

Utjecaj procesnih parametara na uklanjanje prirodnih organskih tvari iz vode koagulacijom i flokulacijom

Grgić, Iva

Master's thesis / Diplomski rad

2020

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:109:082131>

Rights / Prava: [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
PREHRAMBENO-TEHNOLOŠKI FAKULTET OSIJEK

Iva Grgić

**UTJECAJ PROCESNIH PARAMETARA NA UKLANJANJE PRIRODNIH
ORGANSKIH TVARI IZ VODE KOAGULACIJOM I FLOKULACIJOM**

DIPLOMSKI RAD

Osijek, rujan, 2020.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

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

Diplomski sveučilišni studij Procesno inženjerstvo

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti

Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

Nastavni predmet: Tehnologija vode i obrada otpadnih voda

Tema rada je prihvaćena na (6) redovitoj sjednici Fakultetskog vijeća Prehrambeno-tehnološkog fakulteta Osijek u akademskoj godini 2019./2020., održanoj dana 30. travnja 2020. godine.

Mentor: izv. prof. dr. sc. Mirna Habuda-Stanić

Pomoć pri izradi: dr. sc. Željka Romić

Utjecaj procesnih parametara na uklanjanje prirodnih organskih tvari iz vode koagulacijom i flokulacijom

Iva Grgić, 0113139629

Sažetak: Podzemna voda Istočne Hrvatske karakteristična je po povećanim koncentracijama organskih tvari, arsena, mangana, željeza te amonijaka te promjenjivim senzorskim svojstvima - mutnoći, boji, okusu i mirisu vode. Promjena boje vode povezano je s povećanjem prirodnih organskih tvari u vodi. Prirodne organske tvari su kompleksna smjesa organskih spojeva, a nastaju biološkom razgradnjom biljnog ili životinjskog materijala u okolišu. Podzemna voda mora proći kroz postupke prerade kako bi bila spremna za konzumiranje. Nakon prerade, kvaliteta voda se kontrolira i usklađuje s propisanim pravilnikom. Jedna od uspješnih metoda koja se primjenjuje pri uklanjanju prirodnih organskih tvari je primjena koagulacije i flokulacije. To je fizikalno-kemijski proces koji se temelji na destabilizaciji, aglomeriranju i taloženju čestica suspendiranih ili otopljenih tvari. Kod obrade vode koagulacijom i flokulacijom, ključno je izabrati odgovarajući koagulant s kojim će učinkovitost uklanjanja biti najveća. Koagulanti koji su se koristili u izradi ovog diplomskog rada su FeCl_3 te polielektrolit. U ovom radu ispitan je utjecaj procesnih parametara na uklanjanje prirodnih organskih tvari iz vode koagulacijom i flokulacijom. Procesni parametri koji su praćeni su koncentracija organskih tvari, suspendirane tvari, boja, ukupna tvrdoća i vodljivost te potencijal nastanka trihalogenmetana.

Ključne riječi: podzemna voda, prirodne organske tvari, koagulacija i flokulacija

Rad sadrži: 79 stranica
20 slika
24 tablica
23 literaturnih referenci

Jezik izvornika: hrvatski

Sastav Povjerenstva za ocjenu i obranu diplomskog rada i diplomskog ispita:

- | | |
|---|---------------|
| 1. izv. prof. dr. sc. Natalija Velić | predsjednik |
| 2. izv. prof. dr. sc. Mirna Habuda-Stanić | član-mentor |
| 3. prof. dr. sc. Lidija Jakobek Barron | član |
| 4. izv. prof. dr. sc. Dajana Gašo-Sokač | zamjena člana |

Datum obrane: 29. rujna 2020.

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 Chemistry and Ecology
Franje Kuhača 18, HR-31000 Osijek, Croatia

Graduate program Process Engineering

Scientific area: Biotechnical sciences

Scientific field: Food technology

Course title: Water Technology and Wastewater Treatment

Thesis subject was approved by the Faculty of Food Technology Osijek Council at its session no. VI held on April 30, 2020

Mentor: *Mirna Habuda-Stanić*, PhD, associate prof.

Technical assistance: *Željka Romić*, PhD

The Effect of Operating Conditions on the Removal of Natural Organic Matter from Water by Coagulation and Flocculation

Iva Grgić, 0113139629

Summary: Groundwater in Eastern Croatia is characterized by increased concentrations of organic matter, arsenic, manganese, iron and ammonia. The consequence of increased concentrations is a change in the sensory characteristics of water, ie turbidity, color, taste and smell of water. The change in color of water is associated with an increase in natural organic matter in the water. Natural organic substances are a complex mixture of organic compounds, and are formed by the biodegradation of plant or animal material in the environment. Groundwater must go through treatment processes to be ready for consumption. After all steps, the water quality is controlled and harmonized with the prescribed regulations. One of the successful methods used in the removal of natural organic matter is the application of coagulation and flocculation. It is a physico-chemical process based on destabilization, agglomeration and precipitation of particles of suspended or dissolved substances. In coagulation and flocculation, it is crucial to choose the right coagulant with which the removal efficiency will be greatest. The coagulants used in the preparation of this thesis are FeCl_3 and polyelectrolyte. In this master's thesis, the influence of process parameters on the removal of natural organic substances from water by coagulation and flocculation was investigated. The process parameters monitored were suspended solids, color, total hardness and conductivity, and the potential for trihalogen methane formation was determined by measuring absorbances.

Key words: groundwater, natural organic matter, coagulation and flocculation

Thesis contains: 79 pages
20 figures
24 tables
23 references

Original in: Croatian

Defense committee:

- | | |
|--|--------------|
| 1. <i>Natalija Velić</i> , PhD, associate prof. | chair person |
| 2. <i>Mirna Habuda-Stanić</i> , PhD, associate prof. | supervisor |
| 3. <i>Lidija Jakobek Barron</i> , PhD, full prof. | member |
| 4. <i>Dajana Gašo-Sokač</i> , PhD, associate prof. | stand-in |

Defense date: September 29, 2020

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. PRIRODNE ORGANSKE TVARI	4
2.2. METODE UKLANJANJA ORGANSKIH TVARI IZ VODE	6
2.3. PRIRODNE VODE OSJEČKO-BARANJSKE ŽUPANIJE.....	13
2.4. PROIZVODNJA VODE ZA LJUDSKU POTROŠNJU NA PODRUČJU OSJEČKO-BARANJSKE ŽUPANIJE.....	14
2.5. PROIZVODNJA VODE ZA LJUDSKU POTROŠNJU U POGONU VODOVOD OSIJEK D.O.O. OSIJEK	15
3. EKSPERIMENTALNI DIO	17
3.1. ZADATAK	18
3.2. MATERIJALI I METODE	18
3.2.1. Otopine i kemikalije.....	18
3.2.2. Instrumenti i aparatura.....	20
3.2.3. Procesni parametri prerade vode za ljudsku potrošnju koagulacijom i flokulacijom	21
3.2.3. Podzemna voda crpilišta „Vinogradi“	25
3.2.4. Površinska voda rijeke Drave crpilišta „Pampas“	26
3.3. UKLANJANJE ORGANSKIH TVARI IZ VODE KOAGULACIJOM I FLOKULACIJOM	28
3.3.1. Uzorci podzemne i površinske vode	28
3.3.2. Temperiranje uzoraka vode	29
3.3.3. Priprema otopina koagulanta i flokulanta.....	29
3.3.4. Obrada uzoraka vode.....	29
3.3.5. Membranska filtracija.....	31
4. REZULTATI I RASPRAVA.....	32
4.1. UTJECAJ TEMPERATURE I KEMIJSKOG SASTAVA VODE NA UČINKOVITOST UKLANJANJA PRIRODNIH ORGANSKIH TVARI IZ VODE KOAGULACIJOM I FLOKULACIJOM	33
4.2. UTJECAJ TEMPERATURE I KEMIJSKOG SASTAVA VODE NA UČINKOVITOST UKLANJANJA SUSPENDIRANIH TVARI IZ VODE KOAGULACIJOM I FLOKULACIJOM	42
4.3. UTJECAJ TEMPERATURE I KEMIJSKOG SASTAVA VODE NA UČINKOVITOST UKLANJANJA BOJE IZ VODE KOAGULACIJOM I FLOKULACIJOM	50
4.4. UTJECAJ TEMPERATURE I KEMIJSKOG SASTAVA VODE NA VODLJIVOST PRI OBRADI VODE KOAGULACIJOM I FLOKULACIJOM	58
4.5. UTJECAJ TEMPERATURE I KEMIJSKOG SASTAVA VODE NA UKUPNU TVRDOĆU VODE PRI OBRADI KOAGULACIJOM I FLOKULACIJOM	66
5. ZAKLJUČCI	74
6. LITERATURA	77

Popis oznaka, kratica i simbola

DOC	<i>Dissolved Organic Carbon</i> , Otopljeni organski ugljik
EDTA	Etilen-diamin-tetraoctena kiselina
KPK	Kemijska potrošnja kisika
LED	Light Emitting Diode, Svjetleća dioda
MF	Mikrofiltracija
M.D.K.	Maksimalno dopuštena koncentracija
NF	Nanofiltracija
NTU	Nefelometrijska jedinica zamućenosti
PAM	Poliakrilamid
PTFE	Politetrafluoretilen
RO	Reverzna osmoza
SUVA	Specifična UV apsorbancija
TOC	<i>Total Organic Carbon</i> , Ukupni organski ugljik
UT	Ultrafiltracija
UV	Ultraljubičasto zračenje

1. UVOD

Voda je tvar koja je neophodna za ljudski život. U tekućem stanju, voda treba biti bez boje, okusa, mirisa, mutnoće, umjerene temperature ljeti i zimi. Mora biti u skladu s propisanim pravilnikom kako ne bi imala neželjene učinke po zdravlje čovjeka.

Fizikalna, kemijska, biološka i bakteriološka svojstva vode za ljudsku potrošnju svakodnevno se kontroliraju u ovlaštenim laboratorijima, a po potrebi, primjenom tehnoloških postupaka usklađuje 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). Tvrtka Vodovod-Osijek d.o.o. kakvoću isporučene vode za ljudsku potrošnju nadzire svakodnevno pomoću više desetaka analitičkih metoda koje se provode u Laboratoriju vodoopskrbu tvrtke Vodovod-Osijek d.o.o. Službeni nadzor nad kakvoćom vode za ljudsku potrošnju vodoopskrbnog sustava grada Osijeka, ali i vodoopskrbnih sustava Osječko-baranjske županije provodi Služba za zdravstvenu ekologiju Zavoda za javno zdravstvo Osječko-baranjske županije.

Podzemne vode istočne Hrvatske najvećim dijelom ne zadovoljavaju propisane standarde zdravstvene ispravnosti vode za ljudsku potrošnju zbog povišenog sadržaja organskih tvari, željeza, mangana, arsena i amonijaka.

Organske tvari su prirodno prisutne u vodnim resursima, no mogu biti i rezultat ljudskih aktivnosti. Pojavljuju se u svim površinskim i podzemnim vodama, a predstavljaju izuzetno složenu mješavinu organskih spojeva koji se uvelike razlikuju u svojim fizikalnim i kemijskim karakteristikama. Prisutstvo organskih tvari u vodi mijenja organoleptička svojstva vode i čini ju neispravnom u senzorskom i kemijskom smislu.

U ovom radu ispitano je uklanjanje organskih tvari iz površinske vode crpilišta Pampas (rijeka Drava) te iz podzemne vode vodocrpilišta Vinogradi koja je primarno crpilište vode za potrebe grada Osijeka. Uslijed specifičnog sastava, prije distribucije potrošačima, podzemna voda grada Osijeka prolazi kroz postupke pročišćavanja primjenom pojedinih metoda. Jedna od metoda je koagulacija i flokulacija. Koagulacija i flokulacija je metoda obrade vode često zastupljena u praksi pri uklanjanju organskih tvari. U ovom radu ispitana je učinkovitost uklanjanja organskih tvari iz različitih uzoraka vode ovisno o temperaturi i kemijskom sastavu početnog uzorka vode metodom koagulacije i flokulacije.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. PRIRODNE ORGANSKE TVARI

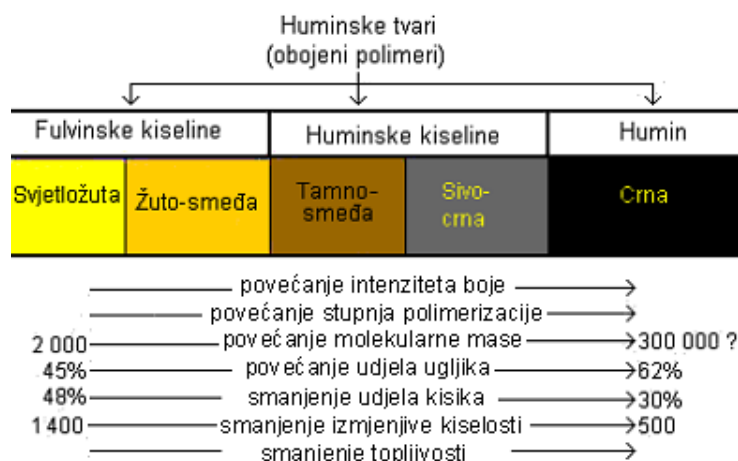
Prirodne organske tvari su kompleksna skupina organskih tvari koje su sveprisutne u vodama širom svijeta. Mogu se pronaći u svim površinskim, ali i u podzemnim vodama. U vodu dospijevaju ispiranjem tla te biološkim, kemijskim i fotokemijskim reakcijama razgradnje biljnih i životinjskih materijala u okolišu (Kalajdžić, 2012.). Sastav prirodnih organskih tvari je raznolik. Razlikuju se u molekularnoj veličini, molekulskoj masi, kemijskom sastavu i strukturi što ima negativan utjecaj na tehnološke procese uklanjanja organskih tvari i distribuciju vode za ljudsku potrošnju (Pan i sur., 2016.).

Nekoliko proteklih desetljeća obilježeno je značajnim porastom prirodnih organskih tvari u vodama širom svijeta. Kao uzrok tomu moguće je djelovanje porasta temperature zraka, odnosno klimatske promjene, zatim povećanje površinskih voda, količine oborina te koncentracije ugljičnog dioksida u atmosferi (Medverec Knežević, 2019.).

Jedan od negativnih učinaka prirodnih organskih tvari njihovo je mijenjanje senzorske karakteristike vode kao što su boja, okus i miris. Nadalje, na sebe vežu organske i anorganske kontaminante kao što su pesticidi i teški metali te tako omogućuju njihov prijenos u ekosustav jer ih čine još više topivima (Kalajdžić, 2012.). Značajno najveći negativan učinak imaju pri nastanku dezinfekcijskih nusprodukata u reakciji s oksidacijskim i dezinfekcijskim sredstvima koja se koriste u procesima obrade vode (Medverec Knežević, 2019.). Tijekom dezinfekcije vode najčešće se koriste sredstva poput klora i monokloramina koji zajedno s prirodnim organskim tvarima mogu tvoriti mješavinu halogeniranih dezinfekcijskih nusprodukata. Dokazano je da nastali dezinfekcijski nusprodukti utječu na citotoksična, genotoksična i mutagena svojstva te imaju štetne učinke na zdravlje ljudi.

Prirodne organske tvari dijele se u tri skupine ili ih možemo podijeliti na hidrofilne i hidrofobne komponente. Jednostavni spojevi kao što su ugljikohidrati, proteini, šećeri i aminokiseline prva su skupina, a ujedno i hidrofilne komponente koje se brzo otapaju u vodi. Sljedeća su skupina hidrofilne kiseline. One čine do 30% prirodnih organskih tvari, a sadrže organske kiseline male molekulske mase i hlapive masne kiseline (Kalajdžić, 2012.). Najveću i glavnu skupinu prirodnih organskih tvari čine huminske tvari. Huminske tvari pripadaju hidrofobnim komponentama i čine većinu otopljenog organskog ugljika u vodama.

