

# UKLANJANJE MANGANA, AMONIJAKA I ŽELJEZA IZ SIROVE VODE NA VODOCRPILIŠTU DAVOR

---

Švađumović, Marina

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Polytechnic in Pozega / Veleučilište u Požegi**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:112:134386>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-10**



**VELEUČILIŠTE U POŽEGI**  
STUDIA SUPERIORA POSEGANA

Repository / Repozitorij:

[Repository of Polytechnic in Pozega - Polytechnic in Pozega Graduate Thesis Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

# VELEUČILIŠTE U POŽEGI



**Marina Švađumović, 1433/15**

## **UKLANJANJE MANGANA, AMONIJAKA I ŽELJEZA IZ SIROVE VODE NA VODOCRPILIŠTU DAVOR**

***ZAVRŠNI RAD***

Požega, 2019. godine

VELEUČILIŠTE U POŽEGI

POLJOPRIVREDNI ODJEL

PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ PREHRAMBENA TEHNOLOGIJA

**UKLANJANJE MANGANA, AMONIJAKA I ŽELJEZA  
IZ SIROVE VODE NA VODOCRPILIŠTU DAVOR**

***ZAVRŠNI RAD***

IZ KOLEGIJA KEMIJA HRANE

MENTOR: dr. sc. Valentina Obradović

STUDENT: Marina Švađumović

Matični broj studenta: 1433/15

Požega, 2019. godine

#### Sažetak:

Zadatak ovog rada je pratiti uklanjanje znatno povišenih koncentracija amonijaka, mangana i željeza iz sirove vode na vodocrpilištu Davor, kroz period od tri mjeseca. Preradom vode postupcima aeracije, filtracije i dezinfekcije, koncentracije navedenih parametara smanjuju se do dopuštenih vrijednosti, tj. na prihvatljivu razinu sigurnu za ljudsku potrošnju i konzumaciju. Sve prethodno navedeno je značajno za potrebe i zdravlje stanovništva zapadne Slavonije. U uzorcima vode mjerene su koncentracije parametara amonijaka, mangana i željeza sa različitih zdenaca kroz period od 3 mjeseca. Rezultati istraživanja su pokazali da postrojenje za preradu vode na vodocrpilištu Davor učinkovito uklanja povišene koncentracije amonijaka, mangana i željeza i da je voda nakon prerade sigurna za ljudsku potrošnju.

Ključne riječi: *amonijak, mangan, željezo, voda za ljudsku potrošnju, zapadna Slavonija*

#### Abstract:

The aim of this study is to follow elimination of significantly increased concentration of ammonia, manganese and iron from raw water at water well in Davor, during the period of three months. By conducting the processes of aeration, filtration and disinfection, the concentration of the above mentioned parameters was decreased to the permitted values, which means they were decreased to the values which are safe for human consumption. All of the above is significant for the needs and health of population of Slavonia. The water samples on which the concentration of ammonia, manganese and iron were measured, were taken from different water wells over the period of three months. The results of this research show that the processing plant at water well in Davor efficiently eliminates increased concentration of ammonia, manganese and iron and that the water is safe for human consumption once it is processed.

Keywords: *amonia, manganese, iron, water for human consumption, Western Slavonia*

# SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. PREGLED LITERATURE .....	2
2.1. Općenito o vodi .....	2
2.2. Svojstva vode.....	2
2.3. Kakvoća vode .....	3
2.3.1. Fizikalni pokazatelji kakvoće vode.....	4
2.3.2. Kemijski pokazatelji kakvoće vode .....	5
2.3.3. Biološki pokazatelji kakvoće vode .....	8
2.4. Postupci uklanjanja željeza, mangana i amonijaka iz vode.....	9
2.4.1. Željezo.....	9
2.4.2. Mangan .....	11
2.4.3. Amonijak.....	13
2.5. Zdravstvena ispravnost vode za ljudsku uporabu.....	15
2.6. Procesi obrade vode za piće.....	15
2.7. Postrojenje za preradu sirove vode vodocrpilište Davor .....	16
2.7.1. Dijagram tehnološkog procesa.....	17
2.7.2. Opis tehnološkog postupka .....	17
2.7.3. Zdenci za vodoopskrbu .....	18
2.7.4. Prerada sirove vode.....	19
3. MATERIJAL I METODE.....	25
3.1. Zadatak .....	25
3.2. Materijal za obradu sirove vode .....	25
3.3. Spektrofotometar DR 3900.....	26
3.4. Mjerenje koncentracije amonijaka u vodi .....	26
3.5. Mjerenje koncentracije mangana u vodi.....	27
3.6. Mjerenje koncentracije željeza u vodi .....	28
4. REZULTATI I RASPRAVA .....	30

5. ZAKLJUČAK .....	36
6. LITERATURA.....	37
POPIS TABLICA, SLIKA I KRATICA.....	39
IZJAVA O AUTORSTVU RADA .....	40

## 1. UVOD

Voda je bitan element za razvoj, opstanak i preživljavanje svih živih bića, biljaka i tvari na zemlji, ali nam je na raspolaganju u ograničenim količinama. Nužna je za poljoprivredu, domaćinstva, industriju i za ekonomski razvoj svake društvene zajednice. Zbog svojih fizikalno-kemijskih svojstava odgovara širokom spektru korištenja.

Procjenjuje se da je na našem planetu oko  $1.4 \times 10^9 \text{ km}^3$  vode, oko 97 % morske vode, 2 % čine led i ledenjaci na Sjevernom i Južnom polu, znači samo nam je 1 % slatke vode na raspolaganju. Svakodnevno onečišćenje prirodnih resursa vode postao nam je globalni problem. Smanjivanje raspoloživih količina zdravstveno ispravne vode zbog nejednolike potrošnje, a tu pogoduje i rast broja ljudi te se sve više cijene prirodni izvori kvalitetne vode (Mijatović i Matošić, 2018).

Analizom sirove vode u vodocrpilištu Davor Vodovodu zapadne Slavonije d.o.o. ustanovljena je visoka koncentracija željeza, mangana i amonijaka i kao takva voda se mora preraditi, a prerada se odvija u 3 osnovne faze: aeracija, filtracija, dezinfekcija. Postrojenje ima zadatak povišene koncentracije navedenih parametara smanjiti na vrijednosti koje su sukladne propisima. Samo voda čiji su svi parametri u dopuštenim granicama je pogodna za piće.

## 2. PREGLED LITERATURE

### 2.1. Općenito o vodi

Voda je glavni sastojak svih živih bića, tvari i najrasprostranjenija tekućina na zemlji te do 90 % mase živih tvari čini voda. Voda u živim organizmima služi kao prenositelj hranjivih tvari, također je okružje u kojem se odvijaju biokemijske reakcije.

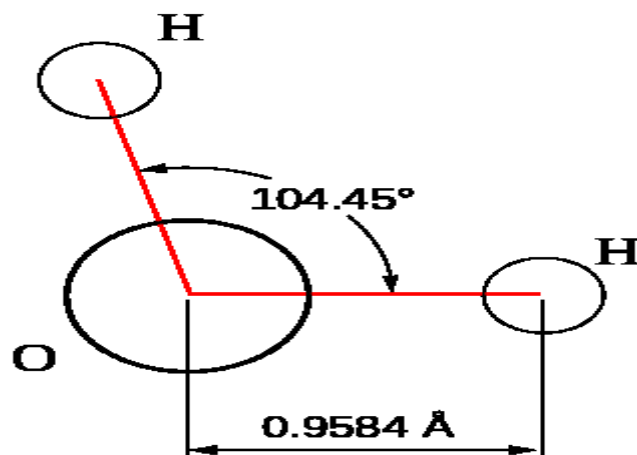
Čista voda je tekućina bez boje, okusa i mirisa, u prirodi se pojavljuje u tri agregatna stanja čvrsto, tekuće i plinovito stanje. Konstantno se kreće kroz ciklus isparavanja, transpiracije, evaporacije, kondenzacije, otjecanjem površinom do mora, oceana i različitih kopnenih površina. Pare sa površine zemlje isparavaju u atmosferu gdje se nakon toga kondenziraju i tako tvore padaline. Ciklus kruženja vode se naziva hidrološki ciklus, proces stalnog kruženja i obnavljanja (Wikipedia, url).

### 2.2. Svojstva vode

Kemijska formula vode je  $H_2O$ . Molekula vode sadrži jedan atoma kisika i dva atoma vodika koja je povezana kovalentnom vezom, trokutaste je strukture s kutom od  $104,5^\circ$  između dvije OH veze (Slika 1). Nejednoliki raspored elektrona čini molekulu vode dipolnog karaktera. Zbog dipolnosti između molekula vode nastaju vodikove veze, što uzrokuje povezanost molekula u krutom i tekućem stanju. Vodikovom vezom se smatra kemijska veza vodika i elementa velike elektronegativnost. Budući da elektronegativni atom (u ovome slučaju kisik) privlači elektron koji pripada vodiku nastala tvorba je molekula koja ima izraženi svoj pozitivno i negativno nabijeni dio. Vodikova veza povezuje takve molekule vezujući međusobno pozitivno i negativno nabijene dijelove pojedinih molekula.

U uvjetima standardnoga tlaka (760 mm žive) ledište vode je na  $0^\circ C$ , dok se prijelaz iz tekućeg u plinovito stanje odvija na  $100^\circ C$ . Voda dostiže svoju najveću gustoću na  $4^\circ C$  koja s padom temperature opada što je poznato kao anomalija vode te je uzrokovano vodikovim vezama. Voda je jedna od najpoznatijih ionizirajućih tvari. Budući da se većina tvari razlaže u vodi, vodu se često naziva univerzalnim otapalom (Mijatović i Matošić, 2018).





Slika 1. Struktura molekule vode (Wikipedia, url).

Voda združena s odgovarajućim solima tvori hidrate, u reakciji s metalnim oksidima tvori kiseline te se u mnogim kemijskim reakcijama upotrebljava kao katalizator (Mijatović i Matošić, 2018).

Fizikalna svojstva vode uvjetuju hidrauličke posebnosti i kakvoću vode, obuhvaćaju: stanje vode, molekularnu građu, masu, gustoću, viskoznost, površinsku napetost, odlikuju se toplinskim kapacitetom, apsorpcijom, prijenosom topline (Gulić, 2003).

Kemijska svojstva vode izražavaju se otapanjem, ionizacijom te redoks reakcijom (Tedeschi, 1997).

### 2.3. Kakvoća vode

Upotreba vode za pojedine namjene ovisi o njenom sastavu, svojstvima i koncentraciji pojedinih tvari u vodi (Tedeschi, 1997). Voda namijenjena za ljudsku potrošnju mora biti bez boje, mirisa, okusa i mutnoće te umjerene temperature ljeti i zimi (Gulić, 2003).

