

# Postupci koagulacije i flokulacije kao važni tehnološki koraci u obradi otpadnih industrijskih voda

---

Foschio, Damir

Undergraduate thesis / Završni rad

2010

*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:235:620110>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-01**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

# **ZAVRŠNI RAD**

Damir Foschio

Zagreb, 2010.

Sveučilište u Zagrebu  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

# ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada:  
Doc.dr.sc. Davor Ljubas

Student:  
Damir Foschio

Zagreb, 2010.

*Izjavljujem da sam ovaj rad radio samostalno, služeći se znanjem stečenim tokom studija i koristeći se navedenom literaturom.*

*Ovom prilikom želio bih se zahvaliti:*

*Voditelju rada doc.dr.sc. Davoru Ljubasu na stručnim savjetima, sugestijama i pomoći tokom izrade završnog rada.*

*Laborantu Marku Skozritu na razumijevanju, podršci i korisnim savjetima.*

# Sadržaj

<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>5</b>
<b>POPIS TABLICA .....</b>	<b>6</b>
<b>POPIS DIJAGRAMA .....</b>	<b>7</b>
<b>POPIS OZNAKA .....</b>	<b>8</b>
<b>1. UVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>2. OSNOVNI POJMOVI.....</b>	<b>10</b>
2.1. KOAGULACIJA.....	10
2.2. FLOKULACIJA.....	15
2.3. TALOŽENJE (SEDIMENTACIJA) .....	16
2.4. ADSORPCIJA .....	17
2.5. MUTNOĆA.....	19
2.6. APSORBANCIJA.....	20
2.7. pH - VRIJEDNOST .....	23
2.8. TITAN-DIOKSID (TiO <sub>2</sub> ).....	25
<b>3. MJERNA OPREMA .....</b>	<b>26</b>
<b>4. EKSPERIMENTI .....</b>	<b>27</b>
4.1. SERIJA 1.....	27
4.2. SERIJA 2.....	31
4.3. SERIJA 3.....	34
4.4. SERIJA 4.....	38
4.5. SERIJA 5.....	41
4.6. SERIJA 6.....	44
4.7. SERIJA 7.....	46
4.7.1. Usporedba 6. i 7. serije:.....	49
4.7.2. Mutnoća posude dozirane sa 100µL FeCl <sub>3</sub> koagulanta.....	50
4.8. SERIJA 8.....	51
4.9. SERIJA 9.....	53
4.10. SERIJA 10.....	55
4.10.1 Usporedba 8. i 10. serije .....	57
4.11 PRORAČUN SNAGE.....	58
<b>5. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>59</b>
<b>6. LITERATURA.....</b>	<b>60</b>

## POPIS SLIKA

Slika 1. Micela koloidne čestice, prema [1] .....	11
Slika 2. Shematski prikaz strukture micela, prema [2] .....	12
Slika 3. Shema elektroforeze .....	12
Slika 4. Primjena zeta-potencijala u cilju optimiranja dozirnih količina koagulanata, prema [3] .....	13
Slika 5. Flokulacija.....	15
Slika 6. Adsorptiv i adsorbens.....	17
Slika 7. Prikaz izraženosti adsorpcije na aktivnim točkama.....	17
Slika 8. Aktivni ugljen u prahu .....	18
Slika 9. Turbidimetar .....	19
Slika 10. Blok shema spektrofotometra, prema [6] .....	20
Slika 11. Kvarcna kiveta, prema [7] .....	21
Slika 12. Primjer grafa apsorbancije .....	22
Slika 13. Spektrofotometar UV-Vis, HP 8453 .....	22
Slika 14. Prikaz pH ljestvice .....	23
Slika 15. pH-metar Knick, Portamess.....	24
Slika 16. Titan dioksid u prahu.....	25
Slika 17. Laboratorijska vaga Mettler toledo AG204.....	26
Slika 18. Vakuum pumpa .....	26
Slika 19. Serija 1 za vrijeme koagulacije .....	27
Slika 20. B-posuda (100 $\mu$ L FeCl <sub>3</sub> /2L) za vrijeme flokulacije .....	30
Slika 21. Serija 2 za vrijeme koagulacije .....	31
Slika 22. Prikaz spektra 2. serije nakon ručnog filtriranja na GF8 filtru.....	32
Slika 23. Erlenmeyerova tikvica s posudom za vakuumiranje i vakuum pumpom.....	34
Slika 24. Serija 3 za vrijeme taloženja.....	35
Slika 25. Posuda C (100 $\mu$ L FeCl <sub>3</sub> /2L).....	37
Slika 26. Serija 4 za vrijeme flokulacije.....	38
Slika 27. Serija 5 za vrijeme koagulacije .....	41
Slika 28. Serija 7 - taloženje .....	46
Slika 29. Serija 7 –nakon taloženja .....	46
Slika 30. Serija 8 za vrijeme flokulacije.....	51
Slika 31. Serija 9 za vrijeme flokulacije.....	53
Slika 32. Serija 10 za vrijeme flokulacije.....	55
Slika 33. Serija 10 nakon taloženja .....	56

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Prikaz tijeka eksperimenta serije 1 .....	27
Tablica 2. Rezultati mutnoće za seriju 1 .....	28
Tablica 3. Rezultati apsorbancije serije 1 .....	29
Tablica 4. Rezultati pH-vrijednosti za seriju 1 .....	29
Tablica 5. Prikaz tijeka eksperimenta serije 2 .....	31
Tablica 6. Rezultati mutnoće za seriju 2 .....	32
Tablica 7. Rezultati apsorbancije serije 2 .....	33
Tablica 8. Rezultati pH-vrijednosti za seriju 2 .....	33
Tablica 9. Prikaz tijeka eksperimenta serije 3 .....	34
Tablica 10. Rezultati mutnoće za seriju 3 .....	35
Tablica 11. Rezultati apsorbancije serije 3 .....	36
Tablica 12. Rezultati pH-vrijednosti za seriju 3 .....	36
Tablica 13. Prikaz tijeka eksperimenta serije 4 .....	38
Tablica 14. Rezultati mutnoće za seriju 4 .....	39
Tablica 15. Rezultati apsorbancije serije 4 .....	39
Tablica 16. Rezultati pH-vrijednosti za seriju 4 .....	40
Tablica 17. Prikaz tijeka eksperimenta serije 5 .....	41
Tablica 18. Rezultati mutnoće serije 5 .....	42
Tablica 19. Rezultati apsorbancije serije 5 .....	42
Tablica 20. Rezultati pH-vrijednosti za seriju 5 .....	43
Tablica 21. Prikaz tijeka eksperimenta serije 6 .....	44
Tablica 22. Rezultati mutnoće serije 6 .....	44
Tablica 23. Rezultati apsorbancije serije 6 .....	45
Tablica 24. Rezultati pH-vrijednosti za seriju 6 .....	45
Tablica 25. Prikaz tijeka eksperimenta serije 7 .....	46
Tablica 26. Rezultati mutnoće serije 7 .....	47
Tablica 27. Rezultati apsorbancije serije 7 .....	47
Tablica 28. Rezultati pH-vrijednosti za seriju 7 .....	48
Tablica 29. Prikaz tijeka eksperimenta serije 8 .....	51
Tablica 30. Rezultati mutnoće, pH-vrijednosti i temperature serije 8 .....	52
Tablica 31. Prikaz tijeka eksperimenta serije 9 .....	53
Tablica 32. Rezultati mutnoće, pH-vrijednosti i temperature serije 9 .....	54
Tablica 33. Prikaz tijeka eksperimenta serije 10 .....	55
Tablica 34. Rezultati mutnoće, pH-vrijednosti i temperature serije 10 .....	56
Tablica 35. Prikaz utrošene snage tijekom miješanja.....	58