Huminske tvari su glavna i velika skupina koju je teško točno definirati jer sadrže složenu strukturu. Riječ je o heterogenim organskim tvarima velike molekularne mase koje mogu biti od žute do crne boje kao što je prikazano na **Slici 1** (Kalajdžić, 2012.). Mogu biti prisutni u tlu, vodi i u sedimentu te su najrasprostranjenija skupina prirodnih spojeva na Zemlji (Medverec Knežević, 2019.).

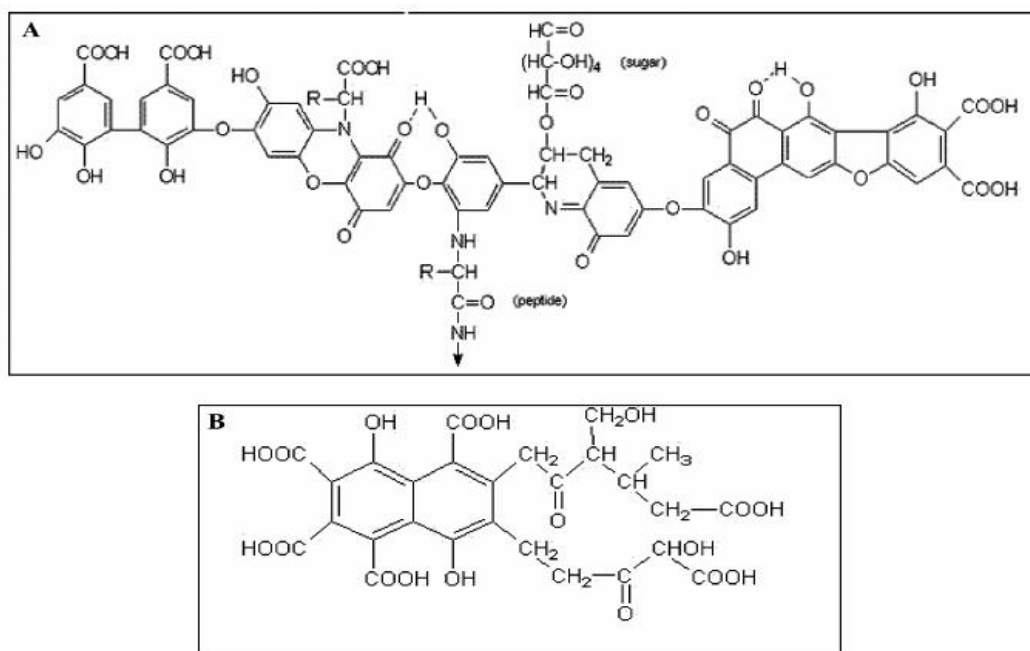


Slika 1. Podjela huminskih tvari (Medverec Knežević, 2019.)

Huminske tvari sadrže veći udio aromatskog ugljika za razliku od nehuminskih tvari. Prisutnost aromatskog ugljika u molekulama organskih tvari ima za posljedicu povećanu proizvodnju dezinfekcijskih nusproizvoda. Huminske tvari reagiraju s raznim oksidansima i dezinfekcijskim sredstvima, posebno s klorom pri čemu nastaju te nepoželjni i štetni trihalogenmetani, halooctene kiseline te druge halogenirane dezinfekcijske nusproizvode (Singer, 1999.)

Huminske tvari dijele se na tri frakcije s obzirom na boju, sastav, molekularnu masu i topljivost (Medverec Knežević, 2019.):

- Fulvinske kiseline: frakcija s najmanjom prosječnom molekulskom masom, topljive u vodi pri svim pH vrijednostima
- Huminske kiseline: u kemijskoj strukturi dominiraju fenolne skupine, topive samo pri pH vrijednostima većim od 2
- Humin: frakcija najveće molekularne mase, nije topljiva niti u kiselinama niti u lužinama



Slika 2. Struktura A) huminske kiseline i B) fulvinske kiseline (Ouni i sur., 2014.)

2.2. METODE UKLANJANJA ORGANSKIH TVARI IZ VODE

Adsorpcijske metode

Adsorocijska metoda uklanjanja prirodnih organskih tvari temelji se na interakciji neke čvrste tvari (adsorbensa) i neke tekuće tvari, tj. adsorbata (molekula plina ili otopljene tvari iz otopina). Adsorbat se veže na graničnoj površini adsorbensa te uspješnost adsorpcijskom procesa ovisi o aktivnoj specifičnoj površini adsorbensa. Adsorbens su tvari čija je specifična aktivna površina puno veća od geometrijske površine, npr. aktivni ugljen, silika gel, zeoliti.

S obzirom na vrste kemijskih reakcija postoji fizikalna, kemijska i ionska adsorpcija. Kod fizikalne adsorpcije veza između adsorbensa i adsorbata će biti slabija jer se između njih javlja Van der Waalsova sila kohezije. Kemisorpcija se javlja povezivanjem adsorbensa i adsorbata kemijskom vezom. Djelovanjem elektrostatskog naboja dolazi do vezanja dvaju slojeva što čini ionsku adsorpciju (Kalajdžić, 2012.).

Učinkovitost procesa ovisi o površini i strukturi pora adsorbensa, veličini čestica adsorbensa, kemiji površine adsorbensa, karakteristikama adsorbata, prisutnosti anorganskih iona i temperaturi (Medverec Knežević, 2019.).

U postupcima obrade vode najčešće se koriste porozni materijali, npr. aktivni ugljen i metalni oksidi. Aktivni ugljen može biti u obliku praha, granula ili kao biološki aktivan aktivni ugljen (peletni oblik) (**Slika 3**).



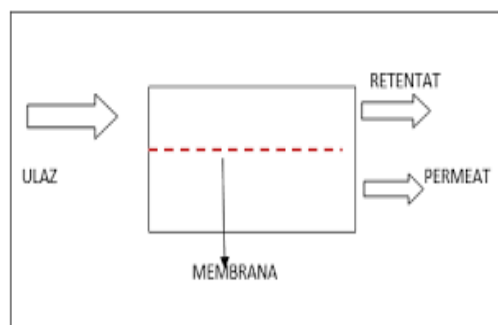
Slika 3. Aktivni ugljen u obliku: a) praha, b) granula, c) peleta (Medverec Knežević, 2019.)

Membranski postupci

Membranske se tehnologije sve češće primjenjuju u obradi voda s ciljem uklanjanja organskih i anorganskih onečišćenja koja se nalaze u vodi. Upravo primjena reverzne osmoze i nanofiltracije može utjecati na smanjenje nestašice pitke vode na Zemlji (Košutić, 2019.). Također, zbog svojih tehnoloških prednosti zamjenjuje postupke koagulacije i flokulacije koje su do sada dominirale u procesima obrade vode (Medverec Knežević, 2019.).

Neke od prednosti membranskih procesa su mogućnost optimalnog odabira membrana, jednostavnost tehnologije i lakoća održavanja, obrada se provodi pri nižim tlakovima što štedi energiju. Nadalje, sadrži sustav samopročišćavanja, ima nisku nabavna cijena u usporedbi s drugim tehnologijama, čvrstu i otpornu konstrukciju te se smatra ekološki održivom tehnologijom (Košutić, 2019.).

Princip rada temelji se na membrani koja je osnova procesa. Membrana služi kao međufaza između dviju faza, odnosno kao tanki sloj koji odvaja dva fluida i omogućuje selektivni transport iz jednog fluida u drugi djelovanjem pogonske sile. Proces je prikazan na **Slici 4**; ulazna struja potiskuje se kroz poroznu membranu djelovanjem povišenog tlaka čime se razdvaja u dvije struje. U jednoj struji se prolazom kroz membranu smanjuje koncentracija otopljenih tvari i nastaje permeat, a u drugoj se struji koncentracija otopljenih tvari povećava te se dio zadržava na membrani i nastaje retentat.



Slika 4. Shematski prikaz membranskog procesa

Izbor membrana je različit, a membrane se mogu podijeliti prema različitim kriterijima. Prva grupa je klasifikacija membrana prema separacijskom mehanizmu. U tu grupu membrana pripadaju najpoznatiji membranski procesi, mikrofiltracija (MF), ultrafiltracija (UF), nanofiltracija (NF) i reverzna osmoza (RO). Membranski procesi se mogu podijeliti i prema morfologiji primjenjenih membrana. S aspekta morfologije, membrane mogu biti po presjeku ujednačene poroznosti ili mogu imati pore neujednačenih veličina. Membrane se mogu klasificirati i prema kemijskoj prirodi te prema geometriji (Košutić, 2019.).

Mikrofiltracija

Mikrofiltracija mehanizmom razdvajanja tvari nalikuje gruboj filtraciji, a veličina pora mikrofiltracijskih membrana iznosi 0,05–10 μm . Mikrofiltracijske membrane dobivaju se različitim postupcima od sinteriranja do fazne inverzije, a materijali koji se koriste za sintezu mogu biti od organskog (polimeri PTFE, alifatski poliamidi, hidrofilne polimerne membrane od celuloznih estera) i anorganskog materijala (Al_2O_3 , ZrO_2 , SiC , TiO_2 i drugi). Karakteristika mikrofiltracijskih membrana je značajan pad fluksa uslijed koncentracijske polarizacije i formiranja kolača što iziskuje pažljiv nadzor rada modula (Košutić, 2019.).

Mikrofiltracija se primjenjuje za separaciju suspenzija i emulzija te se također primjenjuje u analitičke svrhe, sterilizaciji i bistrenju tekućina, dobivanju ultračiste vode za potrebe industrije poluvodiča, obradbu otpadnih voda, biomedicinske svrhe, kontinuiranoj fermentaciji, itd. (Košutić, 2019.).

Ultrafiltracija

Nakon mikrofiltracije, po veličini pora membrana slijedi ultrafiltracija. Veličina pora membrana kreće se od 1 do 100 nm, a tlak nužan za postizanje filtracije treba biti u rasponu od 1 do 10 bara. Za razliku od mikrofiltracije, membrane ultrafiltracije imaju asimetričnu strukturu s puno gušćim gornjim slojem koji je debljine ispod 1 μm . Proces ultrafiltracije temelji se na principu sita, a kroz membranu će proći voda, anorganske soli i manje organske molekule dok će tvari čija je molekulska masa veća od 500 Da ostati na membrani. Ultrafiltracijske membrane dobivaju se faznom inverzijom, a koriste se polimerni materijali (polisulfon/poli(eter sulfon)/sulfonirani polisulfon, poli(viniliden fluorid), poliakrilonitril, itd) (Košutić, 2019.).

Proces ultrafiltracije primjenjuje se za koncentriranje makromolekularnih otopina, i to najčešće u industriji mlijeka, hrane, metalurgiji, tekstilnoj industriji, obradbi otpadnih voda, farmaceutskoj industriji, itd. (Košutić, 2019.).

Nanofiltracija

Nanofiltracija je proces koji za razliku od MF i UF sadrži gušću membranu, a veličina pora membrane iznosi 1–10 nm, a procesni tlak iznosi 10–20 bara. Nanofiltracijske membrane zadržavaju molekule i ione većih dimenzija, a propuštaju manje anorganske i organske molekule. Vrlo je važno pravilno izabrati materijal membrane. Izbor membrane izravno utječe na separacijsku učinkovitost jer membrana mora imati veliku sklonost prema otapalu i slab afinitet prema otopljenoj tvari (Košutić, 2019.).

Nanofiltracijske membrane se primjenjuju za mekšanje vode, uklanjanje klorida, sprječavanje prolaza bakterija i virusa, smanjenje ukupnog sadržaja organskog ugljika u vodi te za obradbu otpadnih voda i zadržavanje boja u tekstilnoj industriji (Košutić, 2019.).

Reverzna osmoza

Jednako kao i NF, RO se temelji na kapilarnoj difuziji otapala. Koristi se kada kroz membranu prolazi samo otapalo, dok na membrani zaostaju ioni i molekule. Primjenjuju se visoki tlakovi od 30 do 120 bara kako bi se nadvladao osmotski tlak te omogućio prolazak otapala kroz membranu. Kao i kod NF, membrane su gušće, a veličina pora membrane kod procesa reverzne osmoze je 0,1–1 nm (Košutić, 2019.).

Reverzna osmoza primjenjuje se za proizvodnju vode za piće desalinacijom iz morske ili boćate vode te za pročišćavanje voda za potrebe industrije poluvodiča (Košutić, 2019.).

Ionska izmjena

Ionska izmjena je fizikalni postupak obrade vode kojim je moguće uklanjanje organskih tvari iz vode na principu izmjene stehiometrijske ekvivalentne količine iona između ionskog izmjenjivača i obrađene vode. Ionski izmjenjivači ne mijenjaju kemijski sastav, a u strukturi sadrže fiksirane pozitivne ili negativne električne naboje kroz koje difundiraju ioni. Mogu biti anorganskog ili organskog podrijetla (Medverec Knezović, 2019.).

Različite su vrste zeolita pokazale dobra izmjenjivačka svojstva, dok su se kod sintetičkih ionskih izmjenjivača najbolje pokazali izmjenjivači na bazi stirena i divinil benzena (Kalajdžić, 2012.).

Kod uklanjanja huminskih tvari najbolji učinak moguće je postići primjenom jako bazičnih smola otvorene strukture i pri visokom udjelu vode. Primjer bazične smole su kvartarne amonijeve smole koje sadrže polarne skupine (Bolto i sur., 2002.).

Napredni oksidacijski procesi

Napredni oksidacijski procesi su jedna od tehnika kojom se uklanjaju organske tvari iz vode, a odvijaju se pri ambijentalnoj temperaturi i tlaku, a nastaju hidroksilni radikali u suvišku (Glaze i sur. 1987.). Napredni oksidacijski procesi primjenjuju se u kombinaciji s nekom od drugih tehnika obrade vode kako bi se povećala učinkovitost procesa. Tako se npr. prvo provodi obrada vode koagulacijom i filtracijom, a potom se provodi oksidacija. Neke od prednosti su: velika brzina oksidacije, mala dimenzija opreme, fleksibilnost u pogledu promjenjivosti kvalitete vode. Iako ima prednosti, korištenje naprednih oksidacijskih procesa i dalje je ograničeno uglavnom zbog visokih troškova, korištenja vrlo reaktivnih kemikalija i visokoenergetskih izvora te zahtijeva stupanj predčišćenja (Matilainen i sur., 2010.).

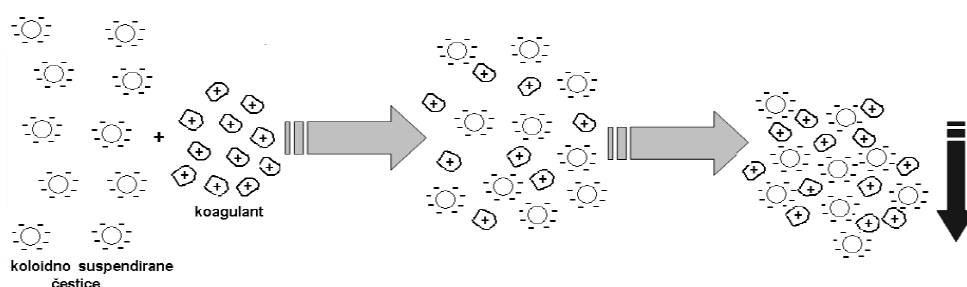
Među napredne oksidacijske procese ubrajaju se O_3/H_2O_2 , O_3/UV , UV/H_2O_2 , TiO_2/UV , $H_2O_2/kataliza$, Fentonov proces, ultrazvuk i foto-Fentonov proces.

Umjesto UV svjetla prilikom uklanjanja organskih tvari, mogu se koristiti LED svjetla. Prednost LED svjetlosti je velika učinkovitost i trajnost, ali upotreba ove metoda još nije dovoljno proučena (Matilainen i sur., 2010.).

Koagulacija i flokulacija

Jedna od mogućnosti uklanjanja organskih tvari iz vode je obrada koja se temelji na koagulaciji i flokulaciji. To su najčešći i ekonomski prihvatljivi procesi obrade vode zahvaljujući mnogim pozitivnim karakteristikama među kojima se najviše ističe izbjegavanje stvaranja dezinfekcijskih nusprodukata. Primjenjuje se u obradi vode u cilju smanjenja zamućenost i obojenje vode te kako bi se uklonile suspendirane čestice i patogeni mikroorganizmi.