Kakvoća se ocjenjuje u skupinama pokazatelja kao što su fizikalni, kemijski i biološki pokazatelji. Poznavati pojedine pokazatelje vode vrlo je bitno za nadzor i upravljanje vodnim bogatstvima (Tedeschi, 1997).

### 2.3.1. Fizikalni pokazatelji kakvoće vode

Prirodne vode sadrže raspršene i otopljene tvari. Otopljene i raspršene tvari mogu biti organskog ili anorganskog podrijetla. Otopljene tvari u vodi nalaze se u obliku iona ili molekula, a raspršene u obliku koloida sitnih čestica (Šimunić, 2013).

Fizikalni pokazatelji nisu u stanju odrediti kakvoću vode u potpunosti, ali mogu odrediti njena svojstva s obzirom na izgled vode, boje, mirisa, okusa i temperature i najčešći fizikalni pokazatelji vode su:

- raspršene tvari,
- mutnoća,
- boja,
- miris i okus,
- temperatura (Tedeschi, 1997).

Raspršene tvari u vodi su čestice organskog i anorganskog podrijetla. Anorganske raspršene tvari se nalaze u prirodnim vodama poput pijeska, gline, a isto tako sadrže i žive organske tvari mikroorganizme te mrtve čestice uginulih organizama. Raspršene tvari karakteristične su za površinske vode. Utjecaj ispuštenih otpadnih voda naselja, industrije i poljoprivrede utječu na njihovu povećanu koncentraciju te takve tvari čine mutnoću vode koja je neupotrebljiva za vodoopskrbu i za druge različite namjene za koje služi čista voda. Pokazatelj (raspršene tvari) izražava se u količini raspršenih tvari u jedinici obujma vode mg/L, g/m<sup>3</sup>, ukupne se raspršene tvari utvrđuju u laboratoriju i dijele se na taložive i netaložive. Taložive raspršene čestice istalože se na dnu posude u vremenu od 60 minuta u obliku stošca nazvanog Imhoffov stožac (konus) (Tedeschi, 1997).

Mutnoća vode nastaje od raspršenih tvari izričito od koloida, mikroorganizama i mjehurića plinova. Povećana mutnoća utječe na prodiranje svjetlosti u stupcu vode, djeluje na upijanje svjetla i raspršivanje svjetla na česticama raspršene tvari u vodi. Mutnoću vode mogu izazvati valovi, strujanje ili uslijed vanjskih utjecaja i ispuštanjem otpadne vode. Što se tiče ekološkog značaja smanjuje prodiranje svjetlosti i pritom se smanjuje proces fotosinteze. Mutnoća se izražava u mg/L SiO<sub>2</sub> ili u jedinicama NTU mjereno turbidimetrom NTU (*Nephelometric Turbidity Units*) (Tedeschi, 1997).

Boja koja se pojavljuje u vodi nastaje od otopljenih i raspršenih tvari. Boja iz otopljenih tvari naziva se “prava boja”, a voda obojana raspršenom tvari naziva se “prividna boja”. Pri dodiru sa lišćem, iglicama, drvetom voda otapa tanin i humusne kiseline te se tako

dobiva žuto-smeđa boja, nadalje oksidi željeza i mangana također mogu obojiti vodu crvenkasto do smeđe boje. Industrijski otpad također pogoduje obojenju. Organske tvari koje uzrokuju pravu boju, nakon dezinficiranja vode s klornim spojevima stvaraju klor-organske spojeve koji ne samo da stvaraju neugodne mirise i okuse nego postoji sumnja da stvaraju kancerogene spojeve. Obojene vode se ne upotrebljavaju za vodoopskrbu niti druge namjene (Tedeschi, 1997).

Miris i okus vode općenito su interaktivnih svojstava, dakle voda koja ima miris zasigurno ima i okus. Posljedica mirisa i okusa su razgradnja organskih tvari, proizvod živih organizama (alge), otopljenih plinova (sumporovodik) i otopljenih soli (klorida, sulfata). Stoga voda je prikladna za piće kada je bez mirisa i okusa (Tedeschi, 1997).

Temperatura prirodnih voda ovisno o temperaturi okoliša se mijenja tijekom godine te je temperatura vode definirana kao stupanj toplinskog stanja vode mjera za količinu energije koju voda posjeduje. Temperatura površinskih voda je promjenjiva, dok kod podzemnih voda može oscilirati za nekoliko °C. Također s temperaturom vode su povezani kemijski i biokemijski procesi. Najpogodnija temperatura vode za piće je oko 15 °C, dok je za navodnjavanje preporučljiva minimalna temperatura vode 19 °C, a maksimalna 34 °C (Šimunić, 2013)

### **2.3.2. Kemijski pokazatelji kakvoće vode**

Glavna uloga kemijskih pokazatelja je određivanje upotrebljivosti vode kod pojedinačnih vodovodnih sustava. Voda može sadržavati otopljene tvari koje bitno ne mijenjaju kakvoću vode, a neke su posebno opasne i štetne za žive organizme te negativno utječu na cjelokupan vodni sustav. Kemijski pokazatelji kakvoće vode dijele se u skupinu anorganskih i skupinu organskih pokazatelja (Tedeschi, 1997).

Najčešće se utvrđuju sljedeći kemijski pokazatelji vode:

- reakcija vode,
- tvrdoća vode,
- organske tvari u vodi,
- hranjive tvari u vodi, (Šimunić, 2013).
- ukupno otopljene tvari u vodi, (Tedeschi, 1997).
- metali (kovine) u vodi (Šimunić, 2013).

Reakcija vode (pH vrijednost) definirana je kao odnos koncentracije  $H^+$  i  $OH^-$  iona u vodi, dakle ako u vodi prevladavaju vodikovi ioni voda ima kiselu reakciju, ako u vodi prevladavaju hidroksilni ioni tada voda ima lužnato-bazičnu reakciju. Kada je odnos kationa i aniona jednak, voda ima neutralnu reakciju. Količina iona određuje se potenciometrijski pomoću pH metra, a vrijednost je nazvana pH. Smatra se da je najbolja reakcija vode između pH 6 i 7,5, a u širim granicama između pH 4,5 i 8,5 (Šimunić, 2013).

Tvrdoća vode je određena sadržajem kalcijevih i magnezijevih soli u vodi. Željezne i manganove soli imaju manji utjecaj na tvrdoću vode jer tvrdoću vode uzrokuju koncentracije polivalentnih kationa u otopini, koji kada su u uvjetima zasićenosti reagiraju sa anionima tvoreći soli. Tvrdoća vode može se izraziti na više načina mg  $CaCO_3/L$  te stupnjevima, njemački, francuski i engleski stupnjevi. Kod većih količina kalcijevih i magnezijevih soli u vodi nije preporučeno navodnjavanje (Šimunić, 2013).

Organske tvari u vodi su ukupne tvari koje se nalaze u vodama u raspršenom i otopljenom obliku. Prema podrijetlu organska tvar u vodi može biti proizvod biokemijskih procesa u vodi ili proizvod djelovanja čovjeka, a ukupna organska tvar može se dijeliti na biološki razgradive i nerazgradive tvari. Veća onečišćenja u vodi su posljedica ispiranja zemljišta oborinskom vodom industrijskih i gradskih otpadnih voda. Najznačajnije skupine organskih tvari u otpadnim vodama su policiklički aromatski ugljikovodici, poliklorirani bifenili, organoklorirani spojevi, organofosforni spojevi i druge tvari iz pesticida. Pokazatelj količine razgradive organske tvari u vodi pomoću mikroorganizama naziva se biokemijska potrošnja kisika (BPK) (Šimunić, 2013).

Hranjive tvari u vodi su otopljeni spojevi dušika i fosfora. U vodu mogu dospjeti ispiranjem poljoprivrednih zemljišta gdje se koriste kao mineralna gnojiva te iz otpadnih voda iz kućanstava i industrije. Kada je povećana koncentracija hranjivih tvari u vodi ona može uzrokovati povećanu proizvodnju primarne organske tvari, eutrofikaciju vode. U aerobnim uvjetima gdje je dovoljna količina otopljenog kisika odvijaju se procesi nitrifikacije, od

dušika → amonijaka → nitrita → nitrata uz prisustvo aerobnih autotrofnih bakterija, dok u anaerobnim uvjetima odvijaju se procesi denitrifikacije pomoću heterotrofnih bakterija. Organski dušik i amonijak u vodi nisu poželjni zbog toga što troše kisik za daljnu razgradnju. Nitrati i nitriti u visokim koncentracijama u vodi su otrovni ako se takva voda koristi za piće, ali nitriti su obično prisutni u malim koncentracijama. Dušik se u vodi nalazi u neznatnoj koncentraciji, fosfor se nalazi u obliku ortofosfata, polifosfata i organski vezanog fosfora. Količina dušika i fosfora izražavaju se u mg/L vode (Šimunić, 2013).

Ukupno otopljene tvari u vodi podrazumijevaju one tvari koje ostaju nakon cijeđenja i utvrđuju se isparavanjem na temperaturi od 105 °C, taj se pokazatelj često naziva i “suhi ostatak procijeđene vode”, a izražava se u mg/L suhe tvari. Voda je pogodno otapalo čvrstih tvari, plinova i tekućina radi toga u vodi se nalaze otopljene tvari, isto tako u vodi se pronalaze otopljene organske i anorganske tvari. Poneke otopljene tvari u vodi su nepoželjne i opasne, dok se su neke uobičajeni sastojak prirodnih voda i voda za piće. Otopljene tvari su u obliku iona, molekula i spojeva koji nisu ionizirani (Tedeschi, 1997).

Metali (kovine) u vodi nastaju uslijed ispiranja zemljišta i otapanja minerala. Povećane količine metala u vodi može biti posljedica ispuštanja otpadnih voda različitih grana industrije, poljoprivrede i kućanstva.

Veće koncentracije metala u prirodnim vodama nisu poželjne i metali se općenito mogu podijeliti na neotrovne i otrovne. U neotrovne metale spadaju natrij, mangan, željezo, bakar, aluminij i cink u malim tragovima, općenito svi su potrebni za mnogobrojne funkcije u organizmu.