## POPIS DIJAGRAMA

Dijagram 1. Prikaz mutnoće za seriju 1 .....	28
Dijagram 2. Prikaz apsorbanције serije 1.....	29
Dijagram 3. Prikaz mutnoće serije 2.....	32
Dijagram 4. Prikaz apsorbanције serije 2.....	33
Dijagram 5. Prikaz mutnoće serije 3.....	35
Dijagram 6. Prikaz apsorbanције serije 3.....	36
Dijagram 7. Prikaz mutnoće serije 4.....	39
Dijagram 8. Prikaz apsorbanције serije 4.....	40
Dijagram 9. Prikaz mutnoće serije 5.....	42
Dijagram 10. Prikaz apsorbanције serije 2.....	43
Dijagram 11. Prikaz mutnoće serije 6.....	44
Dijagram 12. Prikaz apsorbanције serije 6.....	45
Dijagram 13. Prikaz mutnoće serije 7.....	47
Dijagram 14. Prikaz apsorbanције serije 7.....	48
Dijagram 15. Usporedba mutnoće 6. i 7. serije.....	49
Dijagram 16. Prikaz mutnoće za posudu doziranu sa 100 $\mu$ L/2L koagulantа FeCl <sub>3</sub> kroz sedam serija.....	50
Dijagram 17. Prikaz mutnoće i pH-vrijednosti pri temperaturi =24 $\pm$ 0,5 °C .....	52
Dijagram 18. Prikaz mutnoće i pH-vrijednosti pri temperaturi =25 $\pm$ 0,5 °C .....	54
Dijagram 19. Prikaz mutnoće i pH-vrijednosti pri temperaturi =24 $\pm$ 0,5 °C .....	56
Dijagram 20. Usporedba pH-vrijednosti .....	57
Dijagram 21. Usporedba mutnoće .....	57



## POPIS OZNAKA

- NTU - jedinica za mutnoću (Nephelometric Turbidity Unit)
- UV-VIS - oznaka mjernog područja uređaja
- UV - ultraljubičasti spektar zračenja
- AUP - aktivni ugljen u prahu
- A (498 nm) - apsorbancija kod 498 nm

## 1. UVOD

Kvaliteta vodnih resursa sve je više ugrožena onečišćenjem. Mnoge od tvari koje onečišćuju vode imaju dugoročne negativne učinke na kvalitetu vode, što predstavlja opasnost za ljudsko zdravlje. U današnje vrijeme sve su veće potrebe za učinkovitijim postupcima pročišćavanja vode jer se tako osiguravaju zdravi ekosustavi.

U ovom radu pripravljena je modelna otpadna voda kakva se inače ispušta iz tekstilnih tvornica. Naravno da se takva voda ne smije ispustiti direktno u okolinu, već mora proći određenu obradu. Jedna od mogućih tehnologija u obradi takve vode je koagulacija i flokulacija. Cilj je ukloniti koloidno suspendirane tvari i otopljene tvari kao što su bojila ili pigmenti. Radi se o disperzijama organskih i/ili anorganskih čestica ili o otopinama. Dispergirane tvari, bez obzira na njihovu veličinu, potrebno je izdvojiti iz mase vode, što se može postići taloženjem. Nužno je adekvatnim tehnološkim postupkom osigurati dovoljan stupanj agregacije, tj. flokulacije kako bi se u nekom primjerenom vremenu omogućilo njihovo taloženje.

Modelna otpadna voda pripravljena je s vodovodnom vodom i s demineraliziranom vodom dobivenom preko ionskih izmijenjivača. Kao bojilo korištena je congo-red bojilo, a kao pigment titanov dioksid.

Koagulacija i flokulacija samo je jedna od tehnologija kojoj se može podvrgnuti otpadna voda prije nego što bude ispuštena u okoliš.

## 2. OSNOVNI POJMOVI

### 2.1. KOAGULACIJA

#### Koloidi

Koloidne tvari čine čestice veličine promjera  $\varnothing 10^{-4}$ - $10^{-6}$  cm. To su električno nabijene čestice čiji je el. potencijal u granicama od 5-80 mV. Ne mogu se vidjeti običnim mikroskopom, jer su im dimenzije manje od valne dužine svjetla (350-700 nm). Koloidne tvari se mogu vidjeti posredno pomoću Tyndal-ova efekta i optičkog mikroskopa. Tyndallov efekt je raspršivanje svjetlosti na česticama koloida. Ta se pojava može vidjeti kad u tamnu sobu kroz rupicu uđe zraka svjetlosti. Tada se u snopu vidi svjetlucanje pojedinih čestica prašine koloidnih dimenzija.

Koloidne čestice se ne mogu odijeliti filtriranjem jer su premalene i prolaze kroz pore filter papira. Zbog malih dimenzija i male mase one se ne talože već lebde u otopini, praveći koloidnu otopinu. Takva otopina je naizgled bistra, ali za razliku od prave otopine pokazuje prethodno spomenuti Tyndallov efekt.

Koloidne čestice mogu biti plinovite, tekuće ili čvrste. Dijelimo ih na:

- soli - disperzije čvrstih čestica u tekućini
- emulzije - disperzije tekućine u tekućini
- gelove - koagulirani oblik koloidnih sustava
- aerosoli - disperzije čvrstih ili tekućih čestice u plinu
- pjene - disperzije plinova u tekućinama ili čvrstim tvarima

Koloidne čestice imaju velik stupanj usitnjenja (disperzije), a time i ogromnu kontaktnu površinu .

#### Stupanj disperzije

- odnos zbroja površina čestica disperzne faze prema zbroju njihovog volumena.
- sitnije čestice imaju veći stupanj disperzije, tj. stupanj disperzije je obrnuto proporcionalan dimenziji čestica.

$$\text{Stupanj disperzije} = \frac{\Sigma \text{ površina}}{\Sigma \text{ volumen}}$$

Disperzno sredstvo – sredstvo u kojem je dispergirana neka komponenta.

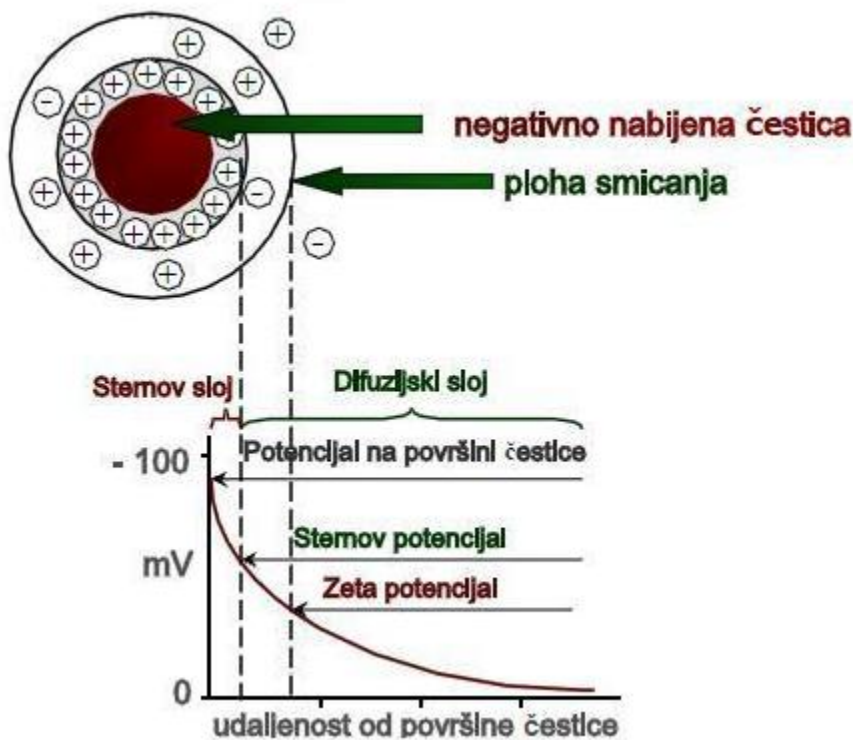
Disperzna faza – komponenta koja je dispergirana u nekom sredstvu.

