

FAKULTETA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO
VODOVODNO OMREŽJE V OBČINI MUTA

MIHA GOTOVNIK

VELENJE, 2024

FAKULTETA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO
VODOVODNO OMREŽJE V OBČINI MUTA

MIHA GOTOVNIK
Varstvo okolja in ekotehnologije

Mentorica: viš. pred. Nataša Uranjek, univ. dipl. inž. kem. inž.

VELENJE, 2024

Številka: 726-3/2024-2

Datum: 8. 4. 2024

Na podlagi Diplomskega reda izdajam naslednji

SKLEP O DIPLOMSKEM DELU

Študent Fakultete za varstvo okolja **Miha Gotovnik** lahko izdela diplomsko delo z naslovom v slovenskem jeziku:

Vodovodno omrežje v občini Muta

Naslov diplomskega dela v angleškem jeziku:

Water distribution system in the municipality of Muta

Mentorica: **viš. pred. Nataša Uranjek**

Diplomsko delo mora biti izdelano v skladu z Diplomskim redom FVO.

Pouk o pravnem sredstvu: zoper ta sklep je dovoljena pritožba na Senat FVO v roku 8 delovnih dni od prejema sklepa.



Prof. dr. Boštjan Pokorny
dekan



Fakulteta za varstvo okolja

Trg mladosti 7 | 3320 Velenje

t: 03 898 64 10 | e: info@fvo.si

www.fvo.si



IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **Miha Gotovnik**, z vpisno številko **34220041**, študent dodiplomskega programa Varstvo okolja in ekotehnologije, sem avtor diplomskega dela z naslovom **Vodovodno omrežje v občini Muta**, ki sem ga izdelal/a pod mentorstvom **viš. pred. Nataše Uranjek**.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo moje avtorsko delo, torej rezultat mojega lastnega raziskovalnega dela;
- da oddano delo ni bilo predloženo za pridobitev drugih strokovnih nazivov v Sloveniji ali tujini;
- da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženem delu, navedena oz. citirana v skladu z navodili FVO;
- da so vsa dela in mnenja drugih avtorjev navedena v seznamu virov, ki je sestavni element predloženega dela in je zapisan v skladu z navodili FVO;
- se zavedam, da je plagiatorstvo kaznivo dejanje;
- se zavedam posledic, ki jih dokazano plagiatorstvo lahko predstavlja za predloženo delo in moj status na FVO;
- je diplomsko delo jezikovno korektno in da je delo lektorirala **Nika Pinter**;
- da dovoljujem objavo diplomskega dela v elektronski obliki na spletni strani FVO;
- da sta tiskana in elektronska verzija oddanega dela identični.

V Velenju, dne _____

podpis avtorja:

ZAHVALA

Zahvaljujem se staršem in sestri za podporo v času študija. Hvala moji mentorici, viš. pred. Nataši Uranjek, za vse nasvete, usmeritve in predlagane popravke diplomskega dela. Hvala Niki Pinter za lektoriranje pričujočega dela.

IZVLEČEK

V diplomskem delu smo predstavili vodovodno omrežje v občini Muta. Obravnavali smo zakonodajo na področju oskrbe s pitno vodo in na kratko predstavili zgodovino vodovoda skozi čas. Ljudje se začnemo zavedati pomena kakovostne pitne vode, ki jo imamo zaenkrat v Sloveniji še v dovolj velikih količinah. Občina Muta je v preteklih letih vložila kar nekaj denarja in truda v izgradnjo ter posodobitev vodovodnega omrežja. Tako je občina Muta postala prva občina v Sloveniji, ki črpa vodo iz sosednje države; izvir se nahaja namreč v sosednji državi Avstriji.

Pri čisti pitni vodi je pomembna tudi dezinfekcija vode in omrežja. Dezinfekcija s klorom je najpogostejša izbira dezinfekcije. Kljub svojim slabostim ima številne prednosti, ki odtehtajo uporabo klora za dezinfekcijo.

Ker so se pojavljale govorice, da je pitna voda v občini Muta preveč klorirana, smo se odločili, da preverimo fizikalno – kemijske lastnosti le – te. Izbrali smo dve lokaciji v občini Muta za odvzem vzorcev, ki sta med sabo oddaljeni dobre tri kilometre. Tako smo redno tri tedne vsak dan jemali vzorce za analizo pitne vode. Vsak dan smo tudi z merilnikom izmerili prisotnost klora v vodi. Z našimi analizami smo ugotovili, da je voda klorirana znotraj dovoljenih meja in da tudi analize izvedene v laboratoriju (motnost, pH, električna prevodnost, SAK absorpcije pri 254nm in obarvanost pri 436nm) ter mikrobiološke analize niso pokazale nepravilnosti. Vse skupaj smo preverili z uradnimi analizami pitne vode, ki jih za občino Muta izvaja Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano. Potrdimo lahko, da ima občina Muta kakovostno pitno vodo.

Ključne besede: vodovod, analiza pitne vode, pitna voda, dezinfekcija pitne vode, klor, Občina Muta

ABSTRACT

In the diploma, we presented the water distribution system in the municipality of Muta. We discussed the legislation of drinking water supply and shortly presented the history of water distribution. We are starting to realise the importance of the quality of our drinking water, which we currently do not lack in Slovenia. The municipality of Muta invested quite a lot of their finances into building and updating their water distribution system. Muta became the first municipality in Slovenia to start pumping water from another country (the spring is located in Austria).

A very important part with healthy drinking water is also disinfection of water and the entire system. The most common form of disinfection is chlorine disinfection. Despite its disadvantages, disinfection with chlorine has a lot of advantages.

Because there have been rumors about too much chlorine in the drinking water in the municipality of Muta, we decided to test the condition of the mentioned drinking water. We chose two different locations in Muta, where we collected the water samples for further analysis every day for three weeks. The two locations are around three kilometres apart. Every day, we also checked the chlorine amount in the samples. In our further analysis, we confirmed, that the amount of chlorine in the drinking water is within the allowed limit. No other irregularities were found. We also confirmed all of our results with the official analyses of the drinking water, which are exercised by NLZOH. Therefore, we can confirm, that the drinking water in the municipality of Muta is of good quality.

Key words: water distribution system, drinking water analysis, drinking water, drinking water disinfection, chlorine, municipality of Muta.

KAZALO VSEBINE

1. UVOD	1
1.1 Predstavitev problematike.....	2
1.2 Namen diplomskega dela	2
1.3 Cilj diplomskega dela	2
1.4 Hipoteze.....	3
1.5 Metode dela.....	3
2. OPIS SISTEMA OSKRBE S PITNO VODO MUTA	4
2.1 Način priprave vode.....	4
2.1.1 Kloriranje.....	5
2.1.2 Priprava pitne vode z ozonom.....	8
2.1.3 Priprava pitne vode z UV dezinfekcijo	9
2.1.4 Priprava pitne vode s filtracijo.....	11
2.2 Analiza pitne vode	12
2.2.1 Parametri, ki jih določamo v pitni vodi	12
2.3 Parametri za meritve in analize pitne vode	13
2.3.1 Motnost	13
2.3.2 pH.....	14
2.3.3 Električna prevodnost.....	14
2.3.4 Absorpcije pri 254 nm in obarvanosti pri 436 nm	14
2.3.5 Mikrobiološke analize pitne vode.....	15
2.3.6 Organoleptična analiza pitne vode	15
2.4 Zgodovina vodovoda na Slovenskem	16
2.5 Splošno o vodovodnem sistemu	17
2.6 Občina Muta	18
2.7 Vodovodni sistem Muta – Gortina	20
2.7.1 Vodovodni sistem Muta.....	20
2.7.2 Vodovodni sistem Gortina	21
2.8 Projekti za pitno vodo v občini Muta	22
2.8.1 Oskrba s pitno vodo v porečju Drave – 3. sklop	22
2.8.2 Vodovod Mlake	25
2.9 Upravljelec vodovodnega omrežja v občini Muta.....	26
2.9.1 Izvajalec analiz pitne vode v občini Muta.....	27
3. MATERIALI IN METODE DELA.....	29
3.1 Vzorčenje pitne vode	31
3.2 Terenske meritve	31
3.2.1 Meritve prostega klora.....	32
3.2.2 Meritve celotnega klora	32
3.3 Meritve in analize v laboratoriju.....	33
3.3.1 Motnost	33
3.3.2 pH.....	34
3.3.3 Električna prevodnost.....	34
3.3.4 Absorpcije pri 254 nm in obarvanosti pri 436 nm	35
3.3.5 Mikrobiološke analize pitne vode.....	36

3.3.6 Organoleptična analiza pitne vode	37
4. REZULTATI Z RAZPRAVO.....	38
4.1 Meritve prisotnosti prostega, skupnega in vezanega klora v vzorcih pitne vode 38	
4.2 Rezultati analize pitne vode v laboratoriju	43
4.3 Rezultati mikrobioloških analiz pitne vode	47
4.4 Organoleptični pregled.....	48
5. SKLEP	49
6. POVZETEK	51
7. SUMMARY.....	52
8. VIRI IN LITERATURA	53

Kazalo slik

Slika 1: Naprava za kloriranje	6
Slika 2: Naprava za dezinfekcijo pitne vode.....	6
Slika 3: Generator ozona	9
Slika 4: Obrat za UV dezinfekcijo.	10
Slika 5: Prikaz delovanja UV dezinfekcije.	10
Slika 6: Analiza pitne vode.....	12
Slika 7: Lega občine Muta.	19
Slika 8: Občina Muta iz zraka.	19
Slika 9: Vodni stolp Muta.	21
Slika 10: Povezovalni vod.....	23
Slika 11: Dela na projektu v Občini Muta.	24
Slika 12: Dela na projektu v Občini Muta.	24
Slika 13: Lokacija izvira Mlake.	25
Slika 14: Slovesna položitev vodovoda, ki poteka čez državno mejo Avstrija – Slovenija (občina Muta).....	25
Slika 15: Objekt – izpust na vodovodu Mlake.	26
Slika 16: Obnovljen vodohran Gnamuš (občina Muta).	27
Slika 17: Vzorčenje pitne vode za analizo.....	28
Slika 18: Shema vodovodnega omrežja v občini Muta.....	29
Slika 19: Odvzemno mesto Gortina.	30
Slika 20: Odvzemno mesto Muta.	30
Slika 21: Merilec klora.	32
Slika 22: Zračni mehurčki v pitni vodi.....	48

Kazalo tabel

Tabela 1: Število objektov in naprav na celotnem projektu	23
Tabela 2: Pregled avstrijske in slovenske strani vodovoda	26
Tabela 3: Pretekle meritve klora v vodi od 2020 do 2024, merilno mesto Restavracija pri Mesarju.	38
Tabela 4: Pretekle meritve klora v vodi od 2020 do 2024, merilno mesto šola Muta.	39
Tabela 5: Prikaz vrednosti klora na merilnem mestu Gortina.	41
Tabela 6: Prikaz vrednosti klora na merilnem mestu Muta.....	42
Tabela 7: Rezultati analiz iz laboratorija za merilno mesto Gortina.	43
Tabela 8: Rezultati analiz iz laboratorija za merilno mesto Muta.....	44
Tabela 9: Mikrobiološke analize za merilno mesto Gortina.	47
Tabela 10: Mikrobiološke analize za merilno mesto Muta.....	47

Kazalo grafov

Graf 1: Prikaz vrednosti klora na merilnem mestu Restavracija pri Mesarju (meritve opravil NLZOH).....	39
Graf 2: Prikaz vrednosti klora na merilnem mestu šola Muta (meritve opravil NLZOH).	40
Graf 3: Prikaz vrednosti klora na merilnem mestu Gortina.	41
Graf 4: Prikaz vrednosti klora na merilnem mestu Muta.....	42
Graf 5: Primerjava absorpcije pri 254 nm za obe merilni mesti.	45
Graf 6: Primerjava obarvanosti pri 436 nm za obe merilni mesti.	45
Graf 7: Primerjava pH za obe merilni mesti	46
Graf 8: Primerjava motnosti za obe merilni mesti.....	46
Graf 9: Primerjava elektroprevodnosti za obe merilni mesti.	47

Kazalo kratic in pojmov

URS – ustava Republike Slovenije

ZV – Zakon o vodah

VVO – vodovarstveno območje

ZDA – Združene države Amerike

d. o. o. – družba z omejeno odgovornostjo

PGD – projektna gradbena dokumentacija

PVC – polivinilklorid

NIJZ – Nacionalni inštitut za javno zdravje

NLZOH – Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano

DN – nominalni premer

JKP – javno komunalno podjetje

1. UVOD

Voda je nenadomestljiva in za življenje na Zemlji nujna naravna dobrina. Smo v času, ko se v večjem deležu sveta soočamo s pomanjkanjem vode. Razviti svet postavlja merila, s katerimi ocenjujemo značilnosti vode, ki so pomembne za človeka (Nacionalni laboratorij za zdravje okolje in hrano, 2024).

Manj kot polovica vseh šol na območju Oceanije in le dve tretjini šol v srednji in južni Aziji je opremljenih z osnovnimi vodnimi viri. Ena od štirih osnovnih šol na svetu nima na voljo čiste pitne vode, le 69 % šol na svetu pa imajo na voljo vodo iz vodovodov, vrtin, zaščitene vodnjakov ali izvirov.

Čista pitna voda nam omogoča življenje in zagotavlja zdravje, obenem pa je neprecenljiva in nenadomestljiva dobrina, uporabljena pri vsakodnevnih opravilih: pri kuhanju, pripravi hrane, v gospodinjstvu, proizvodnji, prometu živil ... Pomembna je za preživetje, zato bi morala biti dostopna vsem. Količina vode, njena neoporečnost in dostopnost ni enakomerno zagotovljena niti v vseh delih Slovenije. Obstaja velika nevarnost, da bi se vodo začelo opredeljevati kot tržno in ne kot javno dobro, kar bi večjemu številu prebivalcev Slovenije lahko preprečilo ali onemogočilo dostop do čiste pitne vode.

Za Slovenijo je značilno večje število majhnih vodovodov, ki v celoti oskrbujejo le manjši delež prebivalcev. Manjši vodovodi so pogosto pomanjkljivi, kar se odraža na slabši kakovosti pitne vode. Z vstopom v EU se je Slovenija v okviru vsebin operativnega programa oskrbe s pitno vodo morala prilagoditi evropskemu pravnemu redu. S spremenjeno zakonodajo je tako v naši državi prišlo do opuščanja manjših vodnih virov ter iskanja novih, večjih vodnih virov, ki bi omogočali varno oskrbo s pitno vodo čim večjega števila ljudi (Jereb, et al., 2007). Viri pitne vode so lahko površinski ali podzemni; v posebno kategorijo se uvrščajo kraški viri, ki so kombinacija površinskih in podzemnih virov. Glede na lastnosti vodnih virov, surova pitna voda vsebuje različne vrste in količine mineralnih in organskih spojin ter mikroorganizmov (Kontič, 2021).

V Sloveniji prevladujeta dve vrsti vodonosnikov. Med njima spadajo kraški vodonosnik in vodonosnik z medzrnsko poroznostjo. V splošnem je kraška kamnina razpokana kamnina, kar omogoča hitro pretakanje vode s površja v sistem kraškega vodonosnika. Lastnosti, kot so nizka plast prsti, ki posledično predstavlja odsotnost varovalne funkcije, hitra infiltracija padavin in hitro pretakanje vode, omogočajo, da gre za sistem, ki jo zelo ranljiv in podvržen širjenju onesnaženja v različne smeri. Kraški vodonosnik je hidrološki sistem, sestavljen iz karbonatnih kamnin, v njem pa so se zmožne skladiščiti in pretakati velike ter ekonomsko pomembne količine vode.

Kraški izviri se pojavljajo na stiku med prepustnim karbonatnim masivom in neprepustno geološko plastjo. Večina velikih izvirov je kraških. V stalno zasičeni coni kraškega vodonosnika se podzemna voda horizontalno pretaka proti kraškim izvirov, ki predstavljajo iztok iz vodonosnika. Voda odteka na površje tudi v epifreatični coni, in sicer skozi občasne kraške izvire. V Sloveniji preskrbujejo polovico prebivalstva, v času suše skladiščijo celo dve tretjine vodnih zalog, v svetu pa se iz kraških voda oskrbuje četrtina prebivalstva (Jelen, 2019).

1.1 Predstavitev problematike

Vodovodno omrežje v občini Muta je dobro urejeno, kar lahko vidimo tudi v investicijskem programu za projekt: Oskrba s pitno vodo v porečju Drave – 3. sklop in v projektno gradbeni dokumentaciji vodovod Mlake, saj imamo vodovodno omrežje speljano iz izvira iz sosednje Avstrije in drugih lokalnih izvirov z gravitacijskim dotokom. Tako je občina Muta postala prva občina v Sloveniji, ki pridobiva pitno vodo iz sosednje države. Za pitno vodo iz Avstrije se je občina odločila, ker je tamkajšnja pitna voda višje kakovosti kot črpna pitna voda iz podtalnice v Sloveniji. Če je bila investicija v izvir z gravitacijskim dotokom iz Avstrije pravilna odločitev, se bo pokazalo čez nekaj časa.

Poleg vseh izvirov z gravitacijskim dotokom pa občina Muta pridobiva pitno vodo tudi iz podtalnice. Pet občin, Dravograd, Vuzenica, Radlje ob Dravi, Vuhred in Muta, pitno vodo črpajo iz podtalnice ob reki Dravi. Občina Muta ima torej sestavljeno vodovodno omrežje iz izvirov z gravitacijskim dotokom in podtalnice (Gerželj, 2015).

V zadnjih letih je občina Muta veliko investirala v vodovodno omrežje, da je posodobila obstoječe cevi in dodala izvir z gravitacijskim dotokom iz Avstrije ter povezovalni cevovod sosednjih občin, da lahko pridobivamo vodo tudi iz podtalnice. Veliko sredstev za izgradnjo takšnega omrežja je občina pridobila tudi iz evropskih sredstev.

Med prebivalci so se pojavile govorice, da je voda preveč klorirana, in pojavili so se dvomi o kakovosti pitne vode po izgradnji novega vodovodnega sistema. Da bi preverili to situacijo v občini Muta, smo se odločili, da opravimo meritve prostega, celotnega in vezanega klora v pitni vodi. S temi meritvami smo preverili, ali je koncentracija klora po kloriranju v zakonsko določenih mejah. Opravili smo tudi nekatere fizikalno-kemijske meritve na terenu ter mikrobiološke in druge analize pitne vode v laboratoriju.

1.2 Namen diplomskega dela

Namen diplomskega dela je bolje spoznati vodovodno omrežje v občini Muta in z meritvami na dveh odvzemnih mestih na vodovodnem omrežju Muta preveriti kakovost pitne vode. Predstaviti projekt Oskrba s pitno vodo v porečju Drave v občini Muta ter predstaviti projekt izgradnje izvira z gravitacijskim dotokom iz sosednje Avstrije. Na koncu pa ovrednotiti dobljene rezultate meritve prostega, celotnega in vezanega klora v pitni vodi in jih primerjati z zakonodajno predpisanimi vrednostmi. Opravili smo tudi mikrobiološko analizo pitne vode in druge analize v laboratoriju, z namenom preveriti lokalne govorice o previsoki kloriranosti vode; s temi analizami smo preverili stanje pitne vode v občini Muta.

1.3 Cilj diplomskega dela

Cilji diplomskega dela so:

- preučiti teoretična izhodišča oskrbe s pitno vodo;
- predstaviti vodovodno omrežje v občini Muta;
- predstaviti projekta v zvezi z oskrbo s pitno vodo v občini Muta;
- pridobiti rezultate kloriranosti pitne vode v občini Muta z izvedbo meritev prostega, celotnega in vezanega klora v pitni vodi;
- ugotoviti zdravstveno stanje pitne vode v občini Muta z dodatnimi meritvami in analizami pitne vode v laboratoriju.

1.4 Hipoteze

V diplomskem delu smo si postavili dve hipotezi, ki smo ju na koncu diplomskega dela glede na pridobljene podatke ovrednotili.

Hipoteza 1: Pitna voda je glede na meritve, ki jih bomo izvedli, klorirana znotraj dovoljenih mej.

Hipoteza 2: Če ima pitna voda vonj po kloru, je bolj varna kot pitna voda, ki se ne klorira.

1.5 Metode dela

V diplomskem delu smo uporabili sledeče metode raziskovanja:

- metodo deskripcije, s pomočjo katere smo opisali teorijo in pojme;
- metodo analize, kjer smo razčlenjevali ugotovitve iz prakse in teorije;
- metodo kompilacije, kjer smo s povzemanjem stališč drugih avtorjev v zvezi z izbranim raziskovalnim problemom oblikovali nova stališča;
- primerjalno metodo.

