

Tehnologija prerade i kvaliteta vode za ljudsku potrošnju grada Slavonskog Broda

Hećimović, Dubravka

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, FACULTY OF FOOD TECHNOLOGY / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:109:296397>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#) / [Imenovanje-Nekomercijalno-Dijeli pod istim uvjetima 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-12**

REPOZITORIJ

PTF OS

PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Food Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK**

Dubravka Hećimović

**TEHNOLOGIJA PRERADE I KVALITETA VODE ZA LJUDSKU
POTROŠNJU GRADA SLAVONSKOG BRODA**

DIPLOMSKI RAD

Osijek, rujan 2022.

Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku
Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek
Zavod za primijenjenu kemiju i ekologiju
Katedra za ekologiju i toksikologiju
Franje Kuhača 18, 31000 Osijek, Hrvatska

Diplomski sveučilišni studij Prehrambeno inženjerstvo**Znanstveno područje:** Biotehničke znanosti**Znanstveno polje:** Prehrambena tehnologija**Nastavni predmet:** Tehnologija vode i obrada otpadnih voda**Tema rada** je prihvaćena na XI. redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek u akademskoj godini 2020./2021. održanoj 14. rujna 2021.**Mentor:** prof. dr. sc. *Mirna Habuda-Stanić***Pomoć pri izradi:** *Zdravko Pavlić*, dipl. ing.**Tehnologija prerade i kvaliteta vode za ljudsku potrošnju grada Slavonskog Broda***Dubravka Hećimović, 0113137874*

Sažetak: Voda je višenamjenski resurs nužan za život svih živih bića. Voda koja se koristi za ljudsku potrošnju mora biti zdravstveno ispravna, odnosno ne smije sadržavati patogene mikroorganizme, toksine ili štetne tvari. Često voda ima različit mikrobiološki i kemijski sastav koji uvjetuje okolina iz koje se voda zahvaća. U cilju isporuke zdravstveno-ispravne vode za ljudsku potrošnju, nužno je osigurati kvalitetu vode propisanu zakonskom regulativom primjenom pojedinih metoda prerade. Pri tome se najčešće primjenjuje filtracija, taloženje, koagulacija i flokulacija, dezinfekcija i mekšanje vode. U ovom radu prikazani su procesi prerade vode za ljudsku potrošnju grada Slavonskog Broda. Proces započinje crpljenjem podzemne vode na vodocrpilištu Jelas a zatim prerađuje u pogonu. Voda se crpi iz pet bunara, od kojih svaki ima kapacitet 50 l/s. Sirovu podzemnu vodu vodocrpilišta Jelas karakteriziraju povišene koncentracije amonijaka, mangana, sumporovodika i željeza te je vodu prije isporuke potrošačima nužno preraditi. U tu svrhu podzemna sirova voda vodocrpilišta Jelas prolazi sustav tehnološke prerade koji se sastoji od DUAL – MEDIA filtracije, filtracije filtrima s aktivnim ugljenom te ozonizacije vode.

Ključne riječi: voda za ljudsku potrošnju, filtracija, filter, ozonizacija, dezinfekcija, Slavonski Brod**Rad sadrži:** 49 stranica
23 slika
6 tablica
1 priloga
13 literaturnih referenci**Jezik izvornika:** Hrvatski**Sastav Povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada i diplomskog ispita:**

- | | |
|--|---------------|
| 1. izv. prof. dr. sc. <i>Dajana Gašo-Sokač</i> | predsjednik |
| 2. prof. dr. sc. <i>Mirna Habuda-Stanić</i> | član-mentor |
| 3. prof. dr. sc. <i>Daniela Čačić Kenjeric</i> | član |
| 4. doc. dr. sc. <i>Valentina Bušić</i> | zamjena člana |

Datum obrane: 9. rujna 2022

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u Knjižnici Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.

BASIC DOCUMENTATION CARD

GRADUATE THESIS

University Josip Juraj Strossmayer in Osijek
Faculty of Food Technology Osijek
Department of Applied Chemistry and Ecology
Subdepartment of Ecology and Toxicology
Franje Kuhača 18, HR-31000 Osijek, Croatia

Graduate program: Food engineering

Scientific area: Biotechnical sciences

Scientific field: Food technology

Course title: Water technology and wastewater treatments

Thesis subject was approved by the Faculty of Food Technology Osijek Council at its session no. XI held on September 14, 2021.

Mentor: Mirna Habuda – Stanić, PhD, full professor

Technical assistance: Zdravko Pavlič, *dipl.ing.*

Treatment and quality of water for human consumption in the town of Slavonski Brod **Dubravka Hećimović, 0113137874**

Summary: Water is a multipurpose resource, which is necessary for the life of all living beings. Water used for human consumption must be wholesome and clean, respectively it must not contain microorganisms, toxins, or harmful substances. Water often has various microbiological and chemical compositions because it contains substances that get into it from the soil or atmosphere. In order to provide people with wholesome and clean water, we implement numerous purification methods. The most common water treatment methods are filtration, sedimentation, coagulation and filtration, disinfection, and water softening. This paper presents the processes of drinking water treatment in the city of Slavonski Brod. Jelas water pumping station draws and processes groundwater for human consumption. As a source, it uses five wells, each of which has a capacity of 50 l/s. Raw water from the Jelas pumping station has increased concentrations of ammonia, manganese, hydrogen sulfide, and iron. For this reason, certain parameters are monitored daily after certain stages of water treatment. Processing underground raw water from the Jelas pumping station is carried out by DUAL – MEDIA filtration, filtration with activated carbon filters, and previous ozonation of water.

Key words: water for human consumption, treatment, filtration, filter, ozonation, disinfection, Slavonski Brod

Thesis contains: 49 pages
23 figures
6 tables
1 supplements
13 references

Original in: Croatian

Defense committee:

- | | |
|--|--------------|
| 1. Dajana Gašo - Sokač, associate professor | chair person |
| 2. Mirna Habuda – Stanić, PhD, full professor | supervisor |
| 3. Daniela Čačić Kenjerić, PhD, full professor | member |
| 4. Valentina Bušić, assistant professor | stand-in |

Defense date: September 9, 2022

Printed and electronic (pdf format) version of thesis is deposited in Library of the Faculty of Food Technology Osijek, Franje Kuhača 20, Osijek.

Sadržaj

1. UVOD	1
2. TEORIJSKI DIO	3
2.1. VODA	4
2.2. POSTUPCI PRERADE VODE ZA LJUDSKU POTROŠNJU	7
2.3. SUSTAV VODOOPSKRBE GRADA SLAVONSKOG BRODA	11
2.4. TEHNOLOGIJA PRERADE VODE ZA LJUDSKU POTROŠNJU GRADA SLAVONSKOG BRODA	12
2.5. LINIJA PRERADE VODE	15
2.5.1. Ulaz sirove vode u proces prerade	15
2.5.2. Predozonizacija vode	15
2.5.3. Filtracija vode	16
2.5.4. Ozonizacija vode.....	17
2.5.5. Filtracija vode na aktivnom ugljenu	19
2.5.6. Dezinfekcija vode	20
2.5.7. Korekcija pH vrijednosti	21
2.5.8. Vodosprema prerađene vode	22
2.6. LINIJA OBRADJE MULJA	22
3. EKSPERIMENTALNI DIO	24
3.1. ZADATAK	25
3.2. MATERIJAL I METODE	26
3.2.1. Određivanje mutnoće vode	26
3.2.2. Određivanje električne vodljivosti	26
3.2.3. Određivanje koncentracije vodikovih iona - pH vrijednosti	27
3.2.4. Određivanje apsorbicije na 254 nm (UV ₂₅₄)	28
3.2.5. Određivanje koncentracije klorovih spojeva	28
3.2.6. Određivanje koncentracije ukupnog željeza	29
3.2.7. Određivanje koncentracije mangana.....	30
3.2.8. Određivanje koncentracije amonijaka	30
3.2.9. Određivanje koncentracije nitrata.....	30
3.2.10. Određivanje koncentracije nitrita.....	31
3.2.11. Određivanje utroška KMnO ₄	31
3.2.12. Određivanje koncentracije klorida	32
4. REZULTATI I RASPRAVA	33
4.1. KVALITETA PODZEMNE VODE VODOCRPILIŠTA JELAS	35
4.2. KVALITETA VODE NAKON DUAL – MEDIA FILTRACIJE	37
4.3. KVALITETA VODE NAKON FILTRACIJE NA AKTIVNOM UGLJENU	40
4.4. KVALITETA VODE U VODOSPREMI	42
5. ZAKLJUČCI	45
6. LITERATURA	48

Popis oznaka, kratica i simbola

ACF	Filtracija aktivnim ugljenom
DMF	DUAL – MEDIA filtracija
NTU	Nefelometrijska jedinica
DPD	Metoda na instrumentu Dulcotest
EDTA	Etilendiamintetraoctena kiselina
AAS	Atomsko – apsorpcijska spektrofotometrija
MDK	Maksimalna dopuštena količina

1. UVOD

Voda je najrasprostranjeniji i najvažniji kemijski spoj važan za život svih živih bića. Na Zemlji je ukupno 1,4 milijarde km³ vode, od čega slanu vodu čini 97,5 %, slatku vodu 2,5 %. Od ukupne količine slatke vode na Zemlji, samo 1 % predstavlja vodu dostupnu za ljudsku upotrebu. Danas, više nego ikada ranije u povijesti civilizacije, ljudi su postali svjesni važnosti vode i njene dostupnosti. Globalna potražnja za vodom raste iz godine u godinu uslijed porasta ukupnog broja stanovnika na zemlji, urbanizacije te industrijalizacije. Voda također ima značajnu ulogu u poljoprivrednoj i industrijskoj proizvodnji, ali i u kulturnom i gospodarskom razvoju svake države. Uz navedeno, čovjek vodu koristi i za prijenos energije te kao transportno sredstvo. Sve navedeno često uzrokuje zagađenje voda i okoliša. Voda koju koristimo za ljudsku potrošnju potječe iz površinskih ili podzemnih vodotokova. U cilju postizanja i distribucije zdravstveno ispravne vode, primjenjuju se pojedine tehnologije prerade i pročišćavanja voda [1].

Voda za ljudsku potrošnju je zdravstveno ispravna voda koja je, u svome prvobitnom stanju ili nakon obrade, namijenjena za piće, preradu i pripremu hrane, kuhanje ili druge kućanske namjene neovisno o njenom podrijetlu, kao i sva voda koju subjekti u poslovanju s hranom koriste za preradu, proizvodnju ili konzerviranje hrane. Također zdravstveno ispravna voda za ljudsku potrošnju ne smije sadržavati parazite ili njihove razvojne oblike, patogene mikroorganizme ili štetne tvari u koncentracijama koje predstavljaju opasnost za ljudsko zdravlje. Kvaliteta vode koja se distribuira potrošačima putem javne vodoopskrbe mora biti u skladu s odredbama 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 125/2017) [2].

Grad Slavonski Brod je, s približno pedeset tisuća stanovnika, šesti je po veličini grad u Republici Hrvatskoj i glavno središte Brodsko-posavske županije. Stanovništvo grada Slavonskog Broda vodom se snabdijeva putem javne vodoopskrbne mreže koja započinje zahvatima podzemne vode na izvorima plitko kopanih bunara vodocrpilišta „Jelas“. Podzemnu vodu navedenog crpilišta karakteriziraju povećane količine željeza, nitrita i anorganskog amonijaka te povremeno povećani broj patogenih mikroorganizama.

U ovom diplomskom radu opisan je tehnološki sustav te analitičke metode kojima se stanovnicima Slavonskog Broda svakodnevno osigurava zdravstveno ispravna vode za ljudsku potrošnju.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. VODA

Voda prekriva oko 71 % Zemljine površine, od čega je 97,5 % slana voda, a 2,5 % slatka voda. Najveći dio slatke vode je zamrznut na polovima i ljudima je nedostupan, ostatak vode čine površinski i podzemni vodotokovi. Ljudi vodu koriste u različite namjene, za piće, čišćenje, higijenu, za industrijsku proizvodnju, dok se najveće količine vode koriste za poljoprivrednu proizvodnju.

Vodu prisutnu u prirodi dijelimo u sljedeće kategorije:

- atmosferska voda,
- podzemna voda i
- površinska voda [3].