Između čestica disperzne faze i disperznog sredstva postoje granične površine koje ih dijele. Te granične površine raspolažu viškom slobodne energije odnosno površinskim naponom.

### Struktura koloidnih čestica

Koloidna čestica predstavlja skup velikog broja molekula ili atoma date komponente, odnosno predstavlja molekulski ili atomski agregat koji čini jezgru koloidne čestice. Jezgra koloidne čestice ima kristalnu strukturu. Okružena je dvostrukim električnim slojem iona. Jezgra zajedno s dvostrukim električnim slojem čini koloidnu česticu koja se naziva micela.

Ioni čvrsto vezani na jezgru zajedno čine granulu oko koje se nalazi difuzni sloj iona. Pod djelovanjem vanjskog električnog polja javlja se elektroforeza te dolazi do narušavanja dvostrukog električnog sloja pri čemu se pozitivno naelektrizirana granula premješta u smjeru negativne elektrode, dok se difuzni sloj negativnih iona premješta u pravcu pozitivne elektrode.



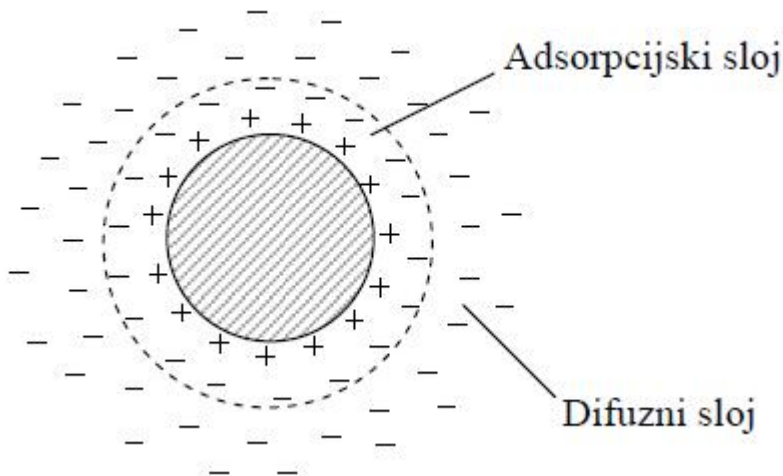
Slika 1. Micela koloidne čestice, prema [1]

Na granici između dvije faze javlja se dvostruki električni sloj koji se sastoji od dva sloja: unutrašnjeg sloja i vanjskog sloja. Unutrašnji sloj nalazi se na površini čvrstih čestica, odnosno na površini čvrste disperzne faze. Vanjski sloj sa suprotnim nabojem nalazi se u tekućoj fazi, odnosno u disperznom sredstvu i uz samu površinu čvrste faze.

Unutrašnji sloj dvostrukog električnog sloja koji se nalazi neposredno na površini čvrste faze i čvrsto je za nju vezan zove se *adsorpcijski sloj iona* te privlači i čvrsto veže određeni udio pozitivnih iona (kationa).

Preostali dio kationa nalazi se u tekućoj fazi u neposrednoj blizini površine čvrste faze. Sloj ovog dijela vodikovih kationa ima difuznu strukturu, tj. ima određenu debljinu. On je gušći u

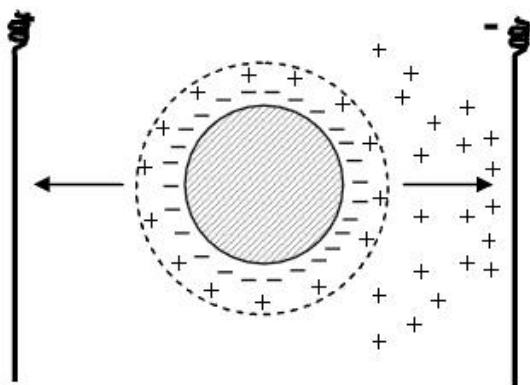
blizini čvrste faze i postaje sve rjeđi s udaljenošću. Ovaj sloj čini periferni dio dvostrukog električnog sloja i zove se *difuzni ionski sloj*.



Slika 2. Shematski prikaz strukture micle, prema [2]

Mnoga važna svojstva koloidnih sustava određena su izravno ili neizravno silama među česticama. Interakcije među koloidnim česticama javljaju se uglavnom zbog postojanja dvostrukog električnog sloja, ali i zbog djelovanja van der Waalsovih privlačnih sila i Bornovih odbojnih sila, koje djeluju na malim udaljenostima i u velikoj mjeri ovise o svojstvima površine čestice.

*Elektroforeza* – Čestica disperzne faze koloidnog sistema okružena je dvostrukim električnim slojem i kada se ne nalazi pod djelovanjem vanjskog električnog polja ona je neutralna prema sredini u kojoj se nalazi. Pod djelovanjem vanjskog električnog polja raskida se dvostruki električni sloj. Koloidna čestica zajedno s adsorpcijskim slojem koji određuje njenu naelektriziranost, kreće se u pravcu suprotno naelektrizirane elektrode. Kretanje čestica koloidnog sistema pod djelovanjem električnog polja u pravcu suprotno naelektrizirane elektrode naziva se elektroforeza.



Slika 3. Shema elektroforeze

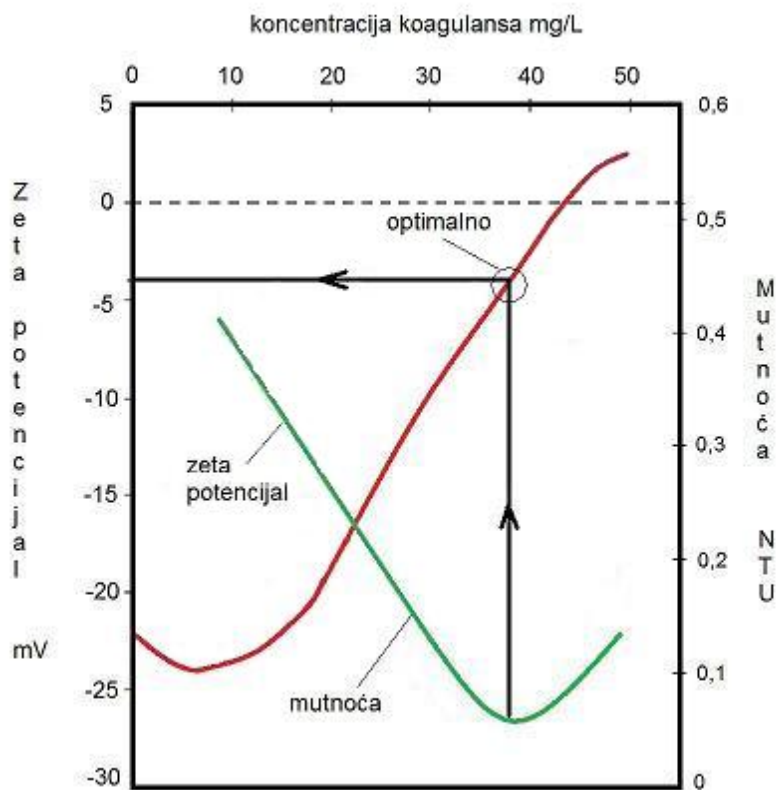
Kao posljedica stvaranja dvostrukog električnog sloja na granici između čvrste i tekuće faze javljaju se dva potencijala: termodinamički ili potpuni potencijal i elektrokinetički ili zeta potencijal.

*Termodinamički ili potpuni potencijal* je skok potencijala između čvrste i tekuće faze. On nije vezan za relativno premještanje faza i ne ovisi o debljini difuznog sloja.

*Elektrokinetički ili zeta potencijal* je skok potencijala koji se javlja pri relativnom premještanju faza tj. kada se čvrsta faza premješta u odnosu na nepokretnu tekuću fazu ili kada se tekuća faza premješta u odnosu na nepokretnu čvrstu fazu.

