Mjerenje mutnoće vode

Zrno, Marko

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:405044

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Marko Zrno

Zagreb, 2019. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori: Student:

Prof. dr. sc. Davor Ljubas, dipl. ing. Marko Zrno

Zagreb, 2019. godina.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Davoru Ljubasu na pomoći i strpljivosti tijekom izrade rada.

Posebna zahvala kolegama iz Laboratorija za vodu, gorivo i mazivo, dr. sc. Maji Zebić Avdičević te laborantu Marku Skozritu na velikoj kolegijalnosti i pomoći oko laboratorijskih eksperimenata.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Marko Zrno** Mat. br.: 0035199229

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Mjerenje mutnoće vode**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Measurement of water turbidity**

Opis zadatka:

Mutnoća vode parametar je koji predstavlja optičko svojstvo vode koje uzrokuje raspršenje i apsorpciju svjetlosnog zračenja. Mutnoća u vodi posljedica je prisutnih suspendiranih ili koloidnih tvari kao što su čestice tla, gline, fino raspršen organski ili anorganski materijal, mikroskopski mikroorganizmi, alge, plankton i dr. Posebno je važan parametar u utvrđivanju kvalitete pitke vode.

Moderna metoda za mjerenje mutnoće naziva se turbidimetrija. Ona se temelji na raspršenju svjetlosti na suspendiranim česticama u uzorku prilikom čega se mjeri intenzitet raspršenog zračenja, ne u smjeru zračenja, nego pod određenim kutom (najčešće 90 °). Pri tome je intenzitet zračenja proporcionalan zamućenju uzorka. S mutnoćom se u vezu često dovodi i pojam boja, odnosno obojenje vode. Taj parametar odnosi se na potpuno otopljene tvari koje apsorbiraju spektar zračenja u smjeru ispitnog spektra zračenja. Stoga će u ovom radu ponajprije biti potrebno definirati i objasniti ova dva parametra, njihove sličnosti i razlike.

Nadalje, potrebno je proučiti i primijeniti normu EN ISO 7027 koja definira mjerenje mutnoće vode i u skladu s normom razviti proceduru mjerenja u Laboratoriju za vodu, gorivo i mazivo Fakulteta strojarstva i brodogradnje.

U završnom dijelu rada potrebno je u laboratorijskom mjerilu primijeniti najmanje dva tehnološka postupka za smanjenje mutnoće vode, a sva mjerenja provesti u skladu s definiranom procedurom prema navedenoj normi EN ISO 7027. Pri tome sva mjerenja i pokuse potrebno je izvesti s najmanje dva različita uzorka prirodne površinske vode povišene mutnoće (rijeka i/ili jezero).

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:
29. studenog 2018.

Rok predaje rada:
1. rok: 22. veljače 2019.
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2019.
3. rok: 20. rujna 2019.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 25.2. - 1.3. 2019.
2. rok (izvanredni): 2.7. 2019.
3. rok: 23.9. - 27.9. 2019.

Zadatak zadao:
Prof. dr. sc. Davor Ljubas

Predsjednik Povjerenstva:
Prof. dr. sc. Igor Balen

SADRŽAJ

SADRŽAJ II
POPIS SLIKA III
POPIS TABLICA IV
SAŽETAK V
SUMMARY VII
1. UVOD 1
2. Teorijski dio 3
2.1. Mutnoća vode 4
2.2. Ukupni sadržaj suspendiranih tvari 5
2.3. Boja vode 6
2.4. Postupci predobrade vode 7
2.4.1. Koagulacija, flokulacija, taloženje i filtracija 7
3. EKSPERIMENTALNI RAD 10
3.1. Uzorci vode 10
3.2. Opis mjernih uređaja, postupaka i materijala (mutnoća, TSS, boja) 10
3.2.1. Mjerenje mutnoće vode 10
3.2.2. Mjerenje ukupnog sadržaja suspendiranih tvari 11
3.2.3. Mjerenje boje 12
3.3. Opis postupaka predobrade 14
3.3.1. Koagulacija, flokulacija, taloženje, filtracija 14
4. ANALIZA MJERNIH REZULTATA 18
4.1. Rezultati određivanja mutnoće. TSS i boje 18
4.2. Svojstva vode prije i nakon postupaka predobrade 21
5. ZAKLJUČAK 27
LITERATURA 28

POPIS SLIKA

Slika 1. Promjena kakvoće vode [2] 1
Slika 2. Način rada turbidimetra 4
Slika 3. Pojednostavljena shema uređaja za mjerenje UV apsorbancije 7
Slika 4. HACH 2100AN turbidimetar 11
Slika 5. Rezultati izmjerenih vrijednosti aposorbancije za prirodnu vodu 13
Slika 6. Spektrofotometar Hewlett Packard, model 8453 (Hewlett Packard, SAD) 14
Slika 7. Aqualytic Floc Tester (Model AMF 4, Njemačka) 15
Slika 8. Taloženje 16
Slika 9. Gravitacijski višeslojni filter 17
Slika 10. Prikaz izmjerenih vrijednosti apsorbancije za određivanje prave boje za uzroke prirodne vode, otpadne, vode, otopine bojila i obojene otpadne vode 19
Slika 11. Prikaz izmjerenih vrijednosti apsorbancije za određivanje prividne boje za uzroke prirodne vode, otpadne, vode, otopine bojila i obojene otpadne vode 20
Slika 12. Dijagramski prikaz uspješnosti preobrade ovisno o dozi koagulanta (rijeka Sava) 21
Slika 13. Dijagramski prikaz prave boje (rijeka Sava) 22
Slika 14. Dijagramski prikaz prividne boje (rijeka Sava) 23
Slika 15. Dijagramski prikaz smanjenja mutnoće (otpadna voda) 24
Slika 16. Dijagramski prikaz smanjenja TSS (otpadna voda) 24
Slika 17. Dijagramski prikaz prave boje (otpadna voda) 25
Slika 18. Dijagramski prikaz prividne boje (otpadna voda) 26

POPIS TABLICA

Tablica 1. Raspon veličina prirodnih čestica i tehnološki postupci pripreme vode [4] 3
Tablica 2. Rezultati izmjene vrijednosti mutnoće za ispitane uzorke prirodne vode..... 11
Tablica 3. Prikaz rezultata TSS za uzorak prirodne vode prije i poslije predobrade 12
Tablica 4. Prikaz izmjerenih apsorbancija prilikom mjerenja prividne boje za uzore prirodne vode, otpadne vode, otopine bojila i obojene otpadne vode 13
Tablica 5. Ispitane koncentracije koagulanta i polielektrolita prilikom jar testa za prirodnu vodu 15
Tablica 6. Vrijednosti mutnoće prije predobrade koagulacijom i flokulacijom..... 18
Tablica 7. Vrijednosti TSS prije predobrade koagulacijom i flokulacijom 18
Tablica 8. Vrijednosti apsorbancije (prividna boja)..... 18
Tablica 9. Vrijednost apsorbancije (prava boja) 19
Tablica 10. Prikaz svih mjernih rezultata za 4 ispitana uzorka vode 20
Tablica 11. Usporedba parametara prije i poslije predobrade (rijeka Sava)..... 21
Tablica 12. Usporedba parametara prije i poslije predobrade (otpadna voda)..... 23

SAŽETAK

U radu su praćeni neki od parametara ključnih za određivanje kvalitete vode te postupci predobrade vode. Praćenje i kontroliranje kvalitete vode je od iznimne važnosti, posebno u današnje vrijeme kada su potrebe za pitkom vodom na vrhuncu, a svjedočimo svakodnevnim onečišćenjem vode uslijed ljudskog djelovanja. Uz pomoć parametara poput mutnoće, boje i ukupnog sadržaja suspendiranih tvari može se procijeniti kvaliteta vode. Uzrok mutnoće su suspendirane i koloidne tvari u vodi koji uzrokuju raspršenje zračenja prilikom prolaska kroz uzorak. Moderna metoda mjerenja mutnoće se naziva turbidimetrija i izražava se u jedinicama NTU. Smatra se da je voda s mutnoćom manjom od 45 NTU dobre kvalitete za piće. Ukupni sadržaj suspendiranih tvari nam govori o prisutnosti suspendiranih tvari u uzorku i izražava se u mg (suspendirane tvari) / L (uzorka). Najučinkovitije metode za mjerenje boje su spektrofotometrijske metode i pritom se mjeri prividna i prava boja . Uzrok prividne boje su otopljene tvari, suspendirane i koloidne čestice, dok su uzrok prave boje samo otopljene tvari, te je prilikom mjerenja prave boje potrebno profiltrirati uzorak kako bi se uklonile suspendirane i koloidne čestice.

Procesi predobrade vode služe za pripremanje vode na zadovoljavajuću kvalitetu. Provodeni su procesi koagulacije s otopinom željezovog klorida ($FeCl_3$), flokulacije, taloženja i filtracije. Učinkovitost procesa predobrade vode prirodne vode procijenjena je na temelju fizikalno kemijske analize vode koje uključuje mjerenje mutnoće, suspedniranih tvari i boje vode. Pravilnu dozu koagulanta moguće je odrediti jar testom i uz pravilno doziranje koagulanta uklonja se većinu suspendiranih tvari te smanjuje mutnoću vode.

Ključne riječi: mutnoća, turbidimetrija, suspendirane tvari, boja, spektrofotometrija, koagulacija, flokulacija

SUMMARY

The purpose of this study was to describe and measure some of the key parametars for determinig the water quality such as turbidity, total suspenden solids and water color. Tubidity is reduction of transparency of a liquid caused by the presence of undissolved matter. The more total suspended solids in the water, the murkier it seems and the higher the turbidity. Turbidity is considered as a good measure of the quality of water. Turbidity is measured in NTU (Nephelometric Turbidity Units). The instrument used for measuring it is called nephelometer or turbidimeter, which measures the intensity of light scattered at 90 degrees as a beam of light passes through a water sample.

Total suspended solids (TSS) are particles that are larger than 2 microns found in the water column. Anything smaller than 2 microns (average filter size) is considered a dissolved solid. Most suspended solids are made up of inorganic materials, though bacteria and algae can also contribute to the total solids concentration. TSS is measured in mg (suspended solids) / L.

