez. 3, pp. 1194-1207, 2012.
- [5] D. M. M. B. i. s. Puntarić, Zdravstvena ekologija, Zagreb: Medicinska naklada, 2012..
- [6] F. i. s. Valić, Zdravstvena ekologija, Zagreb: Medicinska naklada, 2001.
- [7] N. M. M. G. R. Ž. I. M. Habuda-Stanić M, »Utjecaj miješanja na učinkovitost procesa koagulacije i flokulacije pri kondicioniranju vode vodocrpilišta „ Jarčevac“,« *Elektronički časopis e-GFOS*, svez. 7, p. 2, 2013.
- [8] W. H. Organization, Guidelines for Drinking-water Quality, Third edition., Geneva, 2004, p. 178.
- [9] W. H. Organization, Guidelines for Drinking-water Quality, Fourth edition, Geneva, 2011, p. 78.
- [10] W. H. Organization, Water Treatment and Pathogen Control, London: UK : IWA Publishing, 2004, pp. 41-90.
- [11] »Pliva sept,« [Mrežno]. Available: <http://www.pliva-sept.hr/dezinfekcija-vode.html> . [Pokušaj pristupa 15. 02. 2019.].
- [12] »Lenntech,« [Mrežno]. Available: <https://www.lenntech.com>. [Pokušaj pristupa 12. 04. 2019.].
- [13] »3-m,« [Mrežno]. Available: <http://www.3-m.hr>. [Pokušaj pristupa 11. 04. 2019.].
- [14] W. H. Organization, Disinfectants and disinfectant by-products, Geneva, 2000, pp. 1-2.
- [15] »CDC. Safe Water System,« [Mrežno]. Available: <https://www.cdc.gov/safewater/chlorination-byproducts.html>. [Pokušaj pristupa 10. 04. 2019.].

- [16] K. L. Zazouli MA, »Removal of precursors and disinfection byproducts (DBPs) by membrane filtration from water; a review,« *Journal od Environmental Health Science and Engineering*, 2017.
- [17] »Ponikve Krk,« [Mrežno]. Available: <http://www.ponikve.hr/>. [Pokušaj pristupa 15. 05. 2019.].
- [18] »Izveštaj o ispitivanju zdravstvene ispravnosti vode za piće na području PGŽ 2018. g.«.
- [19] »Zakon o vodi za ljudsku potrošnju (NN 56/13, 64/15, 104/17 i 115/18)«.
- [20] B. N. Moskaljov V, Priručnik prema proširenom programu za osobe koje rade na preradi i distribuciji vode za piće, Zagreb: Zavod za javno zdravstvo grada Zagreba, 2003.
- [21] Š. I., Uređenje voda, Zagreb: Hrvatska sveučilišna naklada, 2013.
- [22] »HRN EN ISO 7887:2012 – Određivanje boje vode za piće«.
- [23] »HRN EN ISO 7027:2001 – Određivanje mutnoće vode za piće«.
- [24] »HRN EN ISO 10523:2012 – Određivanje koncentracije vodikovih iona«.
- [25] »HRN EN ISO 8467:2001 – Određivanje utroška KMnO₄«.
- [26] »HRN EN ISO 7150-1:1998 – Određivanje amonijaka«.
- [27] »SM 22 th Ed.2012:4500-NO₃ – Određivanje nitrata«.
- [28] »HRN EN 27888:2008 – Određivanje elektrovodljivosti«.
- [29] »HRN ISO 9297:1998 – Određivanje klorida«.
- [30] »HRN EN ISO 9963-1:1998 – Određivanje alkaliteta«.
- [31] »SM 22 nd Ed.2012.2340(B) – Određivanje ukupne tvrdoće«.
- [32] »SM 22 nd Ed.2012:2340(C) – Određivanje kalcijeve tvrdoće«.
- [33] G. I. O. M. M. V. Šantić M, Priručnik za vježbe iz Mikrobiologije hrane i Mikrobiologije vode, Rijeka: Medicinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Zavod za mikrobiologiju i parazitologiju, 2014.
- [34] »Hydrolux,« [Mrežno]. Available: <https://www.hydrolux.info/>. [Pokušaj pristupa 15. 05. 2019.].
- [35] »HRN EN ISO 6222 - Određivanje ukupnog broja mikroorganizama u vodi na 22°C i HRN EN ISO 6222 - Određivanje ukupnog broja mikroorganizama u vodi na 36°C«.