Za razliku od termodinamičkog potencijala, ovaj potencijal je nužno vezan za relativno premještanje faza. Njegova vrijednost se određuje debljinom difuznog sloja: on je direktno proporcionalan debljini difuznog sloja. Sama debljina difuznog sloja ovisi o koncentraciji elektrolita u tekućoj fazi, odnosno u disperznom sredstvu.

Kod prirodnih voda vrlo često su prisutne koloidne suspenzije te se tehnološkim postupkom koagulacije i flokulacije nastoji uspostaviti ubrzano agregiranje te sedimentacija čestica. Da bi se izbjegla dugotrajna ispitivanja na tzv. Jar testerima, moguće je mjeriti elektrokinetički ili zeta potencijal u ovisnosti o promjeni koncentracije primijenjenog koagulanata. Takva su ispitivanja kraća te pružaju znatno veće mogućnosti optimiranja sustava.



Slika 4. Primjena zeta-potencijala u cilju optimiranja dozirnih količina koagulanata, prema [3]

Sa slike se vidi da se zeta potencijal sirove vode postupno mijenja doziranjem koagulantata . Kod tzv. kritične doze koagulantata ostvaruje se ciljani zeta potencijal. Ovaj ciljani zeta potencijal karakterističan je za svaku pojedinu vodu i obično se nalazi u području od -5 do 0 mV. Ako se po dodatku koagulantata postiže ciljani zeta potencijal, može se reći da je proces koagulacije i flokulacije optimiran. Time se ujedno postiže maksimalno bistrenje vode, odnosno obrađena voda će sadržavati najnižu moguću mutnoću. Ukoliko se povećanjem doze koagulantata prijeđe ciljani (optimalni) zeta potencijal, uslijedit će usporavanje procesa koagulacije. To uzrokuje višestruke neželjene posljedice – kao što su veći utrošak kemikalija i pogoršana kvaliteta obrađene vode.

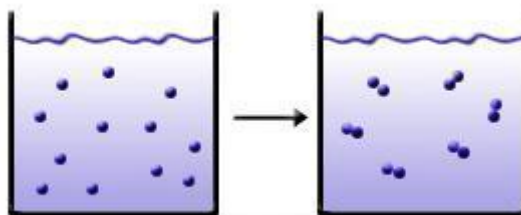
### Sredstva za koagulaciju

Danas se većinom koriste gotove otopine - formulacije za koagulaciju s velikom specifičnom gustoćom, npr. željezni klorid se dostavlja s masenim udjelom  $\text{FeCl}_3$  od preko 40 %. Uglavnom se koriste anorganski koagulantata na bazi željeza ( $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ) i aluminiija ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ). Poznati su i aluminijevi polimeri – tzv. polialuminij kloridi (PAC), čija je strukturna formula  $\text{Al}_n(\text{OH})_p(\text{Cl})_q(\text{SO}_4)_r$ . [4]

## 2.2. FLOKULACIJA

Koloidne čestice mogu se odstraniti iz vode jedino povećanjem veličine čestice, odnosno povećanjem brzine padanja (taloženja).

Izbijanje naboja koloidnih čestica zove se koagulacija, a rast skoro neutralnih čestica u veće nakupine (flokule) zove se flokulacija. Bez koagulacije ne može nastupiti flokulacija, odnosno taloženje čestica, a samim procesom koagulacije ne možemo praktički odstraniti koloidne tvari iz vode.



Slika 5. Flokulacija

Neutralizacija naboja koloidne čestice i njeno uklanjanje iz vode, vrši se dodatkom sredstava za flokulaciju tzv. flokulanata, koji s koloidno dispergiranim česticama stvaraju veće aglomerate-flokule, koje se mogu ukloniti iz vode procesima sedimentacije ili filtracije.

Flokulacija se odvija u dvije faze, koje se osnivaju na perkinetičkom i ortokinetičkom efektu.

*Perkinetički efekt* sastoji se u neutralizaciji naboja koloidnih čestica. Tu neutralizaciju vrše protuioni dodanog elektrolita. U toj fazi rada procesa flokulacije potrebno je osigurati intenzivno miješanje između vode koja sadrži koloidne čestice i sredstva za flokulaciju.

*Ortokinetički efekt* očituje se u formiranju mikroflokula i krupnih flokula koje se dobro talože i filtriraju. U toj fazi rada mora se osigurati polagano kretanje vode, čime se potpomaže stvaranje krupnih flokula.

Vrijeme potrebno za flokulaciju vode ovisi o kvaliteti vode, sadržaju koloidnih čestica, temperaturi, pH vrijednosti i samoj količini dodanog sredstva za flokulaciju.

Uklanjanje koloidnih čestica iz vode je otežano zbog malih dimenzija čestica i njihovog međusobnog odbijanja uslijed električne nabijenosti negativnim nabojima. Neutralizacijom naboja koloida dodatkom sredstva za flokulaciju nastaju flokule koje je lako ukloniti iz vode procesima sedimentacije i filtracije.

Najčešća anorganska sredstva za flokulaciju su  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  i  $\text{FeCl}_3$ . Osim anorganskih sredstava za flokulaciju upotrebljavaju se i organski polielektroliti. Polielektroliti su razgranate dugolančane organske molekule koje na sebi nose naboje. Privlačenjem naboja koloida i polielektrolita nastaju flokule.



### 2.3. TALOŽENJE (Sedimentacija)

Brzina taloženja koloidnih čestica vrlo je mala, a može se izračunati prema *Stokes-ovom zakonu*, [5] :

$$v = \frac{d^2 \cdot (\rho_t - \rho_{H_2O}) \cdot g}{0,18 \cdot \eta} \quad \left(\frac{cm}{s}\right)$$

$\rho_t$  - gustoća koloidne čestice, kg/m<sup>3</sup>,

$\rho_{H_2O}$  - gustoća vode, kg/m<sup>3</sup>,

$d$  - promjer čestice u m,

$g$  - gravitacijska konstanta, m/s<sup>2</sup>,

$\eta$  - dinamički viskozitet, Pas.

Postupci sedimentacije primjenjuju se za odstranjivanje suspendiranih tvari koje imaju dovoljnu gustoću i veličinu čestica da se u definirano vrijeme istalože.

Na česticu djeluje sila gravitacije  $Fg$  i sila uzgona  $Fu$ .

Ovisno o odnosu gustoće čestice i fluida, čestica će:

- se podizati ( $\rho > \rho_f$ )
- tonuti ( $\rho < \rho_f$ )

Pojavom rezultante sile  $F_r$ , i ubrzavanjem čestice pojavljuje se i sila otpora  $F_v$ .

Nova ravnoteža uzorkuje ubrzavanje čestice te se odvija gibanje pri konstantnoj brzini  $v$ .

## 2.4. ADSORPCIJA

Adsorpcija je nagomilavanje čestica iz otopine ili plina na površinu čvrste ili tekuće faze.

Tvar koja se adsorbira naziva se **adsorptiv**, a tvar na koju će se adsorbirati adsorptiv naziva se **adsorbens**.



Slika 6. Adsorptiv i adsorbens

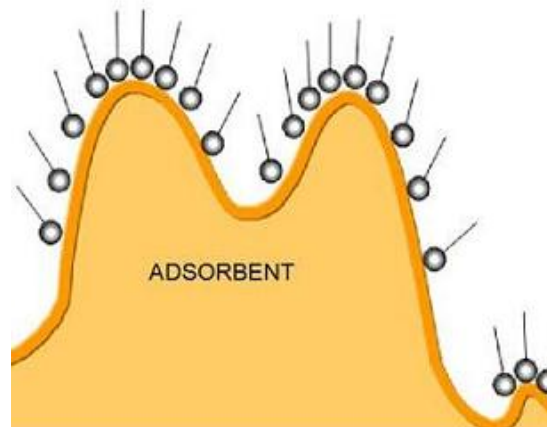
Do adsorpcije dolazi zbog slobodne površinske energije. Čestice (molekule ili ioni) tekuće faze na površini tijela imaju slobodnu površinsku energiju. Čestice susjedne faze gibaju se kaotično.