Otrovni metali i njihov štetan učinak na žive organizme proizlaze iz mogućnosti nakupljanja u tkivu organizma. Ovisno o fizikalno-kemijskim svojstvima vodi, metali se u vodi nalaze kao slobodni ioni ili kao kompleksni spojevi, na njihovu promjenu oblika u kojem se metali pojavljuju znatno utječu pH, temperatura, alkalitet, tvrdoća vode, organske tvari i biološka aktivnost. Toksični metali koji se mogu naći otopljeni u vodi su arsen, barij, krom, kadmij, olovo, živa i srebro, što se veliki naglasak stavlja na otrovnost na arsen, kadmij, olovo i živu. Metali u vodi se određuju pomoću atomskog apsorpcijskog spektrometra i vrijednost se izražava u mg/L ili µg/L (Šimunić, 2013).

### 2.3.3. Biološki pokazatelji kakvoće vode

Stanje vodnog sustava ovisi o mnogim vrstama biljaka, životinjama, mikroorganizmima i životnim zajednicama koji žive u vodi jer oni utječu na biološka svojstva vode. Kakva je njihova međusobna povezanost, brojnost i aktivnost uvelike ovisi životni uvjeti i kvaliteta njihova staništa. Promjena abiotičkih čimbenika, najčešće se misli na klimatske čimbenike, promijenjeni uvjeti staništa, utječu na organizme i narušava se prirodna ravnoteža unutar staništa kao dijela ekološkog sustava.

Biološki pokazatelji kakvoće vode su:

- stupanj saprobnosti,
- stupanj biološke proizvodnje,
- mikrobiološki pokazatelji,
- stupanj otrovnosti,
- indeks razlike (Šimunić, 2013).

## 2.4. Postupci uklanjanja željeza, mangana i amonijaka iz vode

### 2.4.1. Željezo

Željezo (Fe) se ubraja među najrasprostranjenije elemente na zemlji, a zemljina kora sadrži oko 4,7 % željeza. Željezo se otapa prolaskom u vodi siromašnoj otopljenim kisikom kroz slojeve tla, tako da se željezo u podzemnim vodama nalazi u dvovalentnom stanju. Vode koje sadrže željezo su kod uzimanja uzoraka bistre, ali u kratkom vremenu u dodiru sa zrakom voda se zamuti. U kontaktu s kisikom iz zraka izlučuje se oksidirano trovalentno željezo, koje se u obliku flokula istaloži na dno kao crveno-smeđi talog. Koncentracija od 0,2 mg/L željeza u vodi za piće izaziva zamućenje, veće koncentracije mogu dati okus po tinti.

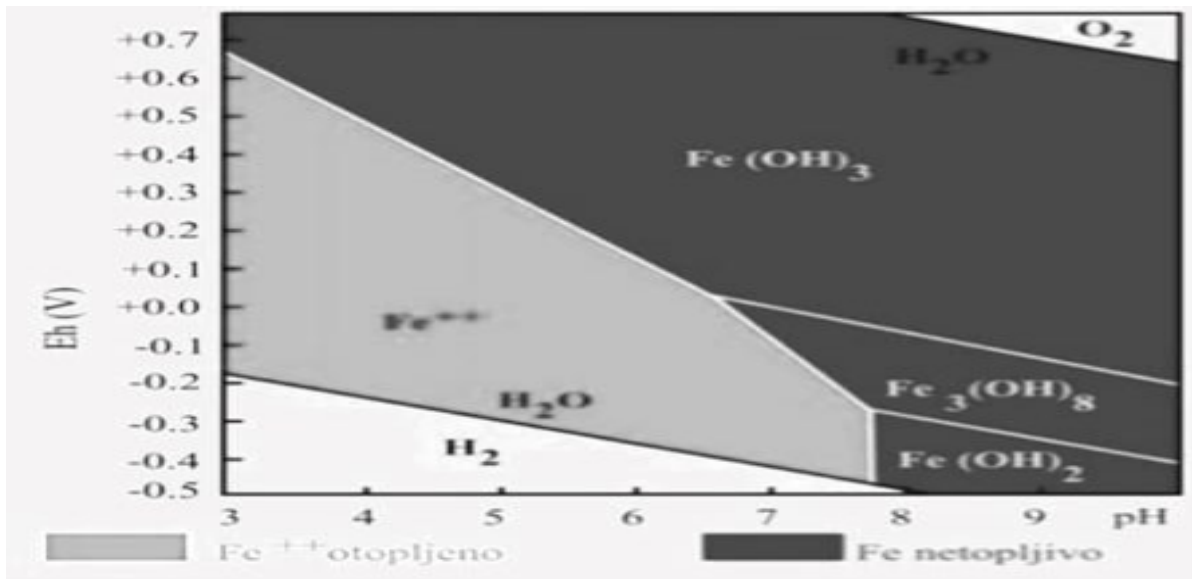
Maksimalna koncentracija željeza koja je dozvoljena u vodi za piće iznosi 0,2 mg/L željeza. Vode koje sadrže željezo nisu prikladne za tehnološke procese u tekstilnoj industriji jer se pojavljuju žuto-smeđe mrlje na rublju, niti su prikladne u kožnoj i papirnoj industriji, a također iznad gornjih dozvoljenih granica u prehrambenoj industriji i kao vode za piće.

Željezo u vodovodnoj mreži kod opskrbe može izazvati razmnožavanje mikroorganizama tipa *Crenothrix*, *Leptothrix*, *Siderocapsa*, *Thiobacillus*, *Ferrobacillus* koji energiju za život dobivaju oksidacijom željeza. Navedeni organizmi oksidiraju inkorporirano dvovalentno željezo u viševalentne oksihidrate pri čemu priskrbuju energiju potrebnu za život i rast. Organizmi oslobođenu energiju mogu iskoristiti za izgradnju svoje biomase od anorganskog otopljenog ugljika iz vode (CO<sub>2</sub>) na taj način sužavajući profile cjevovoda. Kada ta masa u međuvremenu naraste ona je sluzava i smeđe boje i druge bakterije mogu se poslužiti sa njome i može doći do masovnog bakteriološkog onečišćenja u čitavoj vodovodnoj mreži kao i nastanak korozije.

Željezo kod svih tehnoloških procesa ili ako je sadržano u tehnološkoj vodi ili vodi za piće smeta zato ga je vrlo bitno ukloniti, a proces uklanjanja željeza zove se deferizacija.

Željezo prisutno u vodi, odnosno njegov oblik ovisi o pH vrijednosti i redoks potencijalu vode (Slika 2). Pri niskim pH-vrijednostima i reduktivnim uvjetima željezo je dvovalentni ion i dobro topljiv u vodi, a pri povećanju redoks potencijala i dodatkom nekog oksidacijskog sredstva željezo prelazi u trovalentni oblik koji se taloži kao željezov (III) hidroksid Fe(OH)<sub>3</sub>.

Kada se podzemne vode u kojima je dvovalentno željezo u otopljenom obliku, izlažu atmosferi i otapanju kisika, redoks potencijal se povećava te se željezo taloži u obliku  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , a oksidacija željeza u trovalentni oblik brža je pri višim pH-vrijednostima. U podzemnim vodama prevladavaju neutralne pH vrijednosti i relativno je lako istaložiti željezo povećanjem redoks potencijala, poznatom kod uklanjanjem željeza oksidacijom zrakom (Mijatović i Matošić, 2018).



Slika 2. Oblik željeza u vodi u ovisnosti o redoks potencijalu i pH-vrijednosti vode (Mijatović i Matošić, 2018).

Postupak deferizacije ovisi o obliku u kojem je željezo prisutno. U podzemnim vodama željezo je prisutno kao dvovalentni hidrogenkarbonat  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ , a rijetko kao željezov sulfat  $\text{FeSO}_4$ , isto tako željezo može biti vezano koloidnoj formi na organske spojeve npr. kao željezni humat koji je i najčešći oblik u površinskim vodama ili u močvarama.

Željezo koje je vezano u koloidnoj formi uklanja se oksidacijom i to sa jakim oksidacijskim sredstvima kao što su ozon i vodikov peroksid, a željezo koje je u vodi prisutno u obliku karbonata i sulfata uklanja se oksidacijom i zrakom.

Aeracijom se smatra raspršivanje vode u sitne kapljice kako bi se povećao dodir sa zrakom, stoga se željezo u reakciji s kisikom oksidira i s vodom stvara hidroksid koji koagulira u pahuljice te se lako taloži iz vode (Mijatović i Matošić, 2018).



Postupci uklanjanje željeza u vodi su:

- anorganski vezano željezo kao  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$  i  $\text{FeSO}_4$  uklanja se oksidacijom i zrakom,
- Fe-humat se oksidira jačim sredstvima kao što su  $\text{O}_3$  i  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,
- biološka oksidacija željeza

(Mijatović i Matošić, 2018).

Željezo (Fe) važan mikroelement za ljude, ali u prekomjerne doze željeza mogu djelovati štetno. Prosječna koncentracije željeza u krvi su od 60 do 170  $\mu\text{g}/\text{dL}$  i kao mjere predostrožnosti nakupljanja željeza u organizmu preporučuje se dnevni unos koji iznosi 0,8 mg/kg tjelesne težine (Wikipedia, url).

#### 2.4.2. Mangan

Mangan (Mn) se ubraja među među 15 najrasprostranjenijih elemenata i treći je po redu od teških metala iza željeza i titana, zemljina kora sadrži 0,08 % mangana. U vodi najčešće prisutan kao  $\text{Mn}(\text{HCO}_3)_2$ , a rjeđe kao sulfat ili humat. Otapa se prolaskom vodama siromašnim otopljenim kisikom kroz slojeve tla i nalazi se u dvovalentnom stanju.

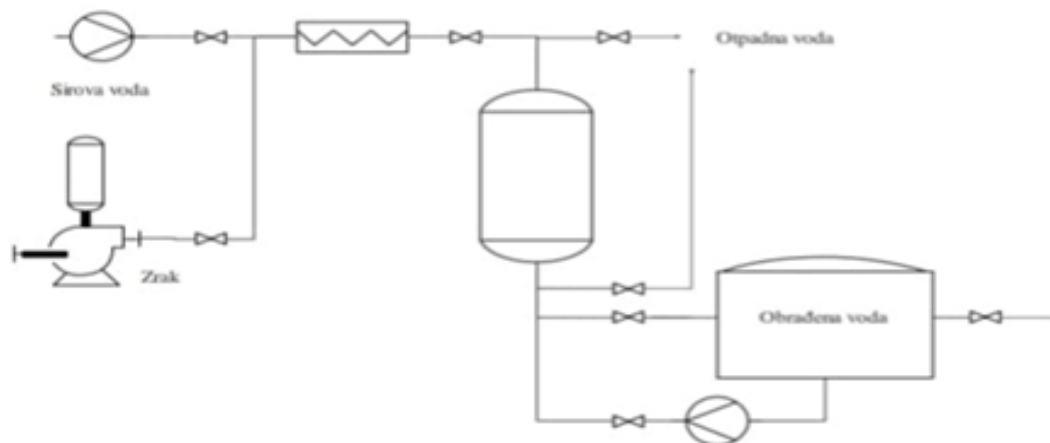
U vodi za piće dozvoljeno je maksimalno 0,05 mg/L mangana. Vode koje sadrže mangan (u istom slučaju kao kod željeza) nisu prikladne u tekstilnoj industriji zbog obojenja na rublju niti su prikladne industriji kvasca, u kožnoj i papirnoj industriji i ne smiju biti iznad gornjih dozvoljenih granica u prehrambenoj industriji i kod vode za piće.