Ovaj fizikalno-kemijski proces temelji se na destabilizaciji, aglomeriranju, taloženju čestica suspendiranih ili otopljenih tvari. Čestice koje je potrebno izdvojiti imaju malu dimenziju i negativan električni naboj površine zbog čega se otežano izdvajaju iz vode (Habuda-Stanić i sur., 2013.).



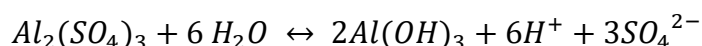
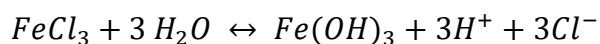
Slika 5. Pojednostavljeni prikaz procesa koagulacije i flokulacije (Habuda-Stanić i sur., 2013.)

Proces se odvija uz pomoć kemijskih reagenasa, tj. koagulanata koji se dodaju u vodu. Oni smanjuju negativan električni naboj površine nakon čega otopljene čestice počinju aglomerirati u veće čestice ili flokule. Tu se odvijaju različiti mehanizmi kao što su neutralizacija naboja, adsorpcija, stvaranje netopljivog sloja. Nakon toga slijedi taloženje i izdvajanje percipitacijom i filtracijom iz vode. Pojednostavljeni prikaz koagulacije i flokulacije prikazan je na **Slici 5** (Sillanpää i sur., 2017.).

Postupak obrade koagulacijom i flokulacijom možemo podijeliti na dvije faze. Prva faza koagulacije dolazi do destabilizacije i neutralizacije koloidnih čestica uz određenu turbulenciju, a u drugoj fazi uslijed sporog miješanja neutraliziranih čestica uslijed flokulacije čestice aglomeriraju i talože se (Medverec Knežević, 2019.).

Na učinkovitost procesa koagulacije najvećim dijelom utječu izbor i količina koagulacijskog sredstva. Najčešće korišteni koagulant su soli aluminija, željeza te sintetski organski polielektroliti (Kalajdžić, 2012.). Od soli aluminija najčešće se koriste kao koagulant: aluminijev sulfat ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$), aluminijev klorid ($AlCl_3 \cdot 6H_2O$), poli aluminijev klorid $[Al_2(OH)_nCl_{6-n} \cdot xH_2O]_m$ ($m \leq 10, n = 1 \text{ do } 5$) i natrijev aluminat ($NaAlO_3$), dok se od soli željeza najčešće koriste ferosulfat ($Fe_2(SO_4)_3 \cdot 8H_2O$), željezni sulfat ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$), željezni klorid ($FeCl_3$).

Željezni klorid i aluminijev sulfat u vodi reagiraju prema sljedećim jednadžbama:



Metalni koagulanti su najčešći izbor za obradu vode među kojima se nalaze soli na bazi aluminijske i na bazi željezne. Prednost su niska cijena, dostupnost u čvrstom i tekućem agregatnom stanju te uspješno provođenje procesa koagulacije. Uz velik broj prednosti postoje određeni nedostaci koji se pojavljuju tijekom obrade vode koagulacijom i flokulacijom poput velike količine otpadnog mulja, promjena pH vode, zaostali metali ili polimeri u pročišćenim vodama.

Istraživanja su pokazala da se u obrađenoj vodi solima na bazi aluminijske može pojaviti određena količina rezidualnog aluminijske što upućuje da su soli na bazi željezne bolji izbor. Isto tako soli na bazi željezne imaju veću sposobnost uklanjanja organskih tvari pod istim optimalnim uvjetima. Npr. $FeCl_3$ kao koagulant učinkovitije vrši proces koagulacije od $Al_2(SO_4)_3$, što se posebno odnosi na suspendirane tvari srednje i velike molekulske mase te su manje osjetljivi na niske temperature u pogledu mutnoće vode. Razlog tome je mogućnost stvaranja više faza tijekom nastanka flokula. Iako su se koagulanti na bazi željezne pokazali kao bolji, koagulanti na bazi aluminijske imaju veću učinkovitost pri uklanjanju boje i zamućenja vode (Sillanpää i sur., 2017.).

U ovu skupinu uz željezo i aluminijske pripadaju i soli na bazi titana i cirkonijeva. U obradi vode mogu se koristiti i titanijev klorid ($TiCl_4$), titanijev sulfat ($Ti(SO_4)_2$), cirkonijev klorid ($ZrCl_4$) i cirkonijev sulfat ($Zr(SO_4)_2$) (Sillanpää i sur., 2017.).

Uz metalne koagulanate u obradi vode koriste se i poliektroliti. U polimerne koagulanate ubrajamo makromolekularne prirodne ili sintetičke (organske i anorganske) spojeve. Zbog tendencije brze i nekontrolirane hidrolize metalnih koagulanata razvijaju se anorganski polimeri. Njihov proces uklanjanja temeljen je na adsorpciji, kompleksiranju, u manjoj mjeri neutralizaciji naboja. Uspješnije koaguliraju u hladnim vodama ili vodama niske alkalnosti. Mogu se primijeniti polialuminijski klorid, poliferni klorid, poliferni sulfat te različiti kompleksni spojevi, npr. polimerni aluminijsko-željezni sulfat, polimerni željezni cink sulfat i polimerni fosfatni aluminijsko-klorid (Sillanpää i sur., 2017.).

Poliektrolitima se smatraju polimerni spojevi koji sadrže ionizirane skupine, tako da se organski polimeri mogu podijeliti u kationske, anionske ili neutralne skupine. Poliektroliti na temelju svojih karakteristika destabiliziraju i neutraliziraju naboj suspendiranih tvari. Kationski poliektroliti se najčešće koriste u obradi pitke vode zbog toga što huminske tvari imaju anionski karakter. Istraživanja su pokazala da je potrebno manje ovih koagulanata što ujedno smanjuje i troškove obrade, učinak im manje ovisi o pH, a smanjeno je i nastajanje rezidualnih metalnih spojeva.

Isto kao i kod metalnih koagulanata, u obradi vode uporabom polielektrolita kao koagulanata postoje i nedostaci poput rezidualnih koncentracija monomera i nusprodukte koji mogu reagirati s drugim spojevima prisutnim u vodi tijekom obrade (Sillanpää i sur., 2017.). Prirodni polimeri (hitozan, škrob), poldialildimetil amonijev klorid (pDADMAC), kationski poliakrilamid (CPAM) te polimeri iz epiklorohidrina i dimetilamina pripadaju u kationske polielektrolite (Sillanpää i sur., 2017.). U anionske polielektrolite pripadaju anionski PAM ili prirodni biopolimeri, dok neutralni polielektroliti uključuju poliakrilamid (Sillanpää i Matilainen, 2010.).

2.3. PRIRODNE VODE OSJEČKO-BARANJSKE ŽUPANIJE

Osječko-baranjska županija leži na istočnom dijelu Hrvatske koje je u dalekoj povijesti bilo prekriveno Panonskim morem što se odrazilo i na sastav tla. Tlo istočne Hrvatske je bogato mineralima i drugim organskim tvarima koje otapanjem utječe i na sastav prirodnih voda. Tako su i karakteristike voda Osječko-baranjske županije povišene koncentracije organskih tvari, željeza, mangana, nitrata, amonijaka i arsena čije uklanjanje iz vode zahtjeva primjenu različitih tehnika obrade vode za piće (Kalajdžić, 2012.).

Prirodne vode grada Osijeka

Uz grad Osijek veže se i jedini vodotok na području grada, rijeka Drava (<http://www.prostorobz.hr/>). Područje grada Osijeka u hidrogeološkom smislu pripada u vodonosni kompleks kvartarne starosti, odnosno kompleks do dubine 150 – 200 m (<http://www.prostorobz.hr/>).

Upravo na rijeci Dravi 1884. godine je prva crpna stanica puštena u pogon. Kasnijih godina seli se na novu lokaciju Pampas koja je i danas u funkciji kao rezervno crpilište. Razlog zbog kojeg se tražio novi izvor bila je loša kvaliteta dravske vode koja se sedamdesetih godina prošlog stoljeća značajno pogoršala (<https://vodovod.com/vodne-usluge/vodopskrba/>).

Crpilište Vinogradi, koje je nakon Pampasa stavljeno u funkciju, koristi se i danas. Čini najveće crpilište u Republici Hrvatskoj i nalazi se 10 km udaljeno od grada Osijeka. Podzemna voda crpi se iz 18 zdenaca, s dubine od oko 150 m, a položaj zdenaca je prikazan na **Slici 6**.

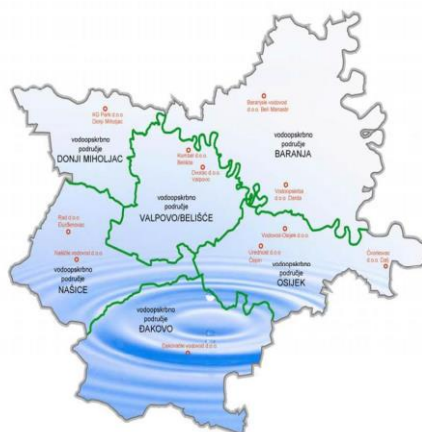


Slika 6. Položaj zdenaca na crpilištu Vinogradi (Duić i sur., 2018.)

Voda koja se crpi iz bunara odlazi do pogona za proizvodnju vode za piće jer ne zadovoljava standarde zdravstvene ispravnosti vode za piće uslijed povišenih koncentracija organskih tvari, željeza, mangana, arsena, amonijaka te visoke tvrdoće vode (Habuda-Stanić i sur., 2007., Lončarić, 2010.).

2.4. PROIZVODNJA VODE ZA LJUDSKU POTROŠNJU NA PODRUČJU OSJEČKO-BARANJSKE ŽUPANIJE

Na području Osječko-baranjske županije, u kojoj ima 263 naselja, postoji 24 vodocrpilišta iz kojih se kasnije obrađena voda doprema do potrošača. Prikaz područja vodoopskrbe prikazan je na **Slici 7**. 14 vodocrpilišta je javno, a 10 lokalno te se na jednom zahvaća površinska voda, dok se na ostala 23 zahvaća podzemna voda. Vodozahvat Pampas na rijeci Dravi jedino je vodocrpilište gdje se zahvaća površinska voda (Kralj, 2017.).

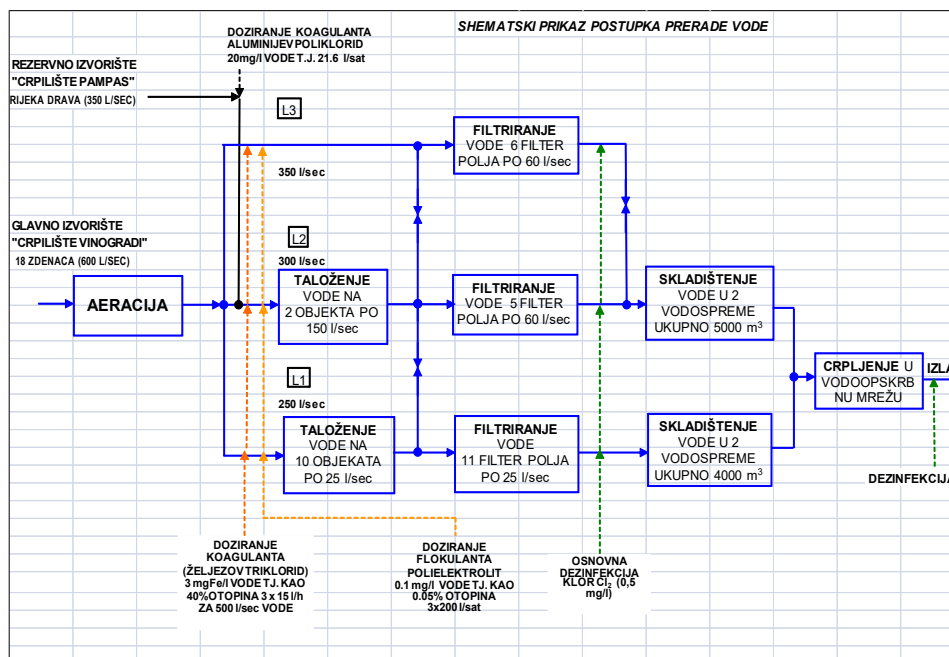


Slika 7. Područja vodoopskrbe na području Osječko-baranjskoj županiji (Kralj, 2017.)

Vodoopskrbne zone na području županije su: Beli Manastir, Belišće, Čepin, Dalj, Darda, Donji Miholjac, Đakovo, Đurđenovac, Našice, Osijek i Valpovo. Postoji 10 lokalnih vodovoda koji nisu u sastavu javne vodoopskrbe te postoje potrošači koji vodu dobivaju iz individualne vodoopskrbe, odnosno koriste vodu zahvaćenu na vlastitom zemljištu. Prema podacima 85% vodoopskrbe je iz javnog vodovodnog sustava koji podrazumijeva odgovarajuću kemijsku, fizikalnu, mikrobiološku i senzorsku kakvoću sukladnu prema propisanim normama i pravilnicima. Voda iz vodovodnog sustava prolazi svakodnevne analize u laboratorijima kako bi osigurala sigurnost potrošača (Kralj, 2017.).

2.5. PROIZVODNJA VODE ZA LJUDSKU POTROŠNJU U POGONU VODOVOD OSIJEK D.O.O. OSIJEK

Sirova voda koja dolazi iz zdenaca crpilišta Vinogradi odlazi do pogona za proizvodnju vode koji je smješten na centralnoj lokaciji Vodovoda Osijek. Tehnološki proces pročišćavanja podzemnih voda prikazan je shematski na **Slici 8**, a započinje s bazenom gdje se voda aerira, odnosno obogaćuje kisikom iz zraka. Zatim se uklanjaju željezo, mangan, plinovi koji su otopljeni u vodi procesima koagulacije i flokulacije. Nakon toga voda odlazi u dva kompleksa u kojima se provodi taloženje, a ujedno i završava proces oksidacije. Sljedeći postupci su filtriranje, nitrifikacija te dezinfekcija kako bi se voda mogla pustiti u vodoopskrbnu mrežu. Nakon svih provedenih tehnoloških postupaka voda tijekom nadziranja laboratorija mora ispuniti sve zahtjeve koji su propisani 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 br. 125/17).



Slika 8. Shematski prikaz postupka prerade vode [izvor: „Vodovod - Osijek“ d.o.o (Romić, 2009.)]

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. ZADATAK

Cilj ovog rada je utvrditi utjecaj procesnih parametara na učinkovitost uklanjanja prirodnih organskih tvari iz vode koagulacijom i flokulacijom. Korišten je koagulant $FeCl_3$ te polielektrolit 2350. Učinkovitost uklanjanja prirodnih organskih tvari iz vode ispitat će se u ovisnosti o vrsti sirove vode (podzemna voda, površinska voda), početnoj koncentraciji prirodnih organskih tvari, mutnoći i temperaturi sirove vode. Podzemna voda uzima se s vodocrpilišta Vinogradi, a površinska s lokacije Pampas na rijeci Dravi.

Nadalje, kako bi proces obrade vode koagulacijom bio uspješan u prvoj se fazi (fazi oksidacije) dodaje $KMnO_4$. Nakon toga slijedi miješanje od 10 sekundi na 150 ok/min. Sljedeća je faza dodavanje koagulant uz miješanje od 20 sekundi na istom broju okretaja. U posljednjoj se fazi dodaje polielektrolit, okretaji se smanjuju na 30 ok/min. Trajanje ove faze je 7 minuta. Nakon toga voda koja se obrađuje stoji 15–20 min, a zatim se filtrira na 0,45 $\mu m/l$.

Učinkovitost uklanjanja prirodnih organskih tvari pratit će se pomoću vrijednosti sljedećih parametara kakvoće vode:

- koncentracija organskih tvari
- suspendirane tvari
- boja
- vodljivost
- ukupna tvrdoća vode

Ispitivanje učinkovitosti provedeno je Jar-testom, a promjena parametara pratit će se pomoću analitičkih uređaja.

3.2. MATERIJALI I METODE

Materijali koji su korišteni u ovom istraživanju su podzemna bunarska voda s crpilišta Vinogradi te površinska voda s vodocrpilišta Pampas iz rijeke Drave.