Atmosferska voda je voda prisutna u Zemljinoj atmosferi. Može biti u obliku pare ili kondenzirana u tekućem ili krutom agregatnom stanju (kiša, snijeg). Prema udjelu otopljenih mineralnih tvari, atmosferska voda se ubraja u meke vode zbog male prisutnosti kalcijevih i magnezijevih soli. Kemijski i mikrobiološki sastav atmosferske vode ovisi o sastavu zraka u kojem se nalazi te o vrsti i stanju površine na koju precipitira. Može biti iznimno visoke kakvoće, te je za upotrebu takove vode dovoljna primjena filtracije i dezinfekcije vode.

Površinske vode dijelimo na tekućice (rijeke i potoci) i stajaćice (močvare, bare, jezera).

Površinske vode su tvrđe od atmosferske, odnosno, oborinske vode. Jedan dio površinskih voda potječe iz atmosfere, dok drugi dio potječe od podzemnih voda. Površinsku vodu opisuju promjene u kemijskom, fizikalnom i mikrobiološkom sastavu. Površinska voda se najčešće izbjegava kao sirovina za preradu jer je tehnološki postupak puno zahtjevniji uslijed čestih promjena vrijdnosti najvažnijih procesnih parametara [3].

Podzemnu vodu najčešće koristimo kao sirovinu pri preradi vode za ljudsku potrošnju, a zahvaća se na prirodnim izvorima ili iz bušenih bunara. Podzemnu vodu karakterizira uravnotežen kemijski i mikrobiološki sastav te ujednačena temperatura te povećani sadržaj mineralnih soli. Kemijski sastav i svojstva sirove vode ovise o vrsti tla s kojima voda dolazi u kontakt. Na količinu i vrstu onečišćenja vode utječu i sastav zemljišta kroz koji voda teče [3,4].

Tablica 1. Karakteristične vrijednosti kemijskih parametara površinskih i podzemnih voda [4]

Parametri	Površinske vode	Podzemne vode
Temperatura	Senzorski promjenjiva	Prilično ujednačena
Mutnoća	Promjenjiva, povremeno visoka	Niska ili nula
Obojenost	Povezana sa suspendiranim tvarima	Povezana s otopljenim čvrstim tvarima
Ukupni sadržaj mineralnih tvari	Promjenjiv, ovisi o padalinama i terenu	Prilično ujednačen
Fe ²⁺ i Mn ²⁺	Uglavnom vrlo nizak ili nula	Uglavnom prisutni
Agresivni CO ₂	Obično nula	Uglavnom prisutan u visokim količinama
Otopljeni CO ₂	Često blizu zasićenja	U većini slučajeva odsutan
H ₂ S	Obično nula	Često prisutan
Amonijak	Prisutan jedino u zagađenim vodama	Često prisutan
Nitrati	Prisutni u malim količinama	Ponekad prisutni u velikim količinama
SiO ₂	Prisutni u umjerenim količinama	Često prisutan visok sadržaj
Mikroorganizmi	Bakterije, virusi, planktoni	Često prisutne ferobakterije

Prema količini otopljenih tvari u vodi, voda može biti:

- tvrda
- meka.

Tvrde vode imaju velike količine otopljenih tvari, odnosno sadrže visoke koncentracije kalcijevih i magnezijevih soli. Tvrde vode su vode u podzemne vode. Prilikom zagrijavanja tvrde vode dolazi do stvaranja netopljivog kamenca uslijed čega posuđe, kuhala, cijevi bojlera i druge vrste površina gdje dolazi do izmjene topline treba često očistiti od nastalih naslaga kamenca.

Meke vode su vode koje sadrže male količine otopljenih tvari (kalcijevih i magnezijevih soli). U meke vode ubrajamo kišnicu koja ne sadrži otopljene soli i sadrži malu količinu otopljenih plinova. Ovisno o količini otopljenih tvari u vodi, razlikuje se i okus vode. Tako vode mogu imati slani, slatki, kiseli ili gorki okus.

Prema stupnju čistoće, vode se mogu podijeliti u sljedeće kategorije:

- sirova nepročišćena voda,
- čista, pročišćena voda,
- omekšana, djelomično ili potpuno demineralizirana voda,
- destilirana voda i
- otpadna, zagađena voda [4].

Prema namjeni, vodu dijelimo na:

- vodu za ljudsku potrošnju,
- vodu za kupanje,
- vodu za industrijsku namjenu i
- vodu za navodnjavanje poljoprivrednih površina [3].

Vodu za piće možemo svrstati u sljedeće kategorije:

- voda za ljudsku potrošnju,
- prirodna mineralna voda,
- prirodna izvorska voda i
- stolna voda [3].

Voda za ljudsku potrošnju podrijetlom je iz površinskih ili podzemnih vodnih tokova. Vodu podvrgavamo jednom ili više različitih tehnologija prerade u cilju poboljšanja njene kvalitete i zdravstvene ispravnosti. Izbor vrste procesa ovisi o izvornoj kvaliteti vode i prisustvu pojedinih tvari. U praksi se voda najčešće prerađuje primjenom filtracije, membranske filtracije, flotacije, taloženja, adsorpcije, koagulacije i flokulacije, ionske izmjene te obavezne dezinfekcije.

Pri obradi površinskih voda, najčešće se primjenjuje filtracija, taloženje, koagulacija i flokulacija te dezinfekcija, dok pri obradi podzemnih voda, ponekad je nužna primjena samo dezinfekcije vode, a u pojedinim slučajevima kao što su podzemne vode s visokim udjelima metalnih iona, nužna je primjena komplekse tehnologije obrade vode. Sastav podzemnih voda

istočne Hrvatske često zahtjeva primjenu nekoliko različitih tehnologija obrade vode kako bi se postigla zdravstvena ispravnost vode za ljudsku potrošnju.

Prirodna mineralna voda podrijetlom je iz zaštićenih podzemnih ležišta. Mineralne vode moraju biti bakteriološki ispravne, a karakterizira ih specifičan sastav i udio otopljenih mineralnih tvari. Zakonska regulativa dopušta primjenu pojedinih metoda obrade vode kojima je moguće ukloniti pojedine nestabilne kemijske elemente (arsen, mangan, sumpor, željezo, kisik, zrak) kao što je filtracija i oksidacija, dok je zabranjena primjena dezinfekcija vode.

Prirodna izvorska voda podrijetlom je također iz zaštićenih podzemnih ležišta. Voda na izvoru mora biti bakteriološki ispravna. Može sadržavati otopljene mineralne tvari u tragovima. Prirodnu izvorsku vodu treba karakterizirati konstantan sastav i temperatura, bez obzira na izdašnost izvora. Pri punjenju prirodne izvorske vode u ambalažu, dopuštena je primjena oksidacije i filtracije u svrhu uklanjanja nestabilnih elemenata (arsen, mangan, sumpor, željezo, kisik, zrak). Kao i kod prirodne mineralne vode, pri obradi prirodne izvorske vode nije dopuštena primjena ostalih tehnologija obrade vode, kao ni dezinfekcija.

Stolna voda se proizvodi iz vode za ljudsku potrošnju i to najčešće primjenom membranskih procesa. Nakon toga se doziraju soli (CaCl , CaCl_2 , CaCO_3 , MgCO_3 , MgSO_4 , NaCl , Na_2CO_2 , NaF , NaHCO_3 i Na_2SO_4) kako bi se postigao željeni okus stolne vode.

2.2. POSTUPCI PRERADE VODE ZA LJUDSKU POTROŠNJU

Vodu za ljudsku potrošnju, prije distribucije potrošačima, nužno je preraditi kako voda bila zdravstveno ispravna. Pri tome se u praksi primjenjuje nekoliko tehnoloških postupaka pri čemu odabir istog ovisi o fizikalno–kemijskom i mikrobiološkom sastavu sirove vode. U praksi se najčešće primjenjuju sljedeće metode: koagulacija i flokulacija, aeracija, mekšanje, taloženje, ionska izmjena, filtracija i dezinfekcija [5].

Koagulacija i flokulacija

Koagulacija i flokulacija je postupak koji se primjenjuje pri uklanjanju koloidnih čestica uz doziranje koagulanata. U prirodnim vodama najčešće koloidne čestice su:

-
- aluminosilikati,
 - gline,
 - humusne tvari,
 - koloidno dispergirana silikatna kiselina i
 - ulja i masti.

Koagulanti su sredstva za koagulaciju. To su najčešće metalne soli i to:

- aluminijev sulfat,
- natrijev aluminat,
- željezov klorid i
- željezov sulfat.

Učinkovitost obrade vode metodom koagulacije i flokulacije ovisi o sljedećim parametrima:

- alkalitet,
- mutnoća,
- pH,
- temperatura,
- tvrdoća vode i
- slobodni CO₂.

Proces obrade vode metodom koagulacije i flokulacije temelji se na neutralizaciji naboja koloidnih čestica koji omogućuje njihovu stabilnu suspendiranost u prirodnim vodama. Nakon neutralizacije slijedi faza aglomeracije neutralnih čestica, tj. povezivanja čestica flokule koje se uslijed svojih dimenzija i mase lako talože i izdvajaju iz vode djelovanjem gravitacije ili filtracije [6].

Mekšanje vode

Mekšanje vode je postupak kojim iz vode uklanjamo otopljene soli koje čine tvrdoću vode, prije svega karbonatne soli magnezija i kalcija.

Mekšanje vode u praksi se najčešće provodi doziranje sljedećih kemikalija:

- vapno,
- natrijev hidroksid,
- natrijev karbonat i
- soli fosfatne kiseline.

Pri doziranju navedenih kemijskih spojeva, do mekšanja vode dolazi uslijed kemijskih reakcija kojima se topljive magnezijeve i kalcijeve soli prevode u njihove netopive oblike (CaCO_3 i Mg(OH)_2). Nastali kalcijev karbonat i magnezijev hidroksid se iz vode uklanjaju taloženjem te naknadnom filtracijom. Posljednjih godina, sve je češća primjena i membranske tehnologije u pripremi dekarbonizirane ili demineralizirane vode. Nakon mekšanja, ovisno o primjenjenoj metodi, dobiva se omekšana, demineralizirana ili dekarbonizirana voda koje se međusobno razlikuju udjelom ili potpuno uklonjenim solima iz vode [7].

Ionska izmjena

Ionska izmjena je postupak uklanjanja iona, odnosno proces vezanja iona iz otopine na kruti ionski izmjenjivač koji otpušta jednaku količinu iona istovrsnog naboja. Ionska izmjena provodi se pomoću ionskih izmjenjivača ili ionskih smola koje dijelimo prema porijeklu na organske i anorganske, a prema vrsti protuiona koje vežu, na anionske i kationske [8].

Filtracija

Filtracija je jedan od najstarijih postupaka obrade vode kod kojeg se učinak pročišćavanja temelji na poroznosti medija kroz koji voda protječe. Cilj filtracije je :

- uklanjanje flokula iz vode,
- uklanjanje taloga koji nastaje nakon mekšanja vode,
- uklanjanje taloga hidroksida koji nastaju uklanjanjem spojeva Mn i Fe iz vode i
- uklanjanje netopljive čvrste tvari organskog ili anorganskog podrijetla.

Kao filtracijski medij najčešće se koristi kvarci pijesak koji može biti različite granulacije. Ovisno o vrsti materijala koji se koristi, filtracija može biti jednoslojna ili višeslojna, a uz pijesak, kao filtracijski materijal često se koristi i:

- aktivni ugljen,
- drobljeni antracit,

kamen tučenac te

- umjetni materijali [9].

Dezinfekcija

Dezinfekcija je obavezan postupak prerade vode kojim se uništavaju bakterije i virusi, a provodi se s ciljem sprječavanja prenošenja bolesti vodom. Dezinfekcija vode može se provoditi primjenom kemijskih i fizikalnih metoda. Kemijske metode čine jod, klor i njegovi spojevi, ozon i srebro, dok su fizikalne metode toplina, ultrazvuk, membranska filtracija i ultravioletno zračenje.

Svi navedeni postupci dezinfekcije vode imaju određene prednosti i nedostatke. Primjenom kemijskih metoda dezinfekcije najčešće se ostvaruje obavezni rezidualni dezinfekcijski učinak u vodoopskrbnoj mreži, dok je najčešći nedostatak nastanak štetnih dezinfekcijskih nusprodukata. Kod primjene fizikalnih načina dezinfekcije vode izostaje nastanak štetnih dezinfekcijskih nusprodukata, no nakon prolaska vode kroz proces prerade ne postoji naknadni dezinfekcijski učinak u vodovodnoj mreži gdje se voda zbog veličine sustava, starosti materijala i samog sastava vode, može ponovno onečistiti mikroorganizmima.