V diplomskem delu smo v teoretičnem delu uporabili različne vire, kot so znanstveni članki, knjige, raziskovalne naloge in poročila lokalnih podjetij. Podatke smo pridobili tudi na terenu in v občinski upravi, kjer so priskrbeli vse potrebne aktualne podatke za določeno temo.

V praktičnem delu diplomskega dela pa smo raziskovali vprašanje, ali je pitna voda v občini Muta klorirana znotraj dovoljenih mej, kar pomeni, da smo z ustreznimi analizami izvedli meritve prostega, celotnega in vezanega klora v vodi ter opravili tudi nekatere fizikalno-kemijske meritve in analize na terenu ter mikrobiološke in druge analize pitne vode v laboratoriju. Merilni mesti smo določili v občini Muta, med seboj oddaljeni tri kilometre. Tako smo na terenu lahko preverili, koliko je pitna voda klorirana. Primerjali smo jih tudi z analizami pitne vode, ki jih za našo občino opravlja Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano (NLZOH).

S pomočjo aplikacije PISO smo pregledali vso vodovodno omrežje v občini Muta in s pomočjo programa prikazali tudi določene dele samega omrežja.

2. OPIS SISTEMA OSKRBE S PITNO VODO MUTA

Slovenija je ena z vodo najbolj bogatih evropskih držav, ki ima pitno vodo visoke kakovosti. Če lahko čisto pitno vodo točimo iz pipe, je dandanes znak pravega prestiža. Slovenija je ena najmanjših evropskih držav, a po vodnih virih med najbogatejšimi, hkrati se po kakovosti vode uvršča v sam vrh razvitih držav (Slovenska turistična organizacija, 2024).

2.1 Način priprave vode

Priprava vode je obdelava vode, s katero se zagotovi njena skladnost in zdravstvena ustreznost. Pogosto je to edini način, da si zagotovimo varno pitno vodo. Način priprave pitne vode se izbere za vsak posamezni primer oskrbe na podlagi ocene prispevnega območja, značilnosti zajetja, večkratnih laboratorijskih preiskav kakovosti surove vode ter stanja ostalih elementov sistema. Priprava je odvisna od stopnje čistosti vode, ki jo želimo doseči, in od vrste onesnaženja (NIJZ, 2014a).

8. člen Uredbe o pitni vodi (Ur. l. RS št. 61/23):

Priprava pitne vode so postopki za doseganje zdravstveno ustrezne in skladne pitne vode ter vsako drugo spreminjanje lastnosti pitne vode od zajetja za pitno vodo do mesta uporabe.

(2) Snovi za pripravo pitne vode, vključno z biocidnimi proizvodi in filtrirnimi sredstvi, ki prihajajo v stik s pitno vodo, ne smejo (Ur. l. RS št. 61/23):

- neposredno ali posredno vplivati na zdravje ljudi,
- vplivati negativno na barvo, vonj ali okus vode, razen uporabe biocidnih proizvodov,
- spodbujati rasti mikrobov v pitni vodi,
- povzročiti večjega onesnaženja pitne vode, kot je sprejemljivo za predvideni namen uporabe.

Dezinfekcija uniči patogene bakterije in je ključnega pomena za preprečevanje širjenja bolezni, ki se prenašajo z vodo. Običajno je končni postopek pri pripravi pitne vode, ki se izvede z uporabo klora in njegovih spojin (npr. hipokloriti, kloramini, vlažni klor, klorov dioksid), ozona ali ultravijoličnega sevanja.

Kloriranje vode se izvaja najpogosteje z uporabo plinastega klora iz jeklenih posod, saj je običajno najbolj ekonomičen način za dezinfekcijo velikih količin vode. Težave z okusom ali vonjem po kloru so zmanjšane z ustreznimi odmerki klora v napravi za pripravo pitne vode, preostala koncentracija pa se lahko vzdržuje v celotnem distribucijskem sistemu, da se zagotovi varna raven na mestih uporabe.

Uporaba klorovih spojin, imenovanih kloramini, za dezinfekcijo javnih vodnih virov narašča od začetka 21. stoletja, saj dezinfekcija s kloramini traja dlje kot učinek samega klora, kar dodatno ščiti kakovost vode v celotnem distribucijskem sistemu. Poleg tega kloramini dodatno zmanjšajo težave z okusom in vonjem ter proizvajajo nižje ravni škodljivih stranskih produktov v primerjavi z uporabo samega klora (Nathanson, 2024).

Dezinfekcijska sredstva naj bi ustrezala naslednjim pogojem (NIJZ, 2014a):

- uniči vse mikroorganizme (bakterije, viruse, praživali) v različnih pogojih in v sprejemljivem času,
- je nestrupeno oz. nemoteče za človeka in živali,
- je poceni, varno ter enostavno za rokovanje in uporabo,
- zagotavlja rezidualno delovanje in omogoča njegov enostaven nadzor.

2.1.1 Kloriranje

Za boj proti boleznim, ki se prenašajo z vodo, se uporabljajo različne metode dezinfekcije. Skupaj z drugimi postopki obdelave vode, kot sta sedimentacija in filtriranje, kloriranje ustvari vodo, ki je varna za javno uporabo.

Kloriranje je ena od mnogih metod, ki jih je mogoče uporabiti za dezinfekcijo vode. Gre za kemično metodo dezinfekcije, ki uporablja različne vrste klora ali snovi, ki vsebujejo klor, za oksidacijo in dezinfekcijo vode.

Klor so prvič odkrili na Švedskem leta 1744. Leta 1835 so klor uporabili za odstranjevanje vonjav iz vode, vendar so šele leta 1890 ugotovili, da je klor učinkovito orodje za razkuževanje. S tem novim odkritjem so kloriranje začeli v Veliki Britaniji, danes pa je kloriranje najbolj priljubljena metoda dezinfekcije in se uporablja za pripravo vode po vsem svetu.

Kloriranje je dobra metoda za razkuževanje, saj je poceni, a učinkovita. Postopek kloriranja je tudi dokaj enostaven za izvedbo v primerjavi z drugimi metodami priprave vode (Hancock, 2024).

Kloriranje je najpogostejše uporabljen postopek dezinfekcije pitne vode. Postopek kloriranja vode traja vsaj 30 minut. Po zaključku postopka dezinfekcije mora v vodi v vodovodnem omrežju ostati nekaj prostega klora, in sicer od 0,3 do 0,5 mg na liter. Vrednost pa je lahko tudi nižja, če upravljalec vodovoda zagotavlja stalno mikrobiološko skladnost oz. ustreznost pitne vode. Po stališču Svetovne zdravstvene organizacije je smerna zdravstvena koncentracija prostega preostalega klora 5 mg na liter vode, kar pomeni, da če 60 kg težak človek vsak dan zaužije 2 litra pitne vode s koncentracijo 5 mg klora na liter, še ne predstavlja tveganje za zdravje. Klor ima dolgotrajen učinek, zato je tudi pri načinu priprave pitne vode najpogostejši uporabljen postopek, saj tudi če pride do onesnaženja kasneje, lahko klor, ki je ostal v sistemu, odpravi nečistosti v pitni vodi.

Pri hiperkloriranju gre za obliko dezinfekcije, z drugim imenom tudi klorni šok, ki se uporablja za dezinfekcijo bodisi vode bodisi elementov vodovodnega omrežja (rezervoarji, cevi). Za hiperkloriranje omrežja se odločimo, da preprečimo ali odpravimo neskladnosti pitne vode, ki lahko izvirajo iz omrežja, npr. po novih delih, sanacijah, onesnaženjih. Pri postopku gre za precej višje koncentracije klorovega sredstva (za več kot desetkratne vrednosti v primerjavi z običajnim kloriranjem). Med tem postopkom pa je uporaba vode prepovedana.

Prisotnost klora v vodi preverjamo tako, da najprej dodamo N,N-diethyl-p-phenylenediamine spojino (DPD reagent). Ta je lahko pripravljen v obliki tablet ali tekočine. Reagent DPD daje pri reakciji s klorom v vodi rdeče obarvan kompleks. Metoda je primerna za določanje klora v vodi v koncentraciji okvirno od 0,1 do 6,0 mg/l.

V Sloveniji obveznost dezinfekcije ali kloriranja pitne vode ni predpisana. Potrebo po dezinfekciji in njene načine ugotovi upravljalec sistema za oskrbo s pitno vodo za vsak način oskrbe posebej. Upravljalec mora zagotoviti skladnost pitne vode, kar velja tudi za nastanek neželenih snovi po kloriranju. Na sliki 1 lahko vidimo napravo za kloriranje.

Če ima pitna voda vonj po kloru, se to ne obravnava kot neskladnost. Prag vonjanja za klor v pitni vodi pa je okoli 0,6 mg/l. Če ima pitna voda vonj po kloru, nam lahko to z veliko verjetnostjo pove, da je voda mikrobiološko varna oz. varnejša za uporabo kot voda, ki tega vonja nima ali če se ne klorira (NIJZ, 2014a).

Klor delimo na prosti in celotni klor, razlika med njima pa je vezani klor, ki se med postopkom dezinfekcije veže na bakterije in umazanijo v vodi. Iz vezanega klora lahko ugotovimo koliko bakterij in umazanije je bilo v vodi, saj več kot se ga veže, več je bilo umazanije in bakterij (Cotič, 2012).



Slika 1: Naprava za kloriranje.

Vir: <https://www.waterprofessionals.com/learning-center/chlorination/>.

2.1.1.1 Natrijev hipoklorit

Na vodovodnem omrežju v občini Muta se za dezinfekcijo uporablja natrijev hipoklorit. Natrijev hipoklorit se za dezinfekcijo pitne vode uporablja na manjših sistemih z manjšimi pretoki. Hipoklorit je v tekoči obliki. Glede na lastnosti sistema in kvalitete surove vode upravljavec določi količino dodane klorne raztopine, ta pa se nato dozira preko dozirne črpalke, ki je na sliki 2, namenjene točnemu odmerjanju raztopin (Hydrovod, 2024).



Slika 2: Naprava za dezinfekcijo pitne vode.

Vir: <https://hydrovod.si/o-pitni-vodi/priprava-vode/>.

2.1.1.2 Čas in način kloriranja vode

Kloriranje se lahko izvaja kadarkoli na katerikoli točki v celotnem procesu obdelave vode. Klor se lahko doda v vodo skoraj takoj po vstopu v napravo za pripravo pitne vode. Surovi vodi se tako doda klor, da uniči alge in druge oblike vodnega življenja iz vode. Dodatek klora bo tudi oksidiral morebitno prisotno železo, mangan ali vodikov sulfid.

Dezinfekcijo lahko izvedemo tudi tik pred filtracijo in po usedanju. Tako lahko iz vode odstranimo okus, vonjave in barvo.

Kloriranje se običajno in najbolj pogosto izvaja kot zadnji korak v procesu priprave pitne vode. Glavni cilj dodajanja klora je dezinfekcija vode in vzdrževanje ostankov klora, ki ostanejo v vodi, ko potuje skozi distribucijsko omrežje. Kloriranje filtrirane vode je bolj ekonomično, ker je potrebna nižja vrednost koncentracije in kontaktnega časa. Za podporo in vzdrževanje ostankov klora se v distribucijskem omrežju včasih izvede postopek ponovnega kloriranja, kar zagotovi vzdrževanje ustreznih ravni ostankov klora v celotnem distribucijskem omrežju (Hancock, 2024).

2.1.1.3 Varno kloriranje vode

Klor potrebuje čas, da v vodi uniči vse mikroorganizme, ki ne smejo biti prisotni v pitni vodi. Več časa kot je klor v stiku z mikroorganizmi, učinkovitejši bo postopek. Prav tako velja za koncentracijo klora – višja kot je koncentracija, večji učinek bo imel postopek dezinfekcije vode. Zahtevana vrednost koncentracije in kontaktnega časa klora je odvisna od več dejavnikov, vključno z vrsto patogenosti v vodi, motnostjo vode, pH vode in temperaturo vode. Vrste patogenosti v vodi so lahko bakterije E.coli in virusi kot je hepatitis A ter druge (Hancock, 2024).

2.1.1.4 Kloriranje vode in zdravstvene težave

Klor je lahko strupen ne samo za mikroorganizme, ampak tudi za ljudi. Za ljudi je klor dražilen za oči, nosne poti in dihal. Plinast klor pa lahko povzroča akutne posledice za zdravje in je lahko smrtno nevaren že pri nizkih koncentracijah. Vendar pa je plinast klor najcenejša oblika klora za pripravo vode, zaradi česar je tudi najbolj uporabljana snov za dezinfekcijo vode.

V pitni vodi je običajno koncentracija klora zelo nizka in zato ni zaskrbljujoča pri akutni izpostavljenosti. Kljub drugim zdravstvenim tveganjem je dezinfekcija pitne vode s klorom bolj varna kot nalezljive bolezni, ki so prisotne v vodi ob neuporabi klora.

Čeprav ima kloriranje nekaj pomanjkljivosti, je še vedno najbolj priljubljena, zanesljiva in stroškovno učinkovita metoda dezinfekcije vode (Hancock, 2024).

2.1.2 Priprava pitne vode z ozonom

Ozon poznamo že od 6. stoletja, najprej se je uporabljal za obdelavo pitne vode, kasneje pa tudi kot močan oksidant v industriji, od 70. let dalje pa tudi za čiščenje odpadnih vod.

V naravi nastaja v stratosferi, zaradi delovanja UV žarkov, nižje pa je prisoten v zelo nizkih koncentracijah. Ozon, ki je alotropska modifikacija kisika, je izredno nestabilen in reaktiven ter hitro razpada, zato ga vedno pripravljamo neposredno na mestu uporabe.

Proizvodnja ozona poteka tako, da kisik vodimo skozi elektrode, kjer ustvarjamo električno polje z visoko napetostjo in srednje–visoko frekvenco. Cena in obratovalni stroški generatorjev ozona, ki se je v primerjavi s tisto iz 90. let več kot prepolovila ter okolju prijazna tehnologija, so najbolj pripomogli k razširjenosti uporabe ozona.

Za popolno oksidacijo in dezinfekcijo pitne vode lahko ozon uporabljamo samostojno ali v kombinaciji z UV žarki in H_2O_2 .

Ozon je eden najmočnejših oksidantov v naravi, glede na oksidacijski potencial je močnejši le fluor.

Uporaba ozona je najbolj razširjena za pripravo pitnih vod. Uporabljamo ga za oksidacijo kovin in organskih snovi kot tudi za dezinfekcijo pred mikroorganizmi. V primerjavi z ostalimi dezinfekcijskimi sredstvi poteka dezinfekcija z ozonom bistveno hitreje in neodvisno od vsebnosti amonijaka ter pH vrednosti vode. Med drugim z uporabo ozona iz vode odstranimo neprijetne vonjave in znižujemo koncentracijo raztopljenih težkih kovin.

V nasprotju z ostalimi dezinfekcijskimi sredstvi pa v vodi ne ostajajo nikakršne človeku škodljive snovi, tudi če ozon predoziramo (Istrabenz plini, 2024).

Priprava vode z ozonom deluje tako, da se ozon raztopi v vodi in s posledično oksidacijo bakterij in drugih patogenov, ki se prenašajo z vodo. Ozon je mogoče proizvajati s posnemalnimi ultravijoličnimi in električnimi generatorji ozona, ki omogočajo pripravo vode.

Električni generatorji ozona proizvajajo ozon s koronsko razelektritvijo, ki odraža način ustvarjanja ozona med nevihto. Namesto strele gre visokonapetostna električna razelektritev skozi kisik v stekleni, keramični ali jekleni komori. To olajša razgradnjo molekularnega kisika v atomski kisik in omogoči nastanek ozona. Ozon nato vpihamo v vodo ali ga vakuumiramo skozi cev in takoj se začne postopek oksidacije.

Ultravijolična svetloba lahko ustvari ozon iz kisika. Podobno kot pri procesu kronske razelektritve UV svetloba zmoti molekule kisika in jih razdeli na dva atoma kisika. Proti atomi se nato združijo s celimi molekulami kisika in tvorijo ozon. Ozon se nato črpa v vodo s cevjo in začne se postopek obdelave vode. Vendar UV generatorji ozona niso tako močni kot električni generatorji ozona, na sliki 3, in proizvajajo ozon v nižjih koncentracijah.

Iz vode oba sistema uničita:

- bakterije,
- viruse,
- parazite,
- vodikov sulfid,
- slab okus in vonjave,
- motnost,
- železo, mangan in baker.

Ozonirana voda je tudi varna za pitje, saj je oksidacija naraven proces, ki odpravlja potrebo po kemikalijah. Sistem za pripravo vode z ozonom ne proizvaja nobenih kemičnih stranskih produktov in daje samo prečiščeno vodo (Woodard, 2021).



Slika 3: Generator ozona.

Vir: <https://wcponline.com/2018/08/15/ozone-water-treatment/>.

2.1.3 Priprava pitne vode z UV dezinfekcijo

Ultravijolični (UV) žarki so del svetlobe, ki prihaja od sonca. UV spekter ima višjo frekvenco kot vidna svetloba in nižjo frekvenco v primerjavi z rentgenskimi žarki. To pomeni, da ima UV spekter večjo valovno dolžino kot rentgenski žarki in manjšo valovno dolžino kot vidna svetloba. Kot tehnika obdelave vode je znano, da je UV učinkovito razkužilo zaradi njegove močne inaktivacijske sposobnosti. UV dezinfekcija vode uniči bakterije in viruse, hkrati pa je lahko učinkovita tudi proti praživalim. V ZDA so UV dezinfekcijo uporabili za dezinfekcijo in obdelavo pitne vode že leta 1900, vendar so jo opustili zaradi visokih obratovalnih stroškov, nezanesljive opreme in vse večje priljubljenosti dezinfekcije s kloriranjem.

Zaradi varnostnih težav, povezanih z odvisnostjo od kloriranja in izboljšave UV tehnologije, je UV dezinfekcija vse bolj sprejeta v komunalnih in gospodinjstskih sistemih za pripravo pitne vode.

UV sevanje ima tri območja valovnih dolžin: UV–A, UV–B in UV–C, slednje, kratkovalovno UV–C, ima baktericidne lastnosti za dezinfekcijo.

Dejstva o UV obdelavi (Oram, 2024):

- UV dezinfekcija vodi ne dodaja kemikalij;
- UV dezinfekcija je učinkovit proti bakterijam in virusom, je lahko učinkovit proti *Giardia lamblia* ali *Cryptosporidium*, če je sistem zasnovan tako, da izpolnjuje te zahteve glede razkuževanja;
- UV dezinfekcija nima ostankov dezinfekcije;
- UV dezinfekcija je pogosto zadnja naprava v nizu naprav za obdelavo vode;
- UV naprava mora imeti zvočni detektor UV sevanja, ki uporabnika obvesti, ko je jakost žarnice neustrezna;
- nujna sta redno vzdrževanje in menjava žarnic.

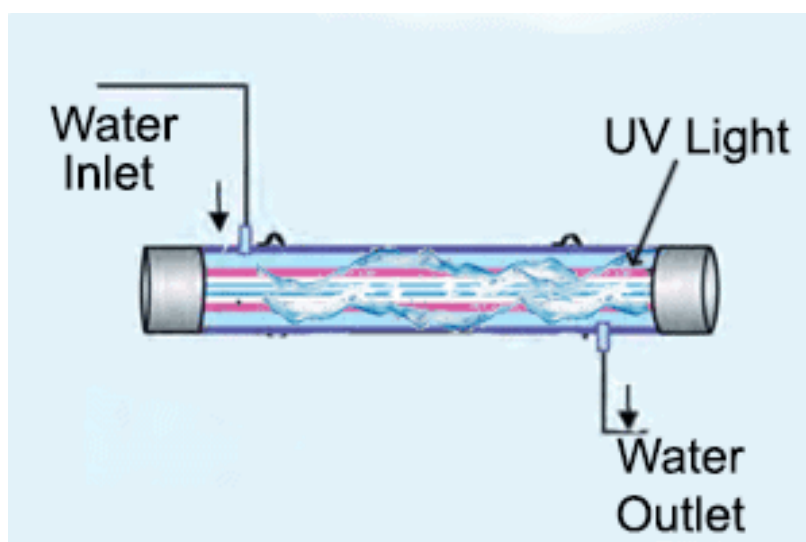


Slika 4: Obrat za UV dezinfekcijo.

Vir: <https://news.wttw.com/2016/03/23/worlds-largest-ultraviolet-disinfection-facility-tackles-chicago-river>.