- [36] »HRN EN ISO 16266:2008 - Detekcija i brojanje *P. aeruginosa* metodom membranske filtracije«.
- [37] K. E., »Dinamika broja koliformnih bakterija u poplavnom području Kopački rit,« *Hrvatske vode*, svez. 88, pp. 89-96, 2014.
- [38] »HRN EN ISO 9308-1 : Detekcija i brojanje ukupnih koliforma metodom membranske filtracije«.
- [39] D. L. Duraković S, *Mikrobiologija namirnica (knjiga treća)*, Zagreb: Kugler, 2001, p. 36.
- [40] »HRN EN ISO 9308-1 : Detekcija i brojanje *E. coli* metodom membranske filtracije«.
- [41] »HRN EN ISO 26461-2:2008 : Detekcija i brojanje *Clostridium perfringens* metodom membranske filtracije«.
- [42] »HRN EN ISO 7899-2:2000 : Detekcija i brojanje *Enterococcus* spp. metodom membranske filtracije«.

Popis slika

| | |
|--|----|
| Slika 1. Agregatna stanja vode (izvor : https://www.fkit.unizg.hr/) | 2 |
| Slika 2. Građa molekule vode (izvor : https://docplayer.gr/93924726-Voda-in-rastlinska-celica.html)..... | 2 |
| Slika 3. Prikaz povezivanja vode (izvor: Halle, 2004.)..... | 3 |
| Slika 4. Hidrološki ciklus vode (izvor : https://vodaizvorzivota.weebly.com/kru381enje-vode-u-prirodi.html) | 8 |
| Slika 5. Prikaz raspodjele vode na Zemlji..... | 9 |
| Slika 6. Shema postupaka kondicioniranja pitke vode : 1. dovod sirove vode, 2. taložnica, 3. spori filter, 4. dezinfekcija, 5. rezervoar, 6. odvod čiste vode, 7. dodavanje sredstva za koagulaciju, 8. brzi filter, 9. odvod vode od ispiranja filtra, 10. dovod vode za ispiranje (izvor : Valić,2001.)..... | 13 |
| Slika 7. Razlika između osmoze i reverzne osmoze (izvor: Halle, 2004.)..... | 15 |
| Slika 8. Učinkovito djelovanje klor dioksida pri porastu pH (izvor: 3-m. Dostupno na : http://www.3-m.hr/upload_data/site_files/3m-klor-dioksid-katalog.pdf Pristupljeno : 11.4.2019.)..... | 20 |
| Slika 9. Učinkovito djelovanje klor dioksida pri niskim koncentracijama i u kratkom vremenu (izvor: 3-m. Dostupno na : http://www.3-m.hr/upload_data/site_files/3m-klor-dioksid-katalog.pdf Pristupljeno : 11.4.2019.)..... | 20 |
| Slika 10. Uređaj za dezinfekciju klor dioksidom | 21 |
| Slika 11. Uređaj za dezinfekciju natrijevim hipokloritom | 22 |
| Slika 12. Uređaji za UV dezinfekciju..... | 23 |
| Slika 13. Nastanak slobodnog i vezanog rezidualnog klora (izvor: Valić, 2001.)..... | 26 |
| Slika 14. Nastanak trihalometana..... | 28 |
| Slika 15. Akumulacijsko jezero Ponikve | 35 |
| Slika 16. Višeslojni filteri za obradu vode na vodozahvatu Vela Fontana | 36 |
| Slika 17. Uređaj za očitavanje mutnoće vode prije i poslije filtriranja vode | 37 |
| Slika 18. Uređaj za očitavanje pH vode prije i poslije desalinizacije | 37 |
| Slika 19. Uređaj za očitavanje rezidualnog klora | 37 |
| Slika 20. Uređaj za dezinfekciju s NaOCl..... | 38 |
| Slika 21. Uređaj za regulaciju veličina kapljica i frekvencije ispuštanja NaOCl | 39 |
| Slika 22. HACH uređaj za mjerenje rezidualnog klora..... | 41 |
| Slika 23. DPD reagens i pufer za mjerenje rezidualnog klora | 41 |
| Slika 24. Kiveta za mjerenje rezidualnog klora | 41 |
| Slika 25. Uzorci vode za mikrobiološku i fizikalno-kemijsku analizu | 42 |
| Slika 26. Uređaj za membransku filtraciju (izvor : Inkolab. Dostupno na : http://inko.hr/)... | 49 |
| Slika 27. Postupak određivanja ukupnog broja bakterija | 50 |