Također mogu izazvati razmnožavanje mikroorganizama tipa *Crenothrix*, *Leptothrix*, *Siderocapsa*, *Thiobacillus*, *Ferrobacillus* koji energiju za život dobivaju oksidacijom mangana, dakle oksidiraju inkorporirano dvovalentni mangan u viševalentne oksihidrate. Oslobođenu energiju ovi organizmi mogu iskoristiti za izgradnju svoje biomase od anorganskog otopljenog ugljika iz vode ( $\text{CO}_2$ ) nakupljanjem sužavaju profile cjevovoda.

Bakterijska biomasa je smeđe boje, sluzava, a pogoduje i za rast drugih bakterija koje dovode do masovnog bakteriološkog onečišćenja u čitavoj vodovodnoj mreži. Postupak uklanjanja mangana se zove demanganizacija. Mangan i željezo su elementi sličnog kemijskog ponašanja, ali postoje bitne razlike zbog kojih njihovo zajedničko odvajanje iz vode nije uvijek moguće (Mijatović i Matošić, 2018).

Postupci uklanjanja mangana su sljedeći:

- oksidacija s zrakom (pri višem pH),
- reakcija s manganovim dioksidom  $MnO_2$  (pri nižim pH-vrijednostima),
- reakcija s  $KMnO_4$ ,
- oksidacija ozonom,
- biološka oksidacija mangana (Slika 3) (Mijatović i Matošić, 2018).



Slika 3. Shematski prikaz biološkog uklanjanja željeza i mangana (Mijatović i Matošić, 2018)

Mangan se najčešće uklanja oksidacijom kisikom iz zraka. Učinkovitost uklanjanja mangana ovisi o pH i stoga pH mora biti iznad 9. Uz dodatak natrijevog hidroksida ili kalcijevog oksida postiže se tražena pH. Prilikom uklanjanja mangana,  $MnO_2$  djeluje katalitički na stvaranje taloga, stoga ga je potrebno istaložiti po pješčanom filtru, u tu svrhu taloženja može poslužiti otopina  $KMnO_4$  jer će pri kontaktu s pijeskom i kisikom iz zraka istaložiti sloj  $MnO_2$ .

Osim kemijske oksidacije zrakom, moguće je provesti i biološku oksidaciju željeza i mangana, ona je naročito pogodna pri uklanjanju mangana zbog toga što je kemijska oksidacija kisikom spora ili zahtijeva povećanje pH-vrijednosti. Biološka oksidacija se provodi pomoću organizama koji oksidiraju mangan i željezo te mikroorganizmi se imobiliziraju u posebnom pješčanom filtru (Mijatović i Matošić, 2018).

U vrlo malim količinama mangan je važan za ljudski organizam, dnevno ga se ishranom treba unositi u količini 10-20 mg, a njegov nedostatak manifestira usporen rast, skraćuje životni vijek jer sudjeluje u reprodukcijским procesima. Veće količine mangana su otrovne za ljude, mangan djeluje otrovno na živčani sustav. Koncentracija mangana koja je dozvoljena u radnim prostorijama iznosi do 5 mg u  $m^3$  zraka (Wikipedia, url).

### 2.4.3. Amonijak

Amonijak je spoj dušika i vodika formule ( $\text{NH}_3$ ), a pri normalnoj temperaturi i tlaku amonijak je bezbojan plin, karakterističnog oštrog mirisa koji je lakši od zraka i lako topljiv u vodi (Wikipedia, url).

Vodena otopina reagira alkalno i kada se doda amonijak sadrži i dodatak vode u bazu  $\text{NH}_4\text{OH}$  (amonijev hidroksid) (Hrvatska Enciklopedija, url).

Amonijak u vodi može biti prisutan u dva oblika, bilo amonijev hidroksid  $\text{NH}_4\text{OH}$  koji je glavni oblik toksičnog amonijaka ili kao amonijev ion  $\text{NH}_4^+$ . Kada je pH vode manji od 7 amonijak je prisutan kao amonijev ion, a kada je pH veći od 7 tada je više amonijaka prisutno kao amonijev hidroksid (The pure Water Occasional, url).

Maksimalna dopuštena koncentracija amonijaka iznosi 0,5 mg/L. Uklanjanje amonijaka iz vode vrši se biološkim putem. Proces oksidacije amonijaka preko nitrita u nitrate kisikom otopljenim u vodi odvija se pomoću mikroorganizama. Prilikom biološkog uklanjanja, problem može stvarati  $\text{NH}_4^+$  ion koji može biti prisutan u vodi. Amonijak se oksidira biološki pomoću sojeva bakterija roda *Nitrobacter* i *Nitrosomonas* koje oksidiraju amonijak u nitrite i nitrate.

Nitrati su spojevi u kojima je atom dušika vezan za tri atoma kisika. Koriste se kao umjetna gnojiva, njihova povećana koncentracija u površinskim i podzemnim vodama u porastu je i može narušiti kvalitetu vode kao i teške zdravstvene probleme kod ljudi, mogu se naći u hrani i atmosferi. Maksimalna dozvoljena koncentracija nitrata u vodi za piće je 50 mg/L (Mijatović i Matošić, 2018).

Nitriti su soli ili esterski anioni dušične kiseline koji se mogu prirodno ili umjetno pojaviti u podzemnoj vodi. Iz gnojiva kroz zemlju teku u odvodnu vodu, kanalizacije i mineralne naslage. Koriste se još u proizvodnji hrane, za sušenje mesnih proizvoda jer inhibiraju rast bakterija.

Prekomjerne koncentracije nitratnog dušika ili nitritnog dušika u vodi za piće mogu ozbiljno narušiti zdravlje, posebno su opasni za dojenčad i trudnice (H<sub>2</sub>O distributors, url).

Bakterije *Nitrobacter* i *Nitrosomonas* su autotrofne i spororastuće i njihovo naseljavanje na pješčanom filtru koji uklanja željezo i mangan je nemoguće spriječiti ako voda sadrži amonijeve ione. Nastajanje nitrata iz amonijaka pod utjecajem ovih bakterija je poželjno jer MDK za amonijak (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) iznosi 0,50 mg/L, a za nitrata (NO<sub>3</sub>) 50 mg/L i u slučaju ako je povišena koncentracija amonija voda se može na taj način obraditi, ukloniti amonijeve ione i uskladiti je sa zakonskim propisima.

Međutim, glavni problem pri povišenoj koncentraciji amonijaka je količina kisika koja je potrebna za oksidaciju. Željezo i mangan ne trebaju mnogo kisika, za 1 mg/L NH<sub>4</sub><sup>+</sup> prema stehiometriji reakcije treba 4,6 mg/L O<sub>2</sub>. U slučaju da koncentracija amonijaka prelazi 1 mg/L mogu se očekivati problemi u radu bioloških filtra. U tom slučaju mora se raditi sa zatvorenim filtrima pod tlakom kako bi se osigurala dovoljna koncentracija kisika te se kisik se mora dodavati u više faza. Kod nitrifikacije pažnju treba posvetiti koncentraciji nitrata koji su međustupanj pri nitrifikaciji te mogu nastati pri poremećaju rada filtra. MDK za nitrite u vodi poslije obrade vode je 0,1 mg/L (Mijatović i Matošić, 2018).

## **2.5. Zdravstvena ispravnost vode za ljudsku uporabu**

Voda za piće mora biti bez boje, mirisa i okusa, ne smije sadržavati nikakve mikroorganizme parazite i njihove srodne i razvojne oblike, tvari u koncentracijama ili u kombinaciji sa drugim tvarima koje bi ugrožavale ljudsko zdravlje. Voda za piće ne smije prelaziti (MDK) maksimalno dopuštene koncentracije ili maksimalne vrijednosti pojedinih pokazatelja.

Zdravstvena ispravnost vode za piće je zakonski regulirana Zakonom o izmjenama i dopunama Zakona o vodi za ljudsku potrošnju (NN 115/2018), Pravilnikom o prirodnim mineralnim, prirodnim izvorskim i stolnim vodama (NN 48/2015) i Pravilnikom o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN 125/2017).

Posljednim navedenim pravilnikom se propisuje zdravstvena ispravnost i granične vrijednosti pokazatelja zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku uporabu i mnogobrojne analize uzoraka vode za piće te analitičke metode.

## **2.6. Procesi obrade vode za piće**

Najčešće se za vodoopskrbu koriste podzemni ili površinski vodotokovi. Njihova fizikalno-kemijska svojstva su promjenjiva i ovise o vanjskim faktorima. Prisutnost povišenih vrijednosti fizikalno-kemijskih parametara u vodi nisu poželjni i moraju se ukloniti. Tehnologija za njihovo uklanjanje i procesi obrade vode za piće vrlo su bitni za vodoopskrbu. Voda mora u potpunosti biti zdravstveno ispravna kako ne bi utjecala na zdravlje ljudi (Mijatović i Matošić, 2018).

## 2.7. Postrojenje za preradu sirove vode vodocrpilište Davor

Vodovod zapadne Slavonije d.o.o. je poduzeće koje se bavi vodoopskrbom i odvodnjom. Vodocrpilište Davor radi u sklopu poduzeća Vodovod zapadne Slavonije d.o.o.