3.2.1. Otopine i kemikalije

Za potrebe ovog istraživanja korištena je otopina željeznog klorida $FeCl_3$ i otopina kationskog polielektrolita u cilju uspješne provedbe koagulacije i flokulacije.

Željezni klorid $FeCl_3$

Metalni koagulant željeznov klorid se najčešće koristi u praksi obradi voda zbog iznimno dobrih karakteristila koagulant i velike učinkovitosti pri uklanjanju mnogobrojnih koagulanata iz vode.

Otopina FeCl_3 primjenjuje se na način da se pripravi razjedenje određene koncentracije te se potom dozira u sirovu vodu koja se obrađuje u pogonu.



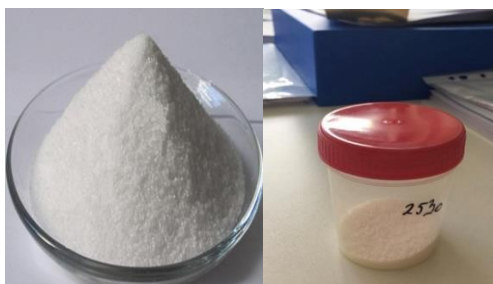
Slika 9. Uzorak željezni klorida korišten tijekom istraživanja

Kationski polielektrolit

U ovom radu ispitan je i učinak dodatka kationskog polielektrolita tijekom obrade vode. Polielektroliti su polimeri koji se koriste u obradi, topivi su u vodi, sintetičke su prirode i karakterizirani ionskom prirodom te se zbog toga i nazivaju polielektrolitima. Polielektroliti mogu biti anionski, neionski i kationski.

Kako bi se provelo uspješno uklanjanje organskih tvari iz vode koriste se kationski polielektrolit prikazan na **Slici 10**. Kationski polielektrolit korišten jer huminskih tvari pri prirodnim pH vrijednostima vode imaju anionski karakter. Smanjenje pH vode uzrokuje taloženje huminskih tvari te se neutralizacija naboja otopljenih huminskih tvari smatra glavnim mehanizmom koagulacije.

Primjenom polielektrolita smanjuje se potrebna količina koagulant (ušteta 25 – 30%), nastaje manja količina otpadnog mulja te je manje opterećenja pročišćene vode ionima koagulant (željeza i aluminija) (Bolto i Gregory, 2007.).



Slika 10. Prikaz kationskog polielektrolita (<https://www.paarichemresources.net/water-treatment-chemicals.html>)

3.2.2. Instrumenti i aparatura

Korišteni su:

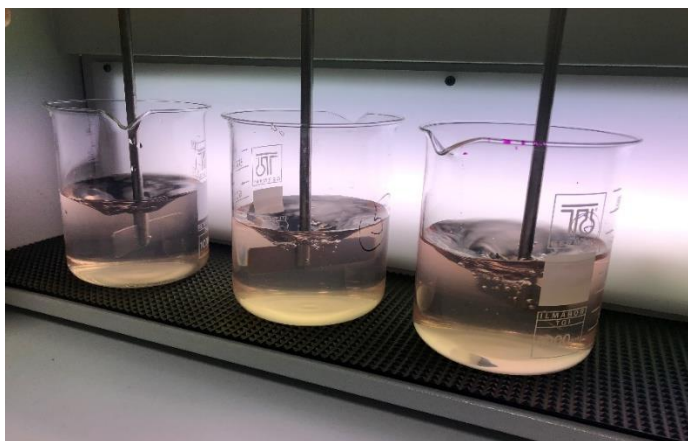
- Jar-test
- konduktometar
- spektrofotometar
- UV-VIS spektrofotometar
- turbidimetar

Jar-test

Prvi korak u određivanju procesnih parametara za uklanjanje prirodnih organskih tvari iz vode koagulacijom i flokulacijom je Jar-test, kojim se u laboratorijskim uvjetima određuju i optimiziraju najznačajniji parametri navedenog procesa. Procese kojima se uklanjaju suspendirane organske tvari koje uzrokuju promjenu mirisa i okusa vode, tj. procese koagulacije i flokulacije simulira Jar-test. Uređaj Jar-test omogućuje promjenu brzine miješanja što omogućuje ispitivanje utjecaja brzine i duljine vremena miješanja. Prva faza se miješa brže kako bi se koagulant potpuno otopio i neutralizirao u vodi prisutne koloidne čestice, dok se druga faza miješa sporije kako bi se formirale veće i bolje taložive flokule.

Jar-test se sastoji od mješalice s lopaticama i pogonskog motora kojim se može regulirati brzina okretaja u minuti. Na **Slici 11** je prikazano miješanje ispitivanih uzorka.

Miješanje je provedeno na način da je u uzorke prvo dodan $KMnO_4$ nakon čega je provedeno miješanje 10 sekundi na 150 okr/min. Potom je doziran $FeCl_3$ te su uzorci miješani 20 sekundi na istom broju okretaja. Nakon navedenog vremena dodan je polielektrolit te je broj okretaja smanjen na 30 okr/min, a vrijeme miješanja je 7 minuta.



Slika 11. Prikaz rada Jar-testa

Membranska filtracija

Nakon obrade u Jar-testu, uzorci su mirovali 15–30 min te su potom filtrirani na uređaju za vakum filtraciju (**Slika 12**). Filtracija je provedena kroz filter papir 0,45 μm koji je karakterističan za mikrofiltracijske (MF) membrane. Veličina pora MF membrane kreće se od 0,1 do 10 μm uz primjenu relativno niskog tlaka od 0,02 do 0,5 MPa. Mikrofiltracija se definira kao filtracija emulzije i suspenzije na membrani te se ujedno smatra i najstarijom membranskom tehnologijom obrade vode.



Slika 12. Prikaz uređaja membranske filtracije

3.2.3. Procesni parametri prerade vode za ljudsku potrošnju koagulacijom i flokulacijom

Vodljivost

Određivanje vodljivosti podrazumijeva mjerenje vodljivosti vode i njezine recipročne vrijednosti, električnog otpora. Uređaj kojim se provodi mjerenje vodljivosti naziva se konduktometar. Vodljivost je recipročnu vrijednost otpora u omima, mjerena između dviju suprotnih strana kocke jednog kubičnog centimetra vodene otopine pri određenoj temperaturi. Mjerna jedinica za vodljivost je $\mu\text{S}/\text{cm}$. Na vodljivost utječe temperatura koja varira oko 2% za 1°C (Kuleš i Habuda-Stanić. 2000).

Za određivanje vodljivosti vode koristio se konduktometar (**Slika 13**) Mettler Toledo SevenEasy. Konduktometar Mettler Toledo SevenEasy je jednostavan, precizan i kompaktan. Kalibracije se mogu unijeti ručno i urediti u bilo kojem trenutku, a isto tako postoji mogućnost izbora temperaturnih kompenzacija odabirom linearne, nelinearne ili nulte kompenzacije za ultračistu vodu.

Kako bi se mjerenje provelo bez većih grešaka potrebno je prije ispitivanja standardnu elektrodu pažljivo oprati destiliranom vodom, a zatim se provodi ispitivanje uzorka (Kuleš i Habuda-Stanić. 2000).



Slika 13. Konduktometra Seven Easy (Mettler Toledo)

Suspendirane tvari

Suspendirane tvari mogu se podijeliti na „taložive“ i „netaložive“, a mogu biti organskog i anorganskog porijekla. Mjere se pomoću spektrofotometra. Povećanje njihove koncentracije u vodi dovodi do povećanja temperature vode i smanjenja razine otopljenog kisika. Nadalje, kada je prisutna veća količina ukupnih suspendiranih tvari mijenja se i boja vode te voda postaje mutna i neupotrebjljiva za piće (Kuleš i Habuda-Stanić. 2000).

Određivanje se provodilo na laboratorijskom uređaju spektrofotometaru model Hach DR/2000 (Slika 14).



Slika 14. Spektrofotometar Hach, model DR/2000

Boja

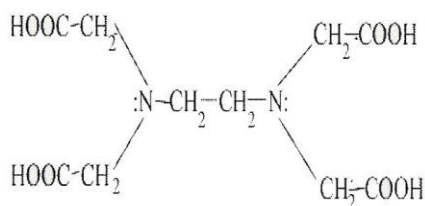
Mjerenje intenziteta boje vrši se uz pomoć spektrofotometra. Uzrok obojenja su otopljene ili suspendirane tvari. Obojenje otopljenim tvarima naziva se „prava“ boja dok obojenje suspendiranim tvarima „prividna“ boja. Intenzitet boje označava se sa „slabo obojena“, „obojena“ ili „jako obojena“ te se dodaje nijansa tona (Kuleš i Habuda-Stanić. 2000).

Boja serije uzoraka određivala se na spektrofotometru proizvođača Hach, model DR/2000, a dobivene vrijednosti izražene su u stupnjevima Pt-Co skale.

Ukupna tvrdoća

Tvrdoća vode prikazuje sadržaj kalcijevih i magnezijevih soli u vodi. To je zbroj svih karbonatnih, sulfatnih, kloridnih, nitritnih i fosfatnih aniona vezanih na magnezij i kalcij. Određuje se titrimetrijski. S obzirom na to koliko neka voda sadrži kalcijeve ili magnezijeve soli, ona se dijeli na: vrlo tvrdu, tvrdu, umjereno tvrdu, meku ili vrlo meku vodu. Jedinica za tvrdoću vode je stupanj tvrdoće 1 °dH, a on predstavlja tvrdoću vode koja u jednoj litri sadrži 10 mg *CaO* ili ekvivalentnu količinu 7,19 mg *MgO* (Kuleš i Habuda-Stanić. 2000.).

Ukupna tvrdoća se određivala titrimetrijski, odnosno titracijom uzoraka vode s 0,01 M otopinom EDTA (etilen-diamin-tetraoctena kiselina)(**Slika 15**). U tikvicu s vodom doda se otopina pufera, a zatim nekoliko kapi indikatorske otopine ili drugog indikatora. Sljedeći je korak titracija s EDTA u kojoj dolazi do promjene boje iz crvene u plavu (Medverec Knežević, 2019.).



Slika 15. Struktura EDTA (<https://www.pmf.unizg.hr>)

Mutnoća

Mutnoću vode određuje se pomoću uređaja turbidimetra. Uzrok zamućenja vode potječe od suspendiranih čestica gline, čestica mulja, finih organskih i anorganskih tvari, obojenih organskih tvari, mikroorganizama i planktona. Vanjski klimatski uvjeti kao što su velike količine padalina ili otapanje snijega, loš tretman obrade, itd., također mogu uzrokovati zamućenost vode (<https://www.nzjz-split.hr/index.php/2-uncategorised/199-mutnoca-vode-i-zdravstveni-rizik>).

Mutnoća se mjerila na laboratorijskom uređaju turbidimetar proizvođača Hach, model 2100P (**Slika 16**) na principu koji se temelji na količini svjetlosti raspršene na česticama u vodi. Izražava se u nefelometrijskim jedinicama zamućenosti (NTU). Mutnoća će biti veća ako je više prisutnih čestica te će, proporcionalno tomu, biti raspršeno više svjetlosti (Kuleš i Habuda-Stanić. 2000).



Slika 16. Prikaz uređaja turbidimetar

Organske tvari

Prisutnost prirodnih organskih tvari određena je pomoću UV-VIS spektrofotometra. Karakteristika metode određivanja organskih tvari je sposobnost tvari da apsorbiraju elektromagnetsko zračenje te se pomoću te metode može odrediti veliki raspon organskih spojeva koji se nalaze u vodi. Neki od tih spojeva su lignini, tanini, huminske tvari koji apsorbiraju ultraljubičasto zračenje tako da se apsorpcija u UV području može izravno koristiti za određivanje organskih sastojaka u vodi. Organske tvari u uzorku apsorbiraju zračenje proporcionalno svojoj koncentraciji. Uz pomoć UV apsorbancije mogu se odrediti i koncentracije trihalogenmetana te dezinfekcijskih nusprodukata.

Korištenjem specifične UV apsorbancije može se odrediti karakterizacija prirodnih organskih tvari, a specifična UV apsorbancije predstavlja omjer UV apsorbancije i koncentracije organskog ugljika (Medverec Knežević, 2019.).

Apsorbancija uzoraka određena je pomoću UV-VIS spektrofotometra na valnim duljinama 254 nm i 203 nm (**Slika 17**). Na početku ispitivanja uređaj je umjeren pomoću slijepe probe, a potom je izmjerena apsorbancija početnog uzorka te apsorbancije uzoraka nakon obrade.



Slika 17. Prikaz UV-VIS spektrofotometra

Smanjenje potencijala nastanka trihalogenmetana (THMPF) pratio se pomoću mjerenja apsorbancije A_{203} , A_{254} te izračunavanjem omjera A_{254}/A_{203} .

Postotak smanjenja količine prirodnih organskih tvari u uzorku računat je pomoću jednadžbe:

$$\% \text{ smanjenja} = \left(1 - \frac{A_{234} (1\%; 2\% \dots)}{A_{254} (0; \text{početno} \dots)} \right) \times 100.$$

3.2.3. Podzemna voda crpilišta „Vinogradi“

Crpilište „Vinogradi“ u uporabi je od 1984. godine, a sastoji se od 18 zdenaca odakle cjevovodom dužine 8 kilometara sirova voda odlazi u pogon na obradu. Prosječna pojedinačna izdašnost zdenaca je oko 40 l/s, dok je ukupni instalirani kapacitet crpki 720 l/s. Dubina bunara iznosi oko 150 metara zbog čega je voda bakteriološki ispravna, no sadrži povećanu koncentraciju željeza, mangana, amonijaka, arsena, organskih tvari itd. (<https://vodovod.com/vodne-usluge/vodoopskrba/>).

Pri dolasku vode u pogon, voda se obrađuje sljedećim postupcima:

- aeracija
- doziranje kalijeva permanganata
- doziranje željezovog klorida
- doziranje polielektrolita
- taložnici
- filtracija na pješčanom filtru

Nakon što voda prođe zadnji korak obrade, slijedi dezinfekcija čime voda postaje sigurna za ljudsku potrošnju i pohranjuje se u četiri vodospreme odakle odlazi do potrošača vodoopskrbnom mrežom (Medverec Knežević, 2019.). Uzorci bunarske vode u ovom istraživanju uzeti su na centralnoj lokaciji Vodovoda Osijek d.o.o. „Nebo pustara“ gdje je ujedno smješten i pogon za proizvodnju vode.

U **Tablici 1** prikazane su fizikalno-kemijske karakteristike osječke podzemne vode.

Tablica 1. Fizikalno-kemijske karakteristike podzemne vode

KEMIJSKI PARAMETRI	MJERNA JEDINICA	SIROVA AERIRANA VODA
Temperatura	°C	16
Boja	mg/l Pt/Co skale	72
Mutnoća	°NTU jedinica	7,25
Miris		Bez
Ukupna tvrdoća	CaCO ₂ mg/l	372,85
Suspendirane tvari	mg/l	2
Arsen	As µg/l	202,36
Mangan	Mn µg/l	120
Vodljivost	µS/cm	780

3.2.4. Površinska voda rijeke Drave crpilišta „Pampas“

Kao rezervno izvoriste vode za potrebe grada Osijeka koristi se vodocrpilište „Pampas“ koje je također u sklopu vodoopskrbnog sustava Osijek. Kapacitet dopunskog izvorišta je 350 l/s, koje se aktivira u slučaju intervencija na primarnom crpilištu ili u slučaju potrebe za dopunjavanjem razlike između ukupne potrošnje vodoopskrbnog sustava grada Osijeka i zahvaćene količine vode s crpilišta Vinogradi (<https://vodovod.com/vodne-usluge/vodoopskrba/>).

U **Tablici 2** prikazane su vrijednosti fizikalno-kemijski parametara površinske, dravske vode.