Na udaljenosti  $10^{-7}$  cm od površine počinju djelovati privlačne Van der Waalsove sile, ili elektrostatsko privlačenje ako je površina električki nabijena, te se privučene čestice zadržavaju na površini.

Sile koje vežu molekule ili ione na površini nazivaju se adsorpcijske sile. Povećanjem slobodne površinske energije rastu i adsorpcijske sile. Adsorpcijska sposobnost izražava se količinom tvari koja se adsorbira na  $1 \text{ cm}^2$  površine adsorbenta.

Adsorpcija je proporcionalna specifičnoj površini tijela. Specifična površina je realna površina u kojoj su uključene sve mikroskopski male neravnine i pore.

Hrapave površine mogu adsorbirati mnogo više molekula nego glatke. Na vrhovima, šiljcima i dugim istaknutim točkama hrapave površine adsorpcijska sposobnost je veća.



Slika 7. Prikaz izraženosti adsorpcije na aktivnim točkama

Takve točke nazivaju se aktivnim točkama. Mala udubljenja na površini imaju najmanju adsorpcijsku sposobnost. Ako je koncentracija adsorptiva u otopini mala, tada adsorpcija počinje na aktivnim točkama površine.

Povećanjem koncentracije i vremena adsorpcije adsorptiv se adsorbira na sve manje aktivne površine dok ne pokrije cijelu površinu i stvori zasićeni sloj. Zasićeni sloj može imati debljinu od 1 ili više molekula adsorptiva.

Adsorpcija je reverzibilan proces. Adsorbirane molekule ili ioni mogu se pod utjecajem vlastite kinetičke energije odvojiti od površine i prijeći natrag u okolinu. Ta pojava naziva se desorpcija.

Kada brzina adsorpcije postane jednaka brzini desorpcije nastupa adsorpcijska ravnoteža i ne odvija se daljnje nakupljanje.

U obradi vode najčešće se koriste adsorbensi kao što su aktivni ugljen, adsorbirajuće smole, metalni oksidi, hidroksidi, gline i dr.

Aktivni ugljen je porozni materijal s vrlo velikom unutarnjom površinom. Proizvodi se fizikalno-kemijskom postupkom aktiviranja, djelovanjem pare i ugljičnog dioksida na visokim temperaturama (700-900°C) pri čemu nastaju brojne pore različite veličine.



*Slika 8. Aktivni ugljen u prahu*

## 2.5. MUTNOĆA

Mutnoća je fizikalna karakteristika vode koju uzrokuje sadržaj suspendiranih tvari. Intenzitet mutnoće ovisi o količini i veličini lebdećih čestica. Mjerenja mutnoće se provode turbidimetrom, a jedinica u kojima se izražava mutnoća je NTU. Turbidimetar mjeri apsorbiranu količinu zračenja koja prolazi kroz suspenziju. 1 NTU odgovara ekvivalentu od 1 mg/mL suspendiranog SiO<sub>2</sub>.

Čistoća ampula za mjerenje mutnoće vrlo je važna. Otisci prstiju, prljavština ili ogrebotine smetaju pri određivanju vrijednosti NTU jer mogu apsorbirati dio zračenja.

Turbidimetar : Hach, 2100P

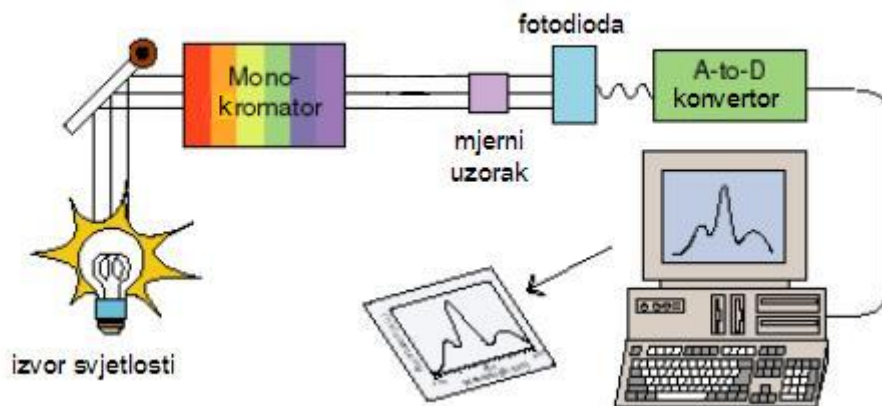
- mjerno područje : 1-1000 NTU



Slika 9. Turbidimetar

## 2.6. APSORBANCIJA

Uređaj za određivanje količine apsorbirane svjetlosti naziva se spektrofotometar. Spektrofotometar mjeri frakciju svjetla koja prolazi kroz mjerenu otopinu. U njemu, svjetlost iz lampe prolazi kroz monokromator, koji propušta određenu valnu duljinu svjetlosti iz kontinuiranog spektra. Svjetlost tada prolazi kroz mjereni uzorak i nakon njega se njezin intenzitet mjeri pomoću fotodiode ili drugog svjetlosnog senzora, te se izračunava njezina emisija. Sastoji se od izvora zračenja, monokromatora i detektora.



Slika 10. Blok shema spektrofotometra, prema [6]

Monokromator je optički uređaj koji propušta samo jednu valnu duljinu svjetlosti koja na njega pada. Najčešće se sastoje od optičke rešetke. U starijim instrumentima se koristila i optička prizma, ali ona je nepraktična jer ima nelinearni lom svjetla. Biranjem kuta upada svjetla na optičku rešetku ili optičku prizmu može se odabrati valna duljina svjetla koju će monokromator propustiti. Uzorak se stavlja u specijalne posudice: kivete.

Primjena UV-Vis spektrofotometrije temelji se na Lambert-Beerovom zakonu, [7]. Apsorbancija otopine definirana je kao logaritam recipročne vrijednosti transmisije monokromatskog svjetla.

$$\log I_0 / I = A = \varepsilon \cdot c \cdot b$$

A – apsorbancija otopine

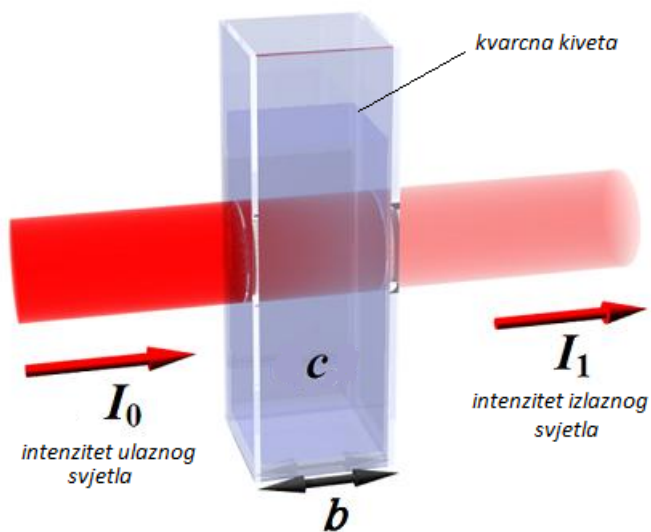
$I_0$  - intenzitet ulaznog monokromatskog svjetla

I - intenzitet izlaznog monokromatskog svjetla

c – koncentracija tvari koja apsorbira zračenje [ $\text{mol dm}^{-3}$ ]

b – put svjetlosti kroz uzorak [cm]

$\varepsilon$  - molarni koeficijent apsorbancije [ $\text{mol}^{-1}\text{dm}^3\text{cm}^{-1}$ ]

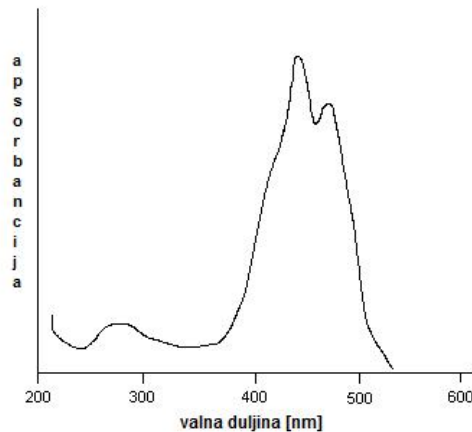


Slika 11. Kvarcna kiveta, prema[7]

Intenzitet elektromagnetskog zračenja  $I_0$  smanjuje se prolazom kroz otopinu koja može apsorbirati zračenje. Količina apsorbirane svjetlosti ovisi o koncentraciji otopljene supstance u uzorku.