2.3. SUSTAV VODOOPSKRBE GRADA SLAVONSKOG BRODA

Opskrba grada Slavanskog Broda vodom za ljudsku potrošnju temelji se na zahvaćanju podzemne vode iz plitko kopanih bunara i vodozahvata otvorenih vodotoka koju karakteriziraju povećane koncentracije željeza, nitrita i anorganskog amonijaka, a često se pojavljuje i povećan broj mikroorganizama.

Organizirana usluga vodoopskrbe u Slavanskom Brodu započinje 1959.godine kada tadašnja gradska uprava osniva tvrtku „Gradski vodovod u izgradnji“ u cilju organiziranog zahvaćanja i prerade podzemne vode te njene distribucije stanovnicima Slavanskog Broda. Provedena su hidrogeološka istraživanja na nekoliko lokacija te je utvrđeno da je za izgradnju vodocrpilišta najpovoljnija lokacija na Jelas polju. Izbušena su i kaptirana četiri bunara, a prve količine vode potekle su iz novoizgrađenog gradskog vodovoda 1. svibnja 1963. godine. U isto vrijeme započinje i organizirano praćenje kvalitete i zdravstvene ispravnosti vode koju tada nadzire Laboratorij vodovoda i Medicinski centar – Slavanski Brod [10].

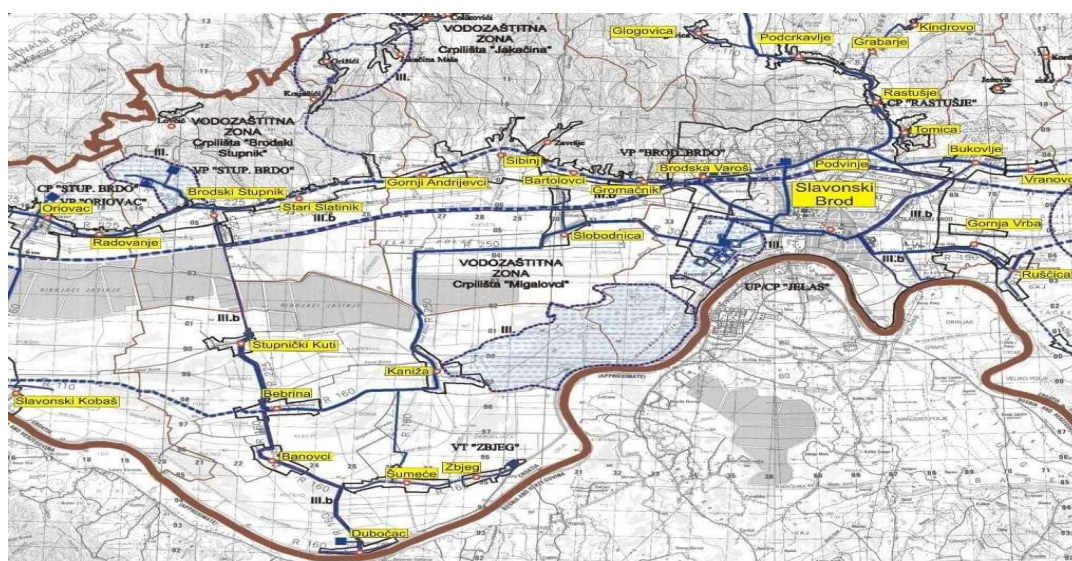
Danas tvrtka Vodovod d.o.o. Slavanski Brod distribuira vodu za ljudsku potrošnju putem dvije zone opskrbe i to: ZO Sikirevci Zapad i ZO Slavanski Brod. Obje zone pokrivaju određene dijelove grada pri čemu južni dio Slavanskog Broda dobiva vodu s vodocrpilišta Jelas, dok se sjeverni dio Slavanskog Broda opskrbljuje vodom s vodocrpilišta Sikirevci. Vodovodna mreža na području grada je prstenaste strukture, dok se prema periferiji grada mreža širi u razgranatu strukturu. Mjesta smještena istočno i sjeverno od Slavanskog Broda dobivaju vodu s vodocrpilišta Sikirevci [10].

Prosječna količina vode koja se crpi na vodocrpilištu Sikirevci za potrebe grada Slavanskog Broda iznosi 140 l/s. Voda se zahvaća na tri zdenca (ZS-6, ZS-7 i ZS-8). Sirova podzemna voda na vodocrpilištu Sikirevci iznimne je kvalitete i ne zahtjeva dodatnu preradu. Tijekom višegodišnjeg crpljenja i praćenja kvalitete vode uočeno je da je s vremenom crpljenja došlo dopovećanih izlaznih koncentracija mangana pri čemu koncentracija mangana u sirovoj vodi zdenca ZS-6 iznosi prosječno 65 µg/l, u vodi zdenca ZS-7 prosječno 35 µg/l, dok se u podzemnoj vodi zdenca ZS-8 bilježi najviša prosječna koncentracija mangana od 85 µg/l.

Prema Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN 125/2017) maksimalno dozvoljena koncentracija (MDK)

mangana u vodi iznosi 50 µg/l. Kako je dezinfekcija jedini tehnološki postupak prerade ove sirove vode, voda se iz zdenca ZS-8 ne koristi.

Vodom s vodocrpilišta Jelas snabdjeva se najveći dio grada Slavenskog Broda te 29 okolnih naselja. Sirova voda crpi se iz pet bunara u prosječnoj ukupnoj količini od 175 l/s. Za razliku od vode s vodocrpilišta Sikirevci, sirova voda s vodocrpilišta Jelas ima povećane koncentracije nekoliko parametara što zahtjeva primjenu više tehnoloških metoda obrade sirove vode.



Slika 1. Područje vodoopskrbe vodom s vodocrpilišta Jelas [11]

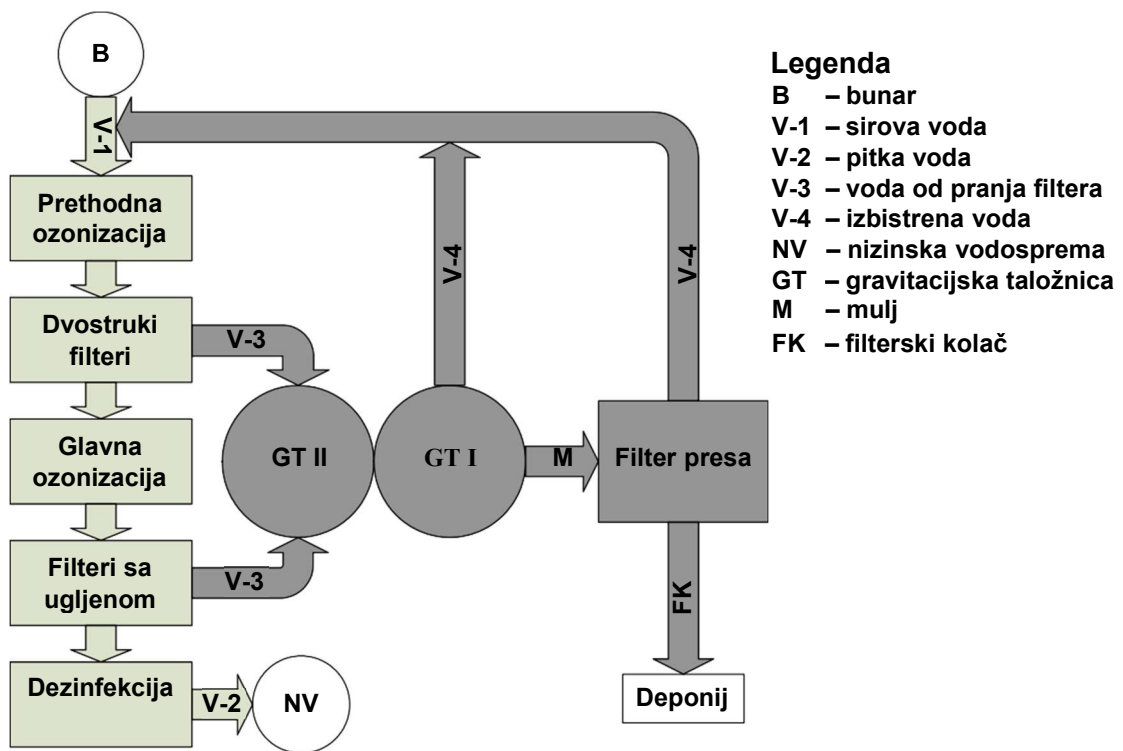
2.4. TEHNOLOGIJA PRERADE VODE ZA LJUDSKU POTROŠNJU GRADA SLAVONSKOG BRODA

Voda za ljudsku potrošnju koja se isporučuje stanovništvu grada Slavenskog Broda zbog povećanih koncentracija amonijaka, mangana, sumporovodika, željeza i organskih tvari. prije distribucije mora se preraditi kako bi bila u skladu s odredbama 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 125/2017). U cilju smanjenja koncentracije navedenih parametara, provodi se proces prerade koji podrazumijeva preradu sirove podzemne vode sljedećim tehnološkim postupcima:

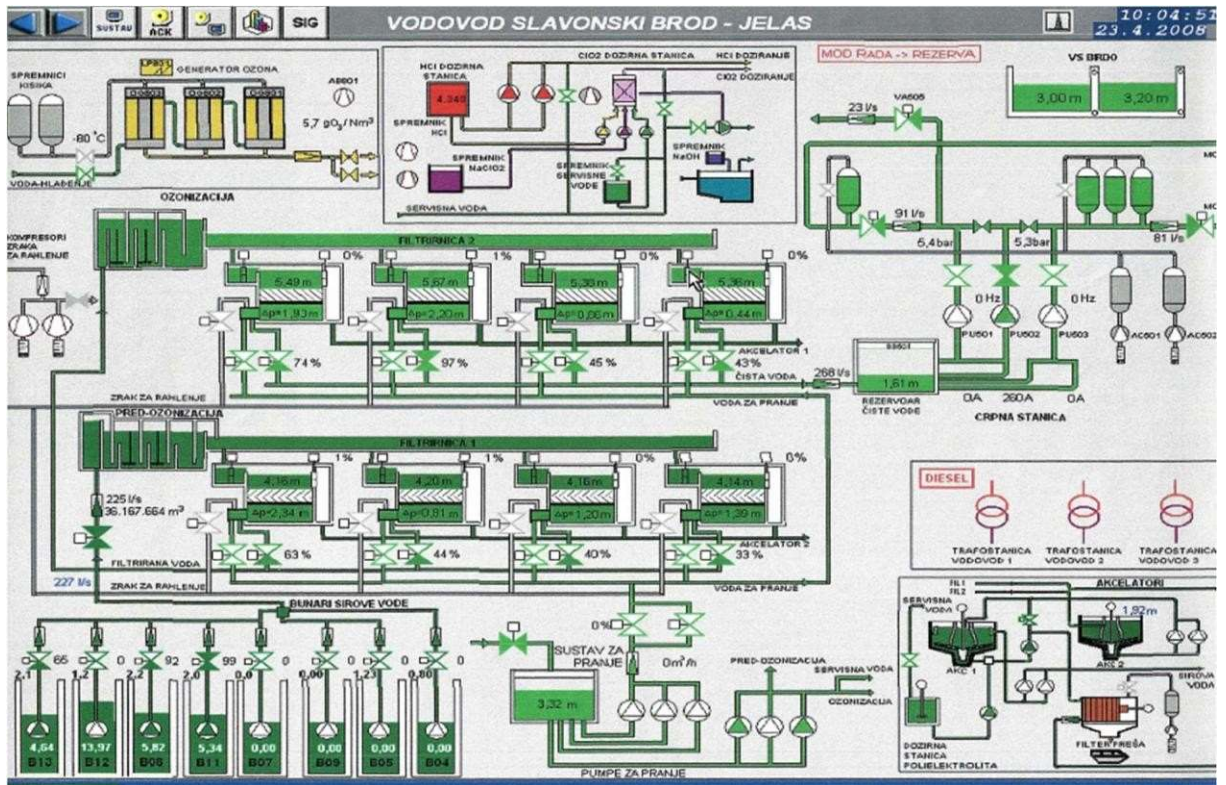
1. Crpljenje podzemne vode i dovođenje vode na uređaj za kondicioniranje,

2. predozonizacija,
3. filtracija kroz dvoslojne filtere (DM filtracija, pijesak + antracit),
4. glavna ozonizacija,
5. filtracija na aktivnom ugljenu (ACF - filtracija),
6. dezinfekcija obrađene vode klor dioksidom,
7. kontrola kvalitete vode po fazama prerade u laboratoriju [12].