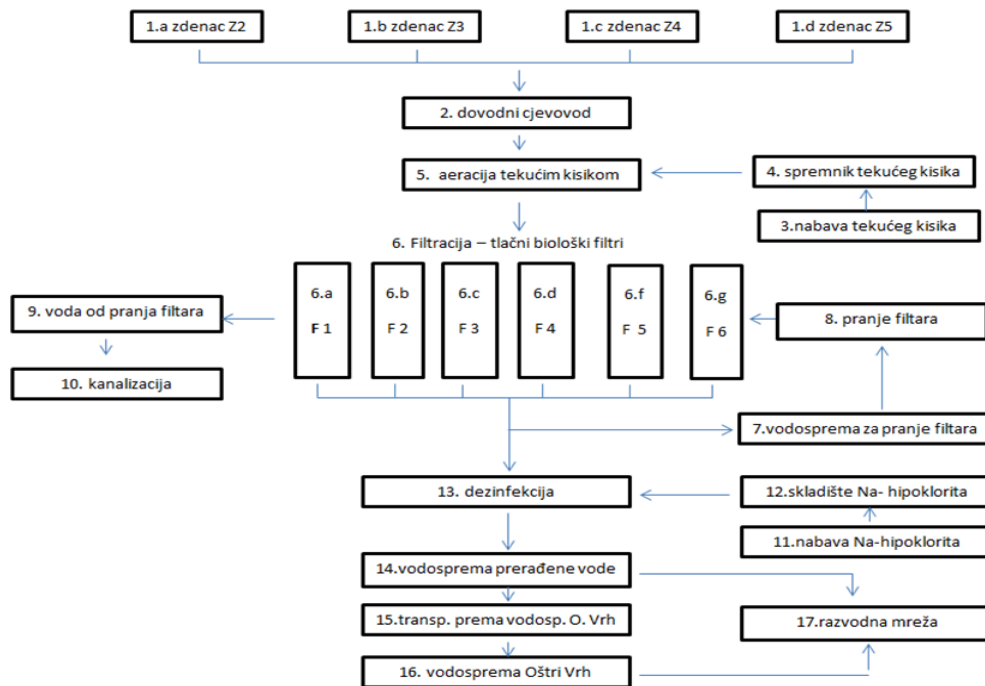
Područje distribucije vode obuhvaća dvadesetak naselja. Dužina svih cjevovoda je 250 km, a broj priključaka je (1773) za domaćinstvo i (76) za gospodarstvo. Kapacitet vodocrpilišta Davor je 150 L/s. Trenutno se isporučuje 40-50 L/s. Od kraja 2017. godine vodocrpilište Davor djelomično opskrbljuje grad Novu Gradišku sa okolicom.

Vodocrpilište Davor ima laboratorij ali nije još potpuno u funkciji pa se može određivati samo 4 parametra, to je određivanje koncentracije slobodnog rezidualnog klora, amonijaka, mangana i željeza, a ostale analize radi Zavod za javno zdravstvo Brodsko-posavske županije.

Sukladnost kakvoće vode s vrijednostima iz Pravilnika o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN 125/17), nadzire Zavod za javno zdravstvo Brodsko-posavske županije koji jednom mjesečno uzima uzorke i radi A analizu vode. Učestalost uzimanja uzoraka propisana je Pravilnikom prema količini isporučene vode.

Analizom sirove vode vodocrpilišta Davor ustanovljena je previsoka koncentracija amonijaka, mangana i željeza pa takva voda ne odgovara zahtjevima Zakonom o izmjenama i dopunama Zakona o vodi za ljudsku potrošnju (NN 115/18), Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN 125/17). U skladu s time je izgrađeno postrojenje za preradu vode te ono ima zadatak povišene koncentracije navedenih parametara smanjiti na vrijednosti koje su sukladne propisima (Bilješke iz Vodovoda zapadne Slavonije d.o.o.).

### 2.7.1. Dijagram tehnološkog procesa



Slika 4. Shematski prikaz tehnološkog procesa prerade sirove vode na vodocrpilištu Davor (Izvor: autor)

### 2.7.2. Opis tehnološkog postupka

Postrojenje za preradu sirove vode u Davoru (Slika 4) se sastoji od zdenaca u kojima započinje proces opskrbe vodom.

Sastoji se od dovodnih cjevovoda pomoću kojih voda dolazi u pogon. Zatim voda direktno ide u vodospremu za aeraciju, pored vodospreme je spremnik tekućeg kisika, sve do tlačnih bioloških filtera. Postrojenje sadržava prostor za dezinfekciju, bazen za skladištenje vode, vodoopskrbni sustav te vodospremu za pranje filtera.

### 2.7.3. Zdeneci za vodoopskrbu

Za vodoopskrbu koristi se podzemna voda iz zdenaca (Slika 5) koji se nalaze sjeverozapadno od naselja Davor smješteni 300-500 m od pogona za preradu. Zdeneci su dubine 40 m kapaciteta 50 l/s. Voda se crpi iz četiri zdenca (Z2, Z3, Z4, Z5) pomoću crpki ugrađenih u zdence. Svaki zdenac opremljen je spojnim i odvodnim cjevovodom, s pripadajuća dva ručna zasuna te odzračnim ventilom, jednom bunarskom i dranežnom pumpom. Rad zdenaca je automatiziran i njima se upravlja iz postrojenja za preradu vode odakle se prati protok vode, nivo i tlak (Bilješke iz Vodovoda zapadne Slavonije d.o.o.).



Slika 5. Satelitska snimka položaja zdenaca u Davoru  
(Izvor: Bilješke iz Vodovoda zapadne Slavonije d.o.o.)



#### 2.7.4. Prerada sirove vode

Prerada sirove vode odvija se u tri osnovne faze:

- Aeracija,
  - filtracija,
  - dezinfekcija.
- 
- Otvorena aeracija tekućim kisikom (15-20 mg/L O<sub>2</sub>)

Aeracija, tj. miješanje vode s tekućim kisikom odvija se u vodospremi za aeraciju. Zbog velike tražene koncentracije kisika koristi se tekući kisik iz spremnika (Slika 6) smještenog pored vodospreme za aeraciju. Potrebna koncentracija kisika regulira se preko dva precizna rotametra (Slika 7), kontrolira se mjerenjem oksimetrom (Bilješke iz Vodovoda zapadne Slavonije d.o.o.).



Slika 6. Spremnik kisika (Izvor: autor)



Slika 7. Rotametri za doziranje tekućeg kisika (Izvor: autor)

➤ Filtracija

Nakon procesa aeracije voda ulazi u zatvoreni brzi filter koji je ispunjen kvarcnim pijeskom. Rad filtera kao i filtarskih, otpremnih pumpi i cijelog postrojenja je automatski. Sustavom se upravlja na kontrolnom računalu računalnim sustavom za nadzor i upravljanje SCADA (Slika 8).



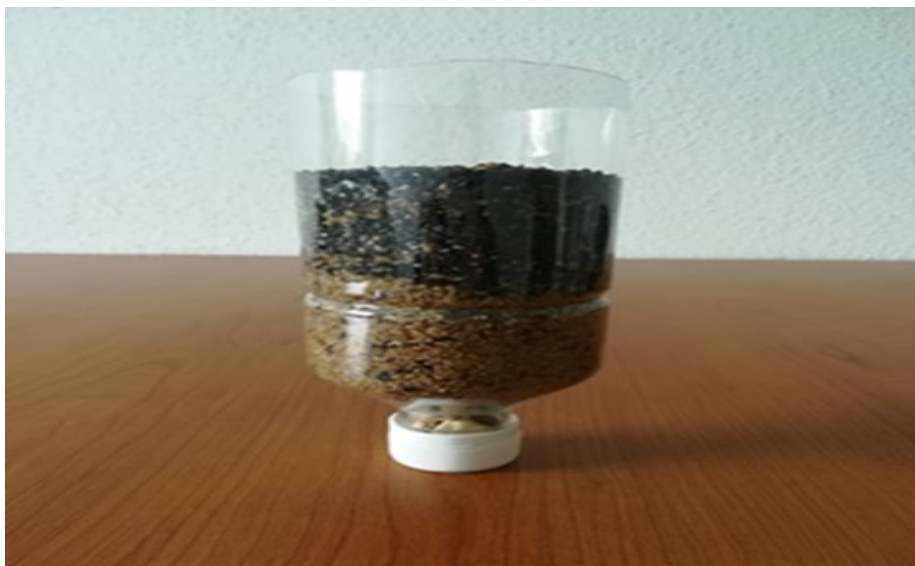
Slika 8. Računalni sustav za nadzor i upravljanje SCADA (Izvor: autor)

U filter stanici nalazi se 6 filtera koji su opremljeni pneumatskim ventilima, a zrak potreban za upravljanje pneumatskim ventilima dobiva se iz kompresora. U stanici od ukupno 6 filtera (Slika 9) svaki filter sadrži 7 pneumatskih ventila koji imaju različite funkcije.

Sirova voda tijekom filtracije protječe kroz filter smjerom odozgo prema dolje. Kada otpor u filtru naraste na 0,5-0,6 bara ili kad je filter mutan, pristupa se protusmjernom pranju filtera, tj. smjerom protjecanja vode za pranje odozdo prema gore.



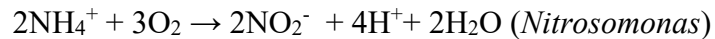
Slika 9. Filter i pneumatski ventili (Izvor: autor)



Slika 10. Kvarcni pijesak i aktivni ugljen (Izvor: autor)

Pranje filtera je protustrujno i nekloriranom vodom, zbog toga što se istovremeno sa uklanjanjem željeza i mangana, provodi i biofiltracija djelovanjem bakterija *Nitrosomonas* i *Nitrobacter*. Bakterije *Nitrosomonas* prevode nepoželjni amonijak u nitrite, a *Nitrobacter* pretvara nitrite u manje otrovne nitrata. Protustrujno pranje filtera odvija se u slijedećim fazama: Pranje 1, Ispuštanje, Propuhivanje, Nadopuna, Pranje 2, Ispiranje.

Postupak uklanjanja amonijaka biološkim putem pomoću sojeva bakterija roda *Nitrobacter* i *Nitrosomonas* koje oksidiraju amonijak u nitrite i nitrata:



Filtar je ispunjen: slojem kvarcnim pijeskom granulacije 0,5-2 mm, visine 85 cm, antracitom granulacije 1,4-2,5 mm, visine 85 cm (Slika 10).

Na filtrima se odvaja amonijak, mangan i željezo. Željezo se oksidira i nastali talog  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  se taloži na pješčanom filtru. Nastali  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  djeluje autokatalitički, tj. pospješuje stvaranje novih molekula  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Voda prolazi kroz filter i prolazeći kroz pijesak iz vode se odstranjuje željezni hidroksid. Ako su zrnca filtracijskog materijala sitnija, njihova aktivna površina biti će veća, a efekt filtracije bolji.

Dokazano je da filter koji je već neko određeno vrijeme radio te sadrži na sebi prvi sloj mehaničkih nečistoća bolje filtrira vodu nego posve čisti filter koji je netom pušten u pogon. Filtracijski materijal koji se upotrebljava kod filtracije hladne vode uglavnom je kristalan, gotovo proziran i mehanički čvrsti kremenij pijesak, koji je prosijan i ispran (Bilješke iz Vodovoda zapadne Slavonije d.o.o.).