UV sevanje vpliva na mikroorganizme tako, da spremeni DNK v celicah in ovira razmnoževanje. UV obdelava ne uniči organizmov iz vode, ampak jih le deaktivira. Učinkovitost tega postopka je povezana s časom osvetlitve in jakostjo svetilke ter splošnimi parametri kakovosti vode. Čas izpostavljenosti je naveden kot mikrovat – sekunda na kvadratni centimeter. Ker se intenzivnost žarnice z uporabo sčasoma zmanjša, sta zamenjava žarnice in ustrezna predobdelava ključnega pomena za uspeh UV dezinfekcije. Poleg tega morajo biti UV sistemi opremljeni z opozorilno napravo, ki opozori lastnika, ko jakost svetilke pade pod razkužilno območje. Na sliki 4 je prikazan obrat za UV dezinfekcijo.

Samostojno UV sevanje ne izboljša okusa, vonja in bistrosti vode. UV svetloba je zelo učinkovito razkužilo, čeprav se lahko razkuži le znotraj enote. V vodi ni ostankov dezinfekcije, ki bi deaktivirala bakterije, ki lahko preživijo ali se lahko vnesejo, ko voda preide mimo vira svetlobe (Oram, 2024).



Slika 5: Prikaz delovanja UV dezinfekcije.

Vir: <https://www.alfaauf.com/blog/uv-disinfection-system-water-treatment/>.

Ker mora UV sevanje doseči bakterije, da jih deaktivira, mora biti ohišje svetlobnega vira čisto. Na voljo so komercialni izdelki za izpiranje enote za odstranitev morebitnega filma na viru svetlobe. Nekatere enote imajo brisalce, ki pomagajo pri čiščenju. Na sliki 5 je prikazano delovanje UV dezinfekcije.

UV sistemi so zasnovani za neprekinjeno delovanje. Kadarkoli je sistem servisiran, je potrebno celoten vodovodni sistem razkužiti s kemikalijo, kot je klor, preden se za dezinfekcijo zanesemo na UV sistem.

UV lučke z uporabo postopoma izgubljajo učinkovitost, svetilko je potrebno redno čistiti in zamenjati vsaj enkrat letno. Ni nenavadno, da nova svetilka izgubi 20 odstotkov svoje jakosti v prvih 100 urah delovanja, čeprav se ta raven ohrani naslednjih nekaj tisoč ur. Vsaj prvih 6 mesecev uporabe naprave je potrebno mesečno kontrolirati očiščeno vodo glede prisotnosti koliformnih in heterotrofnih bakterij. Če so ti organizmi prisotni v obdelani vodi, je treba preveriti jakost žarnice in celoten vodovodni sistem razkužiti s kemikalijo, kot je klor (Oram, 2024).

2.1.4 Priprava pitne vode s filtracijo

Filtracija je fizikalni proces, ki odstrani nečistoče iz vode tako, da pronica skozi plast poroznega zrnatega materiala. Večina zalog pitne vode zahteva filtracijo po sedimentaciji. Lahko sledi tudi po hiperkloriranju, saj se voda med filtracijo ne očisti dovolj, da bi bila primerna za pitno vodo. Po hiperkloriranju in filtraciji sledi deklorizacija, da zmanjšamo vrednost klora v pitni vodi.

2.1.4.1 Peščeni filtri

Peščeni filtri so nameščeni v škatlastih betonskih strukturah z več škatlami, razporejenimi na obeh straneh cevne galerije. Pod filtri je običajno zgrajen velik rezervoar, ki začasno zadrži očiščeno vodo. Če je filtrirna plast zamašena z delci, odstranjenimi iz vode, jo je treba očistiti s povratnim pranjem. Zaradi svoje zanesljivosti je peščeni filter najpogostejši tip filtra, ki se uporablja za pripravo pitne vode (Nathanson, 2024).

Hitrost in uspešnost filtracije sta pogojeni z vrsto suspenzije, viskoznostjo tekočine v kateri so delci suspendirani, od temperature med filtracijo od koncentracije filtrirane suspenzije ter od vrste filtriranega medija in tlaka pri filtriranju. Filtracija lahko poteka pod gravitacijskim dotokom suspenzije, z nadtlakom, ki ga v zaprtih filterih dajejo črpalke, ki dovajajo suspenzijo na filter ali s podtlakom (Krneža, 2018).

2.1.4.2 Ultrafiltracija

Ultrafiltracija je fizikalna filtracija z membrano, ki ima velikost por 0,02 μm . Je novejši sistem kot filtracija in tudi dosti bolj varen, saj odstrani več netopnih snovi. To omogoča odstranitev vseh netopnih snovi, večjih od velikosti por. Mednje spada 99,99 % virusov in 99,99 % bakterij, pesticidov pa ultrafiltracija ne odstranjuje. Za zagotavljanje zdravstvene neoporečnosti vode moramo redno kontrolirati delovanje membran. Če se membrane med delovanjem ne spreminjajo glede na velikost por, je odstranjevanje motnosti in mikroorganizmov zagotovljeno. Testiranje se izvaja v določenih časovnih presledkih. Idealen bi bil razvoj senzorike, ki bi zaznal vsako poškodbo membrane že ob nastanku (Kolektor, 2024).

Poznamo številne prednosti ultrafiltracije:

- lahko zmanjša količino obdelanih kemikalij;
- manjše zahteve po prostoru;
- zmanjšuje zahteve po delu, saj lahko postopek popolnoma avtomatiziramo;
- novejša membrane delujejo z uporabo nižjih tlakov;
- odstranjuje praživali in jajčece glist, lahko tudi odstrani omejeno število bakterij in virusov.

Poznamo tudi slabosti ultrafiltracije (Dokl, 2013):

- potrebuje več elektrike, saj mora sistem za visoki tlak biti energetsko intenziven;
- lahko zahteva predčiščenje, da bi preprečili zamašitev membrano;
- zahteva zamenjavo membrane na 3 do 5 let;
- tvori obloge, kar je lahko resen problem;
- pretok vode skozi membrano se s časom postopno zmanjšuje, pri čemer so izkoristki znatno manjši od 100 %;
- primanjkuje zanesljivih načinov spremljanja uspešnosti čiščenja.

2.2 Analiza pitne vode

2.2.1 Parametri, ki jih določamo v pitni vodi

Pri analizah pitne vode upoštevamo Uredbo o pitni vodi (Uradni list RS, št. 61/23). V pitni vodi določamo fizikalne in kemijske parametre. Mikrobiološki parametri nam pokažejo obseg in stopnjo onesnaženosti pitne vode z mikroorganizmi. Preskušanje vzorca pitne vode (slika 6) na posamezne kemijske parametre pokažejo obseg in stopnjo onesnaženosti pitne vode s kemičnimi snovmi, ki lahko predstavljajo tveganje za zdravje ljudi. Kljub velikemu številu kemikalij v okolju so v normative vključene le nekatere, s katerimi si pomagamo pri oceni stanja pitne vode. Za indikatorske parametre mejne vrednosti niso določene na osnovi neposredne nevarnosti za zdravje, ampak nam dajo informacijo o urejenosti celotnega vodooskrbnega sistema in nas opozorijo, zlasti ob spremembah, da se z vodo nekaj dogaja in jih je treba raziskati (NIJZ, 2024b).



Slika 6: Analiza pitne vode.

Vir: <https://www.nlzoh.si/storitve/vode/pitne-vode/>.

2.2.1.1 Mikrobiološki parametri

Mikrobiološki parametri nam pokažejo obseg in stopnjo fekalne onesnaženosti pitne vode z mikroorganizmi. Zaradi akutnih posledic, je obvladovanje mikroorganizmov v pitni vodi na prvem mestu po pomenu za zdravje.

Preprečevanje bolezni, ki jih povzroča mikrobiološko onesnaženje pitne vode, zajema preprečevanje kontaminacije na viru in med distribucijo ter ustrezno pripravo vode, vključno z dezinfekcijo. Ker je prisotnost bakterij lahko vzrok akutnih zdravstvenih posledic, je treba včasih do ureditve razmer vodo tudi prekuhavati.

V kolikor ocenimo, da gre pri ugotovljeni bakteriološki neskladnosti za fekalno onesnaženje pitne vode, taka voda ogroža zdravje ljudi. Brez ustrezne priprave voda ni primerna za uporabo kot pitna voda. Upravljavec mora čimprej ugotoviti vzroke neskladnosti preskušane parametra in izvesti ukrepe za odpravo. Upravljavec mora o ukrepih obvestiti uporabnike in jim posredovati navodila o prekuhavanju pitne vode.

Ustreznost izvedenih ukrepov mora upravljavec preveriti z laboratorijskim preskušanjem vzorca vode.

V laboratoriju se preverja (NIJZ, 2024c):

- Escherichia coli – mejna vrednost v pitni vodi je 0/100 ml;
- Intestinalni Enterokoki – mejna vrednost v pitni vodi je 0/100 ml;
- Pseudomonas aeruginosa – mejna vrednost v vodi namenjeni za pakiranje je 0/250 ml;
- število kolonij pri 22 °C – mejna vrednost je manj kot 100/ml;
- število kolonij pri 37 °C – mejna vrednost je manj kot 100/ml;
- virusi in
- paraziti.

2.2.1.2 Kemijski parametri in fizikalno – kemični indikatorski parametri

Kemijski parametri, ki jih določamo v pitni vodi, so: akrilamid, antimon, arzen, baker, benzen, bor, bromat, cianid, 1,2 – dikloroetan, epiklorohidrin, fluorid, kadmij, krom, nikelj, nitrati in nitriti, pesticidi, policiklični aromatski ogljikovodiki in bezopiren, selen, svinec, trikloroeten, trihalometani, vinil klorid in živo srebro (NIJZ, 2024d).

Fizikalno-kemični indikatorski parametri, ki jih določamo v pitni vodi, so: aluminij, amonij, celotni organski ogljik, clostridium perfringens, električna prevodnost, klorid, koliformne bakterije, koncentracija vodikovih ionov (pH vrednost), mangan, motnost, natrij, okus, vonj, barva, sulfat in železo (NIJZ, 2024e).

2.3 Parametri za meritve in analize pitne vode

2.3.1 Motnost

Motnost vode je pokazatelj prisotnosti delcev, velikosti od 1 nm do 1 mm. Delce tvorijo anorganske in organske snovi ter mikroorganizmi. Delci so prisotni že pred pripravo (večjo motnost izmerimo v površinskih vodah, v podtalnici je običajno nizka, če ta ni v stiku s površinsko vodo), so posledica neustrezne priprave ali dviga usedline oz. luščenja biofilma v

distribucijskem sistemu. Motnost izražamo v NTU (nefelometricne turbidimetricne enote). Metoda merjenja motnosti temelji na primerjavi sipanja svetlobe pri prehodu skozi vzorec vode in skozi standardno suspenzijo z znano motnostjo. Delci lahko predstavljajo neposredno ali posredno nevarnost za zdravje ljudi. Po podatkih Svetovne zdravstvene organizacije je izgled vode z motnostjo do 4 NTU običajno še sprejemljiv za uporabnike, vendar zaradi mikrobiološke varnosti vode priporočajo čim nižjo motnost (NIJZ, 2023g).

2.3.2 pH

S pH vrednostjo vode izražamo stopnjo kislosti oz. bazičnosti vode. pH 7 pomeni, da je voda nevtralna, pod to vrednostjo je kislota, nad to vrednostjo pa bazična. Običajnen pH v podzemnih vodah je med 6 in 8,5. Ekstremne vrednosti v pitni vodi so lahko posledica nezgod, napak v pripravi vode ali sproščanja iz materialov v stiku z vodo. Za učinkovito dezinfekcijo vode s klorom, naj bo pH manj kot 8.

Za pitno vodo je določena mejna vrednost med 6,5 in 9,5. Za vodo, ki je namenjena pakiranju, je najnižja vrednost lahko 4,5.

Spremljanje vrednosti parametrov pH v pitni vodi omogoča hitro in enostavno zaznavanje sprememb lastnosti vode na terenu. Zaradi vpliva na korozijo in postopke priprave je eden najpomembnejših operativnih parametrov (NIJZ, 2023g).

2.3.3 Električna prevodnost

Električna prevodnost pitne vode je lastnost vode, da prevaja električni tok. Odvisna je od prisotnosti ionov v vodi – od njihove koncentracije, gibljivosti in naboja ter od temperature vode ob merjenju. Enota za električno prevodnost je mikro Siemens na cm ($\mu\text{S/cm}$).

Mejna vrednost za pitno vodo je 2500 $\mu\text{S/cm}$ pri 20 °C.

Električna prevodnost je indikatorski parameter in njena sprememba kaže na morebitno onesnaženost pitne vode (NIJZ, 2023g).

2.3.4 Absorpcije pri 254 nm in obarvanosti pri 436 nm

Organski material je ena najpogostejših nečistoč v izvirski vodi in vpliva na barvo, okus in vonj vode. Organske snovi v izvirski vodi izvirajo iz naravno prisotnih organskih snovi in vnesenih organskih snovi, ki izvirajo iz onesnaženja.

Dobra uveljavljena metoda za spremljanje organske obremenitve je merjenje absorpcije pri 254 nm in obarvanosti pri 436 nm. Merimo lahko s pomočjo UV svetlobe, saj se pri tej valovni dolžini absorbirajo organske snovi.

Organske snovi je potrebno odstraniti iz pitne vode, ker zagotavljajo hranila za mikroorganizme, bakterije in viruse (HACH, 2016).

2.3.5 Mikrobiološke analize pitne vode

Ker je voda bila minimalno klorirana, smo se odločili, da bomo izvedli tudi mikrobiološko testiranje vode, kjer se ugotavlja prisotnost koliformnih bakterij, *Escherichia coli* in enterokokov.

Opravili smo mikrobiološke analize pitne vode v občini Muta. Ker je za mikrobiološke analize potrebno sterilno okolje, smo vzorce vzeli nekoliko drugače, kot pri kemijskih analizah. Pri mikrobioloških analizah smo najprej pipi, kjer smo točili vodo za analizo, odstranili mrežico, nato pa smo jo dezinficirali z alkoholom in ožgali z vžigalnikom. Pustili smo teči vodo v enakomernem curku. Odvili smo sterilno flaško za vodo in v njo nalili vodo. Flaško smo dobro zaprli in jo še isti trenutek odpeljali v laboratorij. Vzorce za mikrobiološko analizo smo vzeli na dveh lokacijah, ki sta isti kot za druge naše analize. Mikrobiološke analize smo opravili dvakrat v razmiku enega tedna (vir lasten, 2024).

2.3.5.1 *Escherichia coli*

E. coli so bakterije, ki so vedno v velikem številu prisotne v človeškem in živalskem blatu ter posledično v odplakah in vodah, ki so onesnažene s fekalijami. Prisotnosti *E. coli* v pitni vodi dokazuje, da je bila voda fekalno onesnažena. Mejna vrednost za *E. coli* v pitni vodi je 0/100 ml (NIJZ, 2024c).

2.3.5.2 Enterokoki

Enterokoki so bakterije, ki so prisotne v črevesju oz. v blatu ljudi in živali. Upoštevamo jih kot zanesljive fekalne indikatorje. V vodi se ohranijo dlje časa kot *E. coli*, zato njihovo prisotnost v pitni vodi, v kateri drugih bakterij nismo ugotovili, ocenjujemo kot starejše fekalno onesnaženje. Mejna vrednost za enterokoke v pitni vodi je 0/100 ml (NIJZ, 2024c).

2.3.6 Organoleptična analiza pitne vode

Okus, vonj in barva vode so organoleptični parametri, ki jih ugotavljamo s čutili. So ena prvih sprememb, ki jih uporabniki sami zaznajo. Sprememba okusa ali vonja vode lahko povzročajo spremembe v viru oskrbe z vodo, priprava vode, vpliv omrežja. Na okus in vonj lahko vplivajo prisotnost in aktivnost mikroorganizmov v pitni vodi.

Podobno lahko spremembo barve pitne vode, odvzete na pipi, kažejo na stik s površinsko vodo, neustrezno pripravo vode, poškodbo cevovoda, dvigovanje usedline ali luščenje biofilma v omrežju. Voda izgleda belo, kot posledica mehurčkov zraka, če so vzrok mehurčki zraka, se bo voda v kozarcu zbistrila najprej na dnu kozarca in nato proti vrhu.

Če se pojavi sprememba okusa, vonja, barve, je potrebno ugotoviti vzrok. Spremembe okusa, vonja, barve same povedo premalo, zato jih ocenjujemo v povezavi z vrednostmi ostalih parametrov. Za ocenjevanje je nujno poznavanje stanja vodovodnega omrežja sistema za oskrbo s pitno vodo in interne vodovodne napeljave (NIJZ, 2023g).

Vonj je eden izmed indikatorskih in organoleptičnih parametrov, kar pomeni, da ga ugotavljamo s čutili. Prag zaznavanja je najnižja koncentracija, ki jo zazna določen odstotek ljudi, ki je običajno 50 %.

Voda je nevtralen medij, vedno prisoten na ali ob vohalnih receptorjih. V čisti obliki je voda brez vonja. Vonj je prepoznan kot dejavnik kakovosti, ki vpliva na sprejemljivost pitne vode. Intenzivnost vonja je opisana kot "ni zaznaven", nato "zelo šibek", pa vse do "zelo močan". Hedonistični vonj je način, s katerim se vonj dojema kot prijeten ali neprijeten in je odvisen od osebe in od prejšnjih izkušenj v času zaznave vonja. Omogoča nam, da razlikujemo med različnimi vonjavami. Metoda je subjektivna, delno odvisna od občutljivosti posameznika.

Okus je eden izmed indikatorskih in organoleptičnih parametrov, ki ga ugotavljamo s čutili. Je tudi ena od prvih sprememb, ki jih uporabniki sami zaznajo. Metoda je subjektivna, delno odvisna od občutljivosti posameznika. Okus je posledica kemijske stimulacije senzoričnih živčnih končičev, ki se nahajajo v brbončicah jezika in na mehkem nebu.

Sprememba okusa vode na pipi lahko kaže na stik s površinsko vodo, na neučinkovito pripravo vode, poškodbo cevovoda, kontaminacijo ali dviganje usedlin v distribucijskem sistemu. Okus vode je lahko povezan s povečano koncentracijo določenih snovi v vodi, kot so kloridi (slan okus), baker (kovinski okus), penila (grenak, neprijeten okus), železo (kovinski okus), mangan (grenak kovinski okus), pH vrednostjo (nizek pH-grenak, kovinski okus in visok pH-spolzek občutek in okus po sodi), sulfati (slan okus), TDS (slan okus) in cink (kovinski okus).

2.4 Zgodovina vodovoda na Slovenskem

V Ljubljani so leta 1888 izdali načrte za ljubljanski mestni vodovod z uporabo vodnih virov na območju Kleč. Iz 4 vodnjakov v Klečah je leta 1890 po napajalnem cevovodu s profilom 325 mm pritekla prva voda, kar je vplivalo na razvoj mesta. Po popotresni obnovi Ljubljane, po letu 1895, se je uporaba vode iz vodovoda povečala, predvsem zaradi večje porabe vode v gospodinjstvih in pri na novo urejenih sanitarijah. Zato so pospešili gradnjo vodnjakov, napajalnih in konzumnih vodovodov ter vodohranov. Leta 1945 je imel mestni vodovod z 2 glavnima cevovodoma skupaj 167 km vodovodnega omrežja in vodarno v Klečah s 5 vodnjaki. Leta 1950 se je začela gradnja vodarne v Šentvidu. Tako se je lahko ljubljansko vodovodno omrežje razširilo na širše območje, od Zaloga do Brezovice pri Ljubljani in od Medna do Škofljice.

V Mariboru je zlasti po 1850 letu postajala oskrba s pitno vodo vse bolj kritična, saj je bila zdravstveno neustrezna. Leta 1902 so zaključili z izgradnjo vodovoda, vendar je že čez nekaj let začelo primanjkovati pitne vode, kar je pomenilo, da so morali zgraditi nove vodnjake. Leta 1932 so v betnavskem gozdu zgradili vodarno. Leta 1976 pa so odkrili, da lahko na Vrbanškem platoju črpajo okrog 400 l/s pitne vode, kar je omogočila ureditev vodovodnega sistema na območju Ruš do Lenarta v Slovenskih goricah. Z zgraditvijo dveh vodnjakov zmogljivosti 100l/s, se je Mariborski vodovod širil proti Dravskemu polju.

V Celju je vodovod leta 1941, s 676 priključki, vseboval okrog 14000 prebivalcev. Zaradi pomankanja pitne vode, je bil leta 1943 v Medlogu zgrajen prvi vodnjak z drenažo, ki je bil s 150 milimetrskim cevovodom povezan z mestnim vodovodom. Po letu 1945 so v obmestju zgradili lokalne vodovode, v Medlogu pa so uredili 8 vodnjakov z zmogljivostjo 180 l/s.