Boja neke tvari uzrokovana je apsorpcijom svjetlosti. Tvar apsorbira dio vidljivog dijela spektra, tj. odgovarajuću boju, propušta ili odbija svjetlost ostalog dijela spektra. Ako tvar propušta fotone svih valnih duljina vidljivog spektra (oko 400 – 700 nm) ona je bezbojna; ako ih apsorbira crna je. Tvar je crvene boje ako apsorbira valne duljine od 400 do 600 nm.

Na temelju samo boje ne može se zaključiti koji dio spektra tvar apsorbira. Zato je potrebno snimiti apsorpcijski spektar.



Slika 12. Primjer grafa apsorbcije

Apsorpcija zračenja je najveća tamo gdje je graf najviših vrijednosti, tj. gdje je apsorbcija uzorka maksimalna.

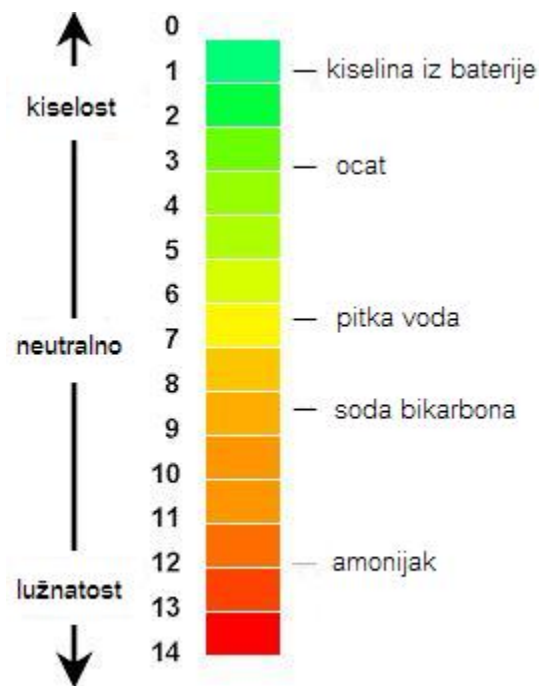


Slika 13. Spektrofotometar UV-Vis, HP 8453

## 2.7. pH - VRIJEDNOST

Voda ( $H_2O$ ) se sastoji od 2 atoma vodika i 1 atoma kisika. Ako se u vodi nalazi jednaka količina vodikovih iona ( $H^+$ ) i iona hidroksida ( $OH^-$ ), tada je takva voda neutralna i ima pH vrijednost 7.0.

Voda koja u sebi ima veću količinu vodikovih iona ( $H^+$ ) nego iona hidroksida ( $OH^-$ ) naziva se kiselim vodom. Ako je količina vodikovih iona ( $H^+$ ) manja tada se voda naziva lužnatom. pH vode se mjeri logaritamskom ljestvicom od 0 - 14.



Slika 14. Prikaz pH ljestvice

Svaka vrijednost je 10 puta veća ili manja od prethodne. Tako je npr. pH 4, 10 puta kiseliji od pH 5, a 100 puta kiseliji od pH 6.



Mnogo faktora utječe na pH vode. Obično ona predstavlja rezultat odnosa otopljenog ugljičnog dioksida i karbonatne tvrdoće vode. pH je vrlo važan u mekanim vodama gdje je prisutno više vodikovih iona nego u tvrdim vodama.

Vrijednost pH se može odrediti na više načina. Najjednostavniji je indikatorski papir, a za precizno određivanje se koriste pH-metri.

Elektrodu pH-metra je potrebno isprati destiliranom ili deioniziranom vodom nakon svakog mjerenja, ili malom količinom tekućine čije mjerenje slijedi.

Staklena pH elektroda se čuva u otopini kalijevog klorida KCl ili otopinom za punjenje elektroda.



Slika 15. pH-metar Knick, Portamess

## 2.8. TITAN-DIOKSID ( $\text{TiO}_2$ )

Titan dioksid je proizvedena tvar. Od njega, na primjer, je pasta za zube bijela, a boja neprozirna. Uz to,  $\text{TiO}_2$  može razgraditi gotovo svaku organsku supstancu kada je izložen suncu ili nekom drugom izvoru svjetlosti. U industriji zahvaljujući reaktivnosti titan dioksida, razvija se širok spektar ekološki prihvatljivih proizvoda, uključujući samočišćeće tkanine, politure za automobile, premaze za stakla koji onemogućuju zadržavanje nečistoće i vode i još mnoge druge proizvode za kućanstvo, automobile i industriju.

Titan dioksid je netoksičan i stoga se koristi u mnogim kozmetičkim proizvodima (kremama za sunčanje, ruževima, sapunima, pastama za zube...), a sve je prisutniji i u farmaciji. Njegova primjena je prihvaćena čak i u prehrambenoj industriji, gdje se koristi kao bojilo za hranu, nalazi se u omotima pojedinih salama i na mnogim drugom mjestima. Čak se dodaje i u duhan, kako bi se dobio bijeli pepeo pri gorenju cigarete.



*Slika 16. Titan dioksid u prahu*

### 3. MJERNA OPREMA

Laboratorijsko posuđe :

- laboratorijska čaša, 10 L
- odmjerna tikvica A klase, 2000 mL
- Erlenmeyerova tikvica
- laboratorijska čaša, 100 mL
- menzura, 100 mL

Laboratorijska oprema :

- pipeta
- filter 0,45 $\mu$ m i GF8
- vakuum pumpa
- turbidimetar
- spektrofotometar
- magnetna miješalica
- električna miješalica
- pH – metar
- Jar-aparatura
- laboratorijska vaga



Slika 17. Laboratorijska vaga Mettler toledo AG204



Slika 18. Vakuum pumpa

## 4. EKSPERIMENTI

Koagulant: otopina  $\text{FeCl}_3$ , gustoće  $1,1294 \text{ g/cm}^3$

$1 \mu\text{L}$  otopine  $\text{FeCl}_3 \equiv 0,0571 \text{ mg Fe}$

Flokulant:  $1 \text{ mL} \equiv 0,1 \text{ mg}$  polielektrolita

### 4.1. SERIJA 1

Uzorak:

Demi voda: u 10L vode otopljeno 0,1743 g congo-red bojila (0,025 mmol/L)