#### ➤ Dezinfekcija

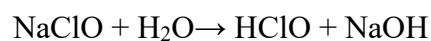
Poslije filtriranja, voda se dezinficira i skladišti u bazenu odakle se otprema otpremnim crpkama (Slika 11) u vodoopskrbni sustav. Određena količina prerađene vode otprema se bez dezinfekcije u vodospremu za pranje filtera. Vrlo je važno da se filteri peru čistom, nedezinficiranom vodom kako se ne bi uništile bakterije za razgradnju amonijaka.



Slika 11. Otpremne crpke (Izvor: autor)

Sredstvo za dezinfekciju na vodocrpilištu Davor je natrijev hipoklorit ( $\text{NaClO}$ ) u koncentraciji 12-15 % koji se pomoću pumpe-klorinatora (Slika 12) dozira u cjevovod nakon filtracije. Dezinficirana voda se odvodi u vodospremu obrađene vode kapaciteta  $1000 \text{ m}^3$ .

Klorinator ima automatski režim rada, ali moguće je kloriranje vršiti i ručnim podešavanjem. Kloriranje se vrši zbog uništavanja mikroorganizama u prerađenoj vodi i održavanja mikrobiološke čistoće vode u vodoopskrbnom sustavu te ovim procesom mora rukovati kvalificirana osoba jer je hipoklorit opasna kemikalija. Natrijev hipoklorit ( $\text{NaClO}$ ) se još naziva Javellova voda ili Labarakova voda i sadrži 10-14 % aktivnog klora. Djeluje istim kemizmom kao elementarni klor i ostala sredstva na bazi kora koja daju hipokloritnu kiselinu. Dobiva se elektrolizom hladne otopine soli.



Doza klora (0,5-1 mg/L) je potreba vode za klorom izražena u mg/L kojeg je potrebno dodati vodi do pojave rezidualnog klora. Rezidualni klor izražen u mg/L koji je zaostao u vodi kao višak nakon reakcija klora s tvarima koje se mogu oksidirati u vodi (Bilješke iz Vodovoda zapadne Slavonije d.o.o.).



Slika 12. Klorinator (Izvor: autor)

Temeljno na načelima HACCP-a, u vodi se mjeri koncentracija slobodnog rezidualnog klora (SRK) što je i kritična kontrolna točka prema preventivnom sustavu samokontrole. SRK se mjeri nakon završetka dezinfekcije tj. prije ulaska vode u mrežu, mjeri se 5 puta dnevno, a po potrebi i više pomoću fotometra Dulcotest. Internom odlukom propisana je i minimalna koncentracija SRK 0,20 mg Cl<sub>2</sub>/L i maksimalna koncentracija 0,50 mg Cl<sub>2</sub>/L.

Količina otopljenog kisika (O<sub>2</sub>) mjeri se ručnim mjernim uređajem SensoDirect Oxi200. Koncentracija kisika (O<sub>2</sub>) u ulaznoj vodi varira, ovisno o zdencu iz kojeg se crpi voda i iznosi 15-20 mg/L. Kisik (O<sub>2</sub>) u izlaznoj vodi ne bih trebao biti manji od 4 mg/L (Bilješke iz Vodovoda zapadne Slavonije d.o.o.).

### **3. MATERIJAL I METODE**

#### **3.1. Zadatak**

Cilj ovog rada je pratiti koncentracije parametara amonijaka ( $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$ ), mangana ( $\text{mg Mn/L}$ ) i željeza ( $\text{mg Fe/L}$ ) u sirovoj vodi i vodi nakon prerade kroz period od 3 mjeseca, s 4 različita zdenaca; Z2, Z3, Z4, Z5.

Svrha prerade vode je povišene koncentracije navedenih parametara dovesti na prihvatljivu razinu, kako bi prerađena voda bila zdravstveno ispravna za ljudsku uporabu.

#### **3.2. Materijal za obradu sirove vode**

Za eksperimentalni rad uzimali su se uzorci sirove vode kroz period od 3 mjeseca. Ovisno o potrebnim količinama vode za isporuku, voda je crpljena sa 4 različita zdenca Z2, Z3, Z4, Z5.

Nakon uzimanja uzoraka sirove vode mjerile su se koncentracije parametara amonijaka ( $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$ ), željeza ( $\text{mg Fe/L}$ ) i mangana ( $\text{mg Mn/L}$ ) u sirovoj vodi.

Nakon obrade sirove vode koja je uključivala: aeraciju, biološku filtraciju i dezinfekciju, ponovno se mjerila koncentracija amonijaka, željeza, mangana u obrađenoj vodi sa zdenaca Z2, Z3, Z4, Z5.

### 3.3. Spektrofotometar DR 3900

Mjerenje koncentracije amonijaka, mangana i željeza vršilo se na laboratorijskom spektrofotometru za analizu vode DR 3900 (HACH-LANGE) (Slika 13). Spektrofotometar je instrument koji mjeri količinu svjetla koju apsorbira određena vrsta molekula u otopini te se njime određuje koncentracija određene tvari. Raspon valne duljine mu je 320 do 1100 nm. Uređaj automatski prepoznaje test koji se koristi. Kivete za mjerenje sadrže potrebne kemikalije u točno izmjerenim količinama te korisnik samo dodaje određenu količinu uzorka vode. Koristi specifičnu RFID tehnologiju ažuriranja metode, ID uzorka i certifikat analize (HACH, url).



Slika 13. Spektrofotometar (Izvor: autor)

### 3.4. Mjerenje koncentracije amonijaka u vodi

Za mjerenje koncentracije amonijaka korišteni su kivetni testovi LCK 304 HACH-LANGE. Mjerno područje 0.015 - 2,0 mg/L  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ . Postupak je Indophenol Blue. Na pakiranju testa su upute o koracima rada i sigurnosnim mjerama. Naljepnica crtičnog koda sadrži sve karakteristike vrijednosti potrebne za automatsko prepoznavanje.



Upute za mjerenje koncentracije amonijaka uključuju:

1. skinuti zaštitnu foliju s čepa kivete
2. dodati 5 mL uzorka vode u kivetu (u otopinu s hipokloritom i smjesom salicilnih iona)
3. zatvoriti kivetu sa čepom u kojem se nalazi (nitroprusid) te dobro protresti
4. ostaviti da odstoji 15 minuta
5. staviti kivetu u otvor za mjerenje u spektrofotometar na valnoj duljini od  $\lambda = 550$  i očitati rezultate.

Kod alkalnog okruženja (pH 12.6) amonijak reagira s hipokloritom i salicilnim ionima u prisutnosti natrijevog nitroprusida kako bi se dobilo indofenol plavo obojenje (Bolleter, 1961).

### **3.5. Mjerenje koncentracije mangana u vodi**

Za mjerenje koncentracije mangana u vodi korišteni su testovi LCW 532 HACH-LANGE. Mjerno područje 0,005 - 0,5 mg/L Mn. Postupak je rađen prema uputama testa LCK 532 HACH LANGE.

Upute i koraci za mjerenje koncentracije mangana su:

1. napuniti plastičnu kivetu s 50 mL uzorkom vode i protresti kivetu da se uklone mjehurići zraka
2. u čašu usuti žličicu (askorbinske kiseline) reagensa A
3. otpiperirati 10 mL uzorka vode u čašu sa askorbinskom kiselinom i miješati dok se reagens potpuno ne otopi
4. upotrijebiti pipetu i u čašu dodati 1.0 mL B alkalnog cijanida (K-cijanid - K-hidroksid) reagensa B vrtjeti čašu dok se svi sastojci ne sjedine te odmah dodati 1.0 mL (Tritton x-100 Ethanol) reagensa C i miješati dok se sve ne sjedini
5. uzorak će pokazati narančastu boju uz prisutnost mangana
6. pokrenuti mjerač vremena instrumenta kako bi započelo reakcijsko vrijeme od 2 minute
7. napraviti slijepu probu zatim pritisnuti nulu na zaslonu spektrofotometra i on treba pokazivati 0.000 mg/L Mn
8. zatim izliti pripremljeni uzorak u kivetu protresti kivetu sa uzorkom da izađu mjehurići zraka
9. umetnuti pripremljeni uzorak u spektrofotometar rezultati su prikazani u mg/L Mn.

Spektrofotometrijska metoda 1- (2-piridilazo) -2-naftol (PAN). Metoda se temelji na mjerenju apsorbancije mangan-PAN kelata otopljenog s ne-ionskim surfaktantom, Tritton X-100 (Goto et al., 1977).

### 3.6. Mjerenje koncentracije željeza u vodi

Za mjerenje koncentracije željeza (mg Fe/L) koristili su se gotovi testovi LCW O21 HACH-LANGE. Za mjerno područje od 0,025-0,25 mg/L Fe koristile su se plastične kivete od 50 mm s poklopcem, a za mjerno područje 0,005 do 2,0 mg/L Fe koristile su se okrugle kivete s gumenim čepom. Postupak: željezo (II) reagira s Ferozinom da bi se dobio kompleks ljubičastog spektra. Koncentracija željeza mjerila se prema uputama testa LCW 021 HACH LANGE.

Upute mjerenja koncentracije željeza za mjerno područje 0,025-0,25 mg/L Fe uključuju:

1. otpipetirati 0,2 mL otopine A (klorovodika 10 % i aluminijskog amonijevog sulfata) u 50 mL praznu kivetu za uzorke
2. pažljivo otpipetirati 5 mL uzorka vode u uzorak sa otopinom A
3. uključiti tajmer reakcije na 2 minute
4. otpipetirati 0,3 mL otopine B (natrij-hidroksida) u kivetu sa uzorkom
5. dodati jednu mikrokapsulu u kivetu
6. zatvoriti uzorak i preokrenuti par puta dok se kapsula ne otopi
7. nakon 15 minuta preokrenuti još par puta
8. zatim napuniti praznu 50 mm kivetu destiliranom vodom umetnuti u spektrofotometar otići u pohranjene programe i odabrati test napraviti slijepu probu
9. izvaditi van i staviti kivetu s uzorcima u spektrofotometar pritisnuti očitavanje uzoraka.

Upute mjerenja koncentracije željeza za mjerno područje 0,005-2,0 mg/L Fe uključuju:

Pažljivo otpipetirati 0,2 mL otopine A u praznu okruglu kivetu, te otpipetirati 5 mL uzorka vode, pokrenuti tajmer reakcije na 2 minute. Nakon što se tajmer isključi otpipetirati 0,3 mL otopine B u kivetu sa uzorkom i dodati jednu mikrokapsulu u kivetu sa svim uzorcima. Zatvoriti kivetu i nekoliko puta je preokrenuti da se mikrokapsula otopi. Nakon 15 minuta prekrenuti kivetu još nekoliko puta i temeljito očistiti vanjski dio uzorka. Otići u

pohranjene programe na spektrofotometar odabrati test, pritisnuti nulu i staviti kivetu sa uzorcima, zatim očitati rezultate.