Obalna mesta, Koper, Izola in Piran, s pitno vodo oskrbuje rižanski vodovod. Leta 1935 je imel zmogljivost 60 l/s, zasnovan pa je bil po gravitacijskem načelu. Med drugo svetovno vojno je bil vodovod slabo vzdrževan, leta 1945 je izguba vode v vodovodu znašala več kot 70 %. V letih 1959–1962 so vodovod preuredili in leta 1965 zgradili sečoveljski vodovod, s tem pa se je zmogljivost rižanskega vodovoda povečala na 250 l/s. Celotna zmogljivost rižanskega vodovoda je leta 1980 bila 590 l/s (Dijaški.net, 2024).

2.5 Splošno o vodovodnem sistemu

Za besedno zvezo vodovodni sistem ali krajše vodovod obstaja več različnih definicij. Prva, bolj splošna, ga razlaga kot sistem za preskrbo z vodo, kjer teče pitna voda od vira do porabnika. V poročilih javnih služb je vodovodni sistem definiran kot sistem elementov vodovoda (cevi, črpališč, vodohranov, hidrantov itd.), s katerimi upravlja en upravljalec in pretežni del rednega obratovanja deluje kot samostojen sistem, hidravlično ločen od drugih vodovodnih sistemov. Ponekod so označeni tudi z izrazom razdelilno omrežje. Z njim se označuje tiste cevovode, ki dovajajo vodo porabnikom. Pri manjših vodovodih, kjer je porabnikov malo, je vodovodno omrežje preprosto in relativno poceni. V mestih, kjer je pozidava gosta, se uporablja dražje in zanesljivejše sisteme razdeljevanja vode.

Z besedo javni vodovod se v Uredbi o oskrbi s pitno vodo označi »vodovod, ki je kot občinska gospodarska javna infrastruktura namenjen izvajanju javne službe. Del javnega vodovoda je tudi zunanje hidrantno omrežje za gašenje požarov, ki je neločljivo hidravlično povezano z javnim vodovodom. Območje javnega vodovoda je območje, ki vključuje območja poselitve, obstoječa in predvidena poselitvena območja ali njihove dele ter posamezne stavbe ali gradbene inženirske objekte, za katere občina zagotavlja izvajanje javne službe ali je v občinskih predpisih zanje predvideno izvajanje javne službe iz enega javnega vodovoda«.

S cevovodnimi sistemi je možno oskrbeti različne uporabnike. Oskrbujejo se naselja s pitno vodo, s tehnološkimi omrežji zadovoljujejo potrebe industrije po vodi, v kmetijstvu poznamo namakalne sisteme itd. Kljub temu, da so vodovodni sistemi med seboj različni tako po velikosti omrežja, kompleksnosti izvedbe, številu elementov, ki gradijo omrežje, številu in tipu vodnega vira, številu odjemalcev itd., vse povezuje skupen cilj. Ta je zadovoljitev osnovne potrebe družbe po oskrbi s pitno vodo. Za doseg tega je potrebno vse porabnike povezati v sistem in jih priključiti na ustrezno velik vodni vir. Tu je poleg zanesljivosti delovanja sistema pomembna tudi kakovost vode, zadostno število vodnih virov, zadostna izdatnost vira, zagotavljanje zadostnih količin vode v vsakem trenutku v vsaki točki sistema in zagotavljanje ustreznega in stalnega tlaka v sistemu. Omogočena mora biti tudi možnost priključitve dodatnega odjemalca na skoraj poljubni točki pripadajočega območja sistema.

Zaradi velike porabe pitne vode in vedno večje nevarnosti onesnaženja vodnih virov, si je potrebno prizadevati za varčnejšo uporabo pitne vode in nadomeščanje pitne vode z industrijsko in tehnološko vodo povsod tam, kjer takšna kakovost vode ni nujno potrebna. Vedno višja cena pitne vode in tudi strožji predpisi na področju pitne vode so pripomogli k temu, da vedno več podjetij uporablja predelovalne postopke z zaprtim sistemom uporabe tehnološke vode. Če načrtujemo, gradimo in vzdržujemo vodovode za tehnološke namene v industriji ali javno rabo, veljajo enaka pravila in navodila (razen kakovosti vode) kot za vodovodne sisteme s pitno vodo (Grubar, 2016).

Čeprav so si vodovodni sistemi po svetu med seboj zaradi kompleksnosti različni, imajo vsi enak osnovni namen, in sicer da iz vodnega vira vodo zajamejo, jo pripravijo in po cevovodu transportirajo do končnega porabnika. Naloga vodovodnih sistemov je, da zagotavljajo v skladu s predpisi oz. standardi oskrbe:

- neoporečno kakovost pitne vode;
- za prebivalce zadostne količine pitne vode, po posebnih dogovorih pa tudi vodo za gospodarsko rabo (npr. turizem);
- oskrbo pri ustreznem tlaku na vsaki točki odvzema za različne namene (gospodinjstva, raba, gašenje požara itd.).

Vodovodni sistem lahko razdelimo na dva glavna dela – transportno omrežje in distribucijsko omrežje. Transportni del sistema je sestavljen iz gradnikov, ki so namenjeni zajemu, pripravi in transportu velikih količin vode na velikih razdaljah ter na koncu shranjevanju. To so objekti in naprave za zajem surove vode, centralne ali decentralizirane čistilne naprave za pripravo pitne vode, črpališča, vodohrani in transportni oz. magistralni cevovodi.

Na splošno ima distribucijski sistem bolj zapleteno topologijo in vsebuje veliko število elementov. V tem delu omrežja cevovod delimo na distribucijski cevovod in vodovodne priključke. Distribucijski cevovod je manjšega premera kot transportni cevovod. Sestavljajo ga primarni, sekundarni, lahko tudi terciarni cevovodi in so vmesna povezava pri zagotavljanju vode do končnih odjemalcev. Običajno cevi v distribucijskem omrežju sledijo geometriji ulic, zato je zgradba omrežja lahko vejičaste, zankaste oz. krožne ali mrežaste oblike. Kot že imena povedo, je v vejičastem omrežju vsak porabnik oskrbovan samo iz ene smeri, medtem ko je v zankastem omrežju porabnik oskrbovan iz najmanj dveh smeri. Zankasta omrežja so zato v splošnem bolj zaželeni, saj je varnost oskrbe v primeru, da pride do okvare na vodovodnem sistemu, večja. Druga prednost zankastih sistemov je, da so tlačne razmere bolj enakomerne, s tem pa tudi hitrosti vode v sistemu in zmogljivost sistema. Slabost zankastih sistemov v primerjavi z vejičastimi je, da so bolj zahtevni za dimenzioniranje in določanje (merjenje) hidravličnih veličin ter imajo večji strošek izgradnje.

Kot je razvidno iz zgornjega opisa, je cevovod eden glavnih gradnikov vodovodnega omrežja, saj skrbi za transport vode med različnimi točkami znotraj sistema. Poleg tega, da je vodovodno omrežje oz. mreža cevovodov po navadi najdražja komponenta sistema za oskrbo s pitno vodo, so cevi nenehno izpostavljene različnim obremenitvam (zunanjim in notranjim), ki lahko vodijo v poslabšanje njihovih (transportnih, mehanskih ipd.) lastnosti. Tipični rezultati tega poslabšanja so povečani stroški obratovanja in vzdrževanja, zmanjšanje kakovosti storitev, poslabšanje kakovosti vode in dejanske vodne izgube.

Izvajalec javne službe oskrbe s pitno vodo mora po Uredbi o oskrbi s pitno vodo (Ur. list RS, 88/2012) spremljati in evidentirati vodne izgube iz javnega vodovoda v vodni bilanci ter v skladu s programom oskrbe s pitno vodo pripraviti seznam ukrepov za zmanjšanje teh izgub (Tallarini, 2018).

2.6 Občina Muta

Občina Muta leži v osrednji Dravski dolini na severovzhodnem delu Slovenije, vpeta je med reko Dravo na jugu in slovensko-avstrijsko mejo na severu.

Obsega dve geografsko-gospodarski enoti: dolino ob reki Dravi s terasami in ravninskim svetom do vznožnih obronkov hribovitega zaledja in hriboviti svet vzdolž državne meje. Muta leži v predalpskem svetu, ki ima bogato floro in razmeroma obilo površinskih voda.

Večja naselja Zgornja Muta, Spodnja Muta in Gortina so se torej razvijali na ravninskem delu, zaselki Pernice, Mlake, Sveti Jernej nad Muto in Sveti Primož nad Muto pa se razprostirajo po hribovitih predelih Golice in Kobanskega ob državni meji.

Vsi zaselki skupaj tvorijo složno celoto na 39 km² in 3770 prebivalcev. Sosednje občine na slovenski strani, ki nas obdajajo, so Radlje ob Dravi, Vuzenica in Dravograd, na drugi strani državne meje pa sta to občini Aibl in Soboth. Na sliki 7 je prikazana lega občine Muta (Občina Muta, 2024).



Slika 7: Lega občine Muta.

Vir: https://sl.wikipedia.org/wiki/Ob%C4%8Dina_Muta#/media/Slika:Karte_Muta_si.png.

V občini Muta lahko pred dvema večjima vodovodnima projektoma, projekt Dravskega vodovoda in projekt vodovod Mlake, razdelimo vodooskrbo v občini Muta na dve ločeni območji, in sicer (Gerželj, 2015):

- nižinsko območje ob reki Dravi, ki je prikazano na sliki 8, je vodooskrba urejena za naselje Muta skupno s Podlipjem, naseljem Gortina in vodovodni sistem Abrasiv. Vsi trije vodovodni sistemi so med sabo povezani za primer pomanjkanja vode v posameznem sistemu. In
- višinsko območje vodooskrbe na južnem pobočju Kobanskega hribovja, ki obsega vodooskrbo naselja Pernice, del zaselka Bistriški jarek in del naselja Sveti Primož nad Muto. Vodovodni sistemi na tem območju so bili v upravljanju lokalnih skupnosti in niso bili vključeni v skupno upravljanje s pooblaščenim upravljalcem. Vodovodni sistemi so bili dotrajani, prav tako ni bilo urejenega nadzora in dezinfekcije vode.



Slika 8: Občina Muta iz zraka.

Vir: <https://www.muta.si/objava/69026>.

2.7 Vodovodni sistem Muta – Gortina

Na območju občine Muta je identificiran en vodovodni sistem VS Muta – Gortina. Sistem oskrbuje okoli 2.300 prebivalcev, dnevna poraba vode pa znaša približno 410 m³. Dolžina vodovodnega omrežja v občini Muta je 57.860 m. Vodovodni sistem napaja črpališče Karavaning, vodni vir Laaken in zajetja Lovska koča in Hermanovo. V primeru povečanih potreb po pitni vodi je urejena možnost dopolnjevanja vode iz občine Radlje ob Dravi. Za pripravo pitne vode se izvaja redna dezinfekcija z natrijevim hipokloritom (JKP Radlje, 2024).

2.7.1 Vodovodni sistem Muta

Sistem vodovoda Muta oskrbuje s pitno vodo naselje Muta z bližnjo okolico na ravninskem delu na platoju nad Dravo.

Izdatnost vodnih virov pokriva sedanjo porabo, viški se v kriznem sušnem obdobju odvajajo tudi v sistem vodovoda Gortina oz. v sistem Abrasiv v primeru izpada sistema.

Skupna vsebina vodo hranov v sistemu vodooskrbe naselja Muta znaša $V = 580 \text{ m}^3$, kar je več kot je potrebno ob stalnem dotoku iz zajetij.

Sistem vodovoda Muta se oskrbuje z vodo iz štirih strani, in sicer:

- vodooskrba iz zajetij Hermanovo, ki se nahaja severno od naselja. Voda po cevovodu odteka v razbremenilnik Pernice 1. V isti razbremenilnik dotekajo še vodni viri iz drugih zajetij v občini. Celotna količina vode odteka zatem po PE ceveh dimenzije 110 mm v razbremenilnik Pernice 2 in dalje v vodo hran vsebine 400 m³ nad naseljem Zgornja Gortina.
- Vodooskrba iz zajetij Matijevo, od koder je voda po PE ceveh dimenzije 50 mm speljana direktno do vodnega stolpa na Zgornji Muti.
- Na območju Svetega Primoža nad Muto se nahajajo zajetja Plaznik, Plaznik 1 in Stipanič. Zajeta voda odteka po PE ceveh dimenzije 63 mm do vodo hrana Muta vsebine 5 m na koti 420 mNV in od tu dalje v porabo do Spodnje Mute.
- Vodooskrba Spodnja Muta in naselje Podlipje se vrši iz zajetih vodnih virov Verber 1 in 2 ter zajetij Gnamuš 1–3. Voda iz zajetij je speljana v razbremenilnik Gnamuš ter dalje po PE ceveh dimenzije 110 mm do vodo hrana Podlipje in naprej preko raztežilnika 5 m³ vse do Spodnje Mute.

Skupna izdatnost zajetih vodnih virov na sistemu vodovoda Muta znaša 5,0–6,0 l/s, točni podatki o izdatnosti niso poznani. Vodovarstvenih pasov ni vzpostavljenih, kar pomeni, da lahko kadarkoli pride do onesnaženja vodnih virov.

V vodovodnem sistemu Muta so cevovodi različnih materialov in v večini primerov neustreznega profila. Osnovni vodovod v naselju se je gradil pred drugo svetovno vojno v pretežni meri iz litoželeznih cevi. Po vojni so vodovod širili večinoma z azbestnimi cevmi, na katerih se sedaj pojavljajo stalni defekti. V novjšem času so se uporabljale polietilen (PE) cevi, ki pa niso ustrezne kvalitete ali pa niso zadovoljivo vgrajene.

Na sistemu Muta so sledeči objekti:

- zajetja: v sistemu prevladujejo tip točkovnih zajetij s pregradno steno in zasipom. Vsi zajeti vodni viri so manjše izdatnosti.
- Raztežilniki: objekti raztežilnikov so večinoma manjše vsebine do 5 m³, ki mestoma služijo tudi kot vodo hran za posamezne odjemnike. Večinoma so raztežilniki iz polivinilklorid (PVC) materiala vkopanega v zemljo.

- Vodohrani: manjši objekti do vsebine 5 m³ so iz PVC materiala, večji objekti pa so betonski z armaturno komoro in vstopom skozi vrata, kjer je nameščena cevna oprema in vodna celica. V naselju Muta je vodni stolp (slika 9) z vsebino 80 m³ zgrajen leta 1931.

Problem na vodovodnem sistemu Muta je bil predvsem popolna neavtomatizacija sistema, dotrajanost cevovodov in veliko manjših zajetij, za katere ni znana izdatnost tekom leta. Vse to je občina Muta rešila s skupnim projektom sosednjih občin – Projekt oskrba s pitno vodo v porečju Drave in lastnim projektom izvira z gravitacijskim dotokom iz sosednje Avstrije, ki je s tem kot prva občina v Sloveniji z vodnim virom v drugi državi (Gerželj, 2015).



Slika 9: Vodni stolp Muta.

Vir: https://www.jkp-radlje.si/oskrba_s_pitno_vodo.

2.7.2 Vodovodni sistem Gortina

Sistem vodovoda oskrbuje z vodo naselje Gortina z bližnjo okolico na ravninskem delu na platoju nad Dravo, in sicer okoli 470 prebivalcev.

Izdatnost vodnih virov ne pokriva v celoti stanja porabe, izvedba je povezana z vodovodnim sistemom Muta.

Skupni volumen vodohranov v sistemu vodooskrbe naselja Gortina znaša 80 m³. Urejen je bil povezovalni cevovod vodovoda Dravograd – Muta.

Sistem vodovoda Gortina se oskrbuje z vodo iz štirih strani, in sicer:

- sedanji vodovodni sistem se oskrbuje iz vodovodnega zajetja Napečnik in zajetij Krajnc 1+2+3;
- voda po cevovodu odteka v vodohran Gortina vsebine 80 m³;
- v sistem so vključeni tudi zajeti izviri Lešnik 1+2, ki je v vodohran Gortina odtekajo preko razbremenilnika Gortina;
- v sistem po potrebi doteka tudi voda iz sistema Muta.

Skupaj izdatnost zajetih vodnih virov na sistemu vodovoda Gortina ne zadosti potreb po pitni vodi na območju vodooskrbe, saj znašajo zajete količine le max Q = 1,00 l/s. Ta primanjkljaj

se je rešil s povezovalnim cevovodom Dravograd – Muta in izvirom z gravitacijskim dotokom iz sosednje Avstrije.

Za vse zajete vodne vire lahko trdimo, da vodovarstveni pasovi niso opredeljeni, kar pomeni, da lahko kadarkoli pride do onesnaženja vodnih virov.

V vodovodnem sistemu Gortina so cevovodi v večini iz polietilena v večini primerov neustreznega profila za vodooskrbo in zagotavljanja požarne varnosti. Uporabljene polietilen (PE) cevi pa niso ustrezne kvalitete ali pa niso zadovoljivo vgrajene.

Na sistemu so sledeči objekti:

- zajetja,
- raztežilnik,
- vodohrani: vodohran Gortina je objekt vsebine 80 m³ in vodohran Gortina šola, ki pa je manjši vsebine cca 5 m³ iz PVC materiala.

Vse probleme s pitno vodo na vodovodnem sistemu Gortina so rešili z vključitvijo v skupni sistem Dravograd – Muta – Radlje ob Dravi.

V občini Muta imamo še druge manjše vodovodne sisteme (Gerželj, 2015):

- vodovodni sistem Abrasiv,
- vodovodni sistemi na območju Kozjaka,
- vodovod Pernice (šola),
- vodovod Bistriški jarek (šola),
- vodovod Sveti Primož nad Muto.

2.8 Projekti za pitno vodo v občini Muta

V preteklih letih je občina Muta veliko denarja namenila za izboljšanje vodovodnega omrežja v občini. Tako sta v preteklih letih bila izvedena dva večja projekta, zato ima občina Muta danes boljšo pitno vodo kot nekaj let nazaj. Izvedena sta bila projekta Oskrba s pitno vodo v porečju Drave – 3. sklop in Vodovod Mlake. Vodovod Mlake je kot prvi vodovodni sistem v Sloveniji speljan iz sosednje države, saj se vodni vir nahaja v Avstriji (vir lasten, 2024).

2.8.1 Oskrba s pitno vodo v porečju Drave – 3. sklop

Projekt Oskrba s pitno vodo v porečju Drave – 3. sklop predstavlja ukrepe za zagotavljanje dolgoročne varne oskrbe s pitno vodo. Dobava pitne vode bo potekala z večjo zanesljivostjo in zagotovila se bo zadostnost vodnih virov.



Slika 10: Povezovalni vod.

Vir: <https://www.geoprostor.net/piso/ewmap.asp?obcina=muta>.

V projektu so sodelovale občine Dravograd, Muta, Vuzenica, Radlje ob Dravi in Podvelka. Med temi občinami je vzpostavljen povezovalni vodovodni vod, ki je prikazan na sliki 10. Celotna vrednost investicije znaša okoli 50 milijonov eurov. Del projekta je sofinancirala tudi Evropska unija.

Tabela 1: Število objektov in naprav na celotnem projektu.

Kazalnik	Enota	Količina
Dolžina cevovodov	m	107 393
Vodohrani	število	16
Črpališča	število	5
Prečrpališča	število	15
Hidropostaje	število	9
Nadzorni center	število	1

Vir: M. M. Gerželj, Investicijski program – projekt Oskrba s pitno vodo v porečju Drave – 3. sklop, 2015.

S tem projektom je občina Muta nadgradila obstoječo vodovodno omrežje, kar pomeni izgradnjo novih cevovodov in objektov, hidravlično izboljšavo neustreznih cevovodov, povezovanje sistemov na dolinskem območju, nadgradnje objektov ter ureditev dezinfekcije in telemetrije v objektih, točno število je prikazano v tabeli 1. Zajetje Abrasiv z izdatnostjo 4,5 l/s, ki se je do sedaj uporabljal za industrijsko rabo podjetja Abrasiv d.o.o., je s tem projektom postalo vodni vir za podsistem občine Muta.



Slika 11: Dela na projektu v Občini Muta.

Vir: <https://www.muta.si/objava/72786>.

Povezali so se tudi vodovodni sistemi Muta in Gortina ter Muta – Radlje ob Dravi. Iz Gortine se je izgradil tudi povezovalni cevovod do občine Dravograd, potek del je prikazan na sliki 11 in 12. Posodobil se je vodovod Sveti Primož nad Muto, kjer je bil izgrajen nov vodovodni sistem dolžine 6.566 m, dimenzije cevi DN 100, 75, 50 in 32. Zgrajenih je bilo tudi šest novih prečrpališč in trije novi vodohrani.

V omrežje se je vključil tudi sistem Abrasiv, kjer je bil izgrajen nov povezovalni cevovod za napajanje objektov med naseljem Spodnja Gortina in zaselkom Sveti Peter.

Skupna dolžina vodovoda v projektu v občini Muta je 21.216 metrov (Gerželj, 2015).