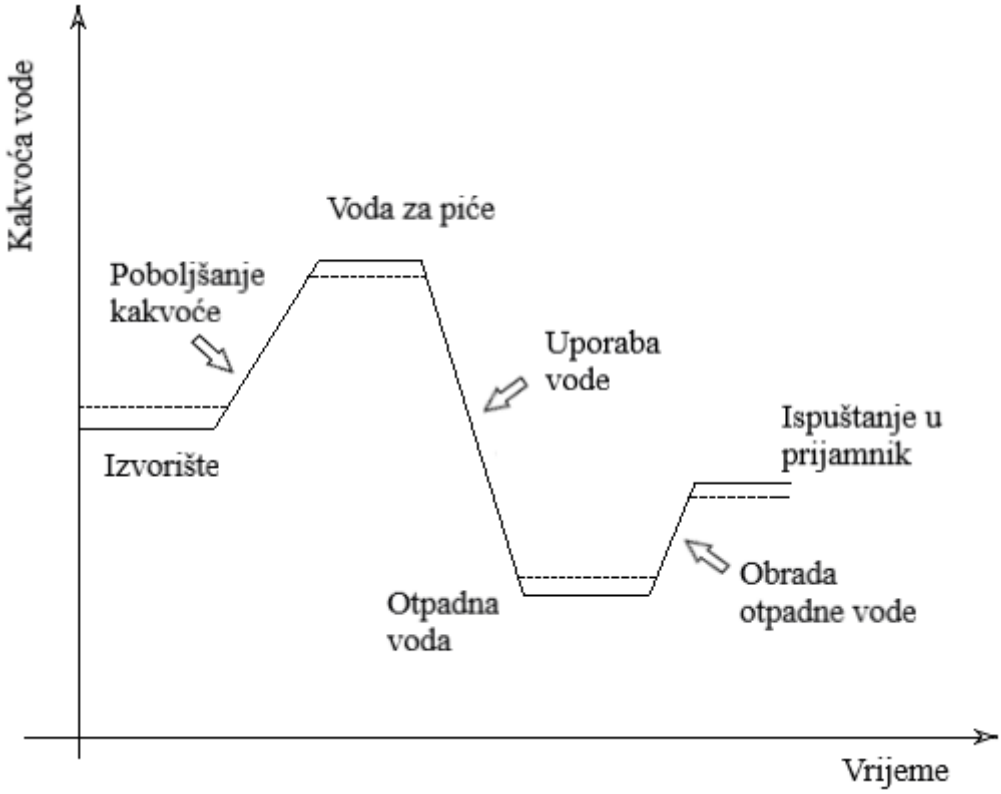
Spectrophotometry is the quantitative measurement of the absorbance or transmission properties of a material as a function of wavelength. With spectrophotometer we can examine and determine color of water. There are two important terms – apparent color of water and true color of water. Apparent colour of water is due to dissolved substances and undissolved suspended matter, determined in the original water sample without filtration or centrifugation and true color is due only to dissolved substances, determined after filtration of the water sample through a membrane filter of pore size 0,45 μm.

Coagulation and flocculation occurs in successive steps, allowing particle collision and growth of floc. This is then followed by sedimentation and filtration. If coagulation is incomplete, flocculation step will be unsuccessful, and if flocculation is incomplete, sedimentation will be unsuccessful. Jar test was used to estimate the optimal dose of coagulant needed in removing the charged particles that occurred in raw water.

Key words: turbidity, total suspended solids, true color, apparant color, coagulation, flocculation

1. UVOD

Voda je sastavni dio svakog živog bića na planetu Zemlji i neophodna je za mnoge prirodne procese. Najznačajniji izvor pitke vode su podzemne vode, međutim, za vodoopskrbu je osim upotrebljive količine podzemnih voda, potrebno i da njihova kvaliteta bude odgovarajuća. U posljednjih 10-20 godina povećala se koncentracija prirodnih organskih tvari u površinskim i podzemnim vodama zbog sve veće potražnje za vodom [1]. Prisutnost prirodnih organskih tvari u površinskim i podzemnim vodama, kao posljedica hidrološkog ciklusa, uzrokuje brojne probleme u pripremi pitke vode koji između ostalog uključuju pogoršanje organoleptičkih svojstava vode, povećanu potrošnju koagulanata i dezinfekcijskih sredstava, što posljedično dovodi do većih troškova održavanja postrojenja za obradu voda.



Slika 1. Promjena kakvoće vode [2]

Na slici 1. je prikazano kako se kakvoća vode mijenja tijekom perioda korištenja. Vidljivo je kako se kakvoća pitke vode snižava raznim postupcima upotrebe te je potrebna obrada te otpadne vode da bi se zadovoljili kriteriji za ispuštanje vode u prijamnike.

Kako bismo pratili dio kvalitete vode, u Laboratoriju za vodu, gorivo i mazivo Fakulteta strojarstva i brodogradnje, moguće je mjeriti nekoliko parametara, poput mutnoće vode, ukupnog sadržaja suspendiranih tvari te boje vode, odnosno obojenja vode pa će se ti parametri detaljnije proučiti i objasniti.

Zamućenje vode posljedica je prisutnosti suspendiranih tvari u vodi, a sama se pojava zamućenosti vode izražava na dva načina : mutnoća vode izražena u NTU (engl. *nephelometric turbidity unit*) ili FNU jedinicama (engl. *Formazine Turbidity Unit*) ovisno o metodi i sadržaj suspendiranih tvari (izražena u mg/L suspendiranih tvari).

Određivanje ukupnog sadržaja suspendiranih tvari (engl. *Total suspended solids - TSS*) provodi se tako da se izmjeri masa filtra prije i poslije filtracije, a upravo razlika u masi filtra nam govori o količini prisutnih suspendiranih tvari u vodi. Određena količina vode se filtrira i suspendirane tvari zbog svoje veličine ne prolaze kroz pore filtra te se zadržavaju na površini filtra što uzrokuje povećanje mase filtra. Za određivanje TSS-a potrebno je pratiti tri parametra – masa filtra prije filtracije, masa filtra poslije filtracije i volumen profiltrirane vode.

Mutnoća predstavlja prisutnost suspendiranih ili koloidnih tvari u otopini, a boja, odnosno obojenje vode odnosi se na potpuno otopljene tvari koje apsorbiraju spektar zračenja u smjeru ispitnog spektra zračenja.

Dok je kod određivanja obojenja vode bitno pratiti smanjenje zračenja u smjeru ispitne zrake, kod metoda za mjerenje mutnoće potrebno je mjeriti intenzitet raspršenog zračenja pod nekim kutom od smjera ispitnog zračenja (uglavnom 90 °).

Kako bismo onečišćene vode doveli do zadovoljavajuće kvalitete potrebno je provesti neke od postupaka predobrade vode poput koagulacije, flokulacije, taloženja, filtracije. Koagulacija i flokulacija služe kako bi uklonili koloidne i suspendirane čestice koje se s vremenom ne bi istaložile ili su premalih dimezija da bi se zadržale na filtru prilikom filtracije. Pravilnom dozom koagulanta moguće je ukloniti veliku većinu suspendiranih tvari i tako smanjiti mutnoću i TSS, što je osnovni cilj predobrade vode. Pritom je važno odrediti pravilnu dozu koagulanta jer povećana potrošnja koagulanata i dezinfekcijskih sredstava dovodi do povećanog nastajanja mulja i štetnih dezinfekcijskih nusprodukata kao i biološko obraštanje u distribucijskim sustavima.

2. Teorijski dio

Prirodne organske tvari (engl. *natural organic matter – NOM*) odnose se na skupinu organskih spojeva koji se nalaze u površinskim i podzemnim vodama kao posljedica prirodnih procesa u okolišu. One su rezultat, u velikoj mjeri, raspadanja biljnog materijala (kopnene i vodene biljke) i različitih bioloških aktivnosti koje uključuju metaboličke aktivnosti algi, praživotinja (protozoa) i mikroorganizama kao i izlučevine od riba i drugih vodenih organizama [3].

Primjeri prirodnih organskih tvari su proteini, aminokiseline, polisaharidi, huminske i fulvinske kiseline. Dok proteini, aminokiseline i polisaharidi pripadaju nehuminskim tvarima, huminska i fulvinska kiselina pripadaju huminskim tvarima koje čine približno polovicu otopljenog organskog ugljika u vodi [4].

Tablica 1. Raspon veličina prirodnih čestica i tehnološki postupci pripreme vode [4]

RASPON VELIČINA PRIRODNIH ČESTICA				
Grupe disperzije anorganskog i organskog podrijetla	Koloide disperzije		Molekularne disperzije	Plinovi
$10 – 10^{-3}$ mm	*Organske* Huminske tvari $10^{-3} – 10^{-5}$ mm	*Anorganske* Gline, Fe_2O_3, SiO_2 $10^{-3} – 10^{-5}$ mm	Otopljene soli – ioni $10^{-6} – 10^{-7}$ mm	CO_2, O_2, N_2, H_2S, CH_4
TEHNOLOŠKI POSTUPCI PRIPREME VODE				
Zadržavanje sitima, sedimentacija, centrifuga, separacija	Koagulacija, flokulacija, sedimentacija, filtracija, membranski postupci, oksidacijski postupci		Ionska izmjena, membranski postupci	Razni postupci otplinjavanja

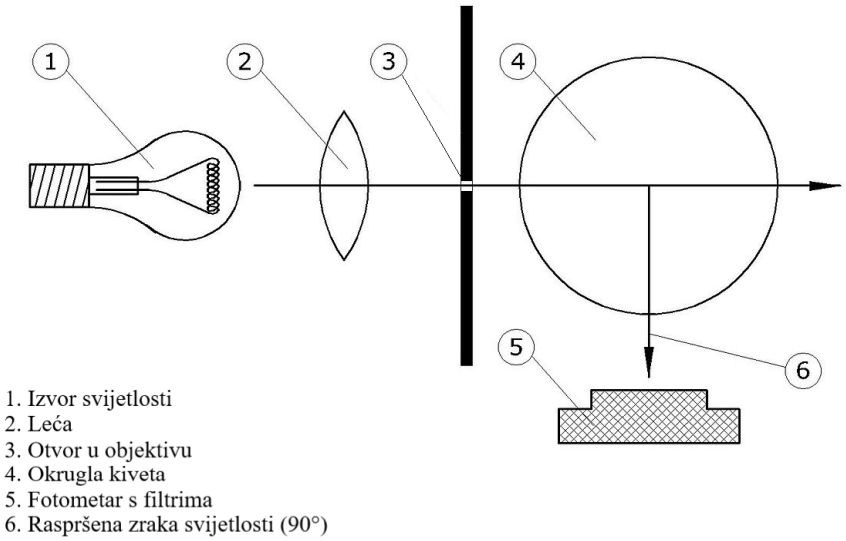
U tablici 1. moguće je vidjeti raspon veličina prirodnih čestica u vodi te tehnološke postupke pripreme vode. Čestice u gruboj disperziji su dovoljno velike pa ih je moguće ukloniti nešto jednostavnijim fizičkim postupcima poput zadržavanja sitima ili sedimentacijom. Ukoliko su u vodi prisutne manje čestice, tehnološki postupci postaju složeniji i zahtijevaju dodavanje kemikalija (koagulanti, flokulanti), ionsku izmjenu ili postupke otplinjavanja.

2.1. Mutnoća vode

Količina netopivih tvari prisutnih u pitkoj vodi osnovni je indikator kvalitete vode. Mulj, pijesak, bakterije, spore i kemijski talog pridonose zamućenosti ili mutnoći vode.