Pogon za preradu sirove podzemne vode s crpilišta Jelas ima dvije tehnološke linije: liniju prerade sirove vode i liniju prerade mulja (Slika 2).



Slika 2. Shema tehnoloških procesa prerade sirove podzemne vode i mulja na uređaju tvrtke Vodovod d.o.o. Slavonski Brod [11]



Slika 3. Shema pogona za preradu vode na uređaju tvrtke Vodovod d.o.o. Slavonski Brod [11]



Slika 4. Pogonski objekt za preradu vode tvrtke Vodovod d.o.o. Slavonski Brod

2.5. LINIJA PRERADE SIROVE VODE

2.5.1. Ulaz sirove vode u proces prerade

Sirova podzemna voda se u pogon tvrtke Vodovod d.o.o. dovodi pomoću osam bunarskih crpki cjevovodom promjera 500 mm. Na ulazu pogona za prerade nalazi se mjerač protoka. Tijek procesa, količina vode u spremniku prerađene vode te potrošnja vode nadzire se pomoću glavnog kontrolnog centra [13].



Slika 5. Crpka za dovođenje sirove vode u pogon za preradu vode za ljudsku potrošnju tvrtke Vodovod d.o.o. Slavonski Brod

2.5.2. Predozonizacija vode

Proces prerade vode u pogonu tvrtke Vodovod d.o.o. Slavonski Brod započinje ulazom vode u pogon preko preljevne brane u spremnik za predozoniziranje. Prelaskom sirove vode preko preljevne brane provodi se aeracija podzemne vode kako bi se voda obogatila kisikom. Potom slijedi faza predozonizacije vode gdje se u vodu dozira tzv. ostatni plin iz procesa glavne ozonizacije. Ostatni plin čine kisik i preostali ozon. Komora za predozoniziranje vode je pravokutnog oblika, a vrijeme zadržavanja vode u spremniku za predozonizaciju je približno 10 minuta. Predozonizacijom se u sirovoj vodi povećava sadržaj kisika što uzrokuje oksidaciju u sirovoj vodi prisutnog mangana i željeza te nastaju flokule teško topljiva manganova i željezova hidroksida. Hlapive komponente sirove vode poput sumporovodika ili spojeva koji uzrokuju pojavu neugodnog okusa i/ili mirisa vode tijekom predozonizacije otplinjavaju se iz vode [13].



Slika 6. Regulaciono mjesto za dovod ozona i sirove vode u komoru za predozonizaciju u pogonu tvrtke Vodovod d.o.o. Slavonski Brod

2.5.3. Filtracija vode

Nakon predozonizacije vode, slijedi filtracija na četiri DUAL – MEDIA filtra (**Slika 7**). Ukupna površina filtarske površine iznosi 44 m². Filtarska polja smještena su u betonskim komorama pravokutnog oblika. Svaki filter napaja se vodom iz faze predozonizacije preko spojnog kanala. Regulacija ulaska vode na svako filtarsko polje provodi se pomoću zapornih ventila s električnim pokretanjem. Nakon ulaska, voda se ravnomjerno raspodjeljuje preko preljevne brane na sva četiri filtra. Proces filtracije odvija se kroz brzi gravitacijski dvoslojni filter [13].

Filtarska polja sastoje se od dva sloja filtracijskog medija. Prvi sloj visine 0,8 m čini hidroantracit granulacije 1,4 – 2,5 mm, dok drugi sloj, također visine 0,8 m, čini kvarcni pijesak granulacije 0,71 – 1,25 mm. Voda iz predozonizacije se dovodnim kanalom raspodjeljuje po filterskim poljima. Voda djelovanjem gravitacije prolazi kroz navedene slojeve filtarskog materijala pri čemu na površini filtra zaostaju flokule manganova i željezova hidroksida. Na sloju hidroantracita ujedno se odvija i biološka razgradnja u vodi prisutnih prirodnih organskih tvari. Nakon prolaska kroz filterska polja, profiltrirana voda se u cijevnoj galeriji (**Slika 8**) sabire u glavnu odvodnu cijev putem koje se voda odvodi na ozonizaciju [13].

Filtarske komore opremljene su odvodnim kanalima putem kojih se odvodi onečišćena voda koja nastaje tijekom protustrujnog pranja filtarskih polja. Odvodni kanali smješteni su u blizini gornjeg nivoa filtarskog materijala [13].



Slika 7. DUAL - MEDIA filtarska polja u pogonu tvrtke Vodovod d.o.o. Slavonski Brod



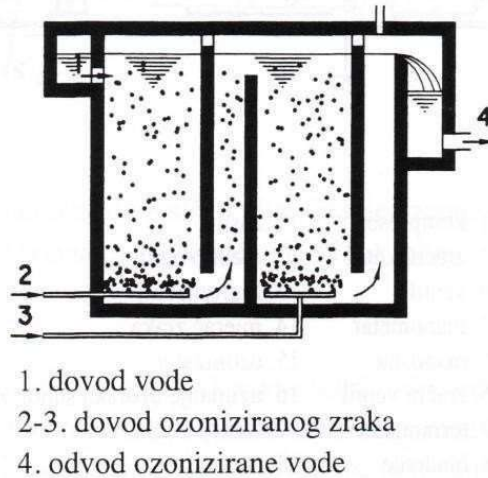
Slika 8. Cjevna galerija ispod filtarskih polja u pogonu tvrtke Vodovod d.o.o. Slavonski Brod

2.5.4. Ozonizacija vode

Nakon DUAL – MEDIA filtracije, voda odlazi u komoru za glavnu ozonizaciju. Ozon se u u pogonu tvrtke Vodovod d.o.o. Slavonski Brod generira iz kisika, kako bi se osigurala visoka koncentracija kisika i ozona nužna za oksidaciju mangana i željeza. Tijekom glavne ozonizacije nastaje tzv. „preostali plin“ koji sadži kisik i rezidualni ozon, a kako je prethodno navedeno, koristi se za predozonizaciju [13].

Generirani ozon se u fazi glavne ozonizacije u vodu uvodi pomoću difuzora. Ukoliko se smanji protok plina (kisika i ozona), komora za ozonizaciju sadrži ventil za zračnu ventilaciju. Pomoću njega se sprječava eventualni nastanak vakuum u komori. Komora za ozonizaciju je pravokutni spremnik podijeljen na tri dijela volumena 298 m³. Uz učinkovitu oksidaciju kemijskih spojeva prisutnih u vodi, tijekom glavne ozonizacije ostvaruje se i dezinfekcijski učinak ozona. Vrijeme

zadržavanja vode fazi glavne ozonizacije je 13 minuta, a koncentracija rezidualnog ozona O_3 je 0,5 mg/l [13].



Slika 9. Shematski prikaz komore za ozonizaciju vode u pogonu tvrtke Vodovod d.o.o. Slavonski Brod [13]

Tijekom uporabe čistog kisika za proizvodnju ozona, u vodi se povećava koncentracija kisika dva do tri puta u odnosu na koncentraciju zasićenja i početne vrijednosti. Nakon glavne ozonizacije, koncentracija otopljenog kisika u vodi je najčešće u rasponu od 15 do 25 mg O_2 /l. Za proizvodnju ozona se koristi čisti tekući kisik. On se skladišti u blizini ozon generatora i to u tekućem obliku. Tekući kisik se pomoću isparivača i uz primjenu smanjenog tlaka prevodi u plinovito stanje, a potom se uvodi u ozon generator [13].



Slika 10. Ozon generator u pogonu tvrtke Vodovod d.o.o. Slavonski Brod

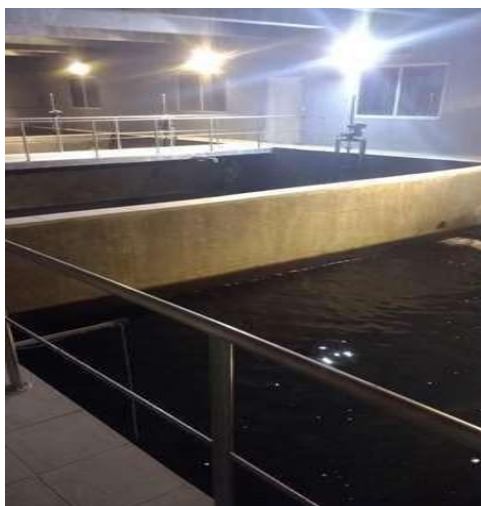


Slika 11. Spremnik tekućeg kisika u pogonu tvrtke Vodovod d.o.o. Slavonski Brod

Protok vode kroz glavnu ozonizaciju regulira se mjerenjem ulazne količine vode te kontrolom procesa. Proizvodnja ozona kontrolira se količinom, odnosno protokom vode koja ulazi u sustav i izlazi iz sustava. Ovisno o protoku vode, mijenja se i protok kisika kroz generator. Povezanošću ovih procesnih parametara, potrošnja kisika i energije je ekonomična i minimalna [13].

2.5.5. Filtracija vode na aktivnom ugljenu

Nakon glavne ozonizacije, voda se filtrira na filtrima s aktivnim ugljenom, čija je ukupna površina 44 m². Filtracija se odvija na četiri paralelna filterska polja (**Slika 12**). Svaki od tih filtera napaja se vodom koja dolazi iz faze glavne ozonizacije pomoću spojnog kanala. Nakon ulaska, voda se preko preljevne brane ravnomjerno raspodjeljuje na sva filterska polja. Filtri su izvedeni kao brzi gravitacijski filtri, a sadrže sloj biološkog aktivnog ugljena visine 2,5 m i granulacije 0,6 – 2,3 mm ispod kojeg se nalazi sloj šljunka visine 0,1 m. Kontaktno vrijeme aktivnog ugljena i vode je 22 minute.



Slika 12. Filtri s aktivnim ugljenom u pogonu tvrtke Vodovod d.o.o. Slavonski Brod

Tijekom filtracije vode na filtrima s aktivnim ugljenom dolazi do biološkog uklanjanja većine organskih spojeva koji su prethodno oksidirani tijekom glavne ozonizacije. Na filtrima s aktivnim ugljenom osim biološke aktivnosti, dolazi i do procesa oksidacije neoksidiranih tvari. Vijek rada filtra ovisi o kvaliteti dolazne vode i samog filterarskog materijala. S obzirom na kvalitetu ulazne sirove podzemne vode grada Slavenskog Broda, procjenjuje se da je radni vijek filterarskog materijala približno 20 godina.

Uslijed biološke aktivnosti filtra s aktivnim ugljenom, u vodi prisutan amonijak oksidacijom prelazi u nitrate, a nitriti se oksidiraju do nitrata. Oksidacija amonijaka važan je dio tehnološkog procesa i doprinosi kvaliteti vode u vodoopskrbnom sustavu. Naime, ukoliko se amonijak ne bi biološki razgradio, njegova prisutnost u vodi značajno bi povećala broj mikroorganizama u mreži. Procjenjuje se da je u navedenu svrhu, tijekom biološke razgradnje amonijaka potrebno osigurati $3,6 \text{ mg O}_2 / \text{mg NH}_4$.

2.5.6. Dezinfekcija vode

Nakon završetka faze filtracije vode na filtrima s aktivnim ugljenom, u vodu se dodaje klorov dioksid (ClO_2) u cilju stvaranja rezidualne koncentracije klora u vodi, odnosno naknadne dezinfekcije prerađene vode koja se odvija u vodoopskrbnoj mreži.

Klorov dioksid je plin oštrog mirisa i žućkaste boje, a proizvodi se na mjestu potrošnje reakcijom između natrijeva klorita (NaClO_2) i klorovodične kiseline (HCl) (**Slika 13**).

Jako je oksidacijsko sredstvo koje uklanja miris i boju. Može brzo i lako oksidirati soli željeza pri čemu nastaje netopljivi željezov hidroksid. Pri višim pH vrijednostima, oksidira i otopljeni mangan pri čemu nastaje netopljivi manganov dioksid. Doziranje klorova dioksida u vodu, 50 – 70 % ClO_2 prelazi u klorit, a ostatak prelazi u klor. Prednost primjene klorova dioksida, u odnosu na primjenu drugih dezinfekcijskih sredstava, je što klorov dioksid vrlo slabo reagira s prirodnim organskim tvarima te je nastanak štetnih dezinfekcijskih nusprodukata minimalan. Klorov dioksid u pogonu se dozira pomoću injektora najčešće u prosječnoj dozi od 0,4 mg/l [13].