Tablica 2. Fizikalno-kemijske karakteristike površinske vode

KEMIJSKI PARAMETRI	MJERNA JEDINICA	DRAVSKA VODA
Temperatura	°C	10
Boja	mg/l Pt/Co skale	33
Mutnoća	°NTU jedinica	3,76
Miris		Bez
Ukupna tvrdoća	CaCO ₂ mg/l	255,89
Suspendirane tvari	mg/l	7
Arsen	As µg/l	0,714
Mangan	Mn µg/l	68
Vodljivost	µS/cm	220

3.3. UKLANJANJE ORGANSKIH TVARI IZ VODE KOAGULACIJOM I FLOKULACIJOM

Uspješnost uklanjanja organskih tvari iz vode koagulacijom i flokulacijom uvjetovan je nizom čimbenika, a najznačajniji su izbor koagulacijskog sredstva te njegova količina i pH vode.

Naime, ukoliko je pH viši od minimalne topljivosti koagulant doći će do nastanka koloidnih tvari koje se mogu taložiti, dok kod pH niže od minimalne topljivosti doći će do stvaranja monomera. Doza koagulant također djeluje na učinkovitost obrade. Dodatkom prevelike količine koagulant dolazi do nastanka prevelike količine nastalog mulja i smanjenja pH. S druge strane, nedostatak koagulant dovodi do zaostajanja metala i organskih tvari u obrađenoj vodi (Sillanpää i sur., 2017.).

Kemijska i molekularna struktura organskih tvari također utječe na učinkovitost koagulacije i flokulacije. Istraživanja ukazuju da će koagulacija biti učinkovitija kod uklanjanja organskih tvari veće molekulske mase i većeg udjela huminskih tvari. Također je uočeno da lakše koaguliraju hidrofobni sastojci organskih tvari (Sillanpää i sur., 2017.).

Dodatkom kiselina ili baza kontrolira se alkalitet vode kako bi se postavio na optimalnu dozu koja je najučinkovitija (Sillanpää i Matilainen, 2010.).

3.3.1. Uzorci podzemne i površinske vode

Tijekom istraživanja korišteno je više različitih uzoraka podzemne i površinske vode. Pojedini uzorci rijeke Drave su bili zamućeni s infuzorijskom zemljom kako bi se dobili primjeri rijeke Drave koji se dobivaju tijekom cijele godine. U ovom radu učinak uklanjanja organskih tvari ispitan je pomoću devet različitih uzoraka sirove vode:

- (I) 70 % aerirana voda : 30 % bistra Drava
- (II) 30 % aerirana voda : 70 % bistra Drava
- (III) 70 % aerirana voda : 30 % mutna Drava
- (IV) 30 % aerirana voda : 70 % mutna Drava
- (V) 50 % aerirana voda : 50 % bistra Drava
- (VI) 50 % aerirana voda : 50 % mutna Drava
- (VII) sirova aerirana podzemna voda (100 %)
- (VIII) Osmi uzorak: čista površinska rijeka Drava (100 %)
- (IX) mutna površinska rijeka Drava (100 %)

3.3.2. Temperiranje uzoraka vode

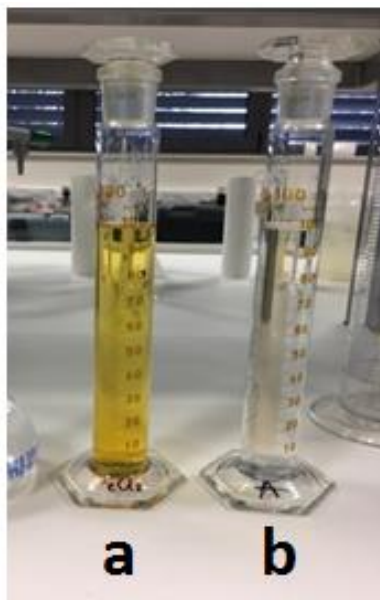
Temperature uzoraka na kojima se provodilo istraživanje: 10.5 °C, 18 °C, 24 °C, 30 °C

Kako bi se postigle određene istraživane temperature pojedini uzorci su hlađeni ili zagrijavani.

3.3.3. Priprema otopina koagulanta i flokulanta

Otopine koagulanta i flokulanta dobivene su miješanjem standardnih otopina s vodom, a na **Slici 18** prikazane su pripremljene otopine.

Koagulant $FeCl_3$ koristio se tako što se 1 mL koagulanta željeznog klorida doda u 100 mL vode i kao takva se koristi u obradi. Nakon toga, zadnje što se dodaje je polielektrolit. Otopina polielektrolita dobije se odvagom 0,1 g polielektrolita 2350 koji se doda u 200 mL vode.



Slika 9. Otopina $FeCl_3$ (a) i polielektrolita (b)

3.3.4. Obrada uzoraka vode

Jar-test proveden je na sljedeći način:

U svaku čašu dodano je 500 mL uzorka, a zatim su preveden sljedeći proces obrade:

(I) podešavanje početne temperature uzoraka

zagrijavanje/hlađenje uzoraka provedeno je u cilju podešavanja početne temperature uzorka.

Temperatura uzoraka podešena je zagrijavanjem uzoraka na termostatskoj mješalici ili hlađenjem u hladnjaku.

Utjecaj temperature na učinkovitost uklanjanja prirodnih organskih tvari ispitano je na četiri različite temperature: (I) 10,5 °C, (II) 18 °C, (III) 24 °C i (IV) 30 °C.

Nakon podešavanja temperature, uzorci su smješteni u Jar-test te miješani na 150 okr/min.

(II) oksidacija

Oksidacija je provedena doziranjem 1%-tne otopine $KMnO_4$. U čaše je dodano po 0,05 mL $KMnO_4$. Broj okretaja 150 okr/min, a vrijeme miješanja 10 sekundi

(II) koagulacija

Koagulacija je provedena doziranjem različitih količina otopine $FeCl_3$.

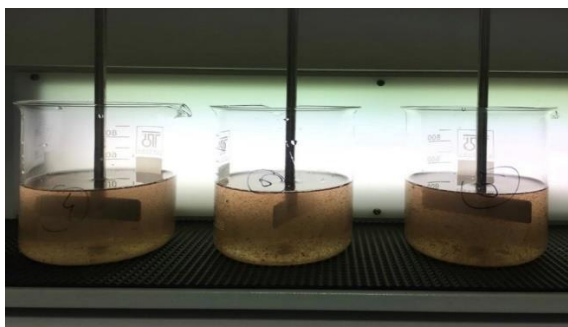
U prvu čašu dodano je 0,7 mL, u drugu čašu 1,0 mL i u treću 1,5 mL otopine $FeCl_3$. Broj okretaja 150 okr/min, a vrijeme miješanja 20 sekundi.

(III) flokulacija s otopinom polielektrolita

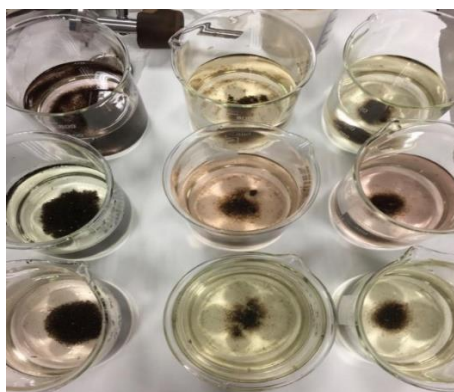
Flokulacija je provedena doziranjem otopine kationskog polielektrolita pripremljenog postupkom opisanim u prethodnom potpoglavlju. U čaše s uzorcima vode dodano je po 0,1 mL pripremljene otopine polielektrolita. Nakon zadnjeg dodavanja broj okretaja se smanjio na 30 okr/min, a vrijeme miješanja iznosilo je 7 min. **Slika 19** prikazuje zadnju fazu miješanja.

(IV) taloženje

Nakon 7 minuta miješanja uzoraka uslijedilo je taloženje. Taloženje je provedeno mirovanjem uzoraka u vremenu od 15 do 30 min (**Slika 20**).



Slika19. Dodavanje otopina koagulanata tijekom provedbe Jar-testa



Slika 20. Taloženje tijekom provedbe Jar-testa

3.3.5. Membranska filtracija

Nakon obrade suzoraka u Jar-testu, uzorci su odstoiali određeno vrijeme te je provedena filtracija preko filter papira veličine pora 0,45 μm (mikrofiltracija). Filtracija je provedena pomoću uređaja za vakuum filtraciju prikazanom na **Slici 12**. Dobiveni filtrat služi za daljnja određivanja parametara koji određuju karakteristike vode.

4. REZULTATI I RASPRAVA

4.1. UTJECAJ TEMPERATURE I KEMIJSKOG SASTAVA VODE NA UČINKOVITOST UKLANJANJA PRIRODNIH ORGANSKIH TVARI IZ VODE KOAGULACIJOM I FLOKULACIJOM

Nakon Jar-testa i membranske filtracije u dobivenim filtratima određena je koncentracija prirodnih organskih tvari uklonjena provedenim postupkom u ovisnosti o temperaturi i kemijskom sastavu vode. Dobiveni rezultati prikazani su u **Tablicama 5 - 8**. Koncentracija prirodnih organskih tvari u dobivenim filtratima uzoraka određena je mjerenjem UV-apsorbancija na valnim duljinama 254 i 203 nm.

M.D.K. vrijednost za prirodne organske tvari u vodi za ljudsku potrošnju definirana 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) iznosi 5,0 mgO₂/L izražena kao utrošak KMnO₄. Koncentracija prirodnih organskih tvari u vodi za ljudsku potrošnju navedenim Pravilnikom nije definirana parametrom A₂₅₄.

TEMPERATURA 10,5 °C

Tablica 5. Učinkovitost uklanjanja prirodnih organskih tvari koagulacijom i flokulacijom pri temperaturi 10,5 °C

UZORAK 1 AERIRANA VODA : BISTRA DRAVA = 70% : 30%				SMANJENJE A₂₅₄ (%)
doza koagulanta	A ₂₅₄	A ₂₀₃	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,0556	0,0099	5,616	
15 ppm	0,0503	0,0082	6,134	9,53
20 ppm	0,0511	0,0098	5,214	8,09
30 ppm	0,0498	0,0073	6,822	10,43
UZORAK 2 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 30% : 70%				SMANJENJE A₂₅₄ (%)
doza koagulanta	A ₂₅₄	A ₂₀₃	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,0564	0,0109	5,174	
15 ppm	0,0445	0,0102	4,363	21,1
20 ppm	0,0483	0,0108	4,472	14,36
30 ppm	0,0450	0,0097	4,639	20,21
UZORAK 3 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 70% : 30%				SMANJENJE A₂₅₄ (%)
doza koagulanta	A ₂₅₄	A ₂₀₃	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,0872	0,0149	5,852	

15 ppm	0,0765	0,0148	5,169	12,27
20 ppm	0,0757	0,0134	5,659	13,19
30 ppm	0,0609	0,0114	5,342	30,16
UZORAK 4 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 30% : 70%				SMANJENJE A_{254} (%)
doza koagulanta	A_{254}	A_{203}	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,0674	0,0137	4,92	
15 ppm	0,0605	0,0116	5,216	
20 ppm	0,0617	0,0123	5,016	8,46
30 ppm	0,0539	0,0117	4,607	20,03
UZORAK 5 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 50% : 50%				SMANJENJE A_{254} (%)
doza koagulanta	A_{254}	A_{203}	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,0667	0,0124	5,379	
15 ppm	0,0573	0,0120	4,775	
20 ppm	0,0580	0,0102	5,686	13,04
30 ppm	0,0527	0,0098	5,378	20,98
UZORAK 6 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 50% : 50%				SMANJENJE A_{254} (%)
doza koagulanta	A_{254}	A_{203}	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,0754	0,0155	4,865	
15 ppm	0,0633	0,0147	4,306	
20 ppm	0,0650	0,0139	4,676	13,79
30 ppm	0,0587	0,0189	3,106	22,14
UZORAK 7 AERIRANA VODA = 100%				SMANJENJE A_{254} (%)
doza koagulanta	A_{254}	A_{203}	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,198	0,102	1,941	
15 ppm	0,186	0,099	1,879	
20 ppm	0,169	0,075	2,253	14,64
30 ppm	0,182	0,100	1,82	8,08
UZORAK 8 BISTRA DRAVA = 100%				SMANJENJE A_{254} (%)
doza koagulanta	A_{254}	A_{203}	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,078	0,077	1,013	
15 ppm	0,069	0,077	0,896	
20 ppm	0,064	0,031	2,065	17,94
30 ppm	0,071	0,060	1,183	8,97
UZORAK 9 ZAMUĆENA DRAVA = 100%				SMANJENJE A_{254}
doza koagulanta	A_{254}	A_{203}	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	

početni uzorak	0,146	0,124	1,177	(%)
15 ppm	0,132	0,070	1,886	9,58
20 ppm	0,143	0,119	1,202	2,05
30 ppm	0,088	0,064	1,375	39,72

TEMPERATURA 18 °C

Tablica 6. Učinkovitost uklanjanja prirodnih organskih tvari koagulacijom i flokulacijom pri temperaturi 18 °C

UZORAK 1 AERIRANA VODA : BISTRA DRAVA = 70% : 30%				SMANJENJE A₂₅₄ (%)
doza koagulant	A ₂₅₄	A ₂₀₃	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,0695	0,0083	8,373	
15 ppm	0,0545	0,0068	8,015	21,58
20 ppm	0,0526	0,0065	8,092	24,31
30 ppm	0,0683	0,0079	8,646	1,72
UZORAK 2 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 30% : 70%				SMANJENJE A₂₅₄ (%)
doza koagulant	A ₂₅₄	A ₂₀₃	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,0772	0,0112	6,893	
15 ppm	0,0447	0,0094	4,755	42,09
20 ppm	0,0510	0,0101	5,049	33,93
30 ppm	0,0648	0,0086	7,535	16,06
UZORAK 3 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 70% : 30%				SMANJENJE A₂₅₄ (%)
doza koagulant	A ₂₅₄	A ₂₀₃	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,0884	0,0093	9,505	
15 ppm	0,0766	0,0086	8,907	13,34
20 ppm	0,0759	0,0061	12,443	14,14
30 ppm	0,0699	0,0057	12,263	20,92
UZORAK 4 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 30% : 70%				SMANJENJE A₂₅₄ (%)
doza koagulant	A ₂₅₄	A ₂₀₃	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,0911	0,0104	8,76	
15 ppm	0,0732	0,0093	7,871	19,64
20 ppm	0,0830	0,0082	10,122	8,89
30 ppm	0,0589	0,0070	8,414	35,34
UZORAK 5 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 50% : 50%				SMANJENJE

doza koagulanta	A_{254}	A_{203}	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	A_{254} (%)
početni uzorak	0,0688	0,0210	3,276	
15 ppm	0,0644	0,0112	5,75	6,39
20 ppm	0,0648	0,0101	6,416	5,81
30 ppm	0,0564	0,0115	4,904	18,02
UZORAK 6 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 50% : 50%				SMANJENJE A_{254} (%)
doza koagulanta	A_{254}	A_{203}	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,0833	0,0119	7	
15 ppm	0,0686	0,0116	5,914	
20 ppm	0,0811	0,0078	10,397	
30 ppm	0,0659	0,0086	7,663	
UZORAK 7 AERIRANA VODA = 100%				SMANJENJE A_{254} (%)
doza koagulanta	A_{254}	A_{203}	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,1344	0,0084	16	
15 ppm	0,1229	0,0064	19,203	
20 ppm	0,1275	0,0079	16,139	
30 ppm	0,1113	0,0081	13,741	
UZORAK 8 BISTRA DRAVA = 100%				SMANJENJE A_{254} (%)
doza koagulanta	A_{254}	A_{203}	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,0603	0,0059	10,220	
15 ppm	0,0573	0,0050	11,46	
20 ppm	0,0516	0,0043	12	
30 ppm	0,0364	0,0058	6,276	
UZORAK 9 ZAMUĆENA DRAVA = 100%				SMANJENJE A_{254} (%)
doza koagulanta	A_{254}	A_{203}	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,1387	0,1013	1,369	
15 ppm	0,1246	0,0733	1,7	
20 ppm	0,1177	0,0963	1,222	
30 ppm	0,1180	0,0479	2,463	

TEMPERATURA 24 °C**Tablica 7.** Učinkovitost uklanjanja prirodnih organskih tvari koagulacijom i flokulacijom pri temperaturi 24 °C