Mutnoća vode je parametar koji predstavlja optičko svojstvo vode koje uzrokuje raspršenje i apsorpciju svjetlosnog zračenja. Raspršenje svjetlosnog zračenja funkcija je veličine i oblika suspendiranih tvari. Drugi važni čimbenici koji utječu na mutnoću su količina tvari u otopini, odnos indeksa loma svjetlosti čestice i okolnog medija, veličina, oblik i raspodjela čestica te valna duljina ulaznog zračenja.

Moderna metoda mjerenja mutnoće naziva se turbidimetrija i vrijednost mutnoće se iskazuje u jedinicama NTU. Uređaj za mjerenje mutnoće (turbidimetar) mjeri raspršenje svjetla koje nastaje prolaskom svjetlosne zrake kroz ispitni uzorak. Na slici 2. je shematski prikaz rada turbidimetra – ispitna zraka prolazi kroz leću i mali otvor u objektivu, prolazi kroz kivetu u kojoj se nalazi ispitivani uzrak. Zbog prisutnosti suspendiranih i koloidnih čestica ta zraka svjetlosti se odbija u svim smjerovima. Zatim fotomultiplikator postavljen pod kutem od 90 ° od ispitne zrake bilježi intenzitet zračenja u tom smjeru, a turbidimetar daje vrijednost mutnoće izraženu u jedinicama NTU.



Slika 2. Način rada turbidimetra

Bitno je naglasiti kako ovom metodom mjerenja mutnoće ne mjeri količina čestica u uzorku, već efekt raspršenja svjetla koje spomenute čestice uzrokuju i ne može se dovesti u direktnu vezu s ukupnim sadržajem suspendiranih tvari u vodi.

2.2. Ukupni sadržaj suspendiranih tvari

Čestice koje se nalaze u vodi mogu se otopiti ili mogu biti prisutne u suspendiranom obliku. Suspendirane tvari možemo podijeliti na anorganske tvari (glina, mulj) i organske tvari (biljne tvari, ostaci algi i bakterija). Povećana koncentracija suspendiranih tvari dovodi do zamućenosti i obojenja vode. Iako suspendirane tvari uglavnom same po sebi nisu štetne po ljudsko zdravlje, nastoji ih se ukloniti jer neke od tvari reagiraju s klorom, koji se koristi za dezinfekciju, tvoreći štetne dezinfekcijske nusprodukte kao što su trihalometani (engl. *trihalomethanes – THMs*), halooctene kiseline (engl. *haloacetic acids – HAAs*) i niz drugih halogenih nusprodukata. Nastali nusprodukti dezinfekcije su kancerogeni te su jedni od uzročnika teških oboljenja, poput raka mjehura, debelog crijeva i rektuma. Upravo je to najveći razlog velike potrebe točnog određivanja ukupnog sadržaja suspendiranih tvari te njihovo uklanjanje iz vode.

Nedavna istraživanja pokazala su da su neki od zdravstvenih učinaka povezanih s trihalometanima štetniji u doticaju s kožom i respiratornim sustavom (na primjer, tijekom tuširanja i kupanja), nego ako ih se uzima u vodi za piće [5].

Kako bi se poboljšao učinak uklanjanja prirodnih organskih tvari, ključno je prvo utvrditi njihov karakter jer tip organskih tvari neće utjecati samo na odabir procesa obrade vode, nego i na izvođenje odabranog procesa. Na stvaranje dezinfekcijskih nusprodukata utječu mnogi čimbenici – koncentracija prirodnih organskih tvari, koncentracija klora, koncentracija bromida, pH-vrijednost, temperatura i vrijeme reakcije.

Sadržaj suspendiranih tvari određuje se pomoću membranskog filtra od staklenih vlakana tako da se filtrira određena količina vode kroz filtar te se tako suspendirane tvari zadržavaju na filtru. Potrebno je izvagati masu suhog filtra prije i poslije filtracije te izmjeriti količinu vode koju se profiltrira kroz membranski filtar.

Ukupni sadržaj suspendiranih tvari (TSS) dobiva se pomoću sljedeće jednadžbe i izražava se u mg/L :

$$TSS = \frac{m_2 - m_1}{V} * 1000 \text{ [mg/L]} \quad (1)$$

gdje je : *TSS – ukupne suspendirane tvari*

m_2 – masa filtra nakon filtracije

m_1 – masa filtra prije filtracije

V – volumen profiltriranog uzorka

2.3. Boja vode

Određivanje boje vode je jedan od važnih parametara s kojima možemo pratiti kvalitetu vode, a pritom treba razlikovati pravu boju (engl. *true color*) od prividne boje (engl. *apparant color*). Ukoliko ispitivanje boje vode provodimo s nefiltriranom vodom, odnosno vodom koja u sebi sadrži otopljene tvari i suspendirane tvari te koloidne čestice, tada mjerimo prividnu boju. Ukoliko vodu pravilno filtriramo tada možemo mjeriti pravu boju. Prema ISO 7887-2011 standardu, preporuča se korištenje membranskog filtra s veličinom pora od 0,45 μm za filtraciju vode za uklanjanje suspendiranih tvari kako bi se mjerila prava boja vode. [6] Primjerice, smeđa boja vode može biti uzrokovana otopljenim produktima razgradnje biljaka i tada je riječ o pravoj boji. Također, boja može biti uzrokovana suspendiranim česticama, poput gline ili mulja i tada je riječ o prividnoj boji.

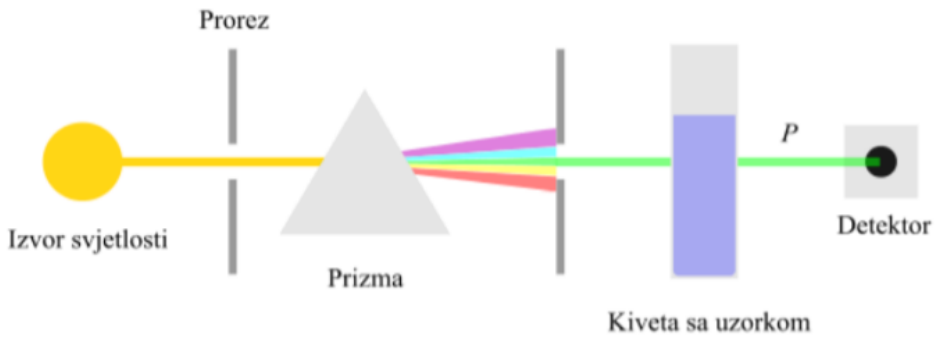
Određivanje boje vode se može provesti na razne načine, od najjednostavnijih metoda poput vizualne metode gdje ne dobivamo puno važnih podataka do složenih koje zahtijevaju mjerne uređaje. Mjerenja se najčešće provode pomoću spektrofotometra koji mjeri apsorbanciju na širokom spektru elektromagnetskog zračenja (190 nm – 1000 nm).

Apsorbancija je logaritamski omjer između intenziteta svjetlosti koji voda zadrži i intenziteta koji propusti, odnosno smanjenje intenziteta upadnog zračenja super čiste vode, P_0 na intenzitet zračenja uzorka, P. To je poznato pod nazivom Beer-Lambertov zakon, a definira se jednadžbom (2) :

$$A = log \frac{P_0}{P} \quad (2)$$

gdje je : *P_0 - intezitet upadnog zračenja super čiste vode*

P – intezitet upadnog zračenja uzorka



Slika 3. Pojednostavljena shema uređaja za mjerenje UV apsorbancije

2.4. Postupci predobrade vode

Ovisno o veličini prirodnih čestica koje su prisutne u vodi postoje razni načini predobrade vode kako bismo došli do željene kvalitete. Za grube disperzije organskog i anorganskog podrijetla koriste se sedimentacija, zadržavanje sitima, centrifugiranje i separacija. Kada su u vodi prisutne koloidne i suspendirane tvari tada je potrebno provesti postupke predobrade vode. Postoje još mnogi postupci za predobradu vode postupcima kao što su ionska izmjena, membranska filtracija postupci otplinjavanja i dr.

2.4.1. Koagulacija, flokulacija, taloženje i filtracija

Kod prirodnih voda vrlo često su prisutne koloidne disperzije te se tehnološkim postupkom koagulacije i flokulacije nastoji uspostaviti ubrzano taloženje čestica. Dimenzije koloidnih čestica su obično u rasponu od 1 do 1000 nm i najvećim dijelom nisu vidljive čak ni uz pomoć optičkog mikroskopa. Važan pojam koji se veže uz koloidne čestice je stabilnost koja se može smatrati otporom koloidne čestice prema njezinom uklanjanju taloženjem. Stabilnost koloidnih čestica se javlja zbog njihove veličine i površinskog naboja koji se zove zeta potencijal (u prirodnim vodama je gotovo uvijek negativan. Zeta potencijal je u većini

prirodnih voda negativan. Budući da koloidne čestice imaju veliku površinu u odnosu na njihovu težinu, gravitacijskom silom neće se moći ukloniti tijekom taloženja.

Postoje brojni načini destabilizacije tih čestica, dok je koagulacija jedna od najznačajnih. To su tipične soli metala poput željezovog i aluminijevog sulfata. Koagulant koji se odabere, njegovo doziranje i kvaliteta vode određuju mehanizam koagulacije.

Kada se vodi dodaju koagulanti, pojavi se niz složenih reakcija hidrolize. Koagulanti sadrže Al^{3+} ili Fe^{3+} koji su jako nabijeni suprotni-ioni, koji u vodi reagiraju i daju različite produkte hidrolize poput $Al(OH)_2^+$ i $Al_{13}O_4(OH)_{12}^{7+}$, koji može jako apsorbirati na negativnim česticama i tako reducirati naboj čestica na taj način. Neutralizacija naboja stabilnih čestica je brza i može biti postignuta pri prilično niskim dozama koagulanta, ali doziranje treba biti proporcionalno koncentraciji onečišćenja. Potrebne količine koagulanta kreću se u rasponu od 10 do 50 g/m^3 sirove vode. Pravilne doze koagulanta određuje se jar testom.

Nakon koagulacije spontano slijedi flokulacija (rast čestica u veće nakupine - flokule), ali u praksi je često potrebno ubrzati proces stvaranja flokula. Proces flokulacije se ubrzava dodavanjem polielektrolita u količini od 0,05 do 0,5 g/m^3. [7]

Nakon koagulacije i flokulacije slijedi period taloženja. Čestice se mogu slegnuti na četiri prilično različita načina oviseći o relativnoj tendenciji čestica da aglomeriraju dok se talože. Kako se određena čestica taloži, tako će ubrzati pod gravitacijom, dok uzgonska sila na čestici izjednači njenu silu težu. Na ovom dijelu čestica pada pod konstantnom brzinom koja se zove brzina taloženja. Točan izraz za brzinu terminalnog taloženja ovisi o režimu toka oko čestice kako se taloži. Međutim, u većini slučajeva u obradi pitke vode čestice padaju u laminarno polje toka (Re<0,1) i izraz postaje poznat kao Stokesov zakon [8] :

$$v = \frac{2}{9} * \frac{d^2(\rho_č - \rho)g}{\eta} \quad [m/s] \qquad (3)$$

gdje je : *v – brzina taloženja [m/s]*

$\rho_č$ – gustoća koloidne čestice [kg/m^3]

ρ – gustoća vode [kg/m^3]

d – promjer čestice [m]

η – dinamički viskozitet [Pas]

Filtracija je proces propuštanja vode kroz poroznu sredinu – filtarski materijal. Primjenjuje se za uklanjanje koloidnih čestica koje su nakon procesa taloženja preostale u vodi, naročito najsitniji koloidi koji se nisu uspjeli slijepiti u flokule, već su proslijedili tokom vode dalje.