Slika 13. Uređaj za proizvodnju i doziranje klorova dioksida u pogonu tvrtke Vodovod d.o.o. Slavonski Brod

2.5.7. Korekcija pH vrijednosti

Nakon doziranja klorova dioksida nužno je korigirati pH vrijednost izlazne vode. Prema Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN 125/2017), pH vrijednost vode za ljudsku potrošnju koja se distribuira potrošačima trebala bi biti u rasponu vrijednosti 6,5 – 9,5. Zbog toga se nakon doziranja klorova dioksida provodi provjera i korekcija pH vrijednosti vode doziranjem razrijeđenih otopina natrijeve lužine ili kloridne kiseline.

2.5.8. Vodosprema prerađene vode

Nakon podešavanja pH vrijednosti, voda se transportira u vodospremu pročišćene vode. Volumen vodospreme je 2000 m³.

Svrha vodospreme je:

- osigurati rezerve prerađene vode za ljudsku potrošnju
- osigurati kontinuiranu dostupnost jednakih količina vode za potrebe industrije i kućanstva,
- osigurati dovoljnu količinu i pritisak vode u vodoopskrbnoj mreži ukoliko dođe do požara te
- osigurati rezerve vode ukoliko dođe do prekida dotoka vode s crpilišta.

Vodosprema ima dva funkcionalna dijela: vodnu komoru i zasunsku komoru.

Vodna komora ima je prostor u kojem se sabire pročišćena voda za ljudsku potrošnju. Komora je pravokutnog oblika dobine do 4 m.

Zasunska komora se koristi za smještaj vodovodnih armaturta, preljeva, ispusta i indikatora razine vode. U zasunskoj komori nalazi se početak odvodnoga cjevovoda prema gradskoj vodovodnoj mreži [13].

2.6. LINIJA OBRADE MULJA

Svako filtrasko polje ima svoj radni period koji završava kada nečistoće zasite filtarsku površinu te dolazi do usporenog protoka vode te proboja nečistoća kroz filtarski materijal koji se manifestira pojavom mutnoće vode. U tom trenutku zatvara se dovod sirove vode na filtarska polja te protustrujnim puštanjem pročišćenje vode započinje faza pranja filtra. Tijekom pranja filtra nastaje muljevita otpadna voda s visokim udjelom onečišćujućih tvari iz koje je potrebno izdvojiti nastali mulj. U pogonu tvrtke Vodovod d.o.o. Slavonski Brod nastaju dvije vrste otpadne vode i to otpadna voda nastala pranjem filtera s aktivnim ugljenom te otpadna voda nastala nakon pranja DUAL– MEDIA filtera. Nastale otpadne vode zasebno se obrađuju pri

čemu se otpadna voda nastala nakon pranja filtra s aktivnim ugljenom odvodi u akcelerator 1, dok se otpadna voda nastala nakon pranja DUAL – MEDIA filtra odvodi u akcelerator 2 gdje se provodi ugušćivanje mulja do koncentracije 2-3 %. Bistra (preostala) voda se reciklira u liniji obrade mulja. Mulj se u komoru crpi visokotlačnom crpkom te se odvodi na filter prešu (**Slika 14**).

Osnovne karakteristike filter preše su :

- maksimalan pritisak je 15 bara,
- maksimalan kapacitet je 990 litara
- broj komora je 75.



Slika 14. Filter preša u pogonu tvrtke Vodovod d.o.o. Slavonski Brod

Nastali mulj se tlači na 15 bara u filter preši pri čemu nastaje filterski kolač. Prešanje mulja traje 45 minuta. Izbistena voda koja je izdvojena iz filter preše, vraća se nazad u cjevovod sirove vode, koji se nalazi na ulazu u uređaj. Nastali filterski kolač sadrži oko 30 % suhe tvari i odlaže se u kontejner (**Slika 15**) koji se nalazi ispod preše te odvozi se na deponij krutog otpada[11].



Slika 15. Filterski kolač i spremnik filterskog kolača

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

Cilj ovog rada je odrediti kvalitetu vode za ljudsku potrošnju grada Slavenskog Broda. Kvaliteta vode u pogonu tvrtke Vodovod d.o.o. Slavonski Brod određuje se analizom vode, odnosno određivanjem vrijednosti fizikalno-kemijskih i kemijskih pokazatelja u sirovoj i prerađenoj vodi:

- mutnoća,
- vodljivost,
- pH vrijednost,
- absorbancija na 254 nm,
- koncentracija klorova dioksida,
- koncentracija klorita,
- koncentracija ukupnog željeza,
- koncentracija mangana,
- koncentracija amonija,
- koncentracija nitrata,
- koncentracija nitrita,
- utrošak KMnO_4 ,
- koncentracija klorida.

Navedene parametre posebno je određivati u razdoblju od šest mjeseci u uzorcima sirove podzemne vode s vodocrpilišta Jelas, uzorcima vode nakon DUAL-MEDIA filtracije, uzorcima vode nakon filtracije na aktivnom ugljenu te u uzorcima vode iz vodospreme.

3.2. MATERIJAL I METODE

3.2.1. Određivanje mutnoće vode

Određivanje mutnoće vode temelji se na efektu raspršivanja svjetlosti pri prolasku zrake svjetlosti kroz uzorak u kojem su prisutne čestice u koloidnom, emulziranom ili suspendiranom obliku. Količina raspršene svjetlosti proporcionalna je mutnoći uzorka. Mutnoću vode određuje se pomoću turbidometra (**Slika 16**), a izražava u NTU jedinicama. Prema Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN 125/2017) maksimalna dozvoljena koncentracija je 4 NTU.



Slika 16. Turbidometar AL 1000 (Aqua Lytic)

3.2.2. Određivanje vodljivosti

Vodljivost je recipročna vrijednost otpora mjerena u omima između dvije suprotne strane kocke od jednog kubnog centimetra vodene otopine pri određenoj temperaturi. Mjeri se instrumentom konduktometrom (**Slika 17**), a rezultati se izražavaju u $\mu\text{S}/\text{cm}$ pri 20°C .

Vodljivost se određuje uranjanjem sonde uređaja u čašu s uzorkom te se na instrumentu očitava vrijednost rezultata kada se prikazana vrijednost duže vrijeme ne mijenja. Prema Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN 125/2017) maksimalna dozvoljena vrijednost vodljivosti vode za ljudsku potrošnju iznosi $2500 \mu\text{S}/\text{cm} / 20^\circ\text{C}$.



Slika 17. Konduktometar (Conductivity Meter LF 538)

3.2.3. Određivanje koncentracije vodikovih iona - pH vrijednosti

pH vrijednost, odnosno koncentracija vodikovih iona, određuje se pomoću instrumenta pH metra (**Slika 18**). Prije mjerenja elektroda se ispere demineraliziranom vodom, posuši ubrusom te uroni u ispitivani uzorak. Kada se prikazana vrijednost na uređaju ustali, ista se očitava i bilježi. Točnost mjerenja utvrđuje se referentnim standardom. Ako se vrijednosti razlikuju, elektrodu se kalibrira sa standardnim otopinama pH vrijednosti 4 i 7.

Prema Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN 125/2017) pH vrijednost vode za ljudsku potrošnju treba biti u rasponu 9,5 do 9,5.



Slika 18. pH metar (WTW 540 GLP)

3.2.4. Određivanje apsorbancije na 254 nm (UV₂₅₄)

Parametar UV₂₅₄ proporcionalni je pokazatelj prisutnosti humskih tvari u vodi, odnosno viša izmjerena vrijednost ukazuje na prisutnost više koncentracije humskih tvari. Apsorbanciju na valnoj duljini 254 nm određuje se spektrofotometrom (**Slika 19**).



Slika 19. Spektrofotometar (Shimadzu UV – 1601)

3.2.5. Određivanje koncentracije klorovih spojeva

Tijekom prerade vode za ljudsku potrošnju, u pogonu tvrtke Vodovod d.o.o. Slavonski Brod prati se koncentracija klorovih spojeva u vodi i to:

- koncentracija rezidualnog klora
- koncentracija klorita
- koncentracija klorita

Koncentracije navedenih klorovih spojeva određuju se pomoću analizatora klora (**Slika 20**) uz prethodnu pripremu određenog volumena uzorka vode s DPD-reagensima prema uputama proizvođača otopine za testiranje. Nakon pripreme uzorka, bočica s uzorkom i reagensima se umetne u otvor analizatora te se na pokazivaču očitava vrijednost koncentracije analiziranog klorova spoja.

Prema Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju

djelatnost javne vodoopskrbe (NN 125/2017) maksimalno dozvoljene koncentracije spojeva kloru u vodi za ljudsku potrošnju iznose:

- koncentracija rezidualnog kloru – 0,5 mg/l
- koncentracija klorita – 400 mg/l
- koncentracija klorata – 400 mg/l



Slika 20. Analizator spojeva kloru (Dulcotest DT4B)

3.2.6. Određivanje koncentracije ukupnog željeza

Određivanje željeza u ispitivanim uzorcima provedeno je spektrofotometrijskom metodom. Prije mjerenja, potrebno je uzorak vode pripremiti dodatkom sulfatne i kloridne kiseline te dodatkom reagensa s hidrosilamin hidrokloridom, reagensom s amonijevim acetatom te reagensom s fenantrolinom. Nakon dodatka navedenih otopina, uzorak se lagano promjeeša te nakon 15 minuta, intenzitet nastalog obojena se mjeri na spektrofotometru (**Slika 19**) pri valnoj duljini od 510 nm uz odgovarajući faktor korekcije.

Prema Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN 125/2017) maksimalna dozvoljena koncentracija ukupnog željeza u vodi za ljudsku potrošnju iznosi 200 µg/l.

3.2.7. Određivanje koncentracije mangana

Određivanje mangana provedeno je pomoću spektrofotometrijske metode na način da se uzorku vode doda 65 %-tna HNO_3 a potom se uzorak zagrijava. Nakon hlađenja uzorak se prenese u kivetu te spektrofotometrom (**Slika 19**) očitava apsorbancija pri valnoj duljini od 275,5 nm očitava intenzitet razvijenog obojena. Pomoću kalibracijske krivulje očitava se koncentracija mangana.

Prema Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN 125/2017) maksimalna dozvoljena koncentracija mangana u vodi za ljudsku potrošnju iznosi 50 $\mu\text{g/l}$.

3.2.8. Određivanje koncentracije amonijaka

Koncentracija amonijaka određena je spektrofotometrijskom metodom prema međunarodnoj normi HRN ISO 7150-1. Metoda se temelji pripremi uzorka dodavanjem reagensa s natrijevim salicilatom i trinatrijcitratnim dihidratom koji u prisustvu natrijpentacijanoferata(III) (natrij-nitroprusida) i amonijaka stvaraju zeleno obojeni kompleks čiji se intenzitet mjeri spektrofotometrom (**Slika 19**) pri valnoj duljini od 655 nm.

Prema Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN 125/2017) maksimalna dozvoljena koncentracija amonijaka u vodi za ljudsku potrošnju iznosi 0,50 mg/l .

3.2.9. Određivanje koncentracije nitrata

Koncentracija nitrata određena je spektrofotometrijskom metodom. Uzorak vode priprema se dodatkom 1 N HCl nakon čega se na spektrometru (**Slika 19**) očitava apsorbancija pri valnoj

duljini 220 nm. Uzorak vode mora biti potpuno bistar. Granice detekcije su od 0,177 do 49 mg/L NO_3^- . Uzorke s većom koncentracijom nitrata potrebno je razrijediti. Koncentraciju nitrata odredi se pomoću kalibracijske krivulje.

Prema Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN 125/2017) maksimalna dozvoljena koncentracija nitrata u vodi za ljudsku potrošnju iznosi 50 mg/l.

3.2.10. Određivanje koncentracije nitrita

Koncentracija nitrita određena je spektrofotometrijskom metodom. Uzorak vode priprema se dodatkom reagensa dobivenog mješanjem ortofosforne kiseline i aminobenzen sulfonamida. Intenzitet obojenja je proporcionalan koncentraciji nitrita, a određuje se pomoću očitavanjem apsorbancije na spektrometru (**Slika 19**) pri valnoj duljini 540 nm i usporedbom s kalibracijskom krivuljom.

Prema Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN 125/2017) maksimalna dozvoljena koncentracija nitrita u vodi za ljudsku potrošnju iznosi 0,5 mg/l.