Polielektrolit: 0,011g/100 mL

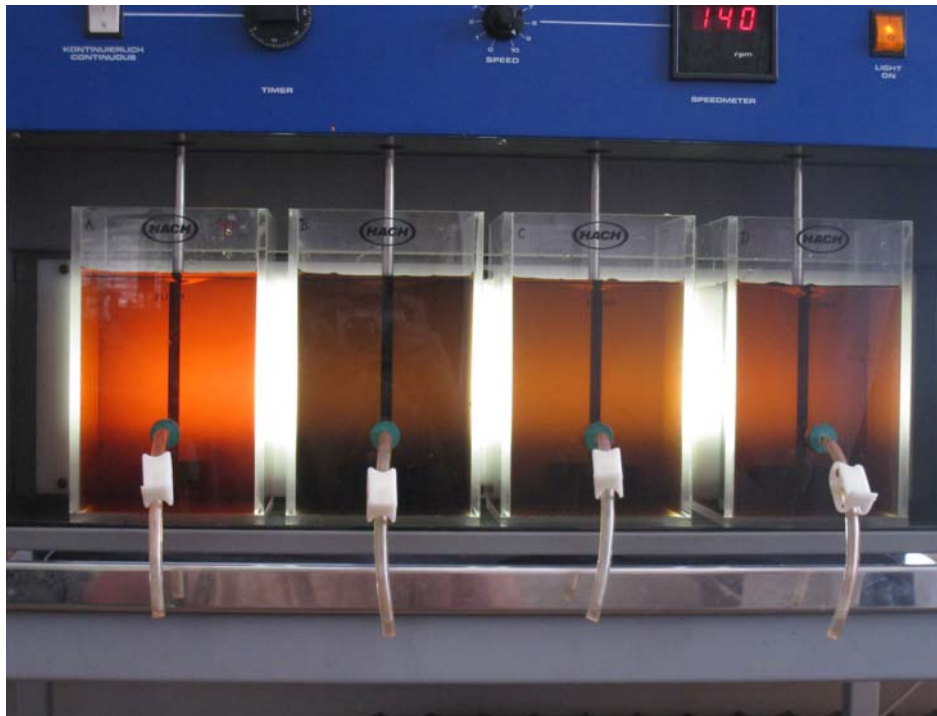
Koagulant:  $\text{FeCl}_3$

Tijek eksperimenta:

Dozirane količine odnose se na 2L otopine

Tablica 1. Prikaz tijeka eksperimenta serije 1

	3min ; 140 o/min	15min ; 30 o/min	25min
<b>A</b>	-	-	taloženje
<b>B</b>	100 $\mu\text{L}$ $\text{FeCl}_3$	2mL polielektrolita	taloženje
<b>C</b>	200 $\mu\text{L}$ $\text{FeCl}_3$	2mL polielektrolita	taloženje
<b>D</b>	500 $\mu\text{L}$ $\text{FeCl}_3$	2mL polielektrolita	taloženje



Slika 19. Serija 1 za vrijeme koagulacije

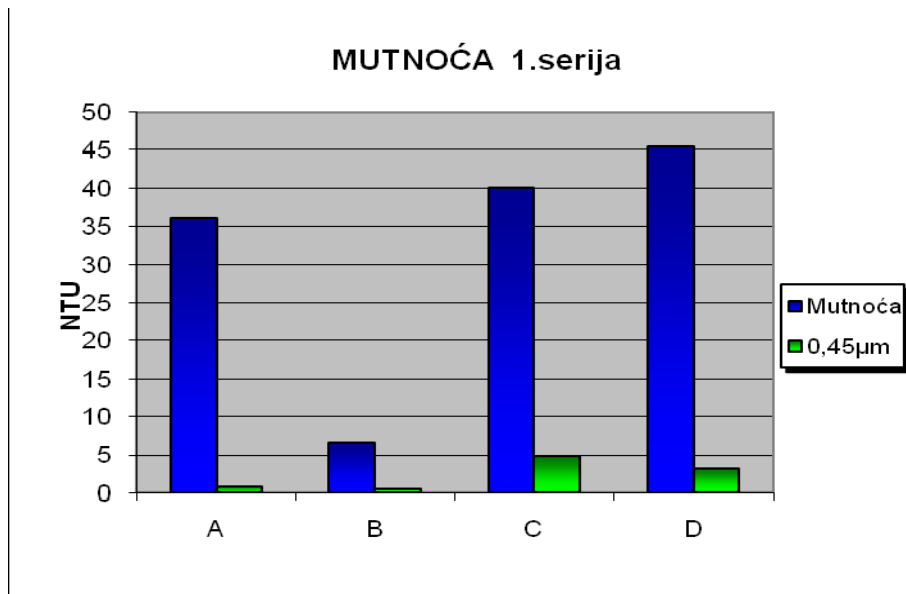
Mjerenje:

## a) Mutnoća:

Mutnoća je mjerena prije i nakon filtriranja, a filtriranje se radilo ručno pomoću šprice preko filtra pora prosječne veličine  $45\mu\text{m}$ .

Tablica 2. Rezultati mutnoće za seriju 1

	Mutnoća (NTU)	$0,45\mu\text{m}$
A	36	0,8
B	6,7	0,5
C	40	4,8
D	45,5	3,2



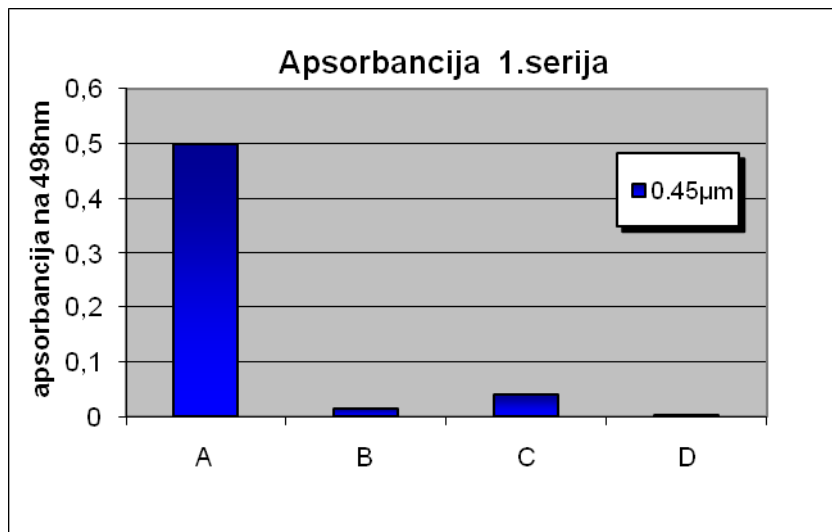
Dijagram 1. Prikaz mutnoće za seriju 1

b) Apsorbancija:

Apsorbancija se mjeri u spektru od 498 nm nakon filtracije uzorka, te se mjeri pH nefiltriranog uzorka.

Tablica 3. Rezultati apsorbancije serije 1

UZORAK	A (498nm)
A - 0.45 $\mu$ m	0,49846
B - 0.45 $\mu$ m	0,01629
C - 0.45 $\mu$ m	0,041234
D - 0.45 $\mu$ m	0,0028591



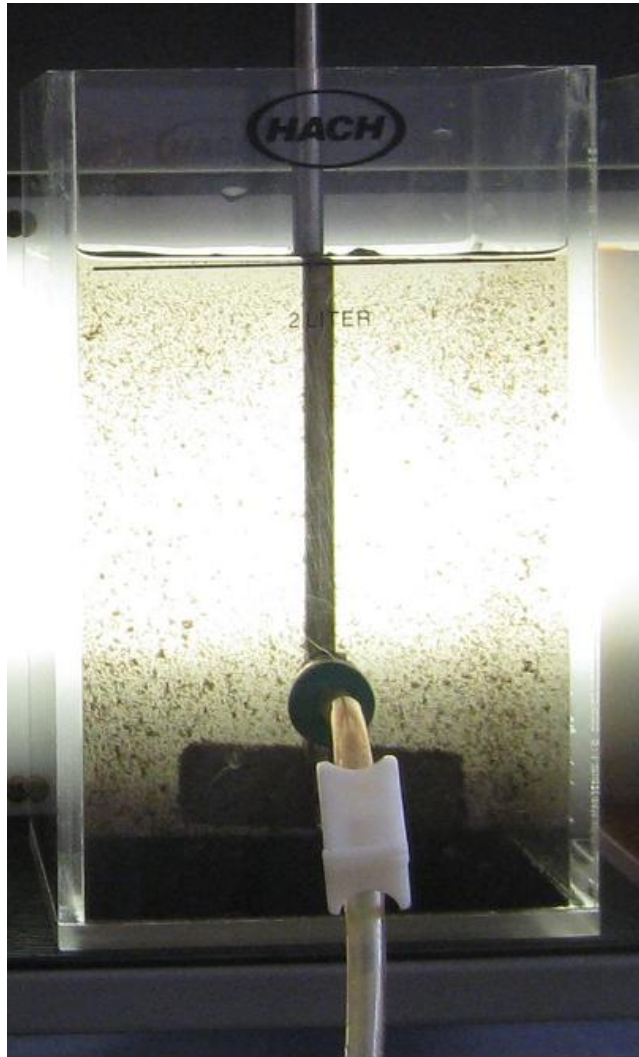
Dijagram 2. Prikaz aposrbancije serije 1

c) pH – vrijednost:

Mjeri se pH nefiltriranog uzorka

Tablica 4. Rezultati ph-vrijednosti za seriju 1

UZORAK	pH
A	6,55
B	6,55
C	4,13
D	3,89



*Slika 20. B-posuda (100 $\mu$ L FeCl<sub>3</sub>/2L) za vrijeme flokulacije*

Već nakon prve serije, rezultati su upućivali na to da se daleko najbolji efekt postiže pri manjoj koncentraciji koagulant (100  $\mu$ L FeCl<sub>3</sub>), tj. u B posudi. Zaključak nakon ove serije bio je raditi sa manjim dozama koagulant, pa je tako sljedeća serija imala doze 25,50 i 100  $\mu$ LFeCl<sub>3</sub>.