U vodovodnoj se praksi kao osnovni filtarski materijal primjenjuje kvarcni pijesak. Ova vrsta pijeska sadrži silicijev dioksid, SiO_2, koji vrlo povoljno neutralizira preostale potencijalne sile koloida zaostalih u vodi nakon procesa taloženja.

3. EKSPERIMENTALNI RAD

3.1. Uzorci vode

Mjerenja mutnoće vode, određivanje ukupnog sadržaja suspendiranih tvari te obojenje vode provedena su na 4 različita uzorka vode :

1) Prirodna voda – rijeka Sava
2) Otpadna voda od pranja filtra
3) Otopina bojila (bojilo Congo red)
4) Obojena otpadna voda

Za postupke predobrade vode korištena su dva uzorka vode – prirodna voda iz rijeke Save (lokacija: Vrbovec Samoborski, volumen uzorka: 10L, vrijeme uzimanja uzorka: 31.1.2019.) i otpadna voda od pranja filtra (uzorak vode pripravljen 4.2.2019. u Laboratoriju) koja je sadržavala velike količine suspendiranih tvari. Za dobivanje otopine vode korišteno je bojilo Congo red koji je pomiješan s prirodnom vodom (uzorak pripravljen 4.2.2019. u Laboratoriju).

3.2. Opis mjernih uređaja, postupaka i materijala (mutnoća, TSS, boja)

Svi mjerni uređaji nalaze se u Laboratoriju za vodu, gorivo i mazivo Fakulteta strojarstva i brodogradnje i sva mjerenja provedena su u prostorijama Laboratorija

3.2.1. Mjerenje mutnoće vode

Sva mjerenja mutnoće su provedena na uređaju HACH 2100AN (slika 4.) i za svaki uzorak vode 3 puta je provedeno mjerenje mutnoće.

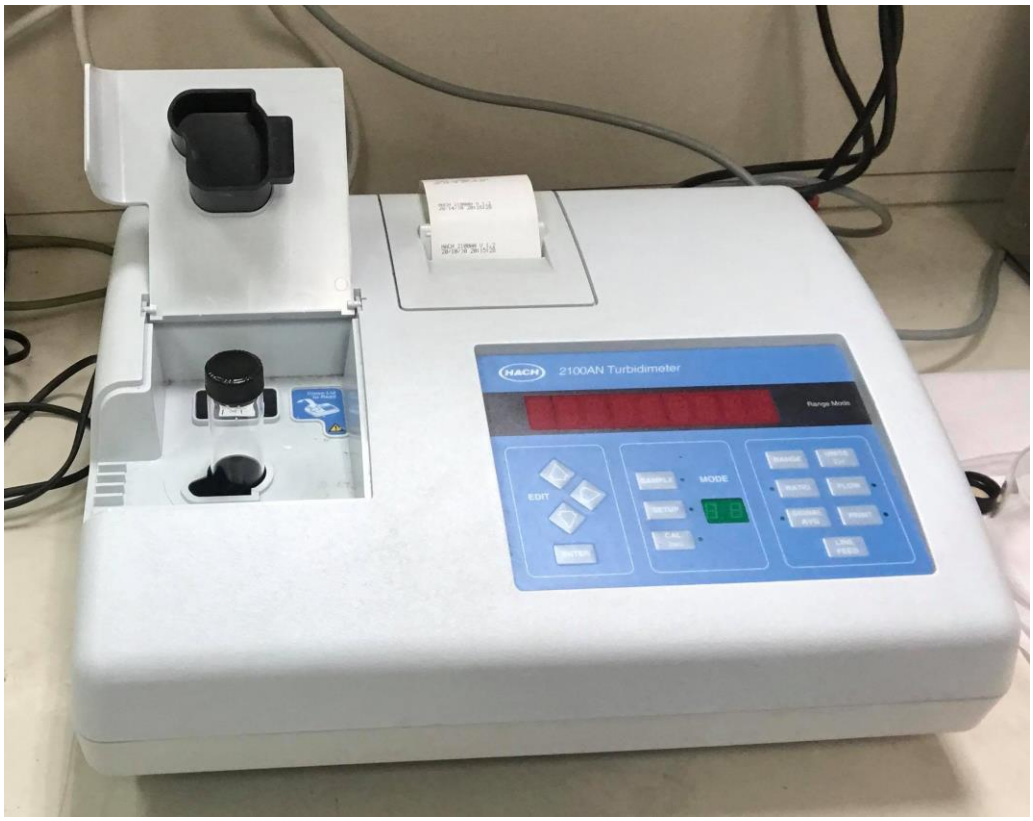
Postupak mjerenja:

1) Stavljanje uzorka u kivetu
2) Brisanje kivete kako bi se uklonile sve nečistoće sa stakla
3) Stavljanje kivete u predviđeno mjesto na uređaju
4) Očitavanje rezultata na digitalnom displeju.

Određivanje srednje vrijednosti, standardne i relativne standardne :

Tablica 2. Rezultati izmjene vrijednosti mutnoće za ispitane uzorke prirodne vode

Uzorak	Mutnoća 2100AN [NTU]	Srednja vrijednost	Standardna pogreška	Relativna standardna pogreška
Sava 1	5,61	5,53	0,258	4,96%
Sava 2	5,22			
Sava 3	5,71			



Slika 4. HACH 2100AN turbidimetar

3.2.2. Mjerenje ukupnog sadržaja suspendiranih tvari

Prije same filtracije bilo je potrebno temeljito isprati membranske filtre (Munktell Filter AB, veličina pora 47 µm, Ø47mm) s demineraliziranom vodom, te dobro osušiti kako ne bi došlo do pogreške u mjerenju. Nakon sušenja slijedi vaganje čiste membrane na analitičkoj vagi

(ADAM equipment 254i), a zatim i filtracija uzorka kroz membranske filtre. Kako bi se proces filtracije ubrzao koristi se vakuum pumpa (EMERSON SA55JXHIP-4698), a kod uzoraka s većom koncentracijom suspendiranih tvari, vakuum pumpa je obavezna jer bi proces trajao predugo ili ne bi uopće bio moguć. Nakon filtracije membranski filtri se suše u peći (Memmert 400) na 105 °C kako bi se maknuo utjecaj vlage na mjerne rezultate. Zatim slijedi finalno vaganje membranski filtara s kojim dobivamo sve potrebne podatke za izračun ukupnog sadržaja suspendiranih tvari.

Prema jednadžbi (1) izračuna se ukupni sadržaj suspendiranih tvari u uzorku vode.

Tablica 3. Prikaz rezultata TSS za uzorak prirodne vode prije i poslije predobrade

Uzorak	m_1 [g]	m_2 [g]	V [L]	TSS [mg/L]
Rijeka Sava – prije predobrade	0,0992	0,1028	0,500	7,2
Rijeka Sava – poslije predobrade	0,0983	0,0996	0,300	4,33

3.2.3. Mjerenje boje

U radu su provedena mjerenja prave i prividne boje na 4 različita uzorka vode pomoću UV-VIS spektrofotometra (slika 6.). Za potrebe filtracije prilikom mjerenja prave boje korišteni su membranski filtri (Labex Ltd. Mađarska, Ø25mm, veličina pora 0,45µm). Za svaki uzorak su provedena po 3 mjerenja i prilikom svakog mjerenja najvažnije je da se ispitna kiveta pažljivo očisti kako bi se uklonile sve nečistoće i vodu na staklu da bismo dobili što točnije mjerne rezultate. Prije mjerenja prave boje svi uzorci su profiltrirani kroz membranske filtre kako bi se uklonile suspendirane čestice.