Slika 12: Dela na projektu v Občini Muta.

Vir: <https://www.muta.si/objava/72786>.

2.8.2 Vodovod Mlake

Med hribovskimi vodnimi viri v občini Muta je najbolj izdaten izvir Mlake, ki izvira na avstrijski strani na nadmorski višini 1.070 metrov (slika 13), a nato kmalu priteče na slovensko stran ter se kasneje izliva v reko Bistrico.



Slika 13: Lokacija izvira Mlake.

Vir: <https://www.muta.si/objava/284861>.

Občina Muta je pridobila dovoljenje za koriščenje količine 5 l/s pitne vode iz zajetja Lorbergquelle v Avstriji, vir pa dosega količine do 12 l/s. Dovoljenje za uporabo vodnega vira velja do leta 2067 z možnostjo podaljšanja dovoljenja in povečanja količin odvzema.

Ob pridobljenih dovoljenjih in soglasjih je projekt stekel in tako je občina najprej zgradila 380 metrov vodovoda na avstrijski strani. Za projekt na avstrijski strani, ki vključuje 380 metrov vodovoda in vodno zajetje, je občina namenila 123.000 evrov. Na sliki 14 je prikazana slovesna položitev cevovodov na slovensko – avstrijski meji (Slovenska tiskovna agencija, 2020).



Slika 14: Slovesna položitev vodovoda, ki poteka čez državno mejo Avstrija – Slovenija (občina Muta).

Vir: <https://lokalec.si/novice/video-in-foto-na-muti-vse-bolj-uresnicljiv-vodovod-mlake-z-vodnim-zajetjem-v-avstriji/>.

Vodovod na slovenski strani poteka po travniku ob robu gozda do merilnega mesta Herman. Objekt merilno mesto Herman je v celoti vkopan v brežino ob dovozni cesti. V objektu je merilec pretoka in zasun z elektro pogonom. Nato poteka vodovod skozi gozd do razbremenilnika Herman, kjer je objekt prevezan na obstoječi vodovod (Štraser, 2017a).

Dolžina voda je 183 metrov od državne meje do merilnega mesta Herman in 597 metrov naprej do razbremenilnika Herman, skupaj torej 780 metrov. Globina dna vodovoda znaša v glavnem

1,50 metra. Za slovenski del vodovoda je občina namenila okoli 208.000 evrov. V tabeli 2 lahko vidimo stroške avstrijske in slovenske strani vodovoda.

Tabela 2: Pregled avstrijske in slovenske strani vodovoda

	Avstrijska stran vodovoda	Slovenska stran vodovoda
Dolžina vodovoda	380 metrov	780 metrov
Cena	123.000 evrov	208.000 evrov

Vir: B. Štraser.



Slika 15: Objekt – izpust na vodovodu Mlake.

Vir: <https://lokalec.si/novice/na-muti-ze-odvzeti-vzorci-vode-za-zadnjo-mikrobiolosko-analizo-vodovoda-med-dvema-drzavama/>.

Zahteva avstrijske strani je bila, da se na slovenski strani vgradi merilec pretoka, da se bo lahko kontrolirala poraba pitne vode. Na sliki 15 lahko vidimo izpust na vodovodu Mlake.

Za vodovod so se uporabile duktilne cevi DN100. Na cevovodu je označen trak modre barve z belim napisom vodovod cca. 50 centimetrov nad cevovodom (Štraser, 2017b).

2.9 Upravljalec vodovodnega omrežja v občini Muta

Upravljalec vodovodnega omrežja v občini Muta je Javno komunalno podjetje Radlje ob Dravi d.o.o. Javno komunalno podjetje Radlje ob Dravi je v lasti občin: Radlje ob Dravi (37,06 %), Muta (20,80 %), Vuzenica (18,21 %), Podvelka (16,38 %) in Ribnica na Pohorju (7,55 %).

Podjetje v teh občinah med drugimi dejavnostmi opravlja tudi dejavnost oskrbe s pitno vodo.

Dejavnosti podjetja:

- oskrba s pitno vodo,
- ravnanje z odpadki,
- odvajanje in čiščenje odpadnih voda,
- pokopališka in pogrebna dejavnost,
- upravljanje stanovanj in poslovnih prostorov,
- izvajanje gradbenih in instalacijskih del,
- vzdrževanje lokalnih cest in javnih površin ter zimska služba.

Pitno vodo Javno komunalno podjetje Radlje ob Dravi uporabnikom zagotavlja iz 13 ločenih ali povezanih vodooskrbnih sistemov, ki jih oskrbuje iz štirih črpališč pitne vode (Zgornja Vižinga, Vuhred, Vuzenica in Karavaning – občina Muta) in 13 sistemov zajetij hribovskih izvirov pitne vode, med njimi je tudi vodooskrbni sistem Muta – Gortina. Na sliki 16 je prikazan obnovljen vodohran, ki ga je obnovilo Javno komunalno podjetje Radlje ob Dravi.

Dejavnost vzdrževanja sistema oskrbe s pitno vodo obsega vse aktivnosti, predvidene in načrtovane v sistemu HACCP za zagotavljanje in nadzor nad kvaliteto pitne vode.

Nadzor nad zagotavljanjem kvalitete pitne vode se izvaja po predpisanem monitoringu z obdobjimi – mesečnimi odvzemi in analizami vzorcev v notranjem nadzoru v izvajanju Nacionalnega laboratorija za zdravje, okolje in hrano Maribor in v državnem obdobjem monitoringu.

Za nemoteno oskrbo s pitno vodo zagotavlja Javno komunalno podjetje Radlje ob Dravi neprekinjeno dežurno službo za nadzor in kontrolo obratovanja vodooskrbnih sistemov (JKP Radlje ob Dravi, 2024).



Slika 16: Obnovljen vodohran Gnamuš (občina Muta).

Vir: https://www.jkp-radlje.si/obnova_vodohranov.

2.9.1 Izvajalec analiz pitne vode v občini Muta

V občini Muta je za oskrbo s pitno vodo odgovorno Javno komunalno podjetje Radlje ob Dravi, ki imajo, skladno z veljavnimi predpisi, vzpostavljen sistem notranjega nadzora preko katerega zagotavljajo varnost oskrbe s pitno vodo. Sistem notranjega nadzora temelji na načelih Hazard Analysis Critical Control Point (HACCP) katerega osnova je prepoznavanje možnih tveganj za zdravje pri oskrbi s pitno vodo in zagotavljanje ukrepov in mehanizmov, da se ta tveganja izničijo ali v največji možni meri omilijo. Z namenom potrjevanja ustreznega delovanja notranjega nadzora in primerne kakovosti vode se izvaja redno preskušanje reprezentativnih vzorcev vode. Odvzem vzorcev in analize v laboratoriju izvaja strokovna služba Nacionalnega laboratorija za zdravje, okolje in hrano Maribor (NLZOH).

V sklopu mikrobioloških analiz vzorcev se ugotavlja prisotnost mikroorganizmov: *Escherichia coli*, koliformne bakterije, enterokoki, in sicer skupno število mikroorganizmov pri 37°C in pri 22°C ter občasno klostridija.

V sklopu rednih fizikalno-kemijskih preskusov se izvajajo preskusi na: temperaturo, elektoprevodnost, barvo, motnost, oksidativnost, amonij, nitrit in kloride ter skupne vsebnosti klora, prikazane na sliki 17. Občasno se izvajajo preskusi na druge parametre, kot so nitriti, mineralna olja, pesticidi, kovine in trdota (JKP Radlje ob Dravi, 2024).



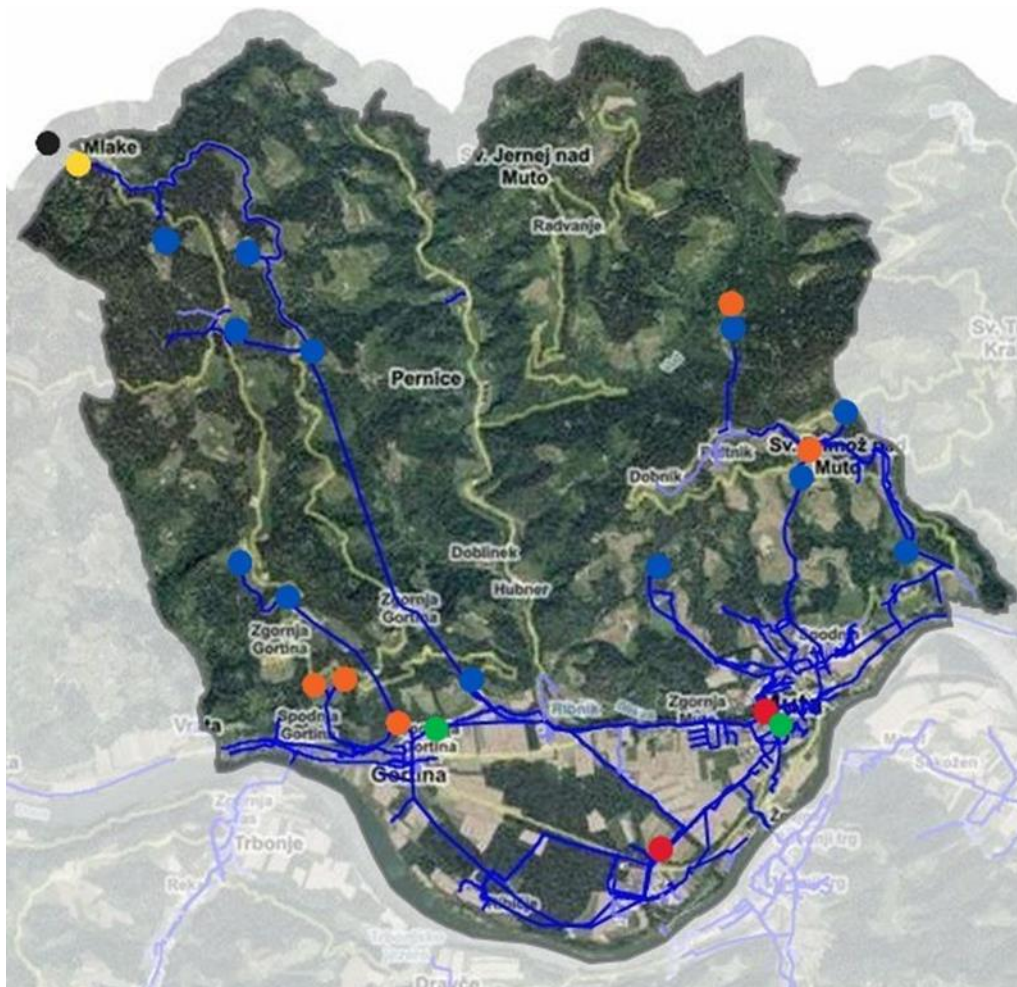
Slika 17: Vzorčenje pitne vode za analizo.

Vir: <https://www.vo-ka-celje.si/sl/rezultati-mesecnih-preiskav-pitne-vode-25>.

Po izgradnji novega vodovoda so se krajani občine Muta pritoževali, nad preveliko koncentracijo klora v pitni vodi. Da bi te trditve potrdili ali ovrgli, smo najprej pregledali zgodovino meritev klora v vodi, katere so dostopne na spletni strani javnega komunalnega podjetja Radlje ob Dravi.

3. MATERIALI IN METODE DELA

Vzorčenje in analize pitne vode smo izvedli na dveh lokacijah v občini Muta. Prva lokacija se nahaja v kraju Gortina (slika 19), druga lokacija pa se nahaja v centru občine Muta (slika 20). Na lokaciji Gortina je pitna voda iz vodnega vir Laaken. Na lokaciji Muta pa je pitna voda iz zajetja Karavaning. Na sliki 18 je prikazana shema vodovodnega omrežja v občini Muta.



Slika 18: Shema vodovodnega omrežja v občini Muta.

Vir: <https://www.geoprostor.net/PisoPortal/>.

Legenda:

- : zajetje Mlake (Lorberguelle) v Avstriji,
- : merilec pretoka vode na državni meji (kontrola porabe vode),
- : ostala zajetja,
- : vodni stolp,
- : vodohran,
- : merilno mesto.



Slika 19: Odvzemno mesto Gortina.

Vir: Lasten.



Slika 20: Odvzemno mesto Muta.

Vir: Lasten.

Meritve smo izvajali vsak dan, 21 dni zaporedoma, in sicer od 9. maja do 29. maja, pri čemer smo spremljali tudi vreme. Meritve smo primerjali tudi z uradnimi rednimi analizami, ki jih izvaja NLZOH in se izvajajo v bližini naših meritev. Na lokacijah smo izvajali meritve, kjer smo dobili podatke o prisotnosti prostega in celotnega klora v vodi, ostale analize pa smo izvedli v laboratoriju.

V okviru svojega dela smo izvedli vzorčenje, meritve in analize naslednjih parametrov:

- prosti,
- celotni,
- vezani klor,
- motnost,
- pH,
- organoleptični pregled,
- električna prevodnost,
- SAK absorpcije pri 254nm,
- obarvanost pri 436nm.

3.1 Vzorčenje pitne vode

Vzorčenje pomeni odvzem vzorca pitne vode za mikrobiološka in fizikalno-kemijska preskušanja vključno s terenskimi meritvami, na istem mestu vzorčenja in ob istem času odvzema vzorca. Kot mesto vzorčenja se določi objekt, kot čas odvzema vzorca se določi teden v letu. Mesto in čas se, razen izjemoma, ne smeta spreminjati.

Mesto vzorčenja – objekt je določen z naslednjimi parametri: vrsta objekta – ime in naslov objekta.

Kot mesta vzorčenja se praviloma določijo javni objekti, kot so vrtci, šole, gostilne, restavracije ipd. Če v oskrbovalnem območju ni javnega objekta, se določi kot mesto vzorčenja bivalni (stanovanjski) objekt.

Mesto vzorčenja (objekt) je določen v Programu monitoringa. Odvzemno mesto (pipa) določi na mestu vzorčenja vzorčevalec.

Če so na pipi kakršnikoli dodatki npr. cevi in regulatorji curka, jih je treba pred odvzemom vzorca odstraniti.

Pipe morajo biti čiste, brez sluzi, maščob, čistilnih, dezinfekcijskih sredstev ali česar koli, kar bi lahko vplivalo na rezultate preskusov, zato pipo po odstranitvi dodatkov očistimo – obrišemo z brisačo za enkratno uporabo.

Pipo izperemo, vodo pustimo teči najmanj dve minuti oz. do stabilizacije temperature. Curek pri tem naj bo enakomeren, v laminarnem toku srednje jakosti, debelosti svinčnika (NIJZ, 2004h).

3.2 Terenske meritve

Tri tedne smo redno, vsak dan, izvajali meritve prisotnosti klora v vodi. Pri meritvah smo bili pozorni na vreme, ali je imela voda vonj po kloru in ali je imela voda še kakšne druge posebnosti. Pri opravljenih meritvah smo ugotovili, da je voda klorirana znotraj dovoljenih mej. Ker je voda bila minimalno klorirana, smo se odločili, da bomo izvedli tudi mikrobiološko testiranje vode, kjer se ugotavlja prisotnost koliformnih bakterij, *escherichia coli* in enterokokov.

Meritve smo izvajali na dveh lokacijah, ki sta med sabo oddaljeni dobre tri kilometre. Prva lokacija je bila v kraju Gortina, druga lokacija pa v centru občine Muta. Vse meritve smo zbrali in jih predstavili v grafu. Za meritev smo uporabili Colorimeter Hach DR300 (slika 21).



Slika 21: Merilec klora.

Vir: Lasten.

Za vsako merilno mesto smo posebej izdelali graf, ki prikazuje dnevno vrednost klora na posameznem merilnem mestu. Vsak dan smo izmerili vrednost prostega in skupnega klora.

Pred uporabo merilnika klora je bil merilni instrument umerjen (kalibriran) s standardom HACH COLOR STANDARD.

Pri odvzemu vzorcev na terenu, se je izdelal zapisnik, ki je vseboval datum, odvzemno mesto, izmerjene terenske meritve (prosti in celotni klor) in kakšno vreme je bilo na dan vzetega vzorca.

3.2.1 Meritve prostega klora

Meritve se izvajajo tako, da najprej naredimo slepi poskus in v kiveto natočimo 10 ml vode. Kiveto dobro obrišemo in jo postavimo v kolorimeter. S pritiskom na tipko ZERO kolorimeter nastavimo na ničelno vrednost. Nato v drugo kiveto natočimo 10 ml vode in vanjo dodamo DPD reagent za prosti klor. Kiveto dobro zapremo in premešamo. Reakcijski čas za klor je ena minuta. V kolikor je prisoten klor, se pojavi rožnata barva. Kiveto z vzorcem in reagentom DPD po eni minuti vstavimo v kolorimeter in s pritiskom na tipko READ izmerimo vrednost prostega klora v vodi.

3.2.2 Meritve celotnega klora

Meritve celotnega klora se izvajajo tako, da najprej naredimo slepi poskus in v kiveto natočimo 10 ml vode. Kiveto dobro obrišemo in jo postavimo v kolorimeter. S pritiskom na tipko ZERO

kolorimeter nastavimo na ničelno vrednost. Nato v drugo kiveto natočimo 10 ml vode in vanjo dodamo DPD reagent za celotni klor. Kiveto dobro zapremo in premešamo. Reakcijski čas za klor je dve minuti. V kolikor je prisoten klor, se pojavi rožnata barva. Kiveto z vzorcem in reagentom DPD po eni minuti vstavimo v kolorimeter in s pritiskom na tipko READ izmerimo vrednost celotnega klora v vodi.

Na koncu smo še izračunali vezan klor, ki je razlika med celotnim in prostim klorom. Vse vrednosti klora smo zbrali v razpredelnici.

3.3 Meritve in analize v laboratoriju

Vsak dan smo na obeh merilnih mestih vzeli vzorec pitne vode, ki smo ga potem do analize v laboratoriju hranili v hladilniku. Vse skupaj smo vzeli 21 vzorcev vode na vsakem merilnem mestu. Nato smo vse vzorce analizirali v laboratoriju.

Analize smo opravili za naslednje parametre:

- pH,
- motnost,
- električna prevodnost,
- SAK absorpcije pri 254nm,
- obarvanost pri 436nm.

Mejne vrednosti parametrov najdemo v Uredbi o pitni vodi, v prilogi 1: parametri in mejne vrednosti parametrov (Ur. l. RS št. 61/23):

- pH vrednost med 6,5 in 9,5;
- elektro prevodnost do 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pri 20°C;
- motnost ne sme presegati 1,0 NTU v vodi pri izstopu iz naprave za pripravo pitne vode;
- obarvanost pri 436nm do 0,50 m-1.

3.3.1 Motnost

Analize motnosti pitne vode smo izvedli po metodi navodila proizvajalca HACH – model 2100P, Portable Turbidimeter Instrument and Procedure Manual.

Območje določitve motnosti vzorca je od 0 do 1000 NTU.

Za analizo smo uporabili naslednjo opremo:

- prenosni merilnik motnosti HACH 2100P,
- kivete z oznako (10 mL).

Opis izvedbe analize:

- pri meritvi motnosti lahko izberemo avtomatski izbor območja (izbere območje meritve z največjo možno resolucijo) ali pa ga izberemo ročno, s pritiskom na gumb RANGE (tolikokrat, da se pokaže želeno območje).
- Izberemo lahko tudi avtomatsko računanje povprečne vrednosti signala, vendar ta funkcija pobere veliko moči in jo izberemo samo takrat, ko je signal meritve vzorca res nestabilen.
- Vzorec nalijemo v čisto posodo in z njim napolni merilno kiveto do oznake (približno 10 mL); pri tem držimo kiveto na vrhu.
- Kiveto zapremo s pokrovom in obrišemo z mehko krpo, da odstranimo kapljice vode in prstne odtise.

- Merilnik postavimo na ravno, trdno površino in ga prižgemo z gumbom I/O.
- Vstavimo merilno kiveto z vzorcem v odprtino za kiveto tako, da je oznaka na kiveti poravnana z oznako na merilnem instrumentu. Zapremo pokrov.
- Izberemo ročno ali avtomatsko določitev območja s pritiskom na gumb RANGE. Na displeju se bo pokazal napis AUTO RNG, ko je instrument na izboru avtomatske določitve območja.

Ob meritvi moramo biti pozorni, da:

- kiveto vedno zapremo s pokrovom, da preprečimo polivanje vzorca v instrument;
- ko izvajamo meritve, postavimo merilnik na ravno, trdno površino;
- vedno zapremo pokrov merilnika, ko izvajamo meritve motnosti;
- uporabljamo čiste in nepoškodovane merilne kivete;
- ne puščamo merilne kivete v instrumentu dlje časa, saj lahko poškoduje instrument;
- odstranimo baterije iz instrumenta, če ga ne uporabljamo dlje časa (več kot 1 mesec);
- preverimo, da mrzli vzorci ne zarosijo merilne kivete;
- preprečimo usedanje v vzorcu pred meritvijo;
- vedno zapremo pokrov na merilnem delu, da preprečimo vstop prahu in umazaniji.