UZORAK 1 AERIRANA VODA : BISTRA DRAVA = 70% : 30%				SMANJENJE A₂₅₄ (%)
doza koagulanta	A₂₅₄	A₂₀₃	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,0843	0,0083	10,157	
15 ppm	0,0625	0,0058	10,776	25,86
20 ppm	0,0537	0,0051	10,529	63,29
30 ppm	0,0719	0,0079	9,101	14,70
UZORAK 2 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 30% : 70%				SMANJENJE A₂₅₄ (%)
doza koagulanta	A₂₅₄	A₂₀₃	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,0672	0,0098	6,857	
15 ppm	0,0495	0,006	8,25	26,33
20 ppm	0,0522	0,0098	5,327	22,32
30 ppm	0,045	0,0078	5,769	33,02
UZORAK 3 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 70% : 30%				SMANJENJE A₂₅₄ (%)
doza koagulanta	A₂₅₄	A₂₀₃	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,0885	0,0062	14,274	
15 ppm	0,0747	0,0038	19,658	15,59
20 ppm	0,0769	0,0052	14,788	13,10
30 ppm	0,0739	0,0047	15,723	16,49
UZORAK 4 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 30% : 70%				SMANJENJE A₂₅₄ (%)
doza koagulanta	A₂₅₄	A₂₀₃	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,0996	0,0059	16,881	
15 ppm	0,0918	0,005	19,62	7,83
20 ppm	0,0957	0,0051	18,765	3,91
30 ppm	0,0767	0,0045	17,044	22,99
UZORAK 5 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 50% : 50%				SMANJENJE A₂₅₄ (%)
doza koagulanta	A₂₅₄	A₂₀₃	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,0996	0,0114	8,737	
15 ppm	0,0815	0,01	8,15	15,63
20 ppm	0,0635	0,0096	6,615	34,26
30 ppm	0,0622	0,015	4,147	35,61

UZORAK 6 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 50% : 50%				SMANJENJE A_{254} (%)
doza koagulanta	A_{254}	A_{203}	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,0866	0,0097	8,928	
15 ppm	0,0779	0,0067	11,627	10,01
20 ppm	0,0824	0,0051	16,157	4,84
30 ppm	0,0732	0,0058	12,621	15,47
UZORAK 7 AERIRANA VODA = 100%				SMANJENJE A_{254} (%)
doza koagulanta	A_{254}	A_{203}	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,0955	0,0067	14,254	
15 ppm	0,0811	0,0059	13,746	15,07
20 ppm	0,0803	0,0036	22,306	15,91
30 ppm	0,0784	0,0039	20,103	17,90
UZORAK 8 BISTRA DRAVA = 100%				SMANJENJE A_{254} (%)
doza koagulanta	A_{254}	A_{203}	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,0532	0,0075	7,093	
15 ppm	0,0418	0,0057	7,333	21,42
20 ppm	0,0304	0,005	6,08	42,85
30 ppm	0,0278	0,0074	3,757	47,74
UZORAK 9 ZAMUĆENA DRAVA = 100%				SMANJENJE A_{254} (%)
doza koagulanta	A_{254}	A_{203}	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,1101	0,0094	11,713	
15 ppm	0,0826	0,008	10,325	24,97
20 ppm	0,0787	0,0078	10,09	28,51
30 ppm	0,0758	0,007	10,829	31,15

TEMPERATURA 30 °C**Tablica 8.** Učinkovitost uklanjanja prirodnih organskih tvari koagulacijom i flokulacijom pri temperaturi 30 °C

UZORAK 1 AERIRANA VODA : BISTRA DRAVA = 70% : 30%				SMANJENJE A₂₅₄ (%)
doza koagulant	A ₂₅₄	A ₂₀₃	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,0655	0,0113	5,796	
15 ppm	0,0443	0,0096	4,615	32,36
20 ppm	0,0510	0,0099	5,152	22,13
30 ppm	0,0514	0,0076	6,763	24,52
UZORAK 2 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 30% : 70%				SMANJENJE A₂₅₄ (%)
doza koagulant	A ₂₅₄	A ₂₀₃	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,0643	0,0221	2,91	
15 ppm	0,0521	0,0037	14,081	18,97
20 ppm	0,0979	0,0104	9,413	0
30 ppm	0,0563	0,0044	12,795	12,44
UZORAK 3 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 70% : 30%				SMANJENJE A₂₅₄ (%)
doza koagulant	A ₂₅₄	A ₂₀₃	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,0977	0,0060	16,283	
15 ppm	0,0743	0,0031	23,968	23,95
20 ppm	0,0762	0,0033	23,091	22,00
30 ppm	0,0788	0,0039	20,205	19,34
UZORAK 4 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 30% : 70%				SMANJENJE A₂₅₄ (%)
doza koagulant	A ₂₅₄	A ₂₀₃	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,1553	0,0089	17,449	
15 ppm	0,1136	0,0035	32,457	26,85
20 ppm	0,1140	0,0654	1,743	26,59
30 ppm	0,0995	0,0045	22,111	35,93
UZORAK 5 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 50% : 50%				SMANJENJE A₂₅₄ (%)
doza koagulant	A ₂₅₄	A ₂₀₃	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,0944	0,0121	7,802	
15 ppm	0,0856	0,0113	7,575	9,32
20 ppm	0,0622	0,0100	6,22	34,11
30 ppm	0,0644	0,0099	6,505	31,77

UZORAK 6 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 50% : 50%				SMANJENJE A_{254} (%)
doza koagulanta	A_{254}	A_{203}	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,0966	0,0114	8,474	
15 ppm	0,0756	0,0105	7,2	21,73
20 ppm	0,0870	0,0104	8,365	9,93
30 ppm	0,0594	0,0115	5,165	38,50
UZORAK 7 AERIRANA VODA = 100%				SMANJENJE A_{254} (%)
doza koagulanta	A_{254}	A_{203}	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,0955	0,0053	18,019	
15 ppm	0,0556	0,0041	13,561	41,78
20 ppm	0,0466	0,0035	13,314	51,20
30 ppm	0,0549	0,0028	19,607	42,51
UZORAK 8 BISTRA DRAVA = 100%				SMANJENJE A_{254} (%)
doza koagulanta	A_{254}	A_{203}	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,0443	0,0078	5,679	
15 ppm	0,0384	0,0045	8,533	13,31
20 ppm	0,0288	0,0041	7,024	34,98
30 ppm	0,0231	0,0069	3,348	47,85
UZORAK 9 ZAMUĆENA DRAVA = 100%				SMANJENJE A_{254} (%)
doza koagulanta	A_{254}	A_{203}	$\frac{A_{254}}{A_{203}}$	
početni uzorak	0,0995	0,0086	11,57	
15 ppm	0,0796	0,0072	11,056	20,00
20 ppm	0,0761	0,0069	11,029	23,51
30 ppm	0,0758	0,0067	11,313	23,81

Rezultati obrade uzoraka na temperaturi od 10,5 °C pokazuju da se postotak smanjenja količine prirodnih organskih tvari nakon obrade uzoraka kreće od 2,05 do 39,72%. Oba navedena učinka postignuta su pri obradi uzorka br. 9 (zamućena Drava) pri dodatku 20, odnosno 30 ppm koagulanta. Prosječno, postupak obrade uzoraka koagulacijom i flokulacijom pri navedenoj temperaturi od 10,5 °C najslabiji učinak polučio pri obradi uzorka br. 1 (mješavina aerirane vode i bistra Drave 70%:30%) kada se učinak uklanjanja organskih tvari kretao od 9,53 do 10,43%. Prosječno ujednačen učinak smanjenja količine prirodnih organskih tvari postignut je pri obradi uzorka br. 5 (mješavina aerirane vode i zamućene Drave 50%:50%) i kretao se od 13,79 do 22,14%.

Porastom temperature uzoraka na 18 °C, učinkovitost uklanjanja prirodnih organskih tvari nije značajnije porasla, a zabilježene vrijednosti se kreću od 1,72 %, zabilježenih pri obradi uzorka br. 1 (mješavina aerirane vode i bistra Drave 70%:30%) i dozi koagulanta 30 ppm, do 42,09 % zabilježenih pri obradi uzorka br. 2 (mješavina aerirane vode i zamućene Drave 30%:70%) i doziranju 15 ppm koagulanta.

Obradom uzoraka na temperaturi od 24 °C postotci smanjenja prirodnih organskih tvari kreću se od 3,91 do 63,29%. Najniže količine prirodnih organskih tvari uklonjene su pri obradi uzorka br. 4 (mješavina aerirana voda i zamućena Drava 30%:70%) i doziranju 20 ppm koagulanta, dok je najviše prirodnih organskih tvari uklonjeno na temperaturi od 24 °C pri obradi uzorka br. 1 (mješavina aerirana voda i bistra Drave 70%:30%) i doziranju 20 ppm koagulanta.

Daljnim porastom temperature pri obradi uzoraka na 30 °C kod svih uzoraka zabilježeno je prosječno povećanje postotka uklonjenih prirodnih organskih tvari. Najučinkovitija obrada zabilježena je pri obradi uzorka br. 7 (aerirana voda 100%) gdje je postignuto uklanjanje prirodnih organskih tvari od 41,78% do 51,20%.

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) ne definira M.D.K. vrijednost koncentracije prirodnih organskih tvari izražene parametrom A_{254} .

4.2. UTJECAJ TEMPERATURE I KEMIJSKOG SASTAVA VODE NA UČINKOVITOST UKLANJANJA SUSPENDIRANIH TVARI IZ VODE KOAGULACIJOM I FLOKULACIJOM

Učinkovitost uklanjanja suspendiranih tvari ispitana je određivanjem vrijednosti navedenog parametra prije i nakon provedene obrade vode u Jar-testu i membranske filtracije. Učinkovitost uklanjanja suspendiranih tvari iz zadanih uzoraka podzemne i površinske vode određena je mjerenjem količine suspendiranih tvari spektrofotometrom. Vrijednosti dobivenih rezultata prikazane su u **Tablicama 9 - 12**.

M.D.K. vrijednost za suspendirane tvari u vodi za ljudsku potrošnju definirana 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) iznosi 10,0 mg/L.

TEMPERATURA 10,5 °C

Tablica 9. Učinkovitost uklanjanja suspendiranih tvari koagulacijom i flokulacijom pri temperaturi 10,5 °C

UZORAK 1 AERIRANA VODA : BISTRA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	2
15 ppm	5
20 ppm	4
30 ppm	5
UZORAK 2 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	3
15 ppm	11
20 ppm	9
30 ppm	10
UZORAK 3 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	61
15 ppm	10
20 ppm	11
30 ppm	10
UZORAK 4 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA	

= 30% : 70%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	137
15 ppm	12
20 ppm	10
30 ppm	11
UZORAK 5 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	4
15 ppm	10
20 ppm	10
30 ppm	10
UZORAK 6 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	87
15 ppm	11
20 ppm	10
30 ppm	12
UZORAK 7 AERIRANA VODA = 100%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	2
15 ppm	0
20 ppm	0
30 ppm	0
UZORAK 8 BISTRA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	4
15 ppm	0
20 ppm	0
30 ppm	0
UZORAK 9 ZAMUĆENA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	198
15 ppm	0
20 ppm	0
30 ppm	0

TEMPERATURA 18 °C**Tablica 10.** Učinkovitost uklanjanja suspendiranih tvari koagulacijom i flokulacijom pri temperaturi 18 °C

UZORAK 1 AERIRANA VODA : BISTRA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	3
15 ppm	3
20 ppm	3
30 ppm	4
UZORAK 2 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	2
15 ppm	3
20 ppm	3
30 ppm	2
UZORAK 3 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	58
15 ppm	13
20 ppm	11
30 ppm	14
UZORAK 4 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	128
15 ppm	11
20 ppm	13
30 ppm	11
UZORAK 5 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	3
15 ppm	8
20 ppm	7
30 ppm	7
UZORAK 6 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)

početni uzorak	90
15 ppm	15
20 ppm	12
30 ppm	12
UZORAK 7 AERIRANA VODA = 100%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	2
15 ppm	3
20 ppm	3
30 ppm	2
UZORAK 8 BISTRA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	5
15 ppm	2
20 ppm	2
30 ppm	3
UZORAK 9 ZAMUĆENA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	182
15 ppm	4
20 ppm	5
30 ppm	4

TEMPERATURA 24 °C

Tablica 11. Učinkovitost uklanjanja suspendiranih tvari koagulacijom i flokulacijom pri temperaturi 24 °C

UZORAK 1 AERIRANA VODA : BISTRA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	2
15 ppm	1
20 ppm	2
30 ppm	3
UZORAK 2 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	3
15 ppm	3
20 ppm	2

30 ppm	3
UZORAK 3 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	61
15 ppm	4
20 ppm	4
30 ppm	4
UZORAK 4 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	139
15 ppm	5
20 ppm	4
30 ppm	4
UZORAK 5 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	3
15 ppm	3
20 ppm	3
30 ppm	3
UZORAK 6 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	87
15 ppm	4
20 ppm	5
30 ppm	4
UZORAK 7 AERIRANA VODA = 100%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	1
15 ppm	2
20 ppm	2
30 ppm	3
UZORAK 8 BISTRA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	4
15 ppm	1
20 ppm	1
30 ppm	2
UZORAK 9 ZAMUĆENA DRAVA = 100%	

doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	172
15 ppm	0
20 ppm	1
30 ppm	1

TEMPERATURA 30 °C

Tablica 12. Učinkovitost uklanjanja suspendiranih tvari koagulacijom i flokulacijom pri temperaturi 30 °C.

UZORAK 1 AERIRANA VODA : BISTRA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	2
15 ppm	4
20 ppm	5
30 ppm	4
UZORAK 2 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	2
15 ppm	4
20 ppm	3
30 ppm	4
UZORAK 3 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	59
15 ppm	10
20 ppm	12
30 ppm	12
UZORAK 4 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	138
15 ppm	12
20 ppm	14
30 ppm	14
UZORAK 5 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)

početni uzorak	4
15 ppm	6
20 ppm	9
30 ppm	8
UZORAK 6 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	84
15 ppm	14
20 ppm	16
30 ppm	14
UZORAK 7 AERIRANA VODA = 100%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	1
15 ppm	2
20 ppm	1
30 ppm	2
UZORAK 8 BISTRA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	5
15 ppm	3
20 ppm	5
30 ppm	2
UZORAK 9 ZAMUĆENA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	SUSPENDIRANE TVARI (mg/L)
početni uzorak	183
15 ppm	5
20 ppm	2
30 ppm	3

Početne vrijednosti suspendiranih tvari korištenih uzorka u ovom istraživanju, ovisno o početnoj temperaturi i vrsti uzorka, kretale su se od 1 do 198 mg/L. Uspoređujući početne vrijednosti suspendiranih tvari na različitim temperaturama, uočava se da početna vrijednost opada s porastom temperature uzorka.

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) M.D.K. vrijednost za ukupne suspenzije iznosi 10 mg/L.

Nakon obrade uzoraka pri 10°C sve vrijednosti suspendiranih tvari uzoraka, neovisno o količini doziranog koagulanta kod uzoraka br. 1, 7, 8 i 9 bile su u skladu s odredbama Pravilnika, dok su završne vrijednosti suspendiranih tvari kod uzoraka br. 2, 3, 4, 5 i 6 najčešće bile veće od M.D.K. vrijednosti (10 mg/L).

Početne vrijednosti suspendiranih tvari na 18°C bile su u rasponu od 2 mg/L (uzorak br. 2) do 182 mg/L (uzorak br. 9). Obradom uzoraka postignute su vrijednosti manje od M.D.K. vrijednosti kod uzoraka br. 1, 2, 5, 7, 8 i 9, dok su vrijednosti suspendiranih tvari kod ostalih uzoraka neovisno o dozi dodanog koagulanta bile iznad M.D.K. vrijednosti.

Daljnijim porastom temperature početnih uzoraka na 24 °C vrijednosti svih obrađenih uzoraka su bile u granicama M.D.K. vrijednosti.

Obradom uzoraka na 30°C vrijednosti suspendiranih tvari uzoraka s bistrom Dravom bile su u skladu s Pravilnikom, za razliku od uzoraka koji sadrže zamućenu Dravu. Najmanje završne vrijednosti suspendiranih tvari dobivene su obradom uzorka br. 2 (aerirana voda : bistra Drava = 30% : 70%) te uzorka br. 7 (100% aerirana voda).