Na slici 5. dan je prikaz izmjerenih vrijednosti apsorbacnije za ispitne uzorke prirodne vode prije i poslije predobrade.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	Posuda A-NF 1			Posuda A-NF 2			Posuda A-NF 3			Posuda B-NF 1			Posuda B-NF 2			Posuda B-NF 3			Posuda C-NF1		
2	velength (sorbance (/		Std.Dev.	velength (sorbance (/		Std.Dev.	velength (sorbance (/		Std.Dev.	Wavelengt	Absorbanc	Std.Dev.	Wavelengt	Absorbanc	Std.Dev.	Wavelengt	Absorbanc	Std.Dev.	Wavelengt	Absorbanc	Std.Dev.
3	190	1,91665	8,11E-03	190	1,90081	5,62E-03	190	1,90285	7,12E-03	190	1,96305	8,11E-03	190	1,98445	8,33E-03	190	1,98152	4,06E-03	190	2,01438	7,01E-03
4	191	1,88108	5,50E-03	191	1,90024	3,64E-03	191	1,89739	3,34E-03	191	1,92984	4,31E-03	191	1,98868	6,22E-03	191	1,98589	4,41E-03	191	2,02278	4,49E-03
5	192	1,85416	3,38E-03	192	1,85903	2,68E-03	192	1,85814	1,59E-03	192	1,88576	4,36E-03	192	1,92652	4,48E-03	192	1,9195	3,93E-03	192	1,93242	3,66E-03
6	193	1,78894	2,28E-03	193	1,79481	1,77E-03	193	1,7991	2,58E-03	193	1,80704	3,93E-03	193	1,8617	3,32E-03	193	1,85785	2,37E-03	193	1,84221	2,92E-03
7	194	1,72862	2,18E-03	194	1,74455	1,90E-03	194	1,74341	2,57E-03	194	1,73335	2,76E-03	194	1,7941	3,23E-03	194	1,78049	1,91E-03	194	1,74625	1,77E-03
8	195	1,68074	1,17E-03	195	1,68265	1,83E-03	195	1,68052	2,39E-03	195	1,66239	2,47E-03	195	1,71777	3,15E-03	195	1,71871	1,85E-03	195	1,64569	1,45E-03
9	196	1,6283	8,11E-04	196	1,64346	1,78E-03	196	1,6389	1,99E-03	196	1,60695	2,10E-03	196	1,66953	2,07E-03	196	1,6688	1,58E-03	196	1,58033	1,11E-03
10	197	1,59145	9,43E-04	197	1,59868	1,24E-03	197	1,5944	1,44E-03	197	1,56013	1,47E-03	197	1,61446	1,15E-03	197	1,61101	1,16E-03	197	1,51398	8,29E-04
11	198	1,5486	8,91E-04	198	1,55455	5,59E-04	198	1,54955	1,29E-03	198	1,51639	1,77E-03	198	1,57472	1,55E-03	198	1,57534	6,93E-04	198	1,46675	7,38E-04
12	199	1,51118	9,11E-04	199	1,52463	5,50E-04	199	1,51994	9,58E-04	199	1,48064	1,15E-03	199	1,54038	1,16E-03	199	1,53776	8,69E-04	199	1,42891	6,69E-04
13	200	1,48064	1,16E-03	200	1,48654	8,02E-04	200	1,48396	1,12E-03	200	1,4505	7,98E-04	200	1,5049	7,33E-04	200	1,50517	6,55E-04	200	1,39123	5,75E-04
14	201	1,44565	8,03E-04	201	1,45566	5,57E-04	201	1,45346	1,10E-03	201	1,42017	6,95E-04	201	1,47771	7,90E-04	201	1,4777	4,62E-04	201	1,36525	7,28E-04
15	202	1,421	4,24E-04	202	1,42908	5,12E-04	202	1,42504	8,80E-04	202	1,39559	5,62E-04	202	1,45084	7,23E-04	202	1,44933	3,37E-04	202	1,3391	4,63E-04
16	203	1,39461	4,39E-04	203	1,39966	4,01E-04	203	1,39701	5,74E-04	203	1,37136	5,83E-04	203	1,42586	5,45E-04	203	1,42706	3,98E-04	203	1,31519	5,49E-04
17	204	1,3654	3,59E-04	204	1,37552	3,90E-04	204	1,37179	4,39E-04	204	1,34669	4,61E-04	204	1,40195	5,46E-04	204	1,40202	4,65E-04	204	1,29291	5,31E-04
18	205	1,34008	2,36E-04	205	1,34617	4,60E-04	205	1,34286	3,99E-04	205	1,32134	3,37E-04	205	1,37361	4,11E-04	205	1,37305	3,93E-04	205	1,26613	3,86E-04
19	206	1,30743	1,96E-04	206	1,3147	3,28E-04	206	1,31188	3,29E-04	206	1,29077	3,62E-04	206	1,34458	3,47E-04	206	1,34462	4,43E-04	206	1,23921	3,00E-04
20	207	1,27341	2,96E-04	207	1,28134	2,46E-04	207	1,27764	3,44E-04	207	1,25765	4,84E-04	207	1,30906	2,67E-04	207	1,30792	3,87E-04	207	1,2065	2,90E-04
21	208	1,23508	3,01E-04	208	1,24164	1,90E-04	208	1,23803	2,56E-04	208	1,2199	4,37E-04	208	1,26954	2,36E-04	208	1,26991	3,71E-04	208	1,16982	2,64E-04
22	209	1,19193	1,67E-04	209	1,19921	3,31E-04	209	1,19658	1,91E-04	209	1,1771	2,27E-04	209	1,22695	2,46E-04	209	1,22608	2,85E-04	209	1,13027	2,49E-04
23	210	1,14555	2,06E-04	210	1,15095	2,18E-04	210	1,14763	2,62E-04	210	1,13059	1,56E-04	210	1,17625	2,91E-04	210	1,17545	2,27E-04	210	1,08414	3,09E-04
24	211	1,09467	1,91E-04	211	1,09973	1,89E-04	211	1,09674	2,27E-04	211	1,07934	2,04E-04	211	1,12384	2,98E-04	211	1,12361	2,85E-04	211	1,03508	1,73E-04
25	212	1,04039	2,10E-04	212	1,04643	1,88E-04	212	1,04288	2,54E-04	212	1,02407	2,03E-04	212	1,06693	2,07E-04	212	1,06636	2,68E-04	212	0,98288	1,21E-04
26	213	0,98485	3,09E-04	213	0,98829	1,47E-04	213	0,98565	1,88E-04	213	0,96762	2,70E-04	213	1,00674	1,94E-04	213	1,0067	1,72E-04	213	0,92728	1,45E-04
27	214	0,92486	1,82E-04	214	0,92902	1,61E-04	214	0,92665	1,35E-04	214	0,9076	2,55E-04	214	0,94557	2,77E-04	214	0,94533	1,49E-04	214	0,87069	1,49E-04
28	215	0,86426	1,04E-04	215	0,86825	1,69E-04	215	0,8652	9,02E-05	215	0,84552	1,73E-04	215	0,88073	2,07E-04	215	0,88023	1,80E-04	215	0,81067	1,39E-04
29	216	0,80301	1,43E-04	216	0,80597	1,69E-04	216	0,80387	8,67E-05	216	0,78424	1,61E-04	216	0,8163	1,80E-04	216	0,81614	1,05E-04	216	0,7512	1,06E-04
30	217	0,74151	1,02E-04	217	0,74508	1,41E-04	217	0,74271	1,21E-04	217	0,72173	1,74E-04	217	0,75133	1,72E-04	217	0,75098	1,11E-04	217	0,69115	1,06E-04
31	218	0,68281	1,20E-04	218	0,68462	1,01E-04	218	0,6825	1,68E-04	218	0,66164	1,16E-04	218	0,68844	1,45E-04	218	0,68836	1,16E-04	218	0,63247	1,04E-04
32	219	0,62336	1,20E-04	219	0,62566	8,01E-05	219	0,62364	9,66E-05	219	0,6014	8,41E-05	219	0,62646	9,30E-05	219	0,62614	8,26E-05	219	0,57538	8,60E-05
33	220	0,56777	7,29E-05	220	0,56937	7,73E-05	220	0,56729	7,34E-05	220	0,5449	8,96E-05	220	0,56698	1,15E-04	220	0,56674	8,92E-05	220	0,52037	9,46E-05
34	221	0,51366	7,09E-05	221	0,51463	9,38E-05	221	0,51288	9,45E-05	221	0,48991	6,41E-05	221	0,51	7,87E-05	221	0,50973	7,12E-05	221	0,46734	1,04E-04

20190204 | **20190205** | 20190206 | 20190208

Slika 5. Rezultati izmjerenih vrijednosti aposorbancije za prirodnu vodu

Tablica 4. Prikaz izmjerenih apsorbancija prilikom mjerenja prividne boje za uzore prirodne vode, otpadne vode, otopine bojila i obojene otpadne vode

Uzorak	A(436)	A(525)	A(620)	A
Prirodna voda	0,0147	0,0113	0,0094	0,0122
Otpadna voda	0,0893	0,0912	0,0899	0,0901
Otopina bojila	0,3878	0,5682	0,0199	0,4854
Obojena otpadna voda	0,2187	0,3084	0,0537	0,2511

Jednadžba za izračun apsorbancije [6] :

$$A=\frac{A(436)^2 + A(525)^2 + A(620)^2}{A(436) + A(525)+A(620)} \tag{4}$$

gdje je : *A(436) – asporbacnija izmjerena na 435 nm*

A(525) – asporbacnija izmjerena na 525 nm
A(620) – asporbacnija izmjerena na 620 nm

Slika 6. Spektrofotometar Hewlett Packard, model 8453 (Hewlett Packard, SAD)

3.3. Opis postupaka predobrade

3.3.1. Koagulacija, flokulacija, taloženje, filtracija

Ispitivanje koagulacije i flokulacije izvedeno je pomoću jar testa (Slika 6.), a kao sredstvo za koagulaciju koristila se otopina s 40% željezovog klorida $FeCl_3$ (tehnički) i polielektrolit kao flokulant. U tablici (5.) se mogu vidjeti koncentracije koagulanta i polielektrolita za svaki uzorak ispitan jar testom. Iste vrijednosti koncentracja koagulanta i flokulanta su korištene za prirodnu vodu i za otpadnu vodu. Prilikom provođenja jar testa provedeno je testiranje dodatne koncentracije koagulanta (označena kao posuda E u mjernim rezultatima).

Tablica 5. Ispitane koncentracije koagulanta i polielektrolita prilikom jar testa za prirodnu vodu

	Posuda A	Posuda B	Posuda C	Posuda D
Volumen [L]	2	2	2	2
Doza koagulanta [mg(Fe)/L]	0	10	20	50
$FeCl_3$ [µL]	0	106	211	528
Doza polielektrolita [g(P.E.)/L]	0,1	0,1	0,1	0,1
Polielektrolit [mL]	2	2	2	2

Slika 7. Aqualytic Floc Tester (Model AMF 4, Njemačka)

Dinamika Jar testa :

1) Intenzivno miješanje – 120 okreta/minuti – 30 sekundi
2) Dodavanje koagulanta $FeCl_3$
3) Flokulacija i dodavanje polielektrolita – 80 okreta/minuti – 2 minute
4) Flokulacija – 60 okreta/minuti – 20 minuta
5) Flokulacija – 40 okreta/minuti – 20 minuta
6) Taloženje – 60 minuta

Doziranje koagulanta i polielektrolita provedeno je mikrolitarskom i mililitarskom pipetom (Eppendorf, Njemačka).

Nakon koagulacije i flokulacije uslijedio je proces taloženja koji je trajao 60 minuta. Na slici (8.) može se vidjeti završni stadij taloženja gdje su suspendirane tvari sedimentirale uz rubove posude.

Slika 8. Taloženje

Za potrebe filtracije korišten je višeslojni gravitacijski filtar (slika 9.). Filter je sadržavao 3 sloja – za prvi sloj je korišten hidroantracit (Ø2,5 mm), za drugi kvarcni pijesak fine granulacije (Ø 0,2-0,8 mm), a posljednji sloj je također kvarcni pijesak ali grube granulacije (Ø 3mm). Poslije svake filtracije, potrebno je napraviti pranje filtra kako bi se odstranile koloidne i suspendirane čestice.