3.3.2 pH

Za meritve smo uporabili pH meter WTW InoLab Level 3. Območje določitve pH vzorca je od 0,00 do 14,00.

Meritve se izvajajo po sledečih navodilih:

- pred meritvijo je potrebno sprostiti odprtino na vrhu elektrode, da se izenači pritisk. Plastično varovalo na elektrodi previdno potisnemo navzgor, da se pokaže odprtina.
- Nato odstranimo gumijasto kapico z elektrolitom, ki varuje elektrodo pred izsušitvijo in udarci.
- Elektrodo speremo z deionizirano vodo, nato jo potopimo v vzorec, dokler se vrednost na zaslonu ne ustali.
- Nivo elektrolita v elektrodi mora biti višji kot nivo merjene tekočine!
- Odčitajmo pH in temperaturo, pri kateri je bil izmerjen.
- Ponovimo postopek pri vseh vzorcih, vmes pa spiramo elektrodo z deionizirano vodo ali pa kar s samim vzorcem.
- Po končanih meritvah speremo elektrodo z destilirano vodo, obrišemo in namestimo zaščitno kapico ter izklopimo merilnik.

3.3.3 Električna prevodnost

Za meritve električne prevodnosti smo uporabili merilnik elektroprevodnosti WTW Cond 340i. Električno prevodnost v pitni vodi smo izmerili po sledečih korakih:

- vklopimo merilnik in s pritiskom na tipko M izberemo ustrezen parameter merjenja. Za meritev prevodnosti (χ) se mora na zaslonu pokazati vrednost 0,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- Pripravimo vzorec za merjenje in potopimo vanj elektrodo ter počakamo, da se vrednost ustali.
- Odčitajmo prevodnost in temperaturo, pri kateri je bila izmerjena. Odčitani rezultati so podani pri temperaturni kompenzaciji 25°C.

- Ponovimo postopek pri vseh naslednjih vzorcih, vmes pa spiramo elektrodo z destilirano vodo ali kar s samim vzorcem.
- Po končanih meritvah speremo elektrodo z destilirano vodo, obrišemo in izklopimo merilnik.

Območje določitve elektroprevodnosti vzorca je od 0,0 mS/cm do 500 mS/cm.

Tehnika konzerviranja po SIST EN ISO 5667-3:1994 (Water quality-sampling Part 3: Guidance on preservation and handling of samples).

Hraniti na hladnem (2–5°C) ter temnem prostoru – analiziraj v roku 24 ur.

3.3.4 Absorpcije pri 254 nm in obarvanosti pri 436 nm

Metoda analize je spektrofotometrična po sistemu SIST EN ISO 7887:2012 – Water quality – Examination and determination of colour.

Območje določitve:

- obarvanost pri 254 nm nam pokaže prisotnost organskih snovi v vodi,
- obarvanost pri 436 nm nam pokaže prisotnost anorganskih snovi v vodi.

Motne vzorce je potrebno pred analizo prefiltrirati z membranskim filtrom z velikostjo por 0,45 µm. Uporabljamo 10 cm kvarčno kiveto, kar se upošteva pri izračunu rezultata analize.

Tehnika konzerviranja:

- hranimo jih v hladilniku pri 4°C.

Uporabljena oprema:

- Spektrofotometer Perkin Elmer, Lambda 20,
- kiveta (10 cm) iz kvarčnega stekla.

Za izvedbo analize uporabimo Spektrofotometer Perkin Elmer Lambda 20 in izberemo program za pitno vodo, kjer se izvede zaporedno merjenje absorpcije pri dveh valovnih dolžinah, in sicer pri 254 nm in 436 nm. Uporabljamo kiveto iz kvarčnega stekla.

Vzorci morajo biti segreti na sobno temperaturo, da preprečimo tvorbo kondenza na stenah kivete, kar lahko povzroči napačne meritve.

Za fotometrično meritev mora biti kiveta čista in brez prask. Obrišemo jo, če je potrebno, z mehko čisto krpo, ki je priložena.

Postopek izvedbe meritev smo izvedli po sledečem postopku:

- prižgemo stikalo na spektrofotometer za priključitev v električno omrežje;
- počakamo, da se na zaslonu prikaže stanje v pripravljenosti - STANDBY DISPLAY;
- v kiveto nalijemo ultra čisto vodo in jo vstavimo v spektrofotometer v prostor za ničelno meritev;
- zagotovimo, da je pot žarka prosta;
- v drugo kiveto nato nalijemo vzorec in jo vstavimo v spektrofotometer v merilno linijo;
- zapremo pokrov dela za vzorce;
- aparat bo avtomatsko izmeril absorpcijo pri obeh valovnih dolžinah;
- ponovimo postopek za vse vzorce;
- ko zaključimo z meritvami, se vrnemo v stanje pripravljenosti - STANDBY DISPLAY, z uporabo gumba [Stop] ali [Param];

- odpremo pokrov dela za vzorce;
- odstranimo vzorce in celice iz dela za vzorce;
- zapremo pokrov dela za vzorce;
- ugasnemo spektrometer;
- po končanih meritvah speremo kiveto z destilirano vodo.

Rezultate podajamo v (m^{-1}).

3.3.5 Mikrobiološke analize pitne vode

Ker je voda bila minimalno klorirana, smo se odločili, da bomo izvedli tudi mikrobiološko testiranje vode, kjer se ugotavlja prisotnost koliformnih bakterij, *Escherichia coli* in enterokokov.

Opravili smo mikrobiološke analize pitne vode v občini Muta. Ker je za mikrobiološke analize potrebno sterilno okolje, smo vzorce vzeli nekoliko drugače, kot pri kemijskih analizah. Pri mikrobioloških analizah smo najprej pipi, kjer smo točili vodo za analizo, odstranili mrežico, nato pa smo jo dezinficirali z alkoholom in ožgali z vžigalnikom. Pustili smo teči vodo v enakomernem curku. Odvili smo sterilno flaško za vodo in v njo nalili vodo. Flaško smo dobro zaprli in jo še isti trenutek odpeljali v laboratorij. Vzorce za mikrobiološko analizo smo vzeli na dveh lokacijah, ki sta isti kot za druge naše analize. Mikrobiološke analize smo opravili dva krat v razmiku enega tedna (vir lasten, 2024).

3.3.5.1 *Escherichia coli*

Metoda za določanje prisotnosti/odsotnosti *Escherichia coli* in enterokokov v pitni vodi se opravi po navodilih (Kontič, 2021).

- Colilert Test Kit se uporablja za prisotnost in štetje *E. coli* v pitni vodi.
- Paketke Colilert Test Kit shranjujemo v temnem prostoru pri temperaturi od 2°C do 30°C.
- 100 ml vodnega vzorca nalijemo v sterilno, transpatentno in nefluorescentno plastenko, v katero dodamo vsebino paketka Colilert.
- Plastenko nežno zapremo in pretresemo, da se vsebina raztopi.
- V kolikor temperatura vzorca nima temperature med 33°C in 38°C, je potrebno posodo z vzorcem segreti. Za 20 minut jo postavimo v vodno kopel s temperaturo 35°C ali za 7–10 minut v vodno kopel s temperaturo 44,5°C. Pripravljen vzorec inkubiramo pri 35°C $\pm$ 0,5°C za 24 ur. Po končani inkubaciji odčitamo rezultate, ki jih ovrednotimo po tabeli.

Rezultati po inkubaciji:

- *E. coli* ne potrdimo, če je inkubiran vzorec manj rumen kot komparator;
- *E. coli* potrdimo, če je inkubirani vzorec rumeni in fluorescira enako ali bolj kot komparator.

3.3.5.2 Enterokoki

Določevanje najverjetnejšega števila enterokokov se opravi po navodilih (Kontič, 2021):

- v sterilno plastenko s 100 ml vzorca dodamo vsebino enega paketka substrata Enterolert-DW;

- plastenko zapremo in jo in nežno pretresemo. Vsebina paketka se raztopi, vzorec se obarva modro;
- pripravljen vzorec vlijemo v sterilno Quanti-Tray vrečko in jo zapečatimo v napravi Quanti-Tray * Sealer;
- postopek ponovimo za vse vzorce;
- zapečatene vrečke zložimo v termostatsko omaro na $41^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ za 24 ur;
- rezultate odčitamo po 24–28 urah;
- vsako zeleno obarvanje pomeni pozitiven rezultat za enterokoke. Preštejemo število zeleno obarvanih celic. UV vir svetlobe ni potreben.

3.3.6 Organoleptična analiza pitne vode

3.3.6.1 Vonj

Vonj določamo že na samem mestu vzorčenja kot terensko meritev, nato plastenko speremo in napolnimo do vrha, vzorec transportiramo na hladnem do laboratorija. Do analize hranimo vzorce v hladilniku.

Vonj določamo pri 20°C in 40°C . Vzorec vode prelijemo do polovice v stekleno čašo, ga segrejemo na 20°C in povonjamo, nato ga segrejemo še na 40°C in ponovno povonjamo. Čista voda mora biti brez posebnega vonja.

Splošna zahteva je, da mora biti vonj sprejemljiv za večino uporabnikov.

Rezultat podamo kot ustrezen ali neustrezen.

3.3.6.2 Okus

Okus določamo že na samem mestu odvzema kot terensko meritev.

Vzorec vode (hladne, tople, ustekleničene, filtrirane) natočimo v čist kozarec, jo za nekaj trenutkov zadržimo v ustih in jo popijemo. Ocenimo njen okus. Voda za pitje mora biti prijetnega, osvežujočega okusa, po Pravilniku o pitni vodi pa » sprejemljiva za potrošnika«. Analitik mora poznati razliko v okusih med zelo mehki in zelo trdimi vodami. To razliko mora poznati in izločiti iz ocene okusa.

Rezultat podamo kot ustrezen ali neustrezen.

3.3.6.3 Barva

Barvo določamo v laboratoriju s pomočjo merilnika za obarvanost pri 436 nm.

4. REZULTATI Z RAZPRAVO

Mejne vrednosti parametrov najdemo v Uredbi o pitni vodi, v prilogi 1: parametri in mejne vrednosti parametrov (Ur. l. RS št. 61/23):

- pH vrednost med 6,5 in 9,5;
- elektro prevodnost do 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pri 20°C;
- motnost ne sme presegati 1,0 NTU v vodi pri izstopu iz naprave za pripravo pitne vode;
- obarvanost pri 436nm do 0,5 m^{-1} .

4.1 Meritve prisotnosti prostega, skupnega in vezanega klora v vzorcih pitne vode

Pregledali smo pretekle meritve klora v vodi, od januarja 2020 do aprila 2024, za uradni merilni mesti Restavracija pri Mesarju v kraju Gortina (tabela 3 in graf 1) in šola Muta (tabela 4 in graf 2). Takšno časovno obdobje smo si izbrali, ker je to obdobje v času po izgradnji novega vodovodnega sistema, da smo lahko primerjali vsebnost klora skozi celoten čas novega sistema. Pri obeh grafih smo zbrali podatke vrednosti prostega klora v vodi. Rezultati niso zapisani za vsak mesec, ker na uradnih merilnih mestih ne izvajajo meritve za vsako merilno mesto vsak mesec. In kot lahko vidimo, je na obeh merilnih mestih bilo v preteklosti ugotovljeno, da je prisotnost klora v mejah normale, saj je bila na merilnem mestu Restavracija pri Mesarju najvišja izmerjena vrednost klora 0,26 mg/L, na merilnem mestu šola Muta pa 0,21 mg/L. Tako lahko iz uradnih podatkov ugotovimo, da je prisotnost klora v vodovodnem omrežju Muta v mejah normale.

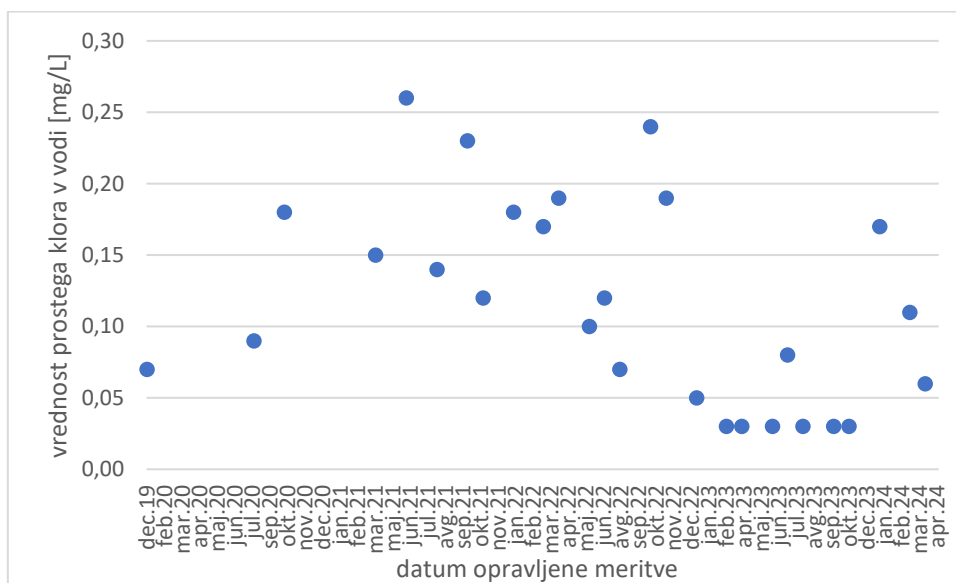
Tabela 3: Pretekle meritve klora v vodi od 2020 do 2024, merilno mesto Restavracija pri Mesarju.

Merilno mesto: Restavracija pri Mesarju	
Datum	vrednost prostega klora v vodi [mg/L]
jan.20	0,07
avg.20	0,09
okt.20	0,18
apr.21	0,15
jun.21	0,26
avg.21	0,14
okt.21	0,23
nov.21	0,12
jan.22	0,18
mar.22	0,17
apr.22	0,19
jun.22	0,10
jul.22	0,12
avg.22	0,07
okt.22	0,24
nov.22	0,19
jan.23	0,05
mar.23	0,03

apr.23	0,03
jun.23	0,03
jul.23	0,08
avg.23	0,03
okt.23	0,03
nov.23	0,03
jan.24	0,17
mar.24	0,11
apr.24	0,06

Vir: https://www.jkp-radlje.si/analiza_pitne_vode.

Graf 1: Prikaz vrednosti klora na merilnem mestu Restavracija pri Mesarju (meritve opravil NLZOH).



Vir: https://www.jkp-radlje.si/analiza_pitne_vode.

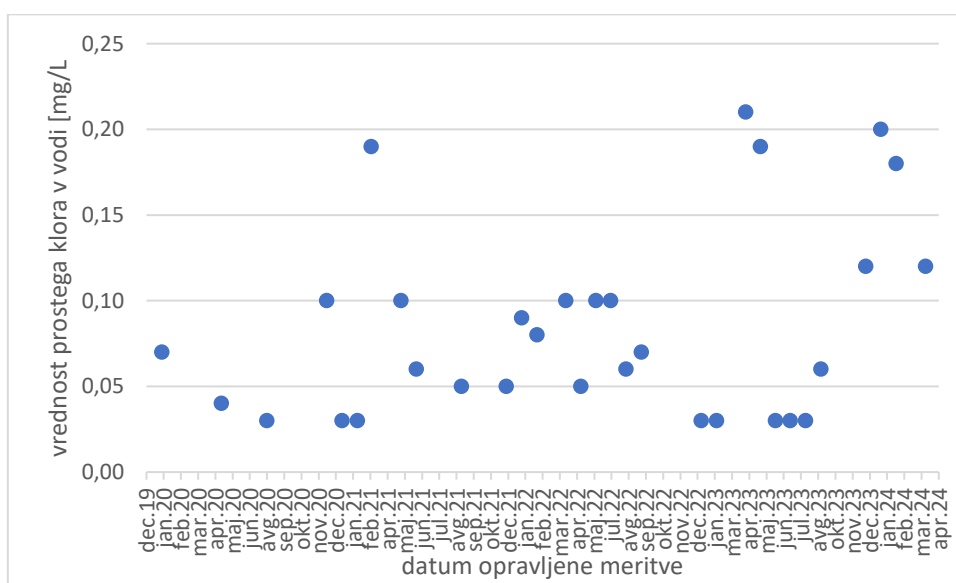
Tabela 4: Pretekle meritve klora v vodi od 2020 do 2024, merilno mesto šola Muta.

Merilno mesto: šola Muta	
Datum	vrednost prostega klora v vodi [mg/L]
jan.20	0,07
maj.20	0,04
avg.20	0,03
dec.20	0,10
jan.21	0,03
feb.21	0,03
mar.21	0,19
maj.21	0,10
jun.21	0,06
sep.21	0,05
dec.21	0,05
jan.22	0,09
feb.22	0,08
apr.22	0,10

maj.22	0,05
jun.22	0,10
jul.22	0,10
avg.22	0,06
sep.22	0,07
jan.23	0,03
feb.23	0,03
apr.23	0,21
maj.23	0,19
jun.23	0,03
jul.23	0,03
avg.23	0,03
sep.23	0,06
dec.23	0,12
jan.24	0,20
feb.24	0,18
apr.24	0,12

Vir: https://www.jkp-radlje.si/analiza_pitne_vode.

Graf 2: Prikaz vrednosti klora na merilnem mestu šola Muta (meritve opravil NLZOH).



Vir: https://www.jkp-radlje.si/analiza_pitne_vode.

Pri naših meritvah smo za vsako merilno mesto zbrali podatke v tabeli (tabela 5 in 6) in izdelali graf (graf 3 in 4), ki prikazuje dnevno vrednost klora na posameznem merilnem mestu. Vsak dan smo izmerili vrednost prostega in skupnega klora. V grafu lahko za obe merilni mesti vidimo, da je prisotnost klora znotraj dovoljenih meja, kar lahko potrdimo tudi z opravljenimi uradnimi meritvami, ki jih izvaja NLZOH.

Tabela 5: Prikaz vrednosti klora na merilnem mestu Gortina.

Merilno mesto: Gortina					
datum	rezultat vzorca: prosti klor [mg/L]	rezultat vzorca: skupni klor [mg/L]	rezultati vzorca: vezani klor [mg/L]	vreme	Vonj klora pri vzorcu: DA/NE
9. maj	0,05	0,07	0,02	sončno	NE
10. maj	0,04	0,05	0,01	sončno	NE
11. maj	0,06	0,07	0,01	sončno	NE
12. maj	0,04	0,06	0,02	oblačno	NE
13. maj	0,03	0,04	0,01	oblačno	NE
14. maj	0,02	0,03	0,01	sončno	NE
15. maj	0,02	0,03	0,01	dež	NE
16. maj	0,01	0,03	0,02	sončno	NE
17. maj	0,03	0,04	0,01	sončno	NE
18. maj	0,02	0,03	0,01	sončno	NE
19. maj	0,01	0,02	0,01	sončno	NE
20. maj	0,02	0,04	0,02	dež	NE
21. maj	0,03	0,05	0,02	sončno	NE
22. maj	0,04	0,06	0,02	sončno	NE
23. maj	0,03	0,05	0,02	dež	NE
24. maj	0,02	0,04	0,02	sončno	NE
25. maj	0,04	0,05	0,01	sončno	NE
26. maj	0,03	0,04	0,01	sončno	NE
27. maj	0,05	0,06	0,01	sončno	NE
28. maj	0,06	0,07	0,01	dež	NE
29. maj	0,05	0,07	0,02	sončno	NE

Graf 3: Prikaz vrednosti klora na merilnem mestu Gortina.