3.2.11. Određivanje utroška KMnO_4

Utrošak kalijevog permanganata predstavlja mjerilo sadržaja organskih tvari u vodi koje mogu biti ljudskog, životinjskog, biljnog ili industrijskog porijekla. Organske tvari u vodi utrošit će određenu količinu kalijevog permanganata za oksidaciju,. Uz navedene organskih, i pojedine anorganske tvari mogu se oksidirati s kalijevim permanganatom. Kalijev permanganat se reducira u kiseloj sredini s nekim organskim i anorganskim tvarima, a potrošnja kalijeva permanganata može se samo uvjetno uzeti kao mjerilo sadržaja organske tvari u vodi.

Količina organskih tvari prisutnih u vodi izražava se utroškom KMnO_4 potrebnim za njihovu oksidaciju koja se provodi sa suviškom KMnO_4 u kiselom mediju pri $100\text{ }^\circ\text{C}$. Suvišak KMnO_4 zatim reagira s dodanom oksalnom kiselinom, a ostatak neoksidirane oksalne kiseline određuje se titracijom s KMnO_4 . Dobivena vrijednost se izražava kao $\text{mg O}_2/\text{l}$.

Prema Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN 125/2017) maksimalna dozvoljena koncentracija utroška KMnO_4 u vodi za ljudsku potrošnju iznosi $5\text{ mg O}_2/\text{l}$.

3.2.12. Određivanje koncentracije klorida

Kloridi u vodu dopijevaju otapanjem minerala prirodno prisutnih u tlu. Ukoliko je u vodi koncentracija klorida viša od 250 mg/l , voda ima slankast okus. Koncentracija određena je titracijskom metodom s kalijevim bikarbonatom i srebrnim nitratom do pojave crveno–smeđa boja.

Prema Pravilniku o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN 125/2017) maksimalna dozvoljena koncentracija klorida u vodi za ljudsku potrošnju iznosi 250 mg/l .

4. REZULTATI I RASPRAVA

U ovom radu opisan je proces prerade vode za ljudsku potrošnju grada Slavenskog Broda koji započinje crpljenjem podzemne vode na vodocrpilištu Jelas. Podzemnu vodu, koja se crpi iz pet bunara, karakteriziraju povišene koncentracije amonijaka, mangana, sumporovodika i željeza. Stoga se voda prerađuje u pogonu tehnologijom koja se bazira na primjeni ozonizacije, filtracije i dezinfekcije.

Učinkovitost prerade vode za ljudsku potrošnju grada Slavenskog Broda određena je mjerenjem sljedećih parametara:

- koncentracija kisika
- temperatura
- boja
- koncentracija klorova dioksida
- koncentracija klorata
- apsorbancija A_{254}
- mutnoća
- pH vrijednost
- vodljivost
- koncentracija željeza i mangana
- koncentracija amonijaka, nitrita i nitrata
- utrošak $KMnO_4$
- koncentracija klorida

Svi navedeni parametri određivani su u razdoblju od početka siječnja do kraja lipnja 2021. godine, u uzorcima sirove podzemne vode s vodocrpilišta Jelas, uzorcima vode nakon DUAL-MEDIA filtracije, uzorcima vode nakon filtracije na aktivnom ugljenu te u uzorcima vode iz vodospreme.

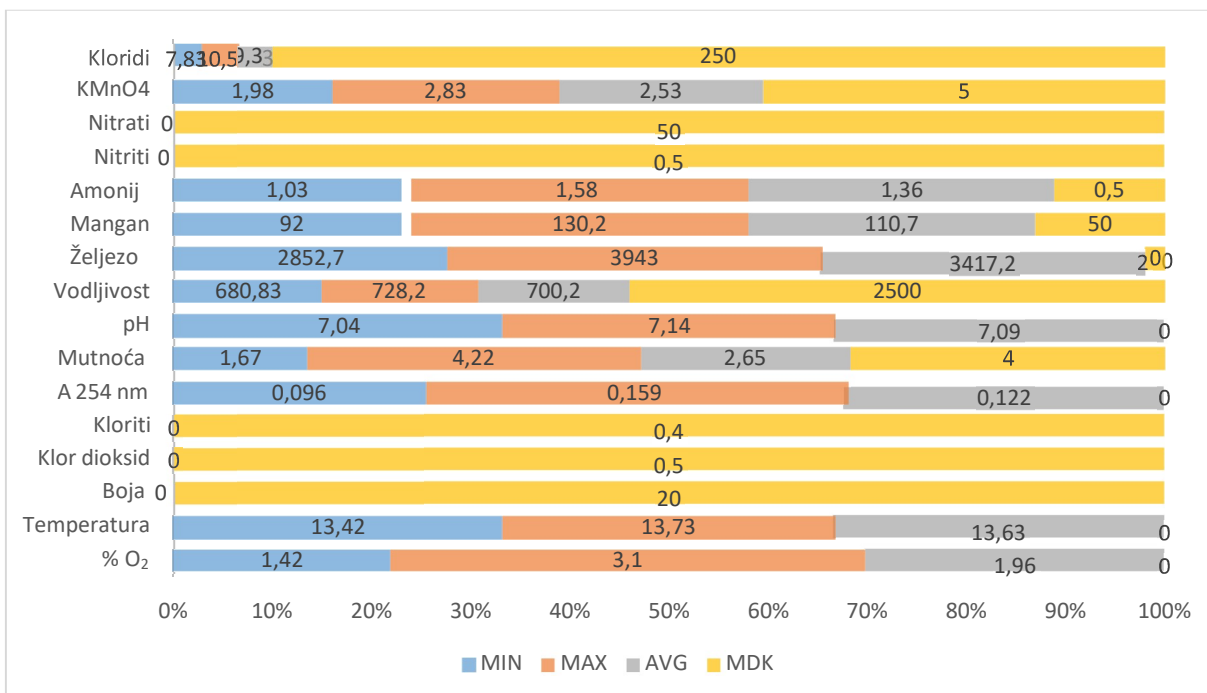
Dobiveni rezultati prikazani su u **Tablicama 3 – 6** te na **Slikama 21 – 23**. Pri tabličnom prikazu rezultata, istaknute su utvrđene minimalne i maksimalne te srednje vrijednosti analiziranih parametara.

4.1. KVALITETA PODZEMNE VODE VODOCRPILIŠTA JELAS

U **Tablici 3** prikazane su najniže, najviše te prosječne i zakonski propisane maksimalno dozvoljene vrijednosti analiziranih parametara u sirovoj podzemnoj vodi s vodocrpilišta Jelas za vremensko razdoblje od siječnja 2021. do lipnja 2021. godine. Uz navedene, u tablici su prikazane maksimalne dozvoljene koncentracije (MDK) analiziranih parametara.

Tablica 3. Rezultati kemijske analize podzemne vode s vodocrpilišta Jelas

PARAMETAR	Mjerna jedinica	MIN	MAX	AVG	MDK
O ₂	%	1,42	3,1	1,96	/
Temperatura	°C	13,42	13,73	13,63	25°C
Boja	mg/PtCo skale	/	/	/	20
Klor dioksid	mg/l	/	/	/	0,5
Kloriti	mg/l	/	/	/	0,4
A ₂₅₄	/	0,096	0,159	0,122	/
Mutnoća	°NTU	1,67	4,22	2,65	4
pH	/	7,04	7,14	7,09	6,5 - 9,5
Vodljivost	µS/cm /20 °C	680,83	728,2	700,2	2500
Željezo	µg/l	2852,7	3943	3417,2	200
Mangan	µg/l	92	130,2	110,7	50
Amonijak	mg/l	1,03	1,58	1,36	0,5
Nitriti	mg/l	/	/	/	0,5
Nitrati	mg/l	/	/	/	50
KMnO ₄	mgO ₂ /l	1,98	2,83	2,53	5
Kloridi	mg/l	7,83	10,5	9,33	250



Slika 21. Grafička usporedba vrijednosti analiziranih parametara kvalitete podzemne vode vodocrpilišta Jelas u razdoblju siječanj 2021– lipanj 2021.

Slika 21 prikazuje usporedbu najnižih, najviših te prosječnih i zakonski propisanih maksimalno dozvoljenih vrijednosti analiziranih parametara kvalitete podzemne vode vodocrpilišta Jelas u razdoblju siječanj – lipanj 2021.

Vrijednosti parametara, utvrđene analizom podzemne vode s vodocrpilišta Jelas, bile su u skladu s odredbama 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 125/2017), osim pri mjerenju mutnoće, amonijaka, željeza i mangana.

Najmanja izmjerena vrijednost mutnoće iznosila je 1,67 °NTU, dok je najveća izmjerena vrijednost mutnoće iznosila 4,22 °NTU. Maksimalno dozvoljena koncentracija mutnoće prema Pravilniku iznosi 4 °NTU.

Sve utvrđene vrijednosti koncentracije amonijaka u podzemnoj vodi tijekom praćenog razdoblja bile su iznad Pravilnikom propisane MDK vrijednosti. Najniža koncentracija iznosila je 1,03 mg/l, a najviša 1,58 mg/l. Maksimalno dozvoljena koncentracija amonijaka prema Pravilniku iznosi 0,5 mg/l.

Sve utvrđene vrijednosti koncentracije mangana u podzemnoj vodi tijekom praćenog razdoblja bile su iznad Pravilnikom propisane MDK vrijednosti. Najniža koncentracija mangana iznosila je 92 µg/l, a najviša 130,2 µg/l. Maksimalno dozvoljena koncentracija mangana prema Pravilniku iznosi 50 µg/l.

Sve utvrđene vrijednosti koncentracije ukupnog željeza u podzemnoj vodi tijekom praćenog razdoblja bile su iznad Pravilnikom propisane MDK vrijednosti. Najniža koncentracija željeza izmjerena u uzorcima podzemne vode s vodocrpilišta Jelas iznosila je 2852,7 µg/l, a najviša 3943 µg/l. Maksimalno dozvoljena koncentracija željeza prema Pravilniku iznosi 200 µg/l.

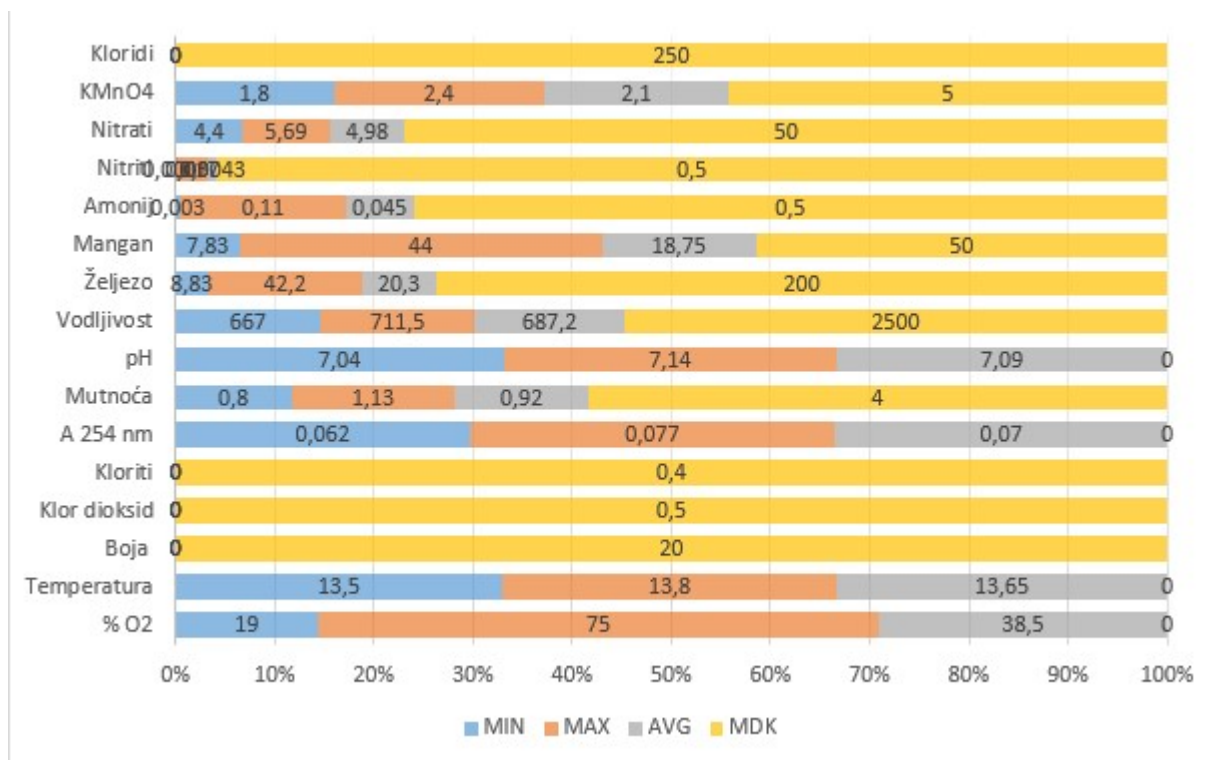
4.2. KVALITETA VODE NAKON DUAL – MEDIA FILTRACIJE

U **Tablici 4** prikazane su najniže, najviše te prosječne i zakonski propisane maksimalno dozvoljene vrijednosti (MDK) analiziranih parametara u uzorcima vode uzetim nakon filtracije DUAL-MEDIA filtrom u razdoblju od siječnja do lipnja 2021. godine. Odnosi navedenih vrijednosti grafički su prikazane na **Slici 22**.