Slika 9. Gravitacijski višeslojni filter

4. ANALIZA MJERNIH REZULTATA

4.1. Rezultati određivanja mutnoće. TSS i boje

Tablica 6. Vrijednosti mutnoće prije predobrade koagulacijom i flokulacijom

Uzorak	Mutnoća [NTU]
Prirodna voda – rijeka Sava	5,513 ± 0,259
Otpadna voda od pranja filtra	35,967 ± 0,808
Otopina bojila	11,7 ± 0,436
Obojena otpadna voda	39,033 ± 1,105

Tablica 7. Vrijednosti TSS prije predobrade koagulacijom i flokulacijom

Uzorak	m_1 [g]	m_2 [g]	V [L]	TSS [mg/L]
Prirodna voda	0,0992	0,1028	0,500	7,200
Otpadna voda	0,0985	0,272	0,200	867,5
Otopina bojila	0,0968	0,973	0,200	2,5
Obojena otpadna voda	0,0953	0,134	0,200	155,6

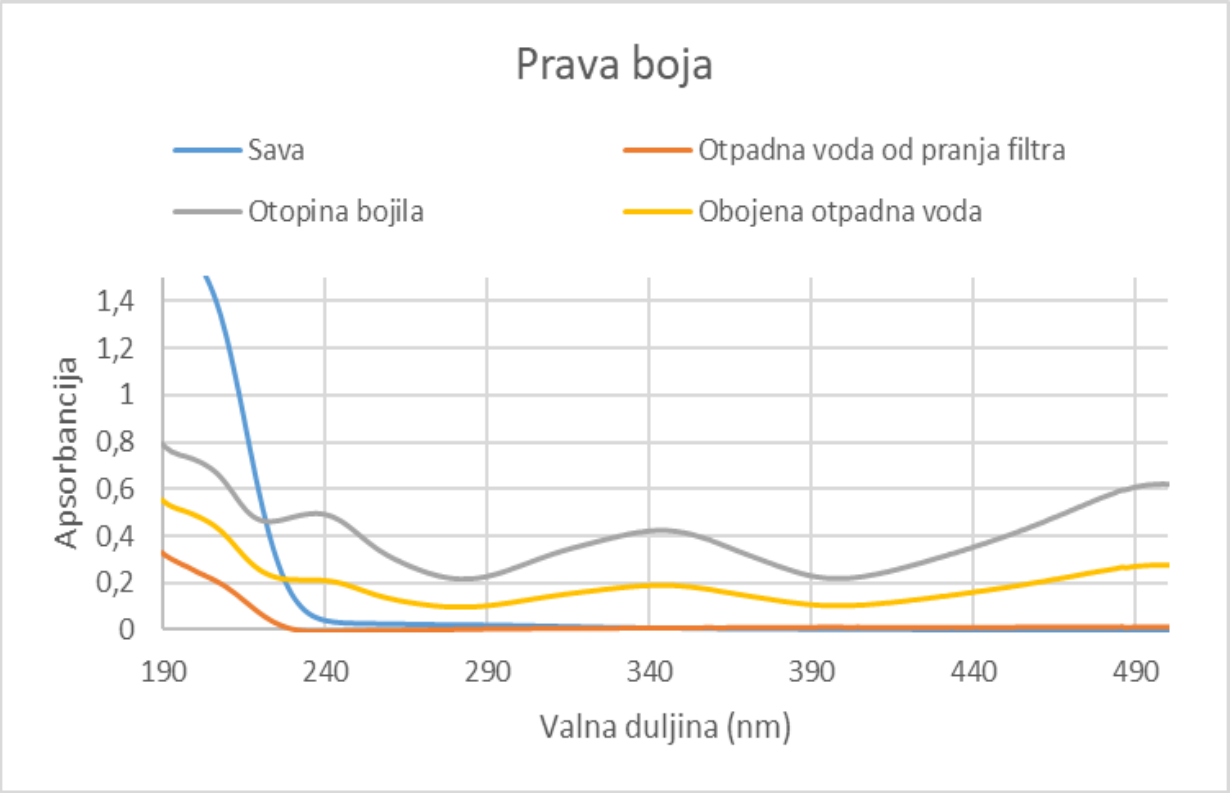
Već iz ovih podataka vidljivo je kako se mutnoća i TSS ne mogu dovesti u direktnu povezanost. Obojena otpadna voda ima veću mutnoću od otpadne vode, dok otpadna voda ima višestruko veći TSS.

Tablica 8. Vrijednosti apsorbancije (prividna boja)

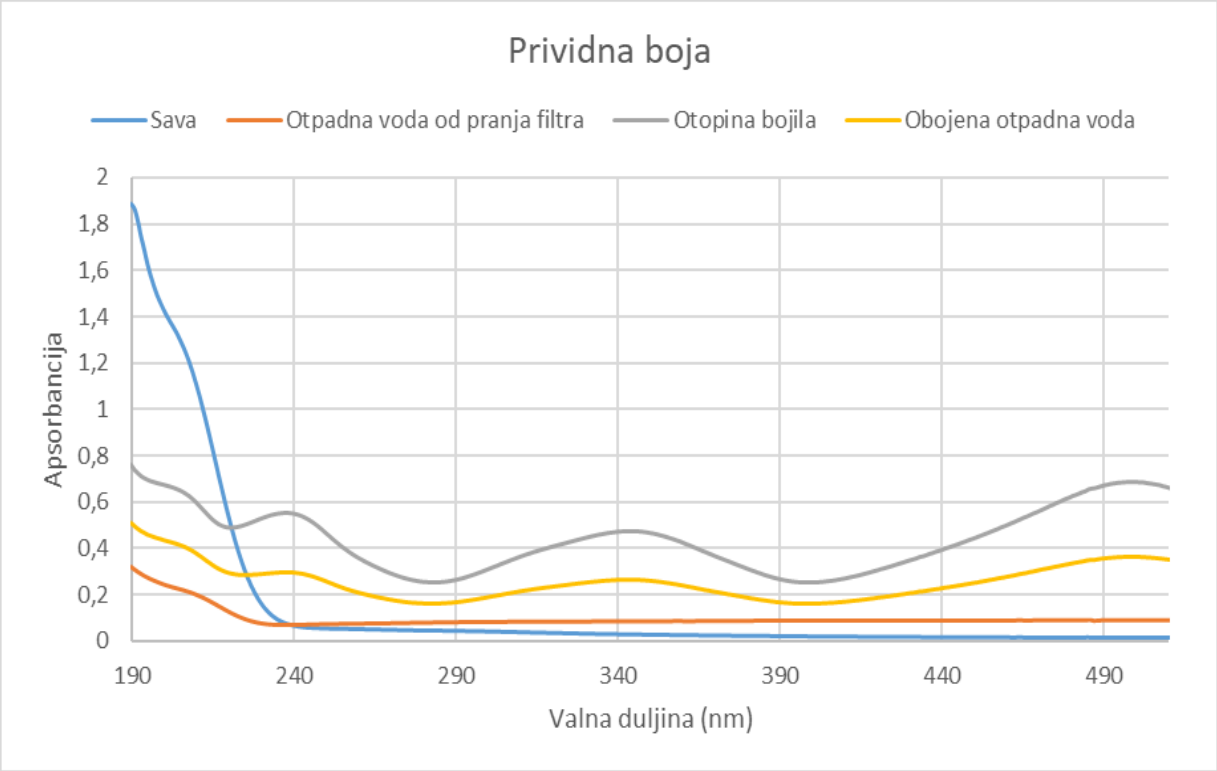
Uzorak	A(436)	A(525)	A(620)	A
Prirodna voda	0,0147	0,0113	0,0094	0,0122
Otpadna voda	0,0893	0,0912	0,0899	0,0901
Otopina bojila	0,3878	0,5682	0,0199	0,4854
Obojena otpadna voda	0,2187	0,3084	0,0537	0,2511

Tablica 9. Vrijednost apsorbancije (prava boja)

Uzorak	A(436)	A(525)	A(620)	A
Prirodna voda	-0,00127	-0,00248	-0,00212	~ 0
Otpadna voda	0,0143	0,0159	0,016	0,01543
Otopina bojila	0,292	0,4321	0,00339	0,37394
Obojena otpadna voda	0,1521	0,228	0,00608	0,1946



Slika 10. Prikaz izmjerenih vrijednosti apsorbancije za određivanje prave boje za uzroke prirodne vode, otpadne, vode, otopine bojila i obojene otpadne vode



Slika 11. Prikaz izmjerenih vrijednosti apsorbancije za određivanje prividne boje za uzroke prirodne vode, otpadne, vode, otopine bojila i obojene otpadne vode

Tablica 10. Prikaz svih mjernih rezultata za 4 ispitana uzorka vode

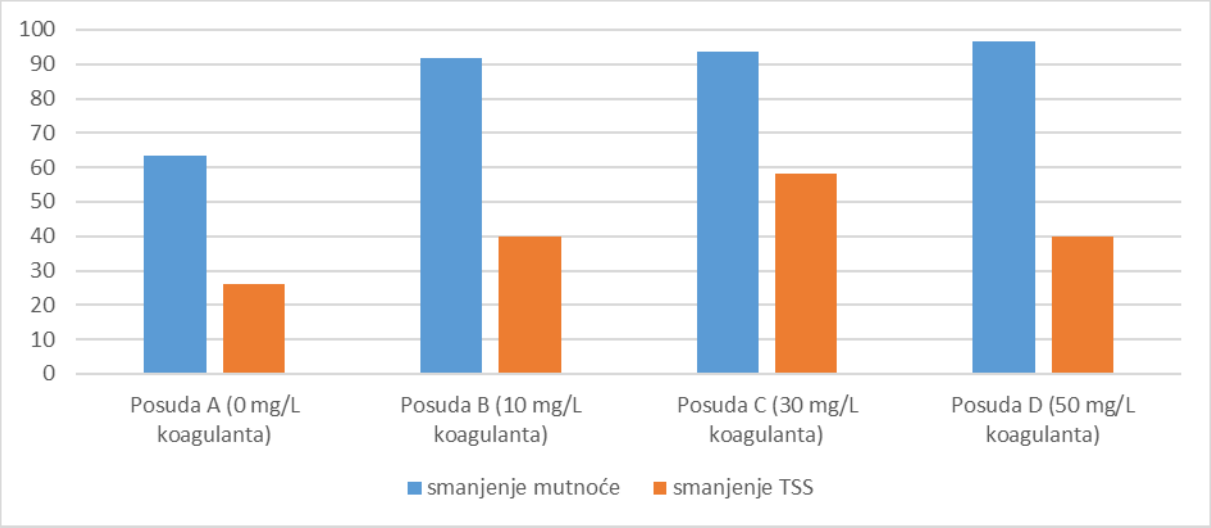
Uzorak	Mutnoća [NTU]	TSS [mg/L]	Boja (prividna)	Boja (prava)
Prirodna voda	5,5 ± 0,259	7,2	0,0122	~ 0
Otpadna voda	35,9 ± 0,808	867,5	0,0901	0,0153
Otopina bojila	11,7 ± 0,436	2,5	0,4854	0,3794
Obojena otpadna voda	39,1 ± 1,105	155,6	0,2511	0,1946

4.2. Svojstva vode prije i nakon postupaka predobrade

Postupci predobrade koagulacije i flokulacije su izvedeni na dva uzorka vode : prirodna voda iz rijeke Save i otpadna voda od pranja filtra. Nakon provedenih postupaka vidljivo je poboljšanje u svim praćenim parametrima za kvalitetu vode.