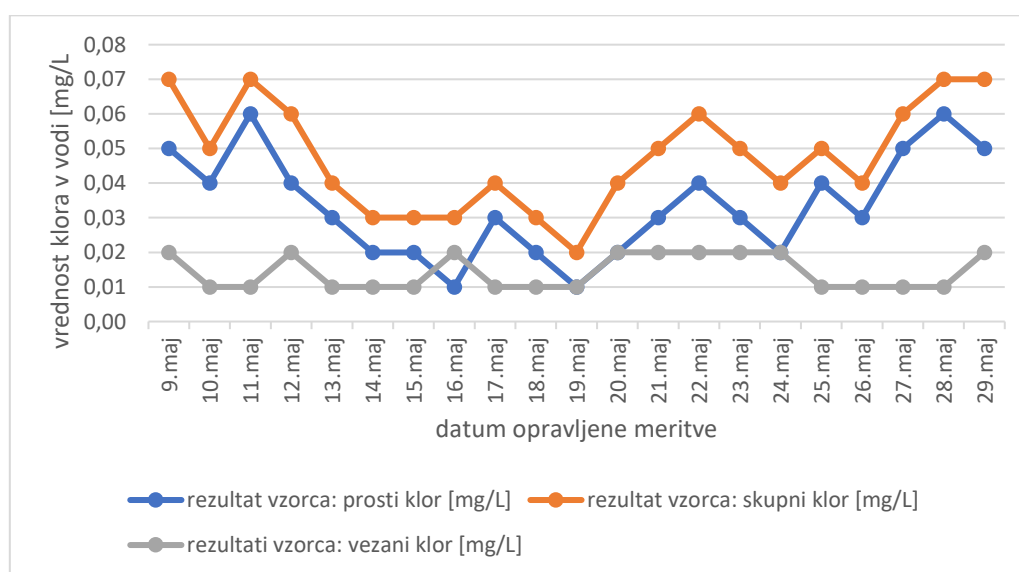
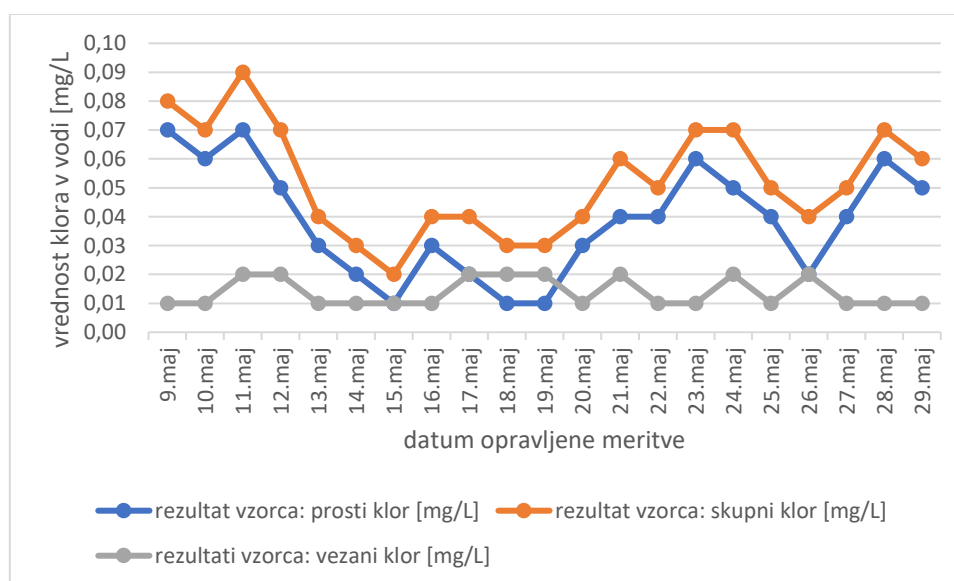


Tabela 6: Prikaz vrednosti klora na merilnem mestu Muta.

Merilno mesto: Muta					
datum	rezultat vzorca: prosti klor [mg/L]	rezultat vzorca: skupni klor [mg/L]	rezultati vzorca: vezani klor [mg/L]	vreme	Vonj klora pri vzorcu: DA/NE
9. maj	0,07	0,08	0,01	sončno	NE
10. maj	0,06	0,07	0,01	sončno	NE
11. maj	0,07	0,09	0,02	sončno	NE
12. maj	0,05	0,07	0,02	oblačno	NE
13. maj	0,03	0,04	0,01	oblačno	NE
14. maj	0,02	0,03	0,01	sončno	NE
15. maj	0,01	0,02	0,01	dež	NE
16. maj	0,03	0,04	0,01	sončno	NE
17. maj	0,02	0,04	0,02	sončno	NE
18. maj	0,01	0,03	0,02	sončno	NE
19. maj	0,01	0,03	0,02	sončno	NE
20. maj	0,03	0,04	0,01	dež	NE
21. maj	0,04	0,06	0,02	sončno	NE
22. maj	0,04	0,05	0,01	sončno	NE
23. maj	0,06	0,07	0,01	dež	NE
24. maj	0,05	0,07	0,02	sončno	NE
25. maj	0,04	0,05	0,01	sončno	NE
26. maj	0,02	0,04	0,02	sončno	NE
27. maj	0,04	0,05	0,01	sončno	NE
28. maj	0,06	0,07	0,01	dež	NE
29. maj	0,05	0,06	0,01	sončno	NE

Graf 4: Prikaz vrednosti klora na merilnem mestu Muta.



Tako lahko iz uradnih meritev, ki jih za našo občino izvaja NLZOH, in iz naših meritev trdimo, da je prisotnost klora v vodovodnem omrežju Muta v mejah normale in lahko ovržemo trditev občanov Mute, da je voda preveč klorirana.

4.2 Rezultati analize pitne vode v laboratoriju

Analize smo opravili za naslednje parametre:

- motnost,
- pH
- električna prevodnost,
- SAK absorpcije pri 254nm,
- obarvanost pri 436nm.

V tabeli 7 smo zbrali rezultate na merilnem mestu Gortina. Iz preglednice je razvidno, da so vsi parametri v mejah normale.

Tabela 7: Rezultati analiz iz laboratorija za merilno mesto Gortina.

Merilno mesto Gortina							
datum	pH	elektro prevodnost	motnost	SAK pri 254 nm	SAK pri 436 nm	vonj, okus	vreme
9.maj	8,12 (13,8°C)	163 (12,5°C)	0,06	0,16	0,00	brez	sončno
10.maj	8,16 (13,9°C)	161 (12,2°C)	0,07	0,14	0,00	brez	sončno
11.maj	7,91 (13,1°C)	158 (12,1°C)	0,07	0,05	0,00	brez	sončno
12.maj	7,82 (12,7°C)	158 (12,1°C)	0,07	0,07	0,00	brez	oblačno
13.maj	7,14 (16,2°C)	159 (16,5°C)	0,15	0,08	0,00	brez	oblačno
14.maj	6,86 (16,6°C)	157 (15,2°C)	0,10	0,04	0,00	brez	sončno
15.maj	6,90 (16,5°C)	158 (15,9°C)	0,05	0,00	0,00	brez	dež
16.maj	6,83 (17,0°C)	157 (16,0°C)	0,41	0,21	0,00	brez	sončno
17.maj	7,91 (15,7°C)	156 (14,4°C)	0,14	0,41	0,00	brez	sončno
18.maj	7,85 (16,1°C)	155 (15,4°C)	0,08	2,99	0,00	brez	sončno
19.maj	7,87 (18,6°C)	155 (18,6°C)	0,33	6,26	0,00	brez	sončno
20.maj	8,14 (14,2°C)	157 (14,1°C)	0,49	0,20	0,00	brez	dež
21.maj	7,99 (15,2°C)	155 (15,0°C)	0,14	0,08	0,00	brez	sončno
22.maj	7,79 (16,7°C)	152 (16,7°C)	0,12	0,13	0,00	brez	sončno
23.maj	7,89 (12,8°C)	152 (12,0°C)	0,10	0,08	0,00	brez	dež

24.maj	7,91 (12,9°C)	151 (12,5°C)	0,16	0,38	0,10	brez	sončno
25.maj	7,86 (12,5°C)	151 (12,2°C)	0,06	1,34	0,48	brez	sončno
26.maj	7,89 (12,6°C)	152 (12,2°C)	0,08	0,39	0,15	brez	sončno
27.maj	7,89 (12,6°C)	152 (12,2°C)	0,13	0,40	0,15	brez	sončno
28.maj	7,80 (12,9°C)	149 (12,3°C)	0,05	0,30	0,10	brez	dež
29.maj	7,82 (13,1°C)	151 (12,6°C)	0,13	0,33	0,10	brez	sončno

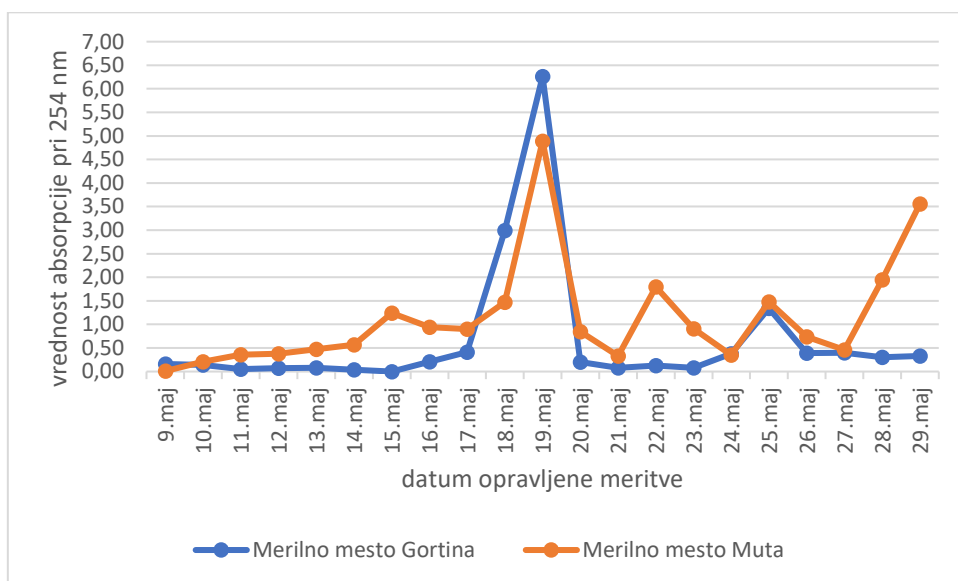
V tabeli 8 pa so zbrani rezultati analiz iz merilnega mesta Muta. Opazimo lahko, da so vsi parametri v približno enakih vrednostih. Večja razlika se pokaže samo pri obarvanosti pri 436 nm.

Tabela 8: Rezultati analiz iz laboratorija za merilno mesto Muta.

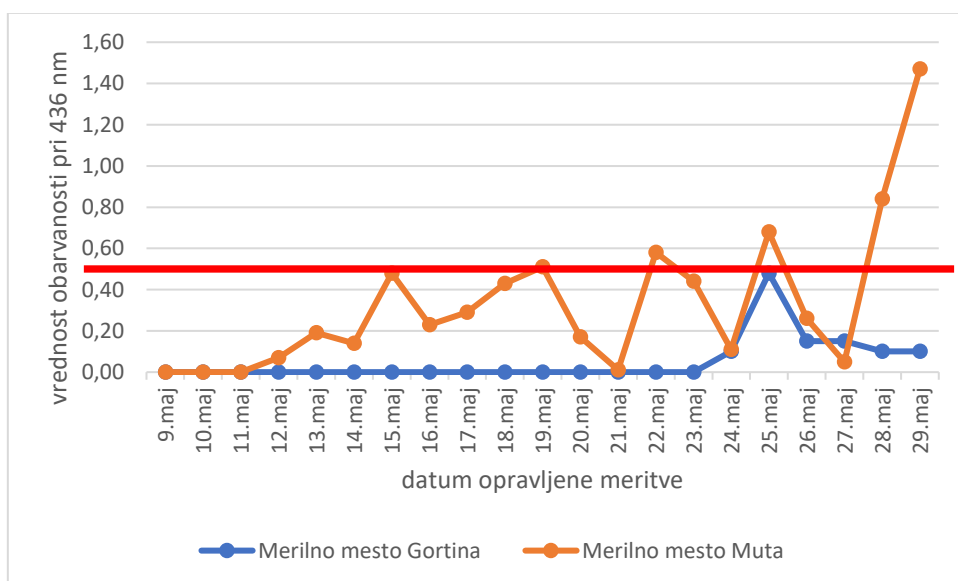
Merilno mesto Muta							
datum	pH	elektro prevodnost	motnost	SAK pri 254 nm	SAK pri 436 nm	vonj, okus	vreme
9.maj	7,85 (14,4°C)	158 (13,8°C)	0,60	0,01	0,00	brez	sončno
10.maj	7,84 (13,6°C)	158 (12,9°C)	0,12	0,21	0,00	brez	sončno
11.maj	7,92 (13,6°C)	272 (13,1°C)	0,30	0,36	0,00	brez	sončno
12.maj	7,88 (13,5°C)	159 (13,1°C)	0,68	0,38	0,07	brez	oblačno
13.maj	7,06 (16,0°C)	157 (15,2°C)	0,80	0,47	0,19	brez	oblačno
14.maj	7,09 (16,5°C)	157 (16,1°C)	0,80	0,57	0,14	brez	sončno
15.maj	7,47 (18,8°C)	156 (18,4°C)	1,08	1,24	0,48	brez	dež
16.maj	7,27 (17,2°C)	153 (15,8°C)	0,90	0,94	0,23	brez	sončno
17.maj	7,62 (15,5°C)	155 (14,8°C)	1,44	0,90	0,29	brez	sončno
18.maj	7,72 (16,5°C)	155 (16,0°C)	1,68	1,47	0,43	brez	sončno
19.maj	7,74 (17,6°C)	154 (17,5°C)	1,94	4,89	0,51	brez	sončno
20.maj	7,74 (15,3°C)	153 (14,6°C)	0,49	0,85	0,17	brez	dež
21.maj	7,72 (15,4°C)	152 (15,2°C)	0,12	0,33	0,01	brez	sončno
22.maj	7,77 (16,9°C)	153 (17,3°C)	1,54	1,80	0,58	brez	sončno
23.maj	7,74 (13,2°C)	152 (12,8°C)	2,64	0,91	0,44	brez	dež

24.maj	7,75 (13,4°C)	150 (13,1°C)	0,11	0,35	0,11	brez	sončno
25.maj	7,77 (13,6°C)	150 (13,3°C)	1,73	1,48	0,68	brez	sončno
26.maj	7,79 (13,5°C)	150 (13,2°C)	0,65	0,74	0,26	brez	sončno
27.maj	7,78 (13,7°C)	151 (13,3°C)	0,16	0,46	0,05	brez	sončno
28.maj	7,81 (13,8°C)	151 (13,5°C)	1,85	1,95	0,84	brez	dež
29.maj	7,81 (14,0°C)	150 (13,7°C)	2,92	3,56	1,47	brez	sončno

Graf 5: Primerjava absorpcije pri 254 nm za obe merilni mesti.



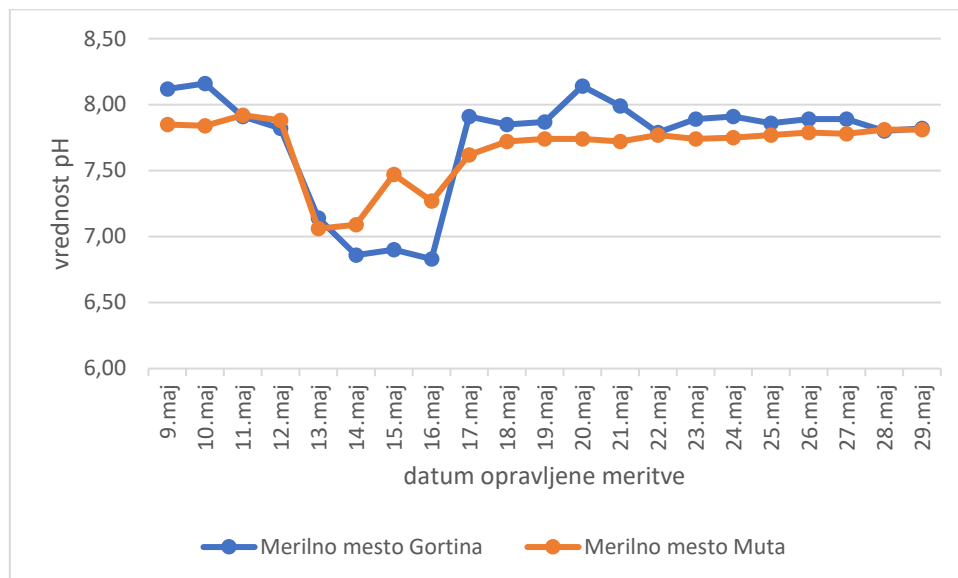
Graf 6: Primerjava obarvanosti pri 436 nm za obe merilni mesti.



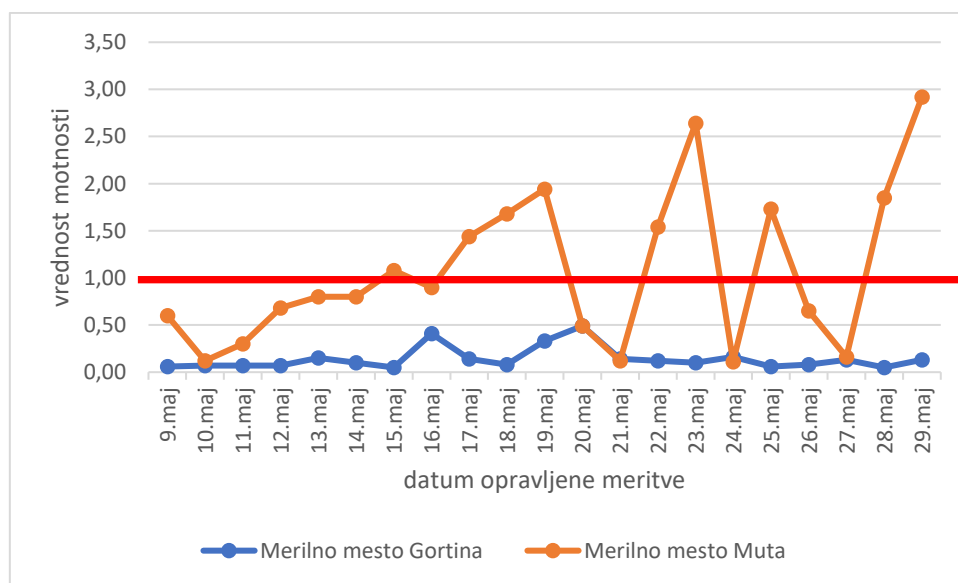
Iz grafov 5 in 6 lahko razberemo, da prihaja do malih razlik v parametru absorpcije pri 254 nm in parametru obarvanost pri 436 nm. Rdeča črta prikazuje mejno vrednost, ki je pri obarvanosti pri 436 nm $0,5 \text{ m}^{-1}$. Povišane vrednosti teh dveh parametrov so lahko po delih na sistemu za

oskrbo s pitno vodo, zaradi loma cevi, odpiranja ali zapiranja ventilov. Usedline so lahko posledica korozije ali vdora umazanije. Vendar gre v našem primeru za dva različna vodna vira, ki pa sta v sušnih obdobjih povezana v celotni sistem. Na grafu 7 pa lahko vidimo vrednosti pH.

Graf 7: Primerjava pH za obe merilni mesti



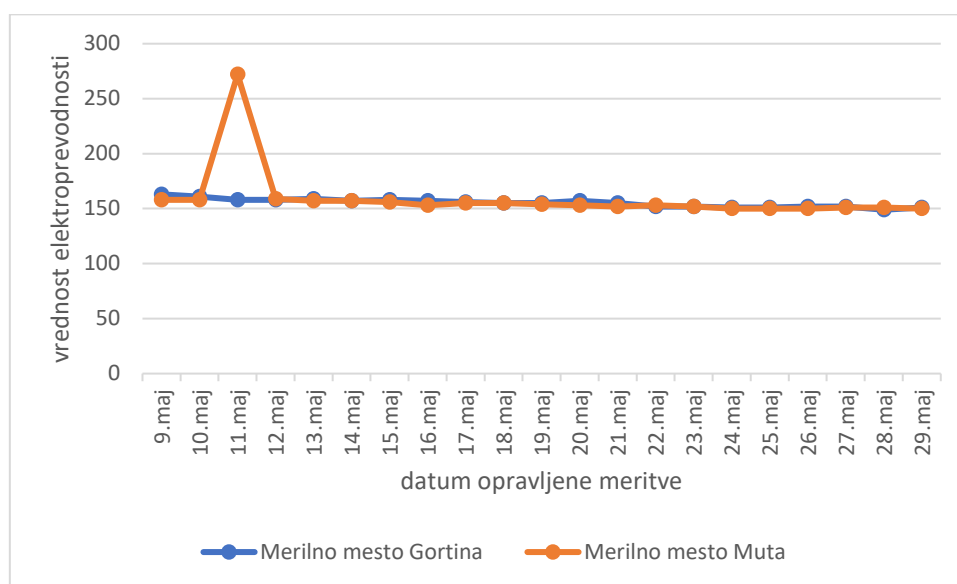
Graf 8: Primerjava motnosti za obe merilni mesti.



Kot lahko vidimo pri grafu 8 je velika razlika v motnosti v pitni vodi. Za merilno mesto Gortina so vrednosti motnosti veliko nižje kot pri merilnem mestu Muta. Motnost je pokazatelj prisotnosti delcev, velikosti od 1 nm do 1mm. Delce tvorijo anorganske in organske snovi ter mikroorganizmi. Voda z motnostjo do 1 NTU je običajno še sprejemljiva za uporabnike. Iz našega grafa lahko razberemo, da je voda kljub višjim vrednostim še vedno zdravstveno ustrezna (NIJZ, 2023g).