Tablica 4. Rezultati kemijske analize uzoraka vode nakon DUAL – MEDIA filtracije u postrojenju za preradu vode za ljudsku potrošnju grada Slavonskog Broda

PARAMETAR	Mjerna jedinica	MIN	MAX	AVG	MDK
O ₂	%	19	75	38,5	/
Temperatura	°C	13,5	13,8	13,65	25°C
Boja	mg/PtCo skale	/	/	/	20
Klor dioksid	mg/l	/	/	/	0,5
Kloriti	mg/l	/	/	/	0,4
A ₂₅₄	/	0,062	0,077	0,07	/
Mutnoća	°NTU	0,8	1,13	0,92	4
pH	/	7,04	7,14	7,09	6,5 - 9,5
Vodljivost	µS/cm /20 °C	667	711,5	687,2	2500
Željezo	µg/l	8,83	42,2	20,3	200

Mangan	µg/l	7,83	44	18,75	50
Amonijak	mg/l	0,003	0,11	0,045	0,5
Nitriti	mg/l	0,0003	0,017	0,0043	0,5
Nitrati	mg/l	4,4	5,69	4,98	50
KMnO ₄	mgO ₂ /l	1,8	2,4	2,1	5
Kloridi	mg/l	/	/	/	250



Slika 22. Grafička usporedba vrijednosti analiziranih parametara kvalitete vode nakon predozonizacije i DUAL – MEDIA filtracije u postrojenju za preradu vode za ljudsku potrošnju grada Slavonskog Broda u razdoblju siječanj 2021. – lipanj 2021.

Slika 22 prikazuje grafičku usporedbu najnižih, najviših te prosječnih i zakonski propisanih maksimalno dozvoljenih vrijednosti analiziranih parametara kvalitete vode nakon provedene predozonizacije i filtracije vode na DUAL – MEDIA filtrima u postrojenju za preradu vode za ljudsku potrošnju grada Slavonskog Broda u razdoblju siječanj 2021. – lipanj 2021.

Sve vrijednosti parametara utvrđene analizama uzoraka vode uzorkovanih nakon DUAL – MEDIA filtracije bile su u skladu s odredbama 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 125/2017) što ukazuje na visoku učinkovitost prerade i dobru kvalitetu vode koja se postiže nakon provedene predozonizacije i filtracije na DUAL – MEDIA filtru.

Na visoku učinkovitost navedenog dijela procesa prerade vode za ljudsku potrošnju grada Slavonskog Broda ukazuje i usporedba najviše zabilježenih vrijednosti parametara koji u sirovoj podzemnoj vodi vodocrpilišta Jelas te najviše zabilježenih vrijednosti parametara nakon obrade vode DUAL – MEDIA filtracijom.

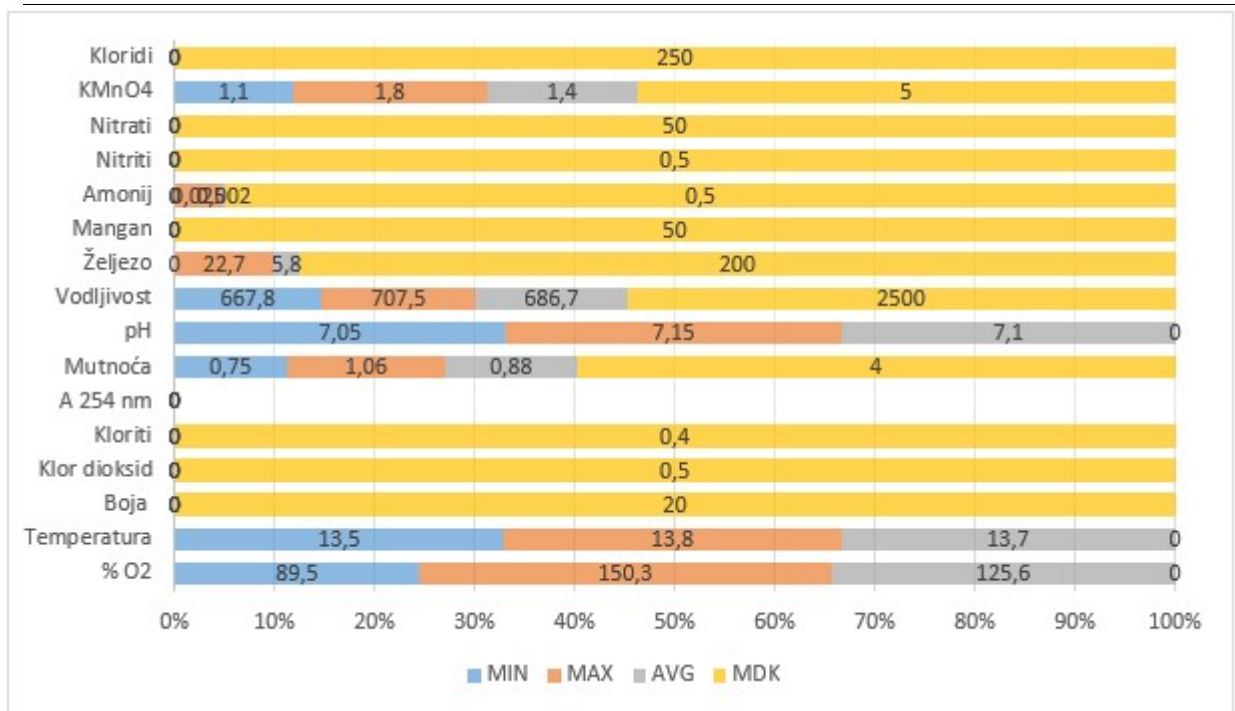
- najviša vrijednost koncentracije amonijaka podzemne vode iznosila je 4,22 °NTU, dok je nakon obrade vode s predozonizacijom i filtracijom na DUAL – MEDIA filtru iznosila 1,13 °NTU. Maksimalno dozvoljena koncentracija mutnoće prema Pravilniku iznosi 4 °NTU.
- najviša vrijednost koncentracije amonijaka izmjerena u uzorcima podzemne vode iznosila je 1,58 mg/l, dok je nakon predozonizacije i filtracije na DUAL – MEDIA filtru najviša vrijednost koncentracije amonijaka iznosila 0,11 mg/l. Maksimalno dozvoljena koncentracija amonijaka prema Pravilniku iznosi 0,50 mg/l.
- najviša vrijednost koncentracije mangana izmjerena u uzorcima podzemne vode iznosila je 130,2 mg/l, dok je nakon predozonizacije i filtracije na DUAL – MEDIA filtru najviša vrijednost koncentracije mangana iznosila 44 mg/l. Maksimalno dozvoljena koncentracija mangana prema Pravilniku iznosi 50 mg/l.
- najviša vrijednost koncentracije ukupnog željeza izmjerena u uzorcima podzemne vode iznosila je 3943 mg/l, dok je nakon predozonizacije i filtracije na DUAL – MEDIA filtru najviša vrijednost koncentracije željeza iznosila 42,2 mg/l. Maksimalno dozvoljena koncentracija mangana prema Pravilniku iznosi 200 mg/l.
- iz Tablice 4 također se, kao pokazatelj učinkovitosti procesa, može istaknuti i značajno povećanje zasićenja vode kisikom. U podzemnoj vodi najveći zabilježeni udio kisika iznosio je 3,1 %, dok je najveći udio kisika u vodi nakon predozonizacije i filtracije na DUAL – MEDIA filtru iznosio 75 %.

4.3. KVALITETA VODE NAKON FILTRACIJE NA AKTIVNOM UGLJENU

U **Tablici 5** su prikazane, a na **Slika 23** grafički uspoređene najniže, najviše te prosječne i zakonski propisane maksimalno dozvoljene vrijednosti analiziranih parametara u uzorcima vode uzorkovanim nakon filtracije aktivnim ugljenom u postrojenju za preradu vode za ljudsku iće grada Slavonskog Broda. Uzorkovanje vode provedeno je nakon filtracije vode na filtrima s aktivnim ugljenom u vremenskom razdoblju od siječnja do lipnja 2021. godine.

Tablica 5. Rezultati kemijske analize uzoraka vode nakon filtracije na aktivnom ugljenu u postrojenju za preradu vode za ljudsku potrošnju grada Slavonskog Broda

PARAMETAR	Mjerna jedinica	MIN	MAX	AVG	MDK
O ₂	%	89,5	150,3	125,6	/
Temperatura	°C	13,5	13,8	13,7	25°C
Boja	mg/PtCo skale	/	/	/	20
Klor dioksid	mg/l	/	/	/	0,5
Kloriti	mg/l	/	/	/	0,4
A ₂₅₄	/	/	/	/	/
Mutnoća	°NTU	0,75	1,06	0,88	4
pH	/	7,05	7,15	7,1	6,5 - 9,5
Vodljivost	µS/cm /20 °C	667,8	707,5	686,7	2500
Željezo	mg/l	0	22,7	5,8	200
Mangan	mg/l	/	/	/	50
Amonijak	mg/l	0	0,025	0,002	0,5
Nitriti	mg/l	/	/	/	0,5
Nitrati	mg/l	/	/	/	50
KMnO ₄	mgO ₂ /l	1,1	1,8	1,4	5
Kloridi	mg/l	/	/	/	250



Slika 23. Grafička usporedba vrijednosti analiziranih parametara kvalitete vode nakon filtracije vode na aktivnom ugljenu u postrojenju za preradu vode za ljudsku potrošnju grada Slavonskog Broda u razdoblju siječanj 2021.– lipanj 2021.

Iz prikaza podataka **Tablici 5** te usporedbom s rezultatima analiza uzoraka vode s vodocrpilišta Jelas i uzoraka vode nakon filtracije na DUAL – MEDIA filtrima, uočava se daljnje smanjenje vrijednosti svih parametara i to:

- prosječna vrijednost mutnoće se smanjuje od početnih 2,65 °NTU (podzemna voda) na prosječnih 0,88 °NTU.
- prosječna vrijednost koncentracije amonijaka podzemne vode iznosila je 1,36 mg/l na prosječnih 0,002 mg/l.
- prosječna vrijednost koncentracije mangana podzemne vode iznosila je 110,7 µg/l na prosječnih 0 µg/l.
- prosječna vrijednost koncentracije željeza podzemne vode iznosila je 3417,2 µg/l na prosječnih 5,8 µg/l.