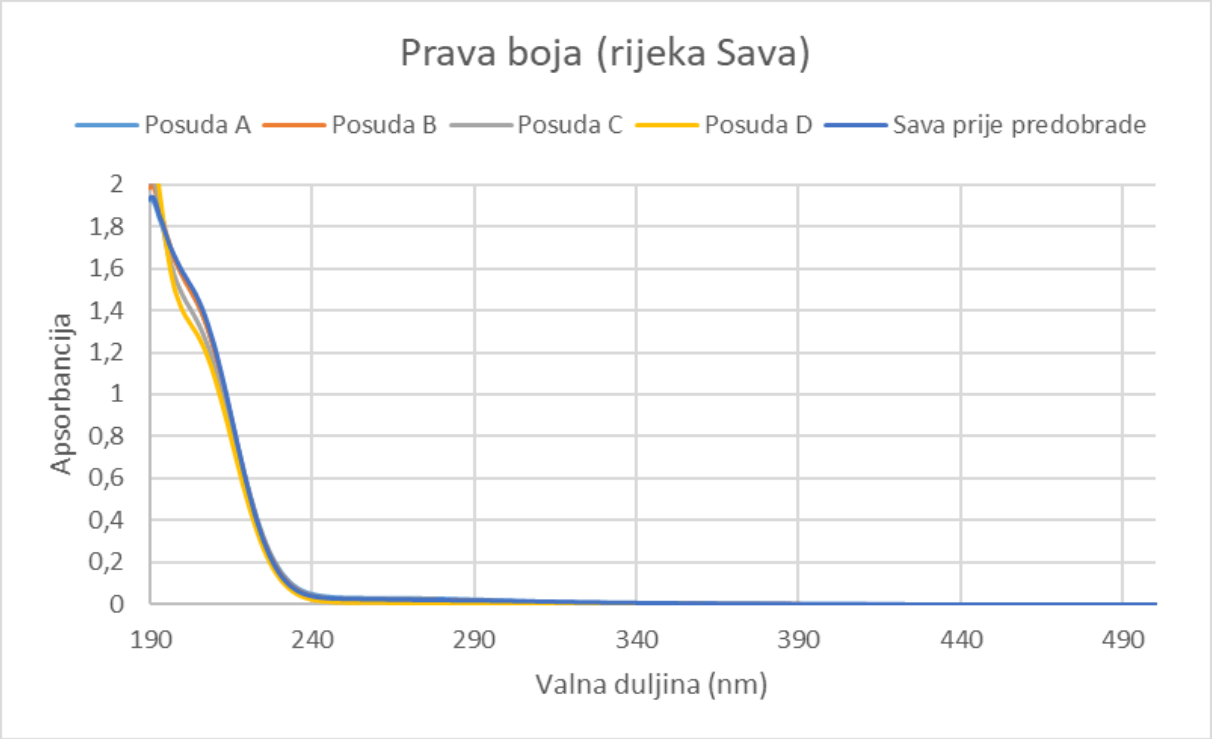
Tablica 11. Usporedba parametara prije i poslije predobrade (rijeka Sava)

Uzorak	Mutnoća	TSS
Prije predobrade (rijeka Sava)	5,51 ± 0,259	7,20
Posuda A	2,02 ± 0,031	5,33
Posuda B	0,44 ± 0,007	4,33
Posuda C	0,34 ± 0,015	3,00
Posuda D	0,17 ± 0,003	4,33

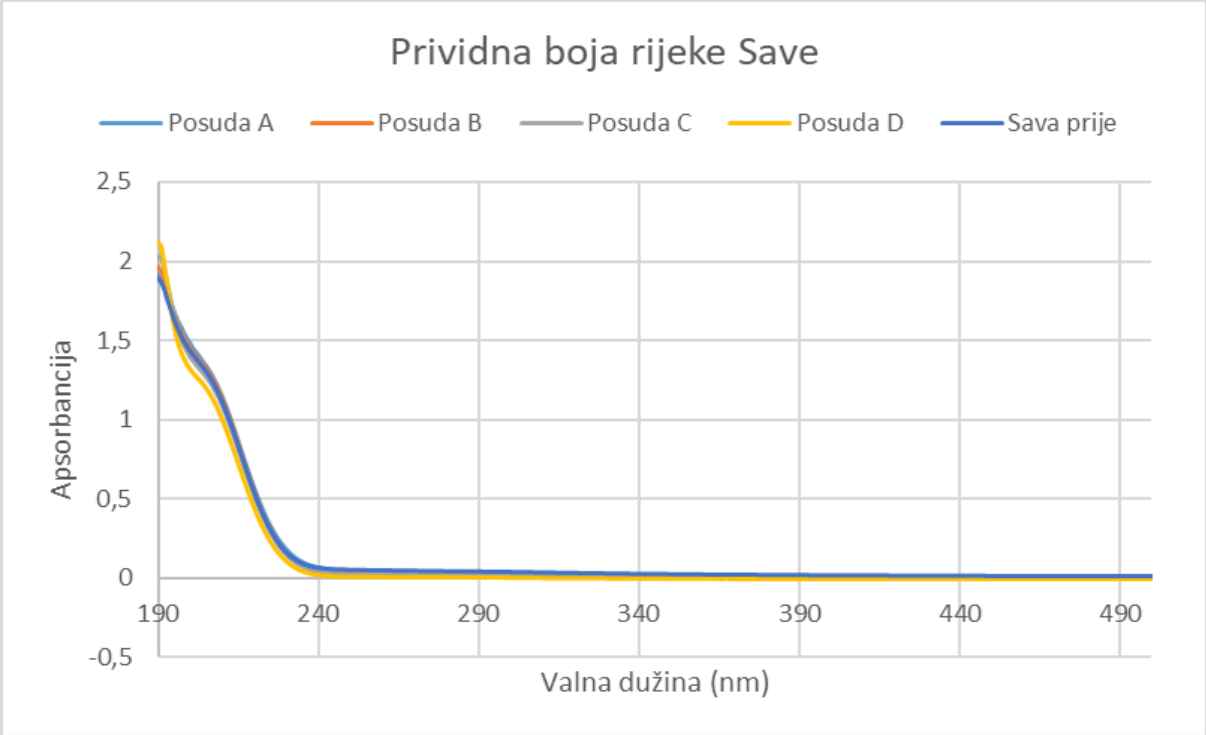


Slika 12. Dijagramski prikaz uspješnosti preobrade ovisno o dozi koagulanta (rijeka Sava)

Pošto u posudi A nismo dodavali koagulant to možemo smatrati kao da smo proveli samo proces taloženja i filtracije kroz gravitacijski filter. Upravo zbog toga je uspješnost preobrade vode u posudi A najmanja. Optimalna doza koagulanta za prirodnu vodu je oko vrijednosti 30 mg/L – što se može zaključiti iz najveće uspješnosti uklanjanja suspendiranih tvari.



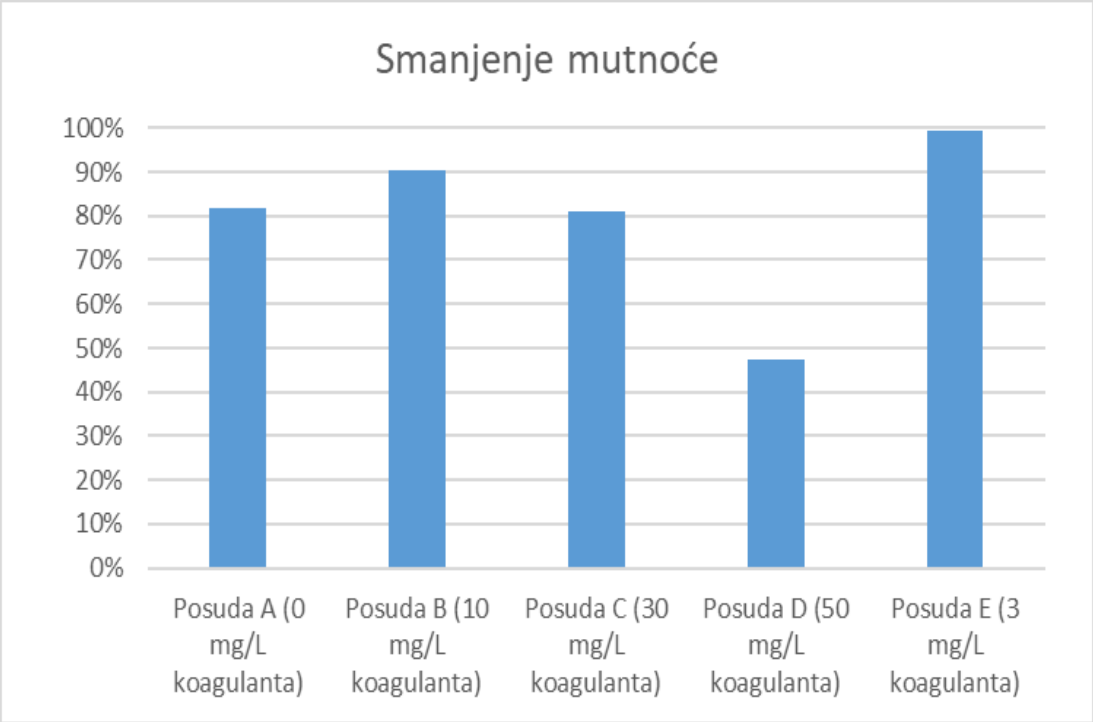
Slika 13. Dijagramski prikaz prave boje (rijeka Sava)



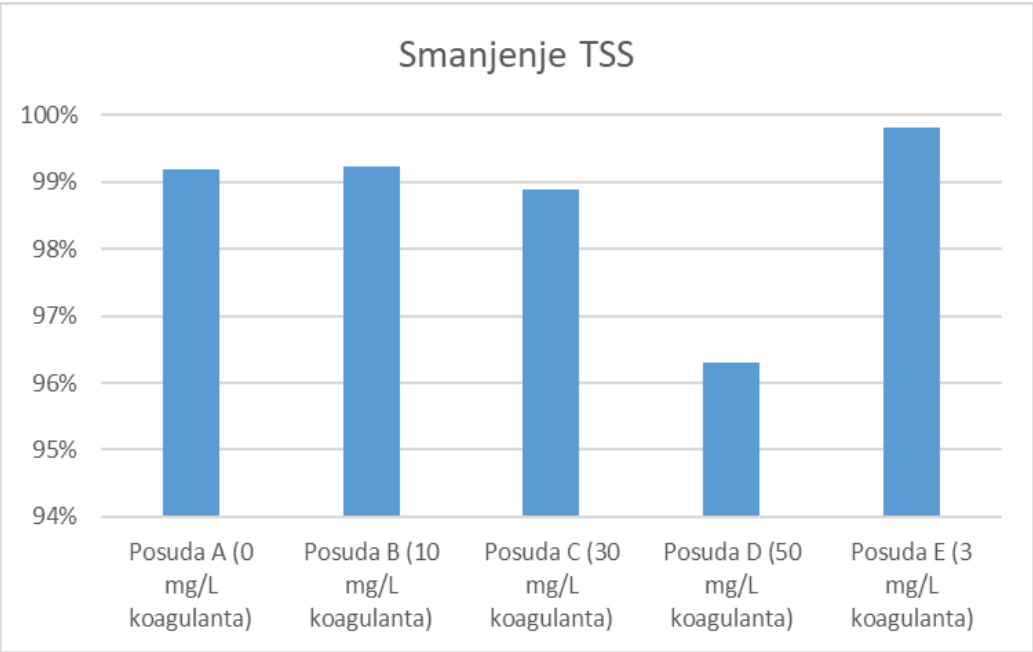
Slika 14. Dijagramski prikaz prividne boje (rijeka Sava)