V grafih 5, 6 in 8 lahko vidimo povezavo med absorpcijo pri 254 nm, obravanostjo pri 436 nm in motnostjo, saj so vrednosti 19. maja in 29. maja pri vseh treh parametri visoke. Vreme na ta dneva je bilo sončno, je pa deževalo dan prej. Iz tega lahko sklepamo, da je voda na našem merilnem mestu na Muti bila v stiku s površinsko vodo. Na grafu 9 pa vidimo vrednost elektroprevodnosti v pitni vodi.

Graf 9: Primerjava elektroprevodnosti za obe merilni mesti.



Iz analiz lahko razberemo, da v pitni vodi v občini Muta niso presežene snovi, ki bi lahko ogrožale zdravje ljudi, in lahko vodo označimo za zdravstveno ustrezno pitno vodo.

4.3 Rezultati mikrobioloških analiz pitne vode

Opravili smo tudi mikrobiološke analize pitne vode v občini Muta. Tako smo lahko ugotovili, da je pitna voda kljub manjši vrednosti vsebovanega klora in kljub temu, da nismo zavonjali klora, še vedno ustrezna in v njej ni bilo najdenih nobenih tveganj za zdravje ljudi.

Tabela 9: Mikrobiološke analize za merilno mesto Gortina.

Datum:	Vrednost prostega klora [mg/L]:	Vrednost skupnega klora [mg/L]:	Rezultati mikrobiološke analize:
22.maj	0,04	0,06	ni najdeno
29.maj	0,05	0,07	ni najdeno

Kot lahko vidimo v tabeli 9, je vrednost prostega klora, 22. maja, bila 0,04 mg/L, vrednost skupnega klora pa 0,06 mg/L. Podobne vrednosti so bile tudi 29. maja, in sicer vrednost prostega klora 0,05 mg/L in vrednost skupnega klora 0,07 mg/L.

Tabela 10: Mikrobiološke analize za merilno mesto Muta.

Datum:	Vrednost prostega klora [mg/L]:	Vrednost skupnega klora [mg/L]:	Rezultati mikrobiološke analize:
22.maj	0,04	0,05	ni najdeno
29.maj	0,05	0,06	ni najdeno

Enako lahko vidimo v tabeli 10, kjer je vrednost prostega klora, 22. maja, bila 0,04 mg/L, vrednost skupnega klora pa 0,05 mg/L. Podobne vrednosti so bile tudi 29. maja, in sicer vrednost prostega klora 0,05 mg/L in vrednost skupnega klora 0,06 mg/L.

4.4 Organoleptični pregled

Ker pa je voda v vodovodnem omrežju Muta pogosto obarvana belo, so ljudje to povezali s prisotnostjo klora v vodi, ampak prisotnost klora v vodi, ne moremo vizualno zaznati. Bela obarvanost vode je posledica številnih majhnih zračnih mehurčkov, ki nastanejo kot posledica raztapljanja zraka v vodi, ki je pod pritiskom. Ko takšno vodo natočimo v kozarec, se bo že čez nekaj trenutkov videlo, kako se mehurčki dvigajo proti površini, s čimer izginja tudi bela obarvanost vode (slika 22). Pojav zraka v cevovodih ni neobičajen pojav, saj se večinoma pojavi ob vzdrževalnih delih.



Slika 22: Zračni mehurčki v pitni vodi.

Vir: Lasten.

Prag vonjanja za klor v pitni vodi je okoli 0,6 mg/l, nekateri ljudje pa ga zaznajo že pri koncentraciji 0,2 mg/l. V topli vodi pa je vonj klora še intenzivnejši. Če ima pitna voda vonj po kloru, se pri pitni vodi to ne obravnava kot neskladnost. Vonj po kloru pa nam lahko z veliko verjetnostjo pove, da je voda mikrobiološko varna oz. varnejša za uporabo kot voda, ki tega vonja nima, v primeru, ko za vodni vir ne vemo, kako se na njem pripravlja pitna voda (NIJZ, 2014a).

5. SKLEP

S pomočjo pridobljenih dokumentacij, načrtov in izvedenih meritev, ki so na voljo, lahko sklepamo, da ima občina Muta kakovostno pitno vodo, s katero lahko nemoteno oskrbuje ljudi, tudi ob sušnih obdobjih. V sami občini Muta so na voljo izviri z gravitacijskim dotokom, ki pa so manjše izdatnosti in ne omogočajo oskrbe s pitno vodo skozi celo leto. Zato se je občina Muta, kot prva občina v Sloveniji, povezala na izvir z gravitacijskim dotokom iz sosednje države. Izvir z gravitacijskim dotokom se nahaja nekaj kilometrov od državne meje Slovenija–Avstrija. Poleg izdatnega avstrijskega izvira z gravitacijskega dotoka je občina Muta zgradila povezovalni cevovod s sosednjimi občinami in se tako priključila na podtalnico.

Za občino Muto smo pregledali tudi pretekle analize pitne vode, kjer smo ugotovili, da ni bilo ugotovljenih nepravilnosti. Da smo se prepričali v meritve, smo tudi sami izvedli meritve prostega, celotnega in vezanega klora v pitni vodi. Opravili smo tudi mikrobiološko analizo pitne vode in druge analize v laboratoriju, saj so se pojavljale govorice, da je voda preveč klorirana, s čimer smo preverili stanje pitne vode v občini Muta. Z meritvami in analizami pitne vode v občini Muta smo ugotovili, da je pitna voda zdravstveno ustrezna.

8. člen Uredbe o pitni vodi (Ur. l. RS št. 61/23):

Priprava pitne vode so postopki za doseganje zdravstveno ustrezne in skladne pitne vode ter vsako drugo spreminjanje lastnosti pitne vode od zajetja za pitno vodo do mesta uporabe.

(2) Snovi za pripravo pitne vode, vključno z biocidnimi proizvodi in filtrirnimi sredstvi, ki prihajajo v stik s pitno vodo, ne smejo (Ur. l. RS št. 61/23):

- neposredno ali posredno vplivati na zdravje ljudi,
- vplivati negativno na barvo, vonj ali okus vode, razen uporabe biocidnih proizvodov,
- spodbujati rasti mikrobov v pitni vodi,
- povzročiti večjega onesnaženja pitne vode, kot je sprejemljivo za predvideni namen uporabe.

Pri naših meritvah smo pitno vodo organoleptično pregledali na samem merilnem mestu. Ugotovili smo, da voda ni imela vonja po kloru, okus vode je bil brez posebnosti in barva vode je bila normalna. Pojavili so se samo zračni mehurčki, kot belo obarvana voda, ki pa so čez nekaj časa izginili iz vode.

Ker so bile vrednosti klora v pitni vodi pri naših meritvah nizke, smo se odločili, da opravimo tudi mikrobiološke analize pitne vode, ki niso pokazale nobenih tveganj za zdravje ljudi.

Z našimi analizami smo ugotovili, da sta naši dve merilni mesti priključeni na različna vodna vira, ki pa se v času suše enega ali drugega vira poveže v celoto. Tako smo s pomočjo parametra absorpcije pri 254 nm in obarvanosti pri 436 nm ugotovili, da prihaja do razlik. Ugotovili smo tudi, da se razlike pojavijo po dežju, kar lahko kaže na stik s površinsko vodo.

Glede na govorice prebivalcev občine Muta smo si postavili dve hipotezi.

Hipoteza 1: Pitna voda je glede na meritve, ki smo jih izvedli, klorirana znotraj dovoljenih mej.

Prvo hipotezo lahko potrdimo, saj je bila pri naših meritvah najvišja izmerjena vrednost prostega klora v vodi na merilnem mestu Gortina 0,06 mg na liter in na merilnem mestu Muta 0,07 mg na liter, kar pomeni, da je pitna voda v občini Muta klorirana znotraj dovoljenih mej. Dovoljene meje kloriranja so do 0,5 mg na liter. To hipotezo smo postavili predvsem zaradi govoric, da je voda preveč klorirana.

Vzrok teh govoric je lahko prisotnost zračnih mehurčkov v vodi, saj voda na pipah uporabnikov včasih vsebuje veliko zračnih mehurčkov in zato lahko opazimo belo obarvano vodo, ki čez čas ponikne, saj se zračni mehurčki počasi dvigajo iz vode (NIJZ, 2023g).

Hipoteza 2: Če ima voda vonj po kloru, je bolj varna kot voda, ki se ne klorira.

Drugo hipotezo lahko delno potrdimo, saj smo na podlagi stroke, ki deluje v okviru NIJZ ugotovili, da je pitna voda, ki ima vonj po kloru, manj nevarna kot voda, ki se ne klorira, saj pri neklorirani vodi, ni opravljena ustrezna dezinfekcija pitne vode, kar lahko pomeni, da voda vsebuje škodljive snovi, ki škodijo našemu zdravju. Če pa ima voda vonj po kloru, to pomeni, da je opravljena ustrezna dezinfekcija pitne vode, kar pomeni, da je manj verjetno, da pitna voda vsebuje škodljive snovi, in tako je bolj varna za pitje. Pitna voda, ki ima vonj po kloru, se ne opredeljuje kot neustrezna (NIJZ, 2014a).

Ampak hipoteze ne moremo popolnoma potrditi, saj smo lahko ugotovili, da je pitna voda kljub manjši vrednosti klora v vodi in kljub temu, da nismo zavonjali klora, še vedno ustrezna in v njej ni bilo najdenih nobenih tveganj za zdravje ljudi.

6. POVZETEK

V sedanjem času je pitna voda pomembna dobrina, ki ni dostopna povsod po svetu v enakih količinah. Slovenija je ena izmed držav, kjer lahko kakovostno pitno vodo točimo na pipi, kar pa žal ne velja za vse države po svetu. Zadnja leta je občina Muta veliko časa in denarja namenila načrtovanju vodovodnih sistemov, da lahko danes pijemo kakovostno pitno vodo.

V diplomskem delu smo najprej spoznali, kako so se s pitno vodo spopadala prva ljudstva in kako so reševali s tem povezane težave. Videli smo, da so tudi zaradi neustrezne pitne vode nastajale različne epidemiološke bolezni, ki so prizadele človeka. Ugotovili smo, kako deluje vodovodno omrežje, in izvedeli, da je potrebno vodovodno omrežje tudi pregledovati ter opravljati pripravo in dezinfekcije pitne vode. Spoznali smo načine priprave in dezinfekcije pitne vode, ki se razlikujejo glede na stopnjo onesnaženosti pitne vode.

Pitna voda lahko vsebuje določene strupene snovi, ki lahko prizadenejo človeka in naravo, zato je potrebno pitno vodo pred uporabo pravilno in ustrezno očistiti. Predstavili smo vodovodno omrežje v občini Muta in pregledali pomembne pretekle projekte na vodovodnem omrežju. Predstavili smo dva projekta, ki sta pomembno prispevala k temu, da ima občina Muta danes kakovostno pitno vodo. Eden od projektov je občino Muto še posebej postavil na zemljevid Slovenije, saj kot prva občina v Sloveniji pitno vodo pridobiva iz sosednje države.

Zanimalo nas je, ali je pitna voda preveč klorirana, zato smo opravili meritve prostega, celotnega in vezanega klora ter opravili tudi nekatere fizikalno-kemijske meritve in analize na terenu ter mikrobiološke in druge analize pitne vode v laboratoriju. Za merilno mesto smo si izbrali dve lokaciji, ki sta med sabo oddaljeni dobre tri kilometre. Z meritvami in analizami smo ugotovili, da je pitna voda v občini Muta ustrezno klorirana in ne vsebuje prevelike koncentracije klora. Opravili smo tudi druge analize pitne vode in nismo ugotovili nepravilnosti. Da so se pojavili sumi prevelikega kloriranja je posledica belo obarvane vode. Vendar vemo, da klora v pitni vodi ne moremo zaznati z vidom, zato smo ugotovili, da je bela obarvanost vode posledica zračnih mehurčkov v vodi, ki čez čas izginejo. Tako lahko z našimi analizami potrdimo ustrezno pitno vodo v občini Muta.

7. SUMMARY

Drinking water is one of the most important goods nowadays. It is not easily accessible everywhere in the world. Slovenia is one of the countries, where people can drink tap water, which is not the case for all the countries in the world. In the past few years, the municipality of Muta invested a lot into planning the water distribution systems, so that its residents can drink quality drinking water.

In the diploma, we firstly presented how people throughout history managed their water distribution and how they managed trouble that came with it. We pointed out some epidemiological diseases that occurred because of the unsuitable drinking water. We presented how water distribution systems work and learned that water distribution systems need to be appropriately maintained and disinfected. We learned different ways of cleaning and disinfecting the water, which can vary regarding to the stage of water pollution.

Drinking water needs to be appropriately cleaned before use, because it can contain different dangerous and toxic substances. We presented the water distribution system in Muta and examined the important former projects regarding the system. We presented two important projects that directly contributed to the quality of the drinking water. One of them really put Muta on the Slovenian map, because Muta became the first municipality to gather their drinking water from another country - Austria.

Because there have been suspicions about too much chlorine in the drinking water in Muta, we performed measurements of the free, total and combined chlorine and also some other physical chemical measurements and analyses in the field, as well as microbiological and other analyses in the laboratory. We picked two locations in Muta which were about three kilometres apart. The results showed that the water does not contain too much chlorine. With further analyses, no other irregularities were found.

However, the suspicions occurred because of the visual appearance of the water - it is very white looking. As we know, we cannot detect chlorine in water visually. Therefore, we realised that the white in water is a consequence of the air bubbles that disappear after some time. With our analyses, we can conclude that the drinking water in Muta is of good quality.

8. VIRI IN LITERATURA

1. Boqu (2023). How to measure conductivity of water. Medmrežje: <https://www.boquinstrument.com/how-to-measure-conductivity-of-water> (25. 2. 2024)
2. Cannon D. (2020). How to use a pH meter to test water? Medmrežje: <https://cannonwater.com/blog/how-to-use-ph-meter-to-test-water/> (25. 2. 2024)
3. Cotič B. (2012). Določanje nekaterih anorganskih in organskih onesnaževal v vodah. Medmrežje: http://pefprints.pef.uni-lj.si/1044/1/Diploma_Barbka_Gabrijel_Coti%C4%8D.pdf (25. 2. 2024)
4. Dijaški.net (2024). Zgodovina vodovoda v Sloveniji. Medmrežje: https://dijaski.net/gradivo/geo_ref_zgodovina_vodooskrbe_v_sloveniji_01 (25. 2. 2024)
5. Dokl A. (2013). Priprava pitne vode iz površinske z uporabo ultrafiltracije in reverzne osmoze. Ljubljana 2013. (25. 2. 2024)
6. Gerželj M. M. (2015). Investicijski program za projekt: Oskrba s pitno vodo v porečju Drave – 3. sklop. Postojna 2015. (25. 2. 2024)
7. Grubar B. (2016). Hidravlična analiza vodovodnega sistema Kostanjevice na Krki. Ljubljana 2016. (25. 2. 2024)
8. HACH (2016). Using UV absorption to monitor organics in drinking water. ZDA 2016. (25. 2. 2024)
9. Hancock N. (2024). What is Chlorination? Medmrežje: <https://www.safewater.org/fact-sheets-1/2017/1/23/what-is-chlorination> (25. 2. 2024)
10. Hydrovod (2024). Natrijev hipoklorit. Medmrežje: <https://hydrovod.si/o-pitni-vodi/priprava-vode/> (25. 2. 2024)
11. Istrabenz plini (2024). Priprava vode z ozon – om. Medmrežje: <https://www.istrabenzplini.si/bin?bin.svc=obj&bin.id=D66156C8-C5B3-AACB-68C2-CC4B083E7E6D> (25. 2. 2024)
12. Javno komunalno podjetje Radlje ob Dravi d. o. o. (2024). Opis vodovodnih sistemov. Medmrežje: <https://www.jkp-radjle.si/opisi-vodovodnih-sistemov> (25. 2. 2024)
13. Jelen M. (2019). Hidrološka analiza kraških izvirov v Sloveniji. Ljubljana 2019. (25. 2. 2024)
14. JKP Radlje ob Dravi (2024). Analiza pitne vode. Medmrežje: https://www.jkp-radjle.si/analiza_pitne_vode (25. 2. 2024)
15. JKP Radlje ob Dravi (2024). Oskrba s pitno vodo. Medmrežje: https://www.jkp-radjle.si/oskrba_s_pitno_vodo (25. 2. 2024)
16. Kolektor (2024). Ultrafiltracija. Medmrežje: <https://www.kolektorwater.com/primeri-iz-prakse/primeri/sodobna-priprava-pitne-vode-z-ultrafiltracijo> (25. 2. 2024)
17. Kontič T. (2021). Optimizacija naknadne dezinfekcije pitne vode v vodovodnem omrežju mesta Velenje. Maribor 2021. (25. 2. 2024)
18. Krneža J. (2018). Uporaba peščenih filtrov za čiščenje pitne in tehnološke vode. Maribor 2018. (25. 2. 2024)
19. Nathanson J. A. (2024). Vodovodni sistemi. Medmrežje: <https://www.britannica.com/technology/water-supply-system/Pumps> (25. 2. 2024)
20. NIJZ (2004h). Monitoring pitne vode – navodila za vzorčenje. Medmrežje: https://www.nijz.si/sites/www.nijz.si/files/datoteke/monitoring_2004.pdf (25. 2. 2024)
21. NIJZ (2014a). Pogosta vprašanja o pitni vodi. Medmrežje: https://nijz.si/wp-content/uploads/2022/11/pogosta_vprasanja_o_pitni_vodi.pdf (25. 2. 2024)
22. NIJZ (2023g). Indikatorski parametri. Medmrežje: <https://nijz.si/wp-content/uploads/2017/02/Indikatorski-parametri.pdf> (25. 2. 2024)
23. NIJZ (2024b). Parametri, ki jih določamo v pitni vodi. Medmrežje: <https://nijz.si/moje-okolje/pitna-voda/parametri-ki-jih-dolocamo-v-pitni-vodi/> (25. 2. 2024)
24. NIJZ (2024c). Opis mikrobioloških parametrov. Medmrežje: <https://nijz.si/moje-okolje/pitna-voda/opisi-mikrobioloskih-parametrov-ki-jih-dolocamo-v-pitni-vodi/> (25. 2. 2024)

25. NIJZ (2024d). Kemijski parametri. Medmrežje: <https://nijz.si/moje-okolje/pitna-voda/opisi-kemijskih-parametrov/> (25. 2. 2024)
26. NIJZ (2024e). Fizikalno – kemični indikatorski parametri. Medmrežje: <https://nijz.si/moje-okolje/pitna-voda/fizikalno-kemicni-indikatorski-parametri/>
27. NIJZ (2024f). Meje vrednosti kloriranja pitne vode. Medmrežje: https://nijz.si/wp-content/uploads/2023/05/pogosta_vprasanja_o_pitni_vodi.pdf (25. 2. 2024)
28. Občina Muta (2024). Predstavitev občine. Medmrežje: <https://www.muta.si/objave/175> (25. 2. 2024)
29. Oram B. (2024). UV disinfection drinking water treatment. Medmrežje: <https://www.archive-water-research.net/index.php/water-treatment/water-disinfection/uv-disinfection> (25. 2. 2024)
30. Slovenska tiskovna agencija (2020). Vodovod Mlake. Medmrežje: <https://www.koroskenovice.si/novice/na-meji-slovesno-položili-zadnje-metre-avstrijskega-kraka-vodovoda-do-obcine-muta/> (25. 2. 2024)
31. Slovenska turistična organizacija (2024). Slovenija – dežela zdravih in čistih voda. Medmrežje: <https://www.slovenia.info/en/stories/slovenia-a-land-of-healthy-and-clean-waters> (25. 2. 2024)
32. Štraser B. (2017a). Projektna gradbena dokumentacija vodovod Mlake. Radlje ob Dravi 2017. (25. 2. 2024)
33. Štraser B. (2017b). Projektna gradbena dokumentacija vodovod Mlake – tehnično poročilo. Radlje ob Dravi 2017. (25. 2. 2024)
34. Tallarini M. (2018). Ocenjevanje tehničnega stanja cevovodov v vodovodnem sistemu. Ljubljana 2018. (25. 2. 2024)
35. Uredba o pitni vodi (Uradni list RS, št. 61/23) Medmrežje: <https://pisrs.si/pregledPredpisa?id=URED8706> (25. 2. 2024)
36. Woodard J. (2021). What is ozone water treatment and how does it work. Medmrežje: <https://www.freshwatersystems.com/blogs/blog/what-is-ozone-water-treatment-and-how-does-it-work> (25. 2. 2024)