Dobiveni rezultati ukazuju da aerirana podzemna voda i bistra dravska posjeduju početnu nisku koncentraciju suspendiranih tvari što je značajno i povoljnije za daljnje vođenje tehnološkog procesa te preduvjet za učinkovitu dezinfekciju vode.

Svi uzorci kod kojih nije postignuta zadovoljavajuća završna vrijednost suspendiranih tvari bili su različite mješavine aerirane bunarske vode i zamućene vode rijeke Drave što ukazuje da je navedena mješavina, neovisno u omjeru, zahtjevnija sirovina za preradu u odnosu na druge korištene uzorke ili mješavine sirovih voda.

4.3. UTJECAJ TEMPERATURE I KEMIJSKOG SASTAVA VODE NA UČINKOVITOST UKLANJANJA BOJE IZ VODE KOAGULACIJOM I FLOKULACIJOM

Ispitan je utjecaj temperature i kemijskog sastava vode na uklanjanje boje. Određivanje učinka uklanjanja boje provedeno je mjerenjem početne i završnih vrijednosti boje pomoću uređaja spektrofotometra (**Slika 17**). Obrada uzoraka je provedena na temperaturama od 10,5 °C, 18 °C, 24 °C i 30 °C, a dobiveni rezultati su prikazani u **Tablicama 13-16**.

M.D.K. vrijednost za boju vode za ljudsku potrošnju definirana 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) iznosi 20,0 mg/PtCo skale.

TEMPERATURA 10,5 °C

Tablica 13. Učinkovitost uklanjanja boje koagulacijom i flokulacijom pri temperaturi 10,5 °C

UZORAK 1 AERIRANA VODA : BISTRA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	60
15 ppm	5
20 ppm	5
30 ppm	2
UZORAK 2 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	41
15 ppm	4
20 ppm	2
30 ppm	2
UZORAK 3 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	100
15 ppm	12
20 ppm	10
30 ppm	10
UZORAK 4 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	BOJA

	mg/PtCo skale
početni uzorak	127
15 ppm	7
20 ppm	5
30 ppm	4
UZORAK 5 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	51
15 ppm	9
20 ppm	7
30 ppm	4
UZORAK 6 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	120
15 ppm	7
20 ppm	6
30 ppm	6
UZORAK 7 AERIRANA VODA = 100%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	79
15 ppm	13
20 ppm	14
30 ppm	12
UZORAK 8 BISTRA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	37
15 ppm	2
20 ppm	2
30 ppm	1
UZORAK 9 ZAMUĆENA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	162,3
15 ppm	3
20 ppm	3
30 ppm	2

TEMPERATURA 18 °C**Tablica 14.** Učinkovitost uklanjanja boje koagulacijom i flokulacijom pri temperaturi 18 °C.

UZORAK 1 AERIRANA VODA : BISTRA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	61
15 ppm	3
20 ppm	3
30 ppm	2
UZORAK 2 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	40
15 ppm	4
20 ppm	5
30 ppm	5
UZORAK 3 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	102
15 ppm	14
20 ppm	15
30 ppm	14
UZORAK 4 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	122
15 ppm	15
20 ppm	14
30 ppm	17
UZORAK 5 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	48
15 ppm	5
20 ppm	6
30 ppm	5
UZORAK 6 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale

početni uzorak	118
15 ppm	9
20 ppm	10
30 ppm	13
UZORAK 7 AERIRANA VODA = 100%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	73
15 ppm	13
20 ppm	15
30 ppm	14
UZORAK 8 BISTRA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	31
15 ppm	4
20 ppm	2
30 ppm	2
UZORAK 9 ZAMUĆENA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	157,2
15 ppm	4
20 ppm	4
30 ppm	5

TEMPERATURA 24 °C

Tablica 15. Učinkovitost uklanjanja boje koagulacijom i flokulacijom pri temperaturi 24 °C

UZORAK 1 AERIRANA VODA : BISTRA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	63
15 ppm	4
20 ppm	5
30 ppm	4
UZORAK 2 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	46
15 ppm	3
20 ppm	2
30 ppm	2
UZORAK 3	

AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	102
15 ppm	7
20 ppm	6
30 ppm	7
UZORAK 4 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	131
15 ppm	5
20 ppm	5
30 ppm	4
UZORAK 5 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	47
15 ppm	7
20 ppm	7
30 ppm	8
UZORAK 6 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	121
15 ppm	9
20 ppm	8
30 ppm	6
UZORAK 7 AERIRANA VODA = 100%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	68
15 ppm	14
20 ppm	13
30 ppm	10
UZORAK 8 BISTRA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	40
15 ppm	2
20 ppm	1
30 ppm	1
UZORAK 9 ZAMUĆENA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale

početni uzorak	173,5
15 ppm	2
20 ppm	3
30 ppm	2

TEMPERATURA 30 °C

Tablica 16. Učinkovitost uklanjanja boje koagulacijom i flokulacijom pri temperaturi 30 °C

UZORAK 1 AERIRANA VODA : BISTRA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	64
15 ppm	4
20 ppm	6
30 ppm	5
UZORAK 2 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	39
15 ppm	4
20 ppm	3
30 ppm	4
UZORAK 3 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	97
15 ppm	14
20 ppm	14
30 ppm	16
UZORAK 4 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	129
15 ppm	14
20 ppm	15
30 ppm	15
UZORAK 5 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	54
15 ppm	5

20 ppm	3
30 ppm	3
UZORAK 6 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	118
15 ppm	10
20 ppm	12
30 ppm	12
UZORAK 7 AERIRANA VODA = 100%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	83
15 ppm	14
20 ppm	16
30 ppm	16
UZORAK 8 BISTRA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	33
15 ppm	2
20 ppm	3
30 ppm	1
UZORAK 9 ZAMUĆENA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	BOJA mg/PtCo skale
početni uzorak	170,1
15 ppm	5
20 ppm	7
30 ppm	5

Početne vrijednosti boje korištenih uzorka vode kretale su se od 31 do 173,5 mg/ PtCo skale. Uspoređujući početne vrijednosti boje svih ispitanih uzoraka na različitim temperaturama, uočava se da početna vrijednost boje općenito raste s porastom temperature uzorka.

Pri obradi svih uzoraka vode, na svim ispitanim temperaturama dobivene vrijednosti boje, neovisno o početnoj vrijednosti, bile su u skladu s 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) i niže od zadane M-D.K. vrijednosti od 20 mg/PtCo sklale.

Pri obradi uzoraka na temperaturi od 10,5 °C dobivene vrijednosti boje bile su rasponu od 1 do 14 mg/PtCo sklale.

Na temperaturi od 18 °C, kod uzoraka 70% aerirane vode i 30% bistre površinske (Drava) vode postignuti su najučinkovitiji rezultati koji se kreću oko 2 - 3 mg/PtCo skale. Vidljivo je da su pri zamućenju Drave vrijednosti boje povišene. Kod uzorka br. 7 (100% aerirana voda) bilježe se najviše vrijednosti mg/PtCo.

Obradom uzoraka pri temperaturi od 24 °C dobivene su vrijednosti boje udovoljavaju odredbama Pravilnika pri svim omjerima. Najbolje rezultate su imali uzorci omjera 30% aerirane vode i 70% bistre Drave koji su se kretali oko 2 mg/PtCo skale. Kod 100% omjera uzoraka kao i kod prethodne temperature, aerirana voda je imala rezultate koji su bili najviši kada se usporede sa uzorcima bistre i zamućene dravske vode. Vrijednosti su se kretale oko 10 – 14 mg/PtCo skale.

Nakon obrade svih uzoraka na temperaturi od 30 °C izmjerene vrijednosti boje bile su u skladu s odredbama Pravilnika. Povišene vrijednosti boje zabilježene su kod uzoraka dobivenih mješanjem aerirane i zamućene površinske vode, no i nadalje nisu prelazili najvišu vrijednost od 20 mg/PtCo skale. Povišene vrijednosti, ali i nadalje ispod M.D.K. zabilježene su nakon obrade uzorka br. 7 (100% aerirana voda).

4.4. UTJECAJ TEMPERATURE I KEMIJSKOG SASTAVA VODE NA VODLJIVOST PRI OBRADI VODE KOAGULACIJOM I FLOKULACIJOM

Utjecaj temperature i kemijskog sastava vode na vodljivost vode obrađene koagulacijom i flokulacijom ispitan je mjerenjem vodljivosti konduktometrom prikazanim na **Slici 13**. Uzorci vode bunarske i dravske vode obrađeni su na sljedećim temperatura 10,5 °C, 18 °C, 24 °C i 30 °C. Vrijednosti dobivenih rezultata prikazane su u **Tablicama 17-20**. Vrijednost vodljivosti početnih uzoraka za podzemnu aeriranu vodu iznosila je 780 µS/cm, a za dravsku, površinsku vodu 220 µS/cm.

M.D.K. vrijednost za vodljivost vode za ljudsku potrošnju definirana 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) iznosi 2500 µS/cm /20 °C.

TEMPERATURA 10,5 °C

Tablica 17. Utjecaj obrade vode koagulacijom i flokulacijom pri 10,5 °C na vodljivost

UZORAK 1 AERIRANA VODA : BISTRA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	VODLJIVOST µS/cm
početni uzorak	621
15 ppm	516
20 ppm	517
30 ppm	520
UZORAK 2 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	VODLJIVOST µS/cm
početni uzorak	612
15 ppm	275
20 ppm	270
30 ppm	269
UZORAK 3 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	VODLJIVOST µS/cm
početni uzorak	611
15 ppm	523
20 ppm	520
30 ppm	522

UZORAK 4 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	VODLJIVOST μS/cm
početni uzorak	619
15 ppm	281
20 ppm	279
30 ppm	278
UZORAK 5 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	VODLJIVOST μS/cm
početni uzorak	511
15 ppm	474
20 ppm	479
30 ppm	480
UZORAK 6 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	VODLJIVOST μS/cm
početni uzorak	510
15 ppm	486
20 ppm	479
30 ppm	480
UZORAK 7 AERIRANA VODA = 100%	
doza koagulanta	VODLJIVOST μS/cm
početni uzorak	823
15 ppm	882
20 ppm	886
30 ppm	885
UZORAK 8 BISTRA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	VODLJIVOST μS/cm
početni uzorak	275
15 ppm	243
20 ppm	251
30 ppm	247
UZORAK 9 ZAMUĆENA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	VODLJIVOST μS/cm
početni uzorak	223
15 ppm	265
20 ppm	267
30 ppm	265

TEMPERATURA 18 °C**Tablica 18.** Utjecaj obrade vode koagulacijom i flokulacijom pri 18 °C na vodljivost

UZORAK 1 AERIRANA VODA : BISTRA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	VODLJIVOST μS/cm
početni uzorak	623
15 ppm	517
20 ppm	510
30 ppm	515
UZORAK 2 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	VODLJIVOST μS/cm
početni uzorak	610
15 ppm	267
20 ppm	271
30 ppm	270
UZORAK 3 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	VODLJIVOST μS/cm
početni uzorak	615
15 ppm	531
20 ppm	528
30 ppm	520
UZORAK 4 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	VODLJIVOST μS/cm
početni uzorak	621
15 ppm	277
20 ppm	274
30 ppm	276
UZORAK 5 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	VODLJIVOST μS/cm
početni uzorak	516
15 ppm	473
20 ppm	470
30 ppm	473
UZORAK 6 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	VODLJIVOST μS/cm
početni uzorak	523

15 ppm	480
20 ppm	483
30 ppm	476
UZORAK 7 AERIRANA VODA = 100%	
doza koagulanta	VODLJIVOST $\mu\text{S/cm}$
početni uzorak	820
15 ppm	884
20 ppm	883
30 ppm	883
UZORAK 8 BISTRA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	VODLJIVOST $\mu\text{S/cm}$
početni uzorak	279
15 ppm	236
20 ppm	233
30 ppm	236
UZORAK 9 ZAMUĆENA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	VODLJIVOST $\mu\text{S/cm}$
početni uzorak	229
15 ppm	264
20 ppm	263
30 ppm	267

TEMPERATURA 24 °C

Tablica 19. Utjecaj obrade vode koagulacijom i flokulacijom pri 24 °C na vodljivost

UZORAK 1 AERIRANA VODA : BISTRA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	VODLJIVOST $\mu\text{S/cm}$
početni uzorak	623
15 ppm	510
20 ppm	512
30 ppm	512
UZORAK 2 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	VODLJIVOST $\mu\text{S/cm}$
početni uzorak	627
15 ppm	265
20 ppm	269
30 ppm	265
UZORAK 3 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA	

= 70% : 30%	
doza koagulanta	VODLJIVOST μS/cm
početni uzorak	632
15 ppm	516
20 ppm	519
30 ppm	519
UZORAK 4 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	VODLJIVOST μS/cm
početni uzorak	624
15 ppm	284
20 ppm	284
30 ppm	282
UZORAK 5 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	VODLJIVOST μS/cm
početni uzorak	512
15 ppm	493
20 ppm	492
30 ppm	494
UZORAK 6 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	VODLJIVOST μS/cm
početni uzorak	518
15 ppm	484
20 ppm	482
30 ppm	480
UZORAK 7 AERIRANA VODA = 100%	
doza koagulanta	VODLJIVOST μS/cm
početni uzorak	828
15 ppm	884
20 ppm	886
30 ppm	880
UZORAK 8 BISTRA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	VODLJIVOST μS/cm
početni uzorak	275
15 ppm	261
20 ppm	254
30 ppm	250
UZORAK 9 ZAMUĆENA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	VODLJIVOST μS/cm
početni uzorak	224

15 ppm	278
20 ppm	286
30 ppm	283

TEMPERATURA 30 °C

Tablica 20. Utjecaj obrade vode koagulacijom i flokulacijom pri 30 °C na vodljivost

UZORAK 1 AERIRANA VODA : BISTRA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	VODLJIVOST μS/cm
početni uzorak	619
15 ppm	519
20 ppm	517
30 ppm	518
UZORAK 2 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	VODLJIVOST μS/cm
početni uzorak	625
15 ppm	272
20 ppm	275
30 ppm	272
UZORAK 3 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	VODLJIVOST μS/cm
početni uzorak	619
15 ppm	520
20 ppm	523
30 ppm	523
UZORAK 4 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	VODLJIVOST μS/cm
početni uzorak	623
15 ppm	276
20 ppm	279
30 ppm	281
UZORAK 5 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	VODLJIVOST μS/cm
početni uzorak	509
15 ppm	470
20 ppm	273

30 ppm	275
UZORAK 6 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	VODLJIVOST $\mu\text{S/cm}$
početni uzorak	509
15 ppm	483
20 ppm	484
30 ppm	478
UZORAK 7 AERIRANA VODA = 100%	
doza koagulanta	VODLJIVOST $\mu\text{S/cm}$
početni uzorak	890
15 ppm	888
20 ppm	889
30 ppm	885
UZORAK 8 BISTRA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	VODLJIVOST $\mu\text{S/cm}$
početni uzorak	283
15 ppm	240
20 ppm	237
30 ppm	237
UZORAK 9 ZAMUĆENA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	VODLJIVOST $\mu\text{S/cm}$
početni uzorak	228
15 ppm	266
20 ppm	263
30 ppm	262

Početne vrijednosti vodljivosti korištenih uzorka vode kretale su se od 223 $\mu\text{S/cm}$ (uzorak br 9 na 10,5°C) do 890 (uzorak br 7 na 30°C). Uspoređujući početne vrijednosti vodljivosti svih ispitanih uzoraka na različitim temperaturama, uočava se da su svi početni uzorci u skladu s Pravilnikom.