| | |
|--|----|
| Slika 28. Postupak određivanja <i>P. aeruginosa</i> | 51 |
| Slika 29. Postupak određivanja ukupnih koliforma | 52 |
| Slika 30. Postupak određivanja <i>E. coli</i> | 53 |
| Slika 31. Postupak određivanja <i>Clostridium perfringens</i> | 54 |
| Slika 32. Postupak određivanja enterokoka | 55 |
| Slika 33. Vodoopskrbni sustav Ponikve (dezinfekcija UV-zračenjem i klor dioksidom) | 56 |
| Slika 34. Vodoopskrbni sustav Stara Baška (dezinfekcija natrijevim hipokloritom) | 57 |
| Slika 35. Vodoopskrbni sustav Baška (dezinfekcija natrijevim hipokloritom) | 57 |
| Slika 36. Vodoopskrbni sustav Paprati (dezinfekcija natrijevim hipokloritom)..... | 58 |
| Slika 37. Prikaz vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode sa izvorišta Ponikve (Vela Fontana)..... | 59 |
| Slika 38. Prikaz nesukladnih uzoraka sa izvorišta Ponikve (Vela Fontana) | 59 |
| Slika 39. Prikaz vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode sa izvorišta Stara Baška (bunar)..... | 60 |
| Slika 40. Prikaz nesukladnih uzoraka sa izvorišta Stara Baška (bunar)..... | 60 |
| Slika 41. Prikaz vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode bunara EB1(Baška), EB2 i EB3(Draga Baška)..... | 61 |
| Slika 42. Prikaz vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode sa izvorišta Paprata (bunar) | 62 |
| Slika 43. Prikaz vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode iz vodosprema Ponikve (CS Ponikva i vodosprema Lizer) | 63 |
| Slika 44. Prikaz vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode iz vodospreme Stara Baška | 63 |
| Slika 45. Prikaz vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode iz vodospreme Paprata | 64 |
| Slika 46. Prikaz vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode iz mreže Ponikve (vrtić)... | 64 |
| Slika 47. Prikaz vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode iz mreže Stara Baška (hidrant kraj (Mate)..... | 65 |
| Slika 48. Prikaz vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode iz mreže Baška (vrtić) | 65 |
| Slika 49. Prikaz vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara vode iz mreže Paprata (Vrbnik-hidrant braće Trinajstić) | 66 |
| Slika 50. Prikaz mikrobioloških parametara vode sa izvorišta Ponikve (Vela Fontana) | 67 |
| Slika 51. Prikaz mikrobioloških parametara vode sa izvorišta Stara Baška (bunar)..... | 67 |
| Slika 52. Prikaz mikrobioloških parametara vode sa izvorišta EB-2..... | 68 |
| Slika 53. Prikaz mikrobioloških parametara vode sa izvorišta EB-3..... | 68 |
| Slika 54. Prikaz mikrobioloških parametara vode sa izvorišta Paprata (bunar)..... | 69 |
| Slika 55. Prikaz mikrobioloških parametara vode iz vodospreme CS Ponikve..... | 69 |

Popis tablica

| | |
|--|----|
| Tablica 1. Agregatna stanja vode (Radovan Halle, 2004.)..... | 1 |
| Tablica 2. Klorni preparati (izvor : Valić,2001.)..... | 19 |
| Tablica 3. Mikrobiološki parametri (izvor : „Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju“ (NN 125/2017))..... | 31 |
| Tablica 4. Fizikalno-kemijski parametri (izvor : „Pravilnik o parametrima sukladnosti i metodama analize vode za ljudsku potrošnju“ (NN 125/2017))..... | 32 |