Metodom ferrozina mogu se odrediti iznimno niske koncentracije željeza u vodi uporabom ultra-osjetljivog indikatora željeza, FerroZine Iron Reagenta, 3-(2-piridil)-5, 6-bis (4-fenolsulfonske kiseline)-1, 2, 4-triazin, mononatrijeve soli. Test se provodi tako što se dodaje otopina FerroZine Iron Reagenta u uzorak vode te nastaje pH 3,5 i kompleks purpurne boje koji je izravno proporcionalan koncentraciji željeza. Redukcijsko sredstvo uključeno je za pretvaranje bilo kojeg  $\text{Fe}^{3+}$  u  $\text{Fe}^{2+}$  (koji se formira do obojenog kompleksa) (Stookey, 1970).



Slika 14. Gotovi testovi za mjerenje koncentracije željeza LCW O21 (Izvor: autor)



Slika 15. Kiveta sa uzorkom sirove vode i sadržajem željeza (Izvor: autor)

#### 4. REZULTATI I RASPRAVA

Tablica 1. Rezultat mjerenja koncentracije kisika na filteru 1, filteru 2 i filteru 3 u periodu od 12.06.2018. do 12.09.2018. u postrojenju za preradu vode vodocrpilišta Davor

DATUM	ZDENAC	MJESTO UZOROVANJA	KISIK mg O <sub>2</sub> /L
	Z5		20,02
12.06.2018.	PROTOK 50 l/s	Filter 1	4,02
	Z4, Z5		18,42
14.06.2018.	PROTOK 54 l/s	Filter 2	5,02
	Z5		17,34
15.06.2018.	PROTOK 49 l/s	Filter 3	4,54
	Z5		19,12
18.06.2018.	PROTOK 49 l/s	Filter 1	5,04
	Z4, Z5		19,99
20.06.2018.	PROTOK 52 l/s	Filter 2	5,71
	Z4, Z5		21,47
27.06.2018.	PROTOK 56 l/s	Filter 3	4,72
	Z4, Z5		20,47
29.06.2018.	PROTOK 60 l/s	Filter 1	4,58
	Z4, Z5		21,50
02.07.2018.	PROTOK 55 l/s	Filter 2	5,33
			<b>SIROVA VODA</b>
			<b>OBRADENA VODA</b>

	Z4, Z5			20,48
<b>04.07.2018</b>	PROTOK 59 l/s	Filter 3	4,24	
	Z4, Z5			20,84
<b>10.07.2018.</b>	PROTOK 51 l/s	Filter 2	4,64	
	Z4, Z5			20,93
<b>13.07.2018.</b>	PROTOK 55 l/s	Filter 2	5,63	
	Z4, Z5			20,18
<b>20.07.2018.</b>	PROTOK 60 l/s	Filter 1	3,98	
	Z4, Z5			21,43
<b>25.07.2018.</b>	PROTOK 49 l/s	Filter 2	6,08	
	Z4, Z5			21,09
<b>31.07.2018.</b>	PROTOK 50 l/s	Filter 1	4,98	
	Z2, Z3			16,11
<b>06.08.2018</b>	PROTOK 52 l/s	Filter 2	5,38	
	Z2, Z3			15,30
<b>08.08.2018.</b>	PROTOK 48 l/s	Filter 1	4,66	
	Z2, Z3			16,03
<b>17.08.2018.</b>	PROTOK 49 l/s	Filter 3	4,98	
	Z2, Z3			15,45
<b>22.08.2018.</b>	PROTOK 46 l/s	Filter 2	4,40	
	Z2, Z3			15,83
<b>27.08.2018</b>	PROTOK 49 l/s	Filter 3	4,79	
	Z2, Z3			16,14
<b>30.08.2018.</b>	PROTOK 51 l/s	Filter 3	4,83	

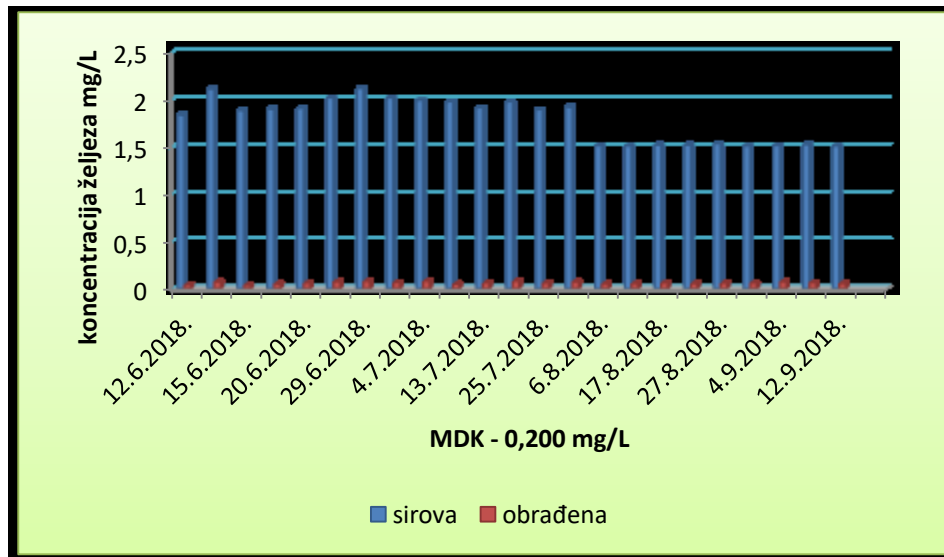
	<b>Z2, Z3</b>		<b>15,30</b>
<b>04.09.2018.</b>	<b>PROTOK 54 l/s</b>	<b>Filter 2</b>	<b>4,23</b>
<b>05.09.2018.</b>	Z2, Z3 PROTOK 52 l/s	Filter 1	15,04 3,67
<b>12.09.2018.</b>	Z2, Z3 PROTOK 47 l/s	Filter 3	16,04 5,20

Kako bi obrada vode bila uspješna, vrlo je važno mjeriti koncentraciju otopljenog kisika u vodi koji je potreban za oksidaciju željeznih i manganovih spojeva i rad bakterija za uklanjanje amonijaka.

Koncentracija otopljenog kisika u vodi prije filtracije kreće se od 15 mg/L O<sub>2</sub> za zdence Z2, Z3 do 21 mg/L O<sub>2</sub> za zdence Z4 i Z5. Koncentracija kisika na ulazu se podešava tako da ona na izlazu ne padne ispod 4 mg/L kako ne bi došlo do stvaranja anaerobnih uvjeta unutar filtarske ispune. Iz dobivenih rezultata mjerenja kroz 3 mjeseca vidljivo je da je koncentracija kisika u vodi na izlazu iz filtera od 4 do 6 mg/L O<sub>2</sub>.

Sirova voda na vodocrpilištu Davor opterećena je povišenim koncentracijama željeza, mangana i amonijaka. Iz mjerenih rezultata vidljive su male razlike u koncentracijama ovisno o tome iz kojih se zdenaca voda crpi.

Grafički prikaz (Slika 16) prikazuje koncentraciju željeza u sirovoj vodi koja se kreće od 1,509 do 2,117 mg Fe/L. Najviše izmjerena koncentracija željeza u sirovoj vodi bila je (29.06.2018.) te je iznosila 2,117 mg Fe/L, mjerilo se na Z4 i Z5 te nakon prerade pala je na vrijednost 0,082 mg Fe/L na MDK koje odgovaraju Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN 125/17).



Slika 16. Grafički prikaz koncentracije željeza u sirovoj i obrađenoj vodi u periodu od 12.06.2018. do 12.09.2018.

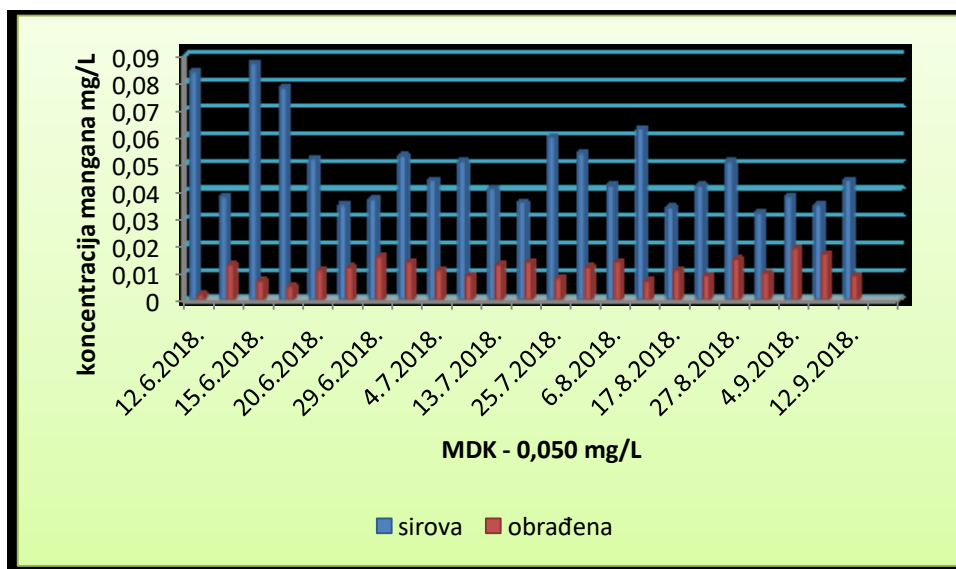
Grafički prikaz (Slika 16) pokazuje lagani pad koncentracije željeza u sirovoj vodi, a razlog tome je prelazak na zdence Z2 i Z3 u periodu od (06.08.2018.) do (12.09.2018.).

Najmanja izmjerena koncentracija željeza u obrađenoj vodi iznosi 0,041 mg Fe/L, mjerena na Z5 (15.06.2018.), najviše izmjerena koncentracija iznosi 0,083 mg Fe/L mjerena na Z4,Z5 (20.07.2018.) i sukladne su MDK važećeg pravilnika.

Maksimalno dozvoljena koncentracija za željezo prema važećem pravilniku iznosi 0,200 mg/L.

Najmanja koncentracija mangana (Slika 17) u sirovoj vodi izmjerena (30.08.2018.) na Z2 i Z3 bila je 0,032 mg Mn/L, a najviše izmjerena koncentracija mangana bila je 0,087 mg Mn/L (15.06.2018.) na Z5 i nakon prerade uspješno se skida i pada na MDK dopuštene vrijednosti koje odobrava važeći pravilnik.

Maksimalno dozvoljena koncentracija za mangan prema važećem pravilniku iznosi 0,050 mg/L.