Analizom dobivenih rezultata obrade uzoraka na temperaturi 10,5 °C uočava se da se završne vrijednosti vodljivosti ne razlikuju značajnije od početnih vrijednosti, osim pri obradi uzoraka br. 2 i 4 kada je pri doziranju svih koncentracija koagulanta, završna vodljivost bila dvostruko manja od početne. Najniže izmjerenu vodljivost imao je uzorak 2 (30% aerirane vode i 70% bistre dravske vode), koja se kretala između 269 – 275 $\mu\text{S/cm}$. Kod uzoraka 100% aerirane vode također su dobivene više vrijednosti od vrijednosti zabilježenih pri obradi 100%-tnog uzorka bistre i zamućene Drave čije su se vrijednosti vodljivosti kretale između 243 i 267 $\mu\text{S/cm}$.

Rezultati obrade uzoraka na temperaturi od 18 °C su slični rezultatima dobivenim pri obradi na temperaturi od 10,5 °C. Uzorci s većim udjelom dravske bistre ili zamućene vode pokazale su niže vrijednosti vodljivosti nego uzorci s većim udjelom aerirane vode. Vidljiva je velika razlika između 100% aerirane vode čiji se rezultati kreću oko 883 $\mu\text{S}/\text{cm}$, dok su se vrijednosti uzoraka 100% dravske vode kretale od 233 – 267 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Rezultati obrade uzoraka na temperaturi od 24 °C i dobivene vodljivosti bile su slične vrijednostima zabilježenih nakon obrade uzoraka pri 10,5 i 18 °C. Slični trend zabilježen je i pri obradi uzoraka na temperaturi od 30 °C. Najznačajnije smanjenje vrijednosti vodljivosti dobivene su pri obradi uzorka br. 4 (30% aerirane vode i 70% bistre dravske vode). Vrijednosti se kreću oko 272 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

4.5. UTJECAJ TEMPERATURE I KEMIJSKOG SASTAVA VODE NA UKUPNU TVRDOĆU VODE PRI OBRADI KOAGULACIJOM I FLOKULACIJOM

Utjecaj temperature i kemijskog sastava vode na ukupnu tvrdoću uzoraka vode obrađene koagulacijom i flokulacijom određen je titrimetrijskom metodom s 0,01 M otopinom EDTA (etilen-diamin-tetraoctena kislina). Obrada uzoraka provedena je na 10,5 °C, 18 °C, 24 °C i 30 °C, a zabilježene vrijednosti ukupne tvrdoće prije i nakon obrade prikazane su u **Tablicama 21-24**.

M.D.K. vrijednost ukupne tvrdoće u vodi za ljudsku potrošnju nije definirana 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).

TEMPERATURA 10,5 °C

Tablica 21. Utjecaj obrade vode koagulacijom i flokulacijom pri 10,5 °C na ukupnu tvrdoću

UZORAK 1 AERIRANA VODA : BISTRA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	378,9
15 ppm	280
20 ppm	275
30 ppm	276
UZORAK 2 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	376,8
15 ppm	250
20 ppm	248
30 ppm	240
UZORAK 3 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	374
15 ppm	280
20 ppm	280
30 ppm	276
UZORAK 4 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 30% : 70%	

doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	369,9
15 ppm	258
20 ppm	260
30 ppm	259
UZORAK 5 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	376,4
15 ppm	226
20 ppm	221
30 ppm	226
UZORAK 6 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	368,8
15 ppm	212
20 ppm	220
30 ppm	216
UZORAK 7 AERIRANA VODA = 100%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	477,3
15 ppm	426
20 ppm	430
30 ppm	429
UZORAK 8 BISTRA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	243,2
15 ppm	159
20 ppm	162
30 ppm	163
UZORAK 9 ZAMUĆENA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	198,2
15 ppm	175
20 ppm	178
30 ppm	173

TEMPERATURA 18 °C**Tablica 22.** Utjecaj obrade vode koagulacijom i flokulacijom pri 18 °C na ukupnu tvrdoću

UZORAK 1 AERIRANA VODA : BISTRA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	381,2
15 ppm	288
20 ppm	279
30 ppm	279
UZORAK 2 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	383,8
15 ppm	252
20 ppm	248
30 ppm	252
UZORAK 3 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	368,5
15 ppm	279
20 ppm	273
30 ppm	272
UZORAK 4 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	369,3
15 ppm	270
20 ppm	268
30 ppm	260
UZORAK 5 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	372,5
15 ppm	225
20 ppm	228
30 ppm	224
UZORAK 6 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	371,5

15 ppm	215
20 ppm	225
30 ppm	224
UZORAK 7 AERIRANA VODA = 100%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	473,2
15 ppm	424
20 ppm	425
30 ppm	429
UZORAK 8 BISTRA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	239,6
15 ppm	157
20 ppm	155
30 ppm	158
UZORAK 9 ZAMUĆENA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	196,31
15 ppm	173
20 ppm	175
30 ppm	175

TEMPERATURA 24 °C

Tablica 23. Utjecaj obrade vode koagulacijom i flokulacijom pri 24 °C na ukupnu tvrdoću

UZORAK 1 AERIRANA VODA : BISTRA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	381,6
15 ppm	282
20 ppm	280
30 ppm	280
UZORAK 2 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	364
15 ppm	242
20 ppm	248
30 ppm	238
UZORAK 3 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA	

= 70% : 30%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	367,2
15 ppm	289
20 ppm	289
30 ppm	287
UZORAK 4 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	363,7
15 ppm	250
20 ppm	247
30 ppm	251
UZORAK 5 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	382,6
15 ppm	220
20 ppm	215
30 ppm	218
UZORAK 6 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	362,1
15 ppm	225
20 ppm	220
30 ppm	218
UZORAK 7 AERIRANA VODA = 100%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	485,2
15 ppm	433
20 ppm	431
30 ppm	438
UZORAK 8 BISTRA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	242,7
15 ppm	165
20 ppm	172
30 ppm	170
UZORAK 9 ZAMUĆENA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	218,8

15 ppm	185
20 ppm	185
30 ppm	184

TEMPERATURA 30 °C

Tablica 24. Utjecaj obrade vode koagulacijom i flokulacijom pri 30 °C na ukupnu tvrdoću

UZORAK 1 AERIRANA VODA : BISTRA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	379,1
15 ppm	282
20 ppm	273
30 ppm	272
UZORAK 2 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	375
15 ppm	248
20 ppm	249
30 ppm	249
UZORAK 3 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 70% : 30%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	370,5
15 ppm	275
20 ppm	278
30 ppm	279
UZORAK 4 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 30% : 70%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	370,3
15 ppm	263
20 ppm	271
30 ppm	263
UZORAK 5 AERIRANA VODA: BISTRA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	373,8
15 ppm	228

20 ppm	225
30 ppm	226
UZORAK 6 AERIRANA VODA: ZAMUĆENA DRAVA = 50% : 50%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	371,5
15 ppm	219
20 ppm	227
30 ppm	226
UZORAK 7 AERIRANA VODA = 100%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	480,4
15 ppm	428
20 ppm	427
30 ppm	438
UZORAK 8 BISTRA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	251,3
15 ppm	156
20 ppm	158
30 ppm	155
UZORAK 9 ZAMUĆENA DRAVA = 100%	
doza koagulanta	UKUPNA TVRDOĆA CaCO ₃ mg/l
početni uzorak	207,3
15 ppm	178
20 ppm	173
30 ppm	176

Početne vrijednosti ukupne tvrdoće svih ispitanih uzoraka bile su od 196,31 mgCaCO₃/L (uzorak br 9 na 18°C) do 485,2 (uzorak br 7 na 24°C).

Određivanje ukupne tvrdoće obrađenih uzoraka pri temperaturi od 10,5 °C dobiveni su rezultati koji ukazuju da su uzorci bili umjerene tvrdoće. Granične vrijednosti koje su propisane od strane Svjetske zdravstvene organizacije, za umjereno tvrde vode kreću se od 142,8–321,4 mgCaCO₃/L. Kod omjera 70% aerirane vode i 30% bistre ili zamućene Drave dobiveni su slični rezultati koji se kreću oko 270–280 mgCaCO₃/L. Također, rezultati pri većem omjeru dravske (bistre ili zamućene) vode pokazali su niže vrijednosti ukupne tvrdoće koji se kreću oko 240–260 mgCaCO₃/L. Kod uzoraka br. 8 i 9 vrijednosti ukupne tvrdoće se kreću oko 159–178 mgCaCO₃/L te su to ujedno i najniži rezultati pri temperaturi uzoraka od 10,5 °C.

Obrada uzoraka na temperaturi od 18 °C, kod uzorka br. 5 (50% aerirane vode i 50% bistre Drave) zabilježene vrijednosti se kreću oko 218 mgCaCO₃/L čime te uzorke svrstava također u umjereno tvrde. Kod svih ostalih uzoraka postignute su slične vrijednosti. Vrijednosti ukupne tvrdoće kod 100% aerirane vode prelaze 321,4 mgCaCO₃/L što taj uzorak svrstava u kategoriju tvrde vode.

Obradom uzoraka na temperaturama od 24 °C i 30 °C dobiveni su slični rezultati titrametrijskim mjerenjem. Uzorci vode različitih omjera i sastava kreću se pri vrijednostima umjereno tvrde vode. Kao i kod obrada na nižim temperaturama, nakon obrade uzorak br. 7 i nadalje se završnim tvrdoćama ubrajao u skupinu tvrdih voda.

5. ZAKLJUČCI

- Primjenom metode koagulacije i flokulacije uspješno se provodi obrada vode za ljudsku potrošnju na području Osječko-baranjske županije i učinkovito uklanjanje prirodnih organskih tvari koje utječu na senzorske karakteristike vode mijenjajući boju, okus i miris vode. Smanjenje koncentracije prirodnih organskih tvari važno je i s aspekta zdravstvene ispravnosti vode za piće jer prirodne organske tvari stvaraju komplekse s metalima i pesticidima te pri dezinfekciji vode klorom mogu tvoriti detinfekcijske nusprodukte koji narušavaju ljudsko zdravlje.
- Obrada uzoraka podzemne i površinske vode provedena je u ovom radu metodom koagulacije i flokulacije pri čemu se koristio metalni koagulant FeCl_3 . Količina FeCl_3 koja se dodavala iznosila je 0,7 ml, 1 ml i 1,5 ml no razlike u količinu doziranog koagulanta nisu činile značajnije razlike u rezultatima unutar obrade svakog pojedinog uzorka.
- Kod određivanja utjecaja temperature i kemijskog sastava vode na učinkovitost uklanjanja organskih tvari učinkovitost je određivana mjerenjem apsorbancija A_{203} , A_{254} , odnosno njihovim omjerom i izračunavanjem postotka smanjenja.
- Kod određivanja utjecaja temperature i kemijskog sastava vode na uklanjanje suspendiranih tvari najoptimalnijom temperaturom se pokazala temperatura uzoraka od 24 °C. Pri toj temperaturi učinkovitost uklanjanja je bila najveća, a najbolji omjer voda je 70% podzemne, aerirane vode i 30% bistre površinske vode. Izmjerena je vrijednost iznosila je 1 mg/l, a granična vrijednost iznosi 10 mg/l.
- Kod određivanja utjecaja temperature i kemijskog sastava vode na uklanjanje boje pokazalo se da svi uzorci zadovoljavaju propisane uvjete, ali su najmanje vrijednosti zabilježene pri obradi uzoraka dobivenih mješanjem 70% aerirane podzemne vode i 30% bistre površinske vode pri temperaturi od 18 °C. Kod uzoraka zamućene Drave učinkovitost smanjenja boje bila je značajno smanjena što je bilo proporcionalno i povećanju otopljenih tvari u vodi.
- Tijekom određivanja vodljivosti dobiveni su rezultati koji su podjednaki pri svim temperaturama. Manju vodljivost imali su uzorci dravske vode, dok promjena temperature nije imala značajan utjecaj na smanjenje vodljivosti.
- Pri obradi uzoraka vode nije zabilježeno značajnije smanjenje ukupne tvrdoće vode, a uzorci su bili u kategoriji umjereno tvrde vode. Kao i kod vodljivosti, promjena temperature nije imala značajan utjecaj na promjenu ukupne tvrdoće ispitivanih uzoraka podzemne i površinske vode.
- Pri obradi vode koagulacijom i flokulacijom uz optimalnu dozu koagulanta, provodi se ekonomična obrada vode.

Najučinkovitija obrada, odnosno najveću učinkovitost pri uklanjanju boje, suspendiranih tvari, smanjenju vodljivosti i ukupne tvrdoće zabilježena je kod uzorka br. 1 (70% aerirane podzemne vode i 30% bistre površinske vode). Navedeni omjer trenutno se i obrađuje u pogonu tvrtke Vodovod-Osijek d.o.o. Osijek.

- Najoptimalnijom temperaturom obrade svih ispitanih uzoraka vode pokazala se temperatura od 24 °C

6. LITERATURA

- Bolto B, Gregory J: Organic polyelectrolytes in water treatment. *Water Research* 41:2301-2324, 2007.
- Bolto B, Dixon D, Eldridge R, King S, Linge K: Removal of natural organic matter by ion exchange. *Water Research* 36:5057-5065, 2002.
- Duić Ž, Zima J, Rajič B: Utjecaj ekstremnih odstupanja u količinama padalina na razine podzemnih voda dubokog kvartarnog vodonosnika. *Inženjerstvo okoliša* 5:1-2, 2018.
- Glaze W.H, Kang J-W, Chapin D.H: The Chemistry of Water Treatment Processes Involving Ozone, Hydrogen Peroxide and Ultraviolet Radiation. *Ozone Science and Engineering* 9(4):335-352, 1987.
- Habuda-Stanić M, Kuleš M, Kalajdžić B, Romić Ž: Quality of groundwater in eastern Croatia. The problem of arsenic pollution. *Desalination* 210:157-163, 2007.
- Habuda-Stanić M, Nujić M, Mikić G, Romić Ž, Ivić M: Utjecaj mješanja na učinkovitost procesa koagulacije i flokulacije pri kondicioniranju vode. *Elektronički časopis Građevinskog fakulteta Osijek- e-GFOS*, 7:1-11, 2013.
- Košutić K: Membranske tehnologije obrade voda. *Zbirka nastavnih tekstova*. Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2019.
- Kuleš M, Habuda-Stanić M: Analiza vode. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2000.
- Kralj E: Pokazatelji i indeksi kakvoće podzemnih i površinskih voda istočne Hrvatske. *Doktorska disertacija*, Prehrambeno-tehnološki fakultet Osijek, Osijek, 2017.
- Lončarić A: Uklanjanje arsena i prirodnih organskih tvari iz podzemne vode taložnom metodom i sorpcijom. *Diplomski rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2010.
- Matilainen A, Sillanpää M: Removal of natural organic matter from drinking water by advanced oxidation processes. *Chemosphere* 80(4):351-365, 2010.
- Medverec Knežević Z: Utjecaj oksidacije na učinkovitost uklanjanja prekursora trihalometana iz vode koagulacijom i flokulacijom. *Doktorski rad*. Prehrambeno-tehnološki fakultet, Osijek, 2019.
- Ouni Y, Ghnaya T, Montemurro F, Abdellia Ch: The role of humic substances in mitigating the harmful effects of soil salinity and improve plant productivity. *International Journal of Plant Production* 3(8):353-374, 2014.
- Pan Y, Li H, Zhang X, Li A: Characterization of natural organic matter in drinking water: Sample preparation and analytical approaches. *Trends in Environmental Analytical Chemistry*, 2016.
- Romić Ž: Arsen u podzemnoj vodi osječkog vodocrpilišta i oksidacija arsenita pri kondicioniranju vode. *Doktorska disertacija*. Prehrambeno-tehnološki fakultet u Osijeku, 2009

Singer P.C: Humic substances as precursors for potentially harmful disinfection by-products.
Water Science and Technology 40:25-30, 1999.

<https://aquavmv.hr/flokulanti/>

https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2017_12_125_2848.html

<https://www.nzjz-split.hr/index.php/2-uncategorised/199-mutnoca-vode-i-zdravstveni-rizik>

<https://www.paarichemresources.net/water-treatment-chemicals.html>

https://www.pmf.unizg.hr/download/repository/VJEZBA_2_3_Alkalinitet_i_tvrdoca.pdf

http://www.prostorobz.hr/Planovi/PPUG/PPUG%20OSIJEK/pdf/4_polaz_5%20do%2017.pdf

<https://vodovod.com/vodne-usluge/vodopskrba/>