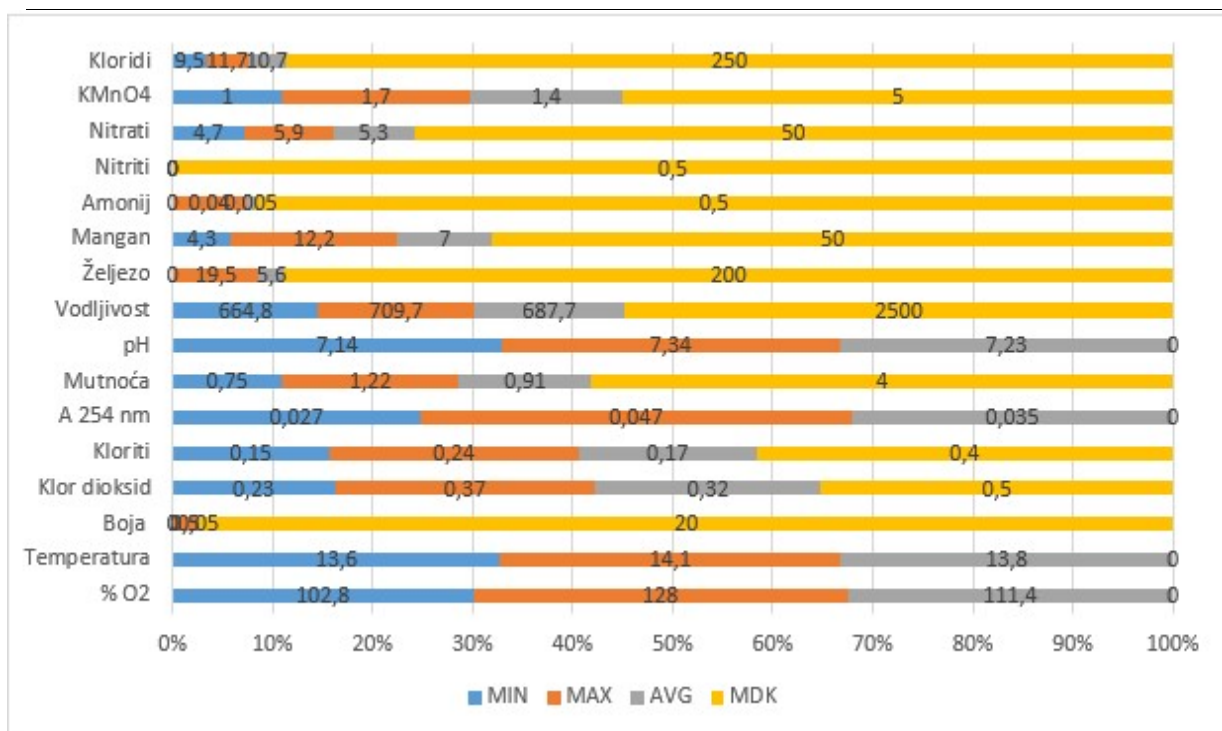
4.4. KVALITETA VODE U VODOSPREMI

Vodosprema je posljednje mjesto uzorkovanja i nadzora kvalitete vode u postrojenju za preradu vode za ljudsku potrošnju, a prije distribucije vode stanovnicima grada Slavonskog Broda putem vodoopskrbne mreže.

U **Tablici 6** su prikazane najniže, najviše te prosječne i zakonski propisane maksimalno dozvoljene vrijednosti analiziranih parametara u uzorcima vode uzorkovanim iz vodospreme postrojenja za preradu vode za ljudsku potrošnju grada Slavonskog Broda u razdoblju od siječnja do lipnja 2021. godine.

Tablica 6. Rezultati kemijske analize uzoraka vode iz vodospreme u postrojenju za preradu vode za ljudsku potrošnju grada Slavonskog Broda

PARAMETAR	Mjerna jedinica	MIN	MAX	AVG	MDK
O ₂	%	102,8	128	111,4	/
Temperatura	°C	13,6	14,1	13,8	25°C
Boja	mg/PtCo skale	0	0,5	0,05	20
Klor dioksid	mg/l	0,23	0,37	0,32	0,5
Kloriti	mg/l	0,15	0,24	0,17	0,4
A ₂₅₄	/	0,027	0,047	0,035	/
Mutnoća	°NTU	0,75	1,22	0,91	4
pH	/	7,14	7,34	7,23	6,5 - 9,5
Vodljivost	µS/cm /20 °C	664,8	709,7	687,7	2500
Željezo	µg/l	0	19,5	5,6	200
Mangan	µg/l	4,3	12,2	7	50
Amonijak	mg/l	0	0,04	0,005	0,5
Nitriti	mg/l	/	/	/	0,5
Nitrati	mg/l	4,7	5,9	5,3	50
KMnO ₄	mgO ₂ /l	1	1,7	1,4	5
Kloridi	mg/l	9,5	11,7	10,7	250



Slika 23. Rezultati kemijske analize vode iz vodospreme za prvih šest mjeseci 2021. godine u vodospreme u postrojenju za preradu vode za ljudsku potrošnju grada Slavenskog Broda

Slika 23 prikazuje grafičku usporedbu najnižih, najviših te prosječnih i zakonski propisanih maksimalno dozvoljenih vrijednosti analiziranih parametara kvalitete vode uzoraka vode iz vodospreme u pogonu za preradu vode za ljudsku potrošnju grada Slavenskog Broda u razdoblju siječanj 2021. – lipanj 2021.

Kemijskom analizom uzoraka vode iz vodospreme u postrojenju za preradu vode za ljudsku potrošnju grada Slavenskog Broda utvrđeno je da su svi analizirani parametri u skladu s 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).

Pri tome je udio kisika iznosio 111,4 %, temperatura je iznosila 13,8 °C, boja 0,05 mg/PtCo skale, mutnoća prosječnih 0,91 °NTU, pH vrijednost 7,23, vodljivost koncentracija 687,7 μS/cm /20 °C, prosječna koncentracija ukupnog željeza 5,6 μg/l, prosječna koncentracija mangana 7 μg/l, dok su prosječne koncentracije amonijaka i nitrata iznosile 0,005 i 5,3 mg/l. Prosječan utrošak KMnO₄ iznosio je 1,4 mg O₂/l, dok je prosječna koncentracija klorida u uzorcima vode iz vodospreme pogona za preradu vode za ljudsku potrošnju grada Slavenskog Broda

razdoblju siječanj 2021. – lipanj 2021. iznosila 10,7 mg/l. U navedenom razdoblju prisutnost nitrita nije zabilježena u istim uzorcima vode.

U uzorcima vode iz vodospreme u postrojenju za preradu vode za ljudsku potrošnju grada Slavenskog Broda utvrđena je prisutnost klorova dioksida (prosječna koncentracija 0,32 mg/l) te klorita (prosječna koncentracija 0,17 mg/l). Navedeni spojevi u vodi vodospreme pojavljuju se uslijed primjene obveznog postupka dezinfekcije vode klorovim dioksidom, a u granicama su Pravilnikom (NN 125/2017) propisanih MDK vrijednosti.

5. ZAKLJUČCI

Grad Slavonski Brod svojim stanovnicima vodu za ljudsku potrošnju osigurava s vodocrpilišta Jelas i vodocrpilišta Sikirevci. Podzemna voda iz vodocrpilišta Sikirevci iznimne je kvalitete u pogledu fizikalno-kemijskog i kemijskog sastava te mikrobiološkog sastava, stoga podzemnu vodu vodocrpilišta Sikirevci nije potrebno prerađivati tehnološkim procesom, već je nužno provoditi samo zakonom propisanu dezinfekciju vode.

Podzemna voda koja se zahvaćaju na vodocrpilištu Jelas, ujednačenog je fizikalno-kemijskog i kemijskog sastava, a karakteriziraju ju povećane koncentracije amonijaka, mangana i ukupnog željeza te je, prije distribucije vode potrošačima, nužno provesti tehnološki proces prerade kako bi voda bila u skladu s odredbama 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 125/2017).

Tehnološki proces prerade vode za ljudsku potrošnju u pogonu tvrtke Vodovod d.o.o. Slavonski Brod sastoji se od procesa aeracije i predozonizacije, filtracije na gravitacijskim DUAL – MEDIA filtrima, glavne ozonizacije, filtracije na aktivnom ugljenu te dezinfekcije vode.

Aeracijom i predozonizacijom u sirovoj vodi se organske i anorganske tvari oksidiraju u koje se potom uklanjaju iz vode gravitacijskom filtracijom pomoću DUAL – MEDIA filtera. Glavnom ozonizacijom dodatno oksidiraju željezo i mangan, a ujedno dolazi i do dezinfekcije vode. Završna filtracija vode provodi se na filtrima s aktivnim ugljenom nakon čega se voda skladišti u vodospremi prije distribucije u vodoopskrbnu mrežu grada Slavonskog Broda.

Primjenom navedenog tehnološkog procesa postiže se:

- povećanje udjela otopljenog kisika s početnih prosječnih 1,96 % na 111,4 %,
- smanjenje apsorbancije A_{254} s prosječnih početnih 0,122 na 0,035 (smanjenje za 71,31 %)
- smanjenje mutnoće s prosječnih početnih 2,65 °NTU na prosječnih 0,91 °NTU (smanjenje za 65,66 %, MDK vrijednost iznosi 4 °NTU),
- smanjenje koncentracije ukupnog željeza s prosječnih početnih 3417,2 µg/l na prosječnih 5,6 µg/l (smanjenje za 99,83 %, MDK vrijednost iznosi 200 µg/l),
- smanjenje koncentracije mangana s prosječnih početnih 110,7 µg/l na prosječnih 7 µg/l (smanjenje za 93,68 %, MDK vrijednost iznosi 50 µg/l),

-
- smanjenje koncentracije amonijaka s prosječnih početnih 1,367 mg/l na prosječnih 0,005 mg/l (smanjenje za 99,63 %, MDK vrijednost iznosi 0,5 mg/l),
 - smanjenje utroška KMnO_4 s prosječnih početnih 2,53 mgO_2/l na prosječnih 1,4 mgO_2/l (smanjenje za 44,66 %, MDK vrijednost iznosi 5 mgO_2/l).

Analizama uzoraka vode također je utvrđeno da je tijekom tehnološkog procesa došlo do neznatnog povećanja prosječnih vrijednosti:

- koncentracije klorida (s prosječnih početnih 9,33 na 10,7 mg/l),
- temperature (s prosječnih početnih 13,63 na 13,8 °C),
- boje (s 0 na prosječnih 0,05 mg/PtCo skale).

Navedena pojava povećanja vrijednosti boje povezuje se s primjenom filtra aktivnog ugljena, dok se povećanje klorida povezuje s utjecajem filterske mase na DUAL-MEDIA filtru jer se najveće povećanje klorida bilježi u uzorcima vode nakon navedenog dijela tehnološkog procesa.

Također, uslijed djelovanja filtracijskih masa, bilježi se porast prosječne pH vrijednosti s prosječnih ulaznih 7,09 na 7,23 te smanjene prosječne vodljivosti sa 700 na 687 $\mu\text{S}/\text{cm} / 20\text{ °C}$.

U uzorcima vode iz vodospreme bilježi se i pojava klorova dioksida te klorata uslijed primjene postupka dezinfekcije doziranjem klorova dioksida.

Svi parametri kvalitete u analiziranim uzorcima vode uzorkovani iz vodospreme bili su u skladu s odredbama 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 125/2017) što ukazuje na visoku učinkovitost tehnološkog postupka prerade vode za ljudsku potrošnju u pogonu tvrtke Vodovod d.o.o. Slavonski Brod.

6. LITERATURA

-
- [1] Gulić, I., Kondicioniranje vode, Zagreb, Hrvatski savez građanskih inženjera, 2003.
- [2] Ministarstvo zdravstva, 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 (NN 125/2017). https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017_12_125_2848.html (21.2.2022.)
- [3] Tedeschi, S. Zaštita voda. Zagreb: Hrvatsko društvo građevinskih inženjera, 1997
- [4] Stojanović Bjelić, Lj., Tehnologija vode za piće. Banja Luka <https://slideplayer.gr/slide/14163364/> (23.2.2022.)
- [5] Čoha, F., Voda za piće- Standardne metode za ispitivanje higijenske ispravnosti, Privredni pregled, Beograd, 1990.
- [6] AWWA: Water Quality and Treatment. A Handbook of Community Water Supplies. Fifth edition. Raymond D. Letterman (ur.) McGraw-Hill, Inc. New York, 1999.
- [7] Korać, V., Tehnologija vode, Sveučilište Zagreb, 1962.
- [8] Mijatović I., Matošić M., Tehnologija vode, Interna skripta, Prehrambeno-biotehnološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2007.
- [9] Habuda - Stanić, M., Uklanjanje aniona arsena iz podzemne vode na funkcionaliziranim adsorbensima. Doktorska disertacija. Prehrambeno – tehnološki fakultet Osijek, 2011.
- [10] Blažević, M., Sustavno smanjivanje gubitaka pitke vode u gradskoj vodoopskrbi. Magistarski rad, Strojarski fakultet, Slavonski Brod, 2007.
- [11] Blažević, Marko; Samardžić, Ivan; Kolumbić, Zvonimir: Uređaj za kondicioniranje pitke vode u Slavonskom Brodu. *Zbornik radova, Znanstveno-stručni skup Tehnologija obrade voda*, Salopek, Branko (ur.), Zagreb: Akademija tehničkih znanosti Hrvatske, 2007.
- [12] Vodovod d.o.o., Godišnji izvještaj o kvaliteti vode u Slavonskom Brodu za 2021. godinu <http://www.vodovod-sb.hr/index.php/component/content/category/10-voda> (8.3.2022.)
- [13] Medverec Knežević, Z. Utjecaj oksidacije na učinkovitost uklanjanja prekursora trihalometana iz vode koagulacijom i flokulacijom- Doktorska disertacija. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, 2019.