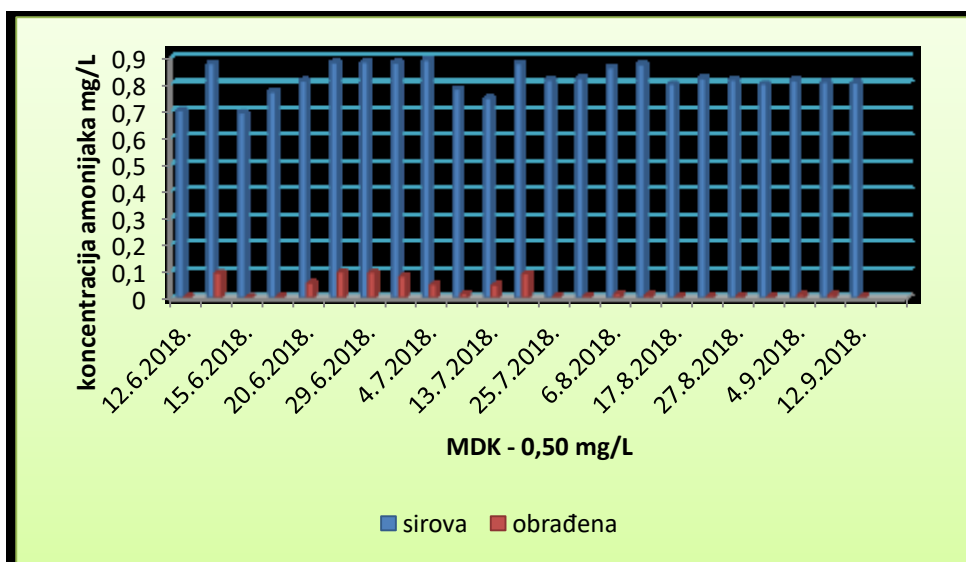


Slika 17. Grafički prikaz koncentracije mangana u sirovoj i obrađenoj vodi u periodu od 12.06.2018. do 12.09.2018.

Najmanja koncentracija mangana u obrađenoj vodi je 0,002 mg/L Mn mjereno (12.06.2018.) na Z5, najviše izmjerena koncentracija mangana iznosi 0,019 mg/L Mn, mjereno na zdencima Z2 i Z3 (04.09.2018.)

Najviše izmjerena koncentracija amonijaka u sirovoj vodi zabilježena je 0,890 mg  $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$  (04.07.2018.) na Z4 i Z5, a najmanje izmjerena koncentracija amonijaka u sirovoj vodi iznosila je 0,693 mg  $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$  (15.06.2018.) na Z5 te nakon prerade vode uspješno se uklanjaju povišene koncentracije amonijaka do dopuštenih vrijednosti prema važećem pravilniku.





Slika 18. Grafički prikaz koncentracije amonijaka u sirovoj i obrađenoj vodi u periodu od 12.06.2018. do 12.09.2018.

Najniža izmjerena koncentracija amonijeva iona izmjerenog u obrađenoj vodi iznosi 0,004 mg  $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$  mjereno (15.06.2018.) na Z5, a najviše izmjerena koncentracija amonijeva iona iznosi 0,098 mg  $\text{NH}_4^+\text{-N/L}$  (27.06.2018.) mjereno na Z4 i Z5. Prema važećem pravilniku MDK za amonijev ion iznosi 0,50 mg/L.

## 5. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobivenih rezultata koji su se proveli tokom tri mjeseca ispitivanja na Z2, Z3, Z4 i Z5 u postrojenju za prerade vode vodocrpilišta Davor, može se zaključiti sljedeće:

- ❖ u sirovoj vodi prije obrade; izmjerene vrijednosti željeza su od 1,509 do 2,117 mg/L što je 7 do 10 puta više od MDK koja je 0,200 mg/L, izmjerene vrijednosti mangana kreću se od 0,032 do 0,087 mg/L MDK je 0,050 mg/L, za amonijak izmjerene vrijednosti u sirovoj vodi su od 0,693 do 0,890 mg/L što je također znatno iznad MDK koja je 0,50 mg/L te se zbog navedenih povišenih vrijednosti željeza, mangana i amonijaka voda obavezno mora obraditi prije uporabe
- ❖ postrojenje za preradu vode je vrlo učinkovito jer u velikom postotku uklanja koncentracije mjernih parametara, željezo od 95,79 % do 98,43 %, mangan od 61,10 % do 97,61 % i amonijak od 88,86 % do 99,39 %
- ❖ manji protok kroz filtere rezultira boljom učinkovitošću prerade
- ❖ svi određivani parametri u obrađenoj vodi su unutar MDK koje su propisane Pravilnikom o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN 125/17)
- ❖ na temelju analiza provedenih u razdoblju od 12.06.2018. do 12.09.2018. godine na vodocrpilištu Davor, može se zaključiti da se stanovništvo zapadne Slavonije opskrbljuje vodom koja je zdravstveno ispravna

## 6. LITERATURA

1. Bilješke iz Vodovoda zapadne Slavonije d.o.o.
2. Bolleter, W.T.; Bushmani, C.J.; Tidwell, P.W. (1961) Spectrophotometric Determination of Ammonia as Indophenol. *Anal.Chem.*, 33, str. 592-594
3. Goto, K. et. al. (1977) Spectrophotometric determination of manganese with 1-(2-pyridylazo) -2- naptol and nanionic surfactant. *Talanta.*, 24, str. 752-753
4. Gulić, I. (2003) *Kondicioniranje vode*. Zagreb: HSGI.
5. Mijatović, I. i Matošić, M. (2018) *Tehnologija vode ( interna skripta)*. 2. dopunjeno izd. Zagreb: Prehrambeno – biotehnološki fakultet sveučilišta u Zagrebu.
6. Stookey, L.L. (1970) Ferrozine-a new spectrophotometric reagent for iron. *Anal.Chem.*, 42, str. 779-781
7. Šimunić, I. (2013) *Uređenje voda*. Zagreb: Hrvatska sveučilišna naklada.
8. Tedeschi, S. (1997) *Zaštita voda*. Zagreb: HDGI

### Zakoni i pravilnici

9. Narodne novine (2017) *Pravilnik o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe*. Zagreb: Narodne novine d.d., 125, str. 2848
10. Narodne novine (2015) *Pravilnik o prirodnim mineralnim, prirodnim izvorskim i stolnim vodama*. Zagreb: Narodne novine d.d., 48, str. 943
11. Narodne novine (2018) *Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o vodi za ljudsku potrošnju*. Zagreb: Narodne novine d.d., 115, str. 2258

### Mrežne stranice:

12. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=2324> [pristup: 26.02.2019.]
13. <https://www.hach.com/> [pristup:17.04.2019.]
14. <https://www.h2odistributors.com/pages/contaminants/contaminant-nitrite.asp> [pristup:12.04.2019.]
15. <http://www.purewateroccasional.net/wtiammonia.html> [pristup:12.04.2019.]

16. <https://hr.wikipedia.org/wiki/Amonijak> [pristup: 26.02.2019.]
17. <https://hr.wikipedia.org/wiki/Mangan> [pristup:12.04.2019.]
18. <https://bs.wikipedia.org/wiki/Voda> [pristup:16.02.2019.]
19. <https://hr.wikipedia.org/wiki/Voda> [pristup:16.02.2019.]
20. <https://bs.wikipedia.org/wiki/%C5%BDeljezo> [pristup:12.04.2019.]

## POPIS TABLICA, SLIKA I KRATICA

Tablica 1. Rezultat mjerenja kisika na filteru 1, filteru 2 i filteru 3 u periodu od 12.06.2018 do 12.09.2018. u postrojenju za preradu vode vodocrpilišta Davor

Slika 1. Struktura molekule vode (Wikipedia, url)

Slika 2. Oblik željeza u vodi u ovisnosti o redoks potencijalu i pH-vrijednosti vode (Mijatović i Matošić, 2018)

Slika 3. Shematski prikaz biološkog uklanjanja željeza i mangana (Mijatović i Matošić, 2018)

Slika 4. Shematski prikaz tehnološkog procesa prerade sirove vode na vodocrpilištu Davor (izvor: autor)

Slika 5. Satelitska snimka položaja zdenaca u Davoru (Izvor: Bilješke iz Vodovoda zapadne Slavonije d.o.o)

Slika 6. Spremnik kisika (izvor: autor)

Slika 7. Rotametri za doziranje tekućeg kisika (izvor: autor)

Slika 8. Računalni sustav za nadzor i upravljanje SCADA (izvor: autor)

Slika 9. Filtar i pneumatski ventili (izvor: autor)

Slika 10. Kvarcni pijesak i aktivni ugljen (izvor: autor)

Slika 11. Otpremne crpke (izvor: autor)

Slika 12. Klorinator (izvor: autor)

Slika 13. Spektrofotometar (izvor: autor)

Slika 14. Gotovi testovi za mjerenje koncentracije željeza u ulaznoj sirovoj vodi LCW O21 (izvor: autor)

Slika 15. Kiveta sa uzorkom sirove vode i sadržajem željeza (izvor: autor)

Slika 16. Grafički prikaz koncentracije željeza (mg Fe/L) u sirovoj i obrađenoj vodi u periodu od 12.06.2018. do 12.09.2018.

Slika 17. Grafički prikaz koncentracije mangana (mg Mn/L) u sirovoj i obrađenoj vodi u periodu od 12.06.2018. do 12.09.2018.

Slika 18. Grafički prikaz koncentracije amonijaka ( $\text{mgNH}_4^+$ - N/L) u sirovoj i obrađenoj vodi u periodu od 12.06.2018. do 12.09.2018.

❖ BPK<sub>5</sub> – Biokemijska potrošnja kisika

Z2 – zdenac dva, Z3 – zdenac tri, Z4 – zdenac četiri, Z5 – zdenac pet

HACCP – (*Hazard Analysis and Critical Control Point*) Analiza opasnosti i kritične kontrolne točke

NTU – (*Nephelometric Turbidity Units*) Nefelometrijske jedinice mutnoće

❖ MDK – Maksimalno dopuštena koncentracija

❖ SRK – Koncentracija slobodnog rezidualnog klora

## IZJAVA O AUTORSTVU RADA

Ja, **Marina Švađumović**, pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor završnog/diplomskog rada pod naslovom: **Uklanjanje mangana, amonijaka i željeza iz sirove vode na vodocrpilištu Davor** te da u navedenom radu nisu na nedozvoljen način korišteni dijelovi tuđih radova.

U Požegi, \_\_\_\_\_

Ime i prezime studenta:

\_\_\_\_\_