Tablica 12. Usporedba parametara prije i poslije predobrade (otpadna voda)

Uzorak	Mutnoća [NTU]	TSS [mg/L]
Prije predobrade (Otpadna voda)	35,96 ± 0,808	867,51
Posuda A	6,53 ± 0,058	7,00
Posuda B	3,49 ± 0,025	6,67
Posuda C	6,81 ± 0,041	9,66
Posuda D	18,96 ± 0,158	32,00
Posuda E	0,23 ± 0,013	1,66



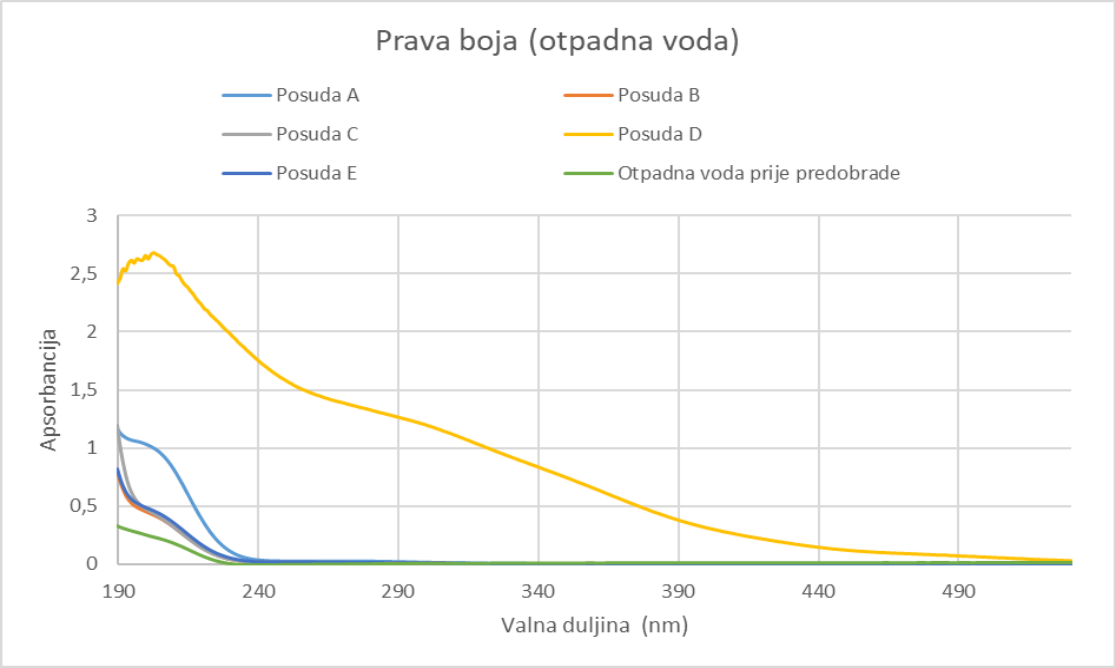
Slika 15. Dijagramski prikaz smanjenja mutnoće (otpadna voda)



Slika 16. Dijagramski prikaz smanjenja TSS (otpadna voda)

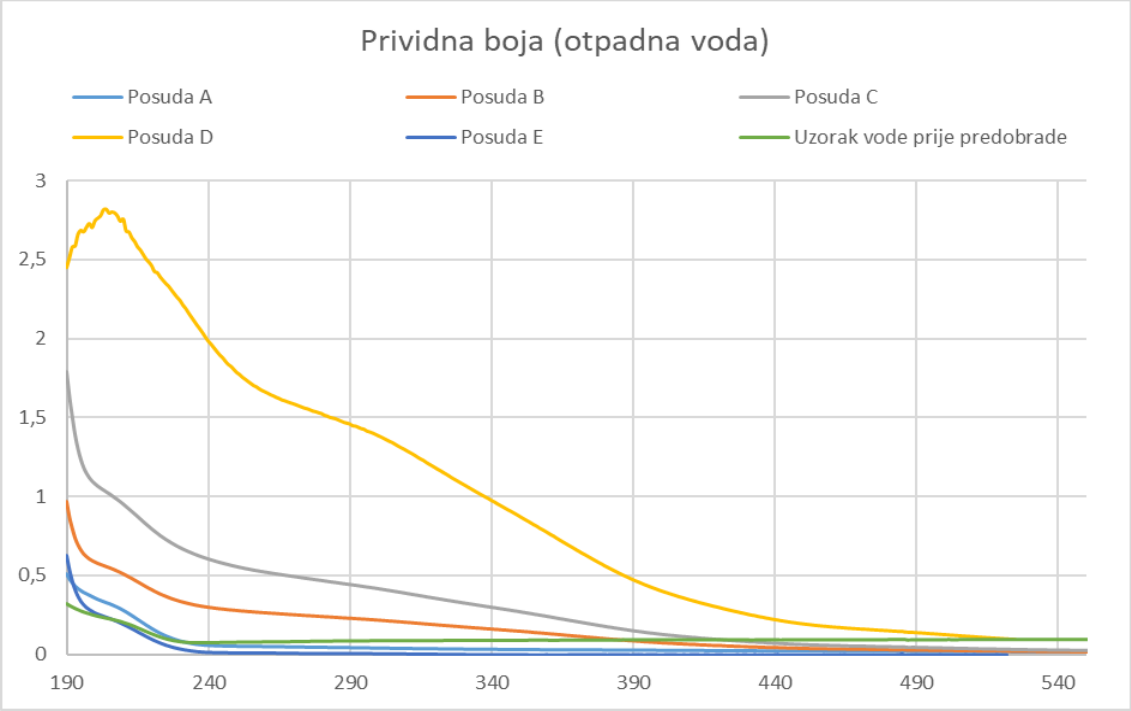
Na slikama (14.) i (15.) vidljivo je kako pravilna doza koagulanta utječe na uspješno uklanjanje mutnoće i TSS-a. Prevelike doze koagulanta mogu dovesti i do povišenja mutnoće. Nakon što se proveo jar test za posude A, B, C i D primijećeno je kako su najbolji rezultati

dobiveni u posudi A i B, pa je odlučeno provesti još jedan jar test s dozom (3mg/L) između doza za posude A i B. Upravo u toj posudi (E) ostvareni su najbolji rezultati uz gotovo 100% uspješnost pri uklanjanju TSS-a i smanjenju mutnoće.



Slika 17. Dijagramski prikaz prave boje (otpadna voda)

Slike (16.) i (17.) također dobro pokazuju utjecaj pravilnog doziranja koagulanta – u oba mjerenja posuda D (najveća doza koagulanta) pokazuje najgore rezultate.



Slika 18. Dijagramski prikaz prividne boje (otpadna voda)

5. ZAKLJUČAK

Zamućenje vode posljedica je prisutnosti suspendiranih i koloidnih tvari u vodi, a sama se pojava zamućenosti vode izražava na dva načina : mutnoća vode i sadržaj suspendiranih tvari (izražena u mg/L suspendiranih tvari). Iako su oba parametra usko vezana uz količinu suspendiranih tvari, rezultati mjerenja se ne mogu direktno uspoređivati.

Mutnoća vode je parametar koji predstavlja optičko svojstvo vode koje uzrokuje raspršenje i apsorpciju svjetlosnog zračenja. Moderna metoda mjerenja mutnoće naziva se turbidimetrija i mutnoća se izražava u jedinicama NTU. Uređaj za mjerenje mutnoće (turbidimetar) mjeri raspršenje svjetla (pod kutem od 90° od ispitne zrake) koje nastaje prolaskom svjetlosne zrake kroz ispitni uzorak. Važno je naglasiti kako ovom metodom mjerenja mutnoće ne mjeri količina čestica u uzorku, već efekt raspršenja svjetla koje spomenute čestice uzrokuju.

Metoda za mjerenje boje naziva se spektrofotometrija – mjeri se smanjenje intenziteta zračenja u smjeru ispitne zrake uzrokovanog zbog prisutnosti otopljenih tvari, suspendiranih i koloidnih čestica. Ukoliko vodu filtriramo i uklonimo suspendirane i koloidne čestice mjerimo pravu boju vode, dok s nefiltriranim uzorkom mjerimo prividnu boju vode.

Za predobradu vode odabrani su postupci koagulacije, flokulacije, taloženja i filtracije. Zbog zeta potencijala koloidnih čestica prisutnih u vodi (koji je većinom negativan u prirodnim vodama) potrebno je pravilno dozirati koagulant kako bi se izbio negativan naboj čestica koji sprječava formiranje većih čestica i njihovo uklanjanje iz vode. Iako suspendirane tvari uglavnom nisu same po sebi štetne, nastoji ih se ukloniti u predobradi vode jer neke od suspendiranih čestica reagiraju s klorom prilikom dezinfekcije vode i time se stvaraju nusprodukti koji su kancerogeni i štetni za ljudsko zdravlje. Zbog toga pravilno doziranje koagulanta i uspješno uklanjanje suspendiranih tvari iz vode dovodi do visoke kvalitete vode. Pritom je bitno naglasiti kako koncentracija koagulanta nije u direktnoj ovisnosti s uspješnim uklanjanjem mutnoće i TSS-a, već ju je potrebno odrediti eksperimentom, odnosno jar testom. U radu je pokazano kako različite koncentracije doziranog koagulanta utječu na mutnoću i TSS – premale doze neće uspješno smanjiti mutnoću i ukloniti TSS, dok prevelike doze koagulanta mogu dovesti i do povišenja mutnoće.

LITERATURA

[1] Matilainen, A., Sillanpää, M. Removal of natural organic matter from drinking water by advanced oxidation processes. Chemosphere 80(4): 351-365. (2010.)

[2] Štrkalj, A. Onečišćenje i zaštita voda. Metalurški fakultet, Sisak. (2014.)

[3] Benjamin, M. M., Water chemistry. Boston, McGraw-Hill. (2002.)

[4] Parsons, S.A., Jefferson, B., Goslan, E.H., Jarvis, P.R., Fearing, D.A., 2004. Natural organic matter - the relationship between character and treatability. Water Science and Technology: Water Supply 4(5-6): 43-48

[5] Mohamadshafiee, M.R., Taghavi, L.: Health Effects of Trihalomethanes as Chlorinated Disinfection by Products: A Review Article. International Scholarly and Scientific Research and Innovation 6(8) (2012.)

[6] ISO 7887:2011 Water quality -- Examination and determination of colour (2017.)

[7] Delphos, P. J., Wesner, G. M.: Mixing, Coagulation, and Flocculation, Water Treatment Plant Design, American Water Works Associoation, (2012.)

[8] Simon A. Parsons and Bruce Jefferson, Portable water treatment processes, Cranfield, (2006.)