## 4.2. SERIJA 2

### Uzorak:

Demi voda: u 10L vode otopljeno 0,1744 g congo-red bojila (0,025 mmol/L)

Polielektrolit: 0,0105g/100 mL

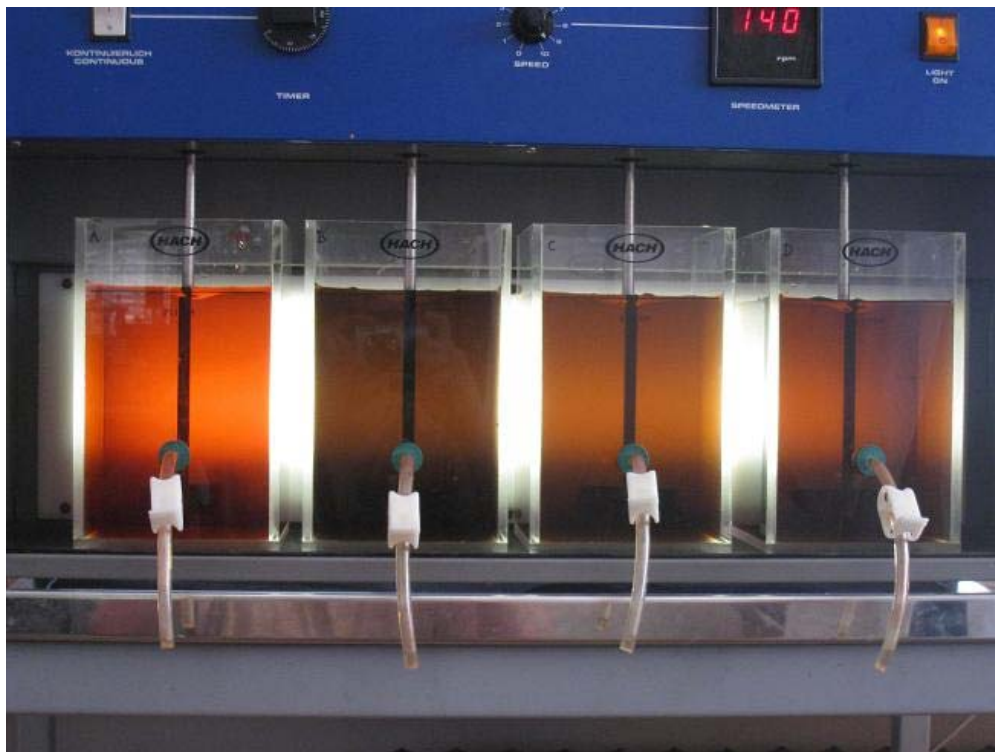
Koagulant: FeCl<sub>3</sub>

### Tijek eksperimenta:

Dozirane količine odnose se na 2L otopine

Tablica 5. Prikaz tijeka eksperimenta serije 2

	3min ; 140 o/min	15min ; 30 o/min	25min
<b>A</b>	-	-	taloženje
<b>B</b>	25μL FeCl <sub>3</sub>	2mL polielektrolita	taloženje
<b>C</b>	50μL FeCl <sub>3</sub>	2mL polielektrolita	taloženje
<b>D</b>	100μL FeCl <sub>3</sub>	2mL polielektrolita	taloženje



Slika 21. Serija 2 za vrijeme koagulacije



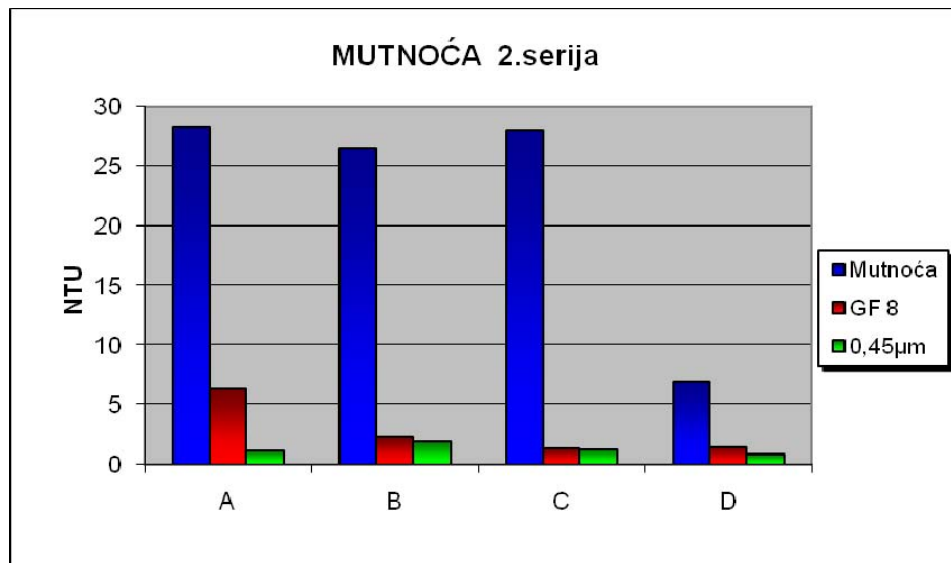
Mjerenje:

## a) Mutnoća:

Mutnoća je mjerena prije i nakon filtriranja, a filtriranje se provelo ručno na filtru GF8 i na filtru veličine 45 $\mu$ m.

Tablica 6. Rezultati mutnoće za seriju 2

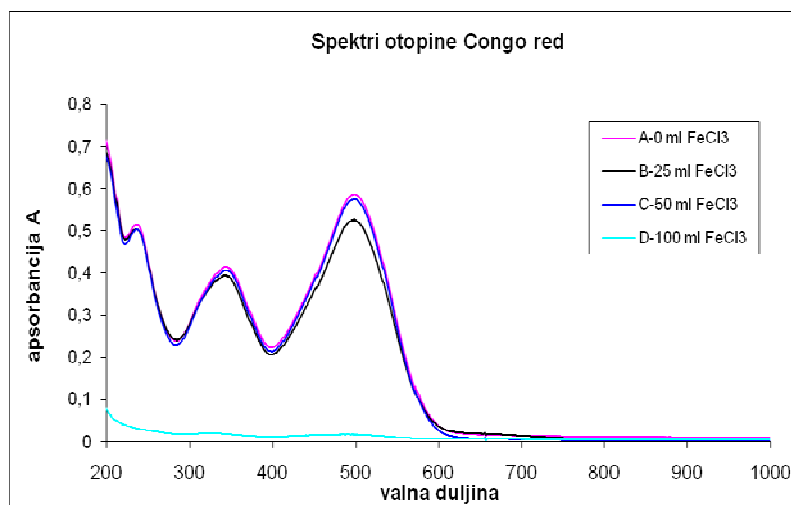
	Mutnoća	GF 8	0,45 $\mu$ m
A	28,3	6,4	1,1
B	26,5	2,32	1,94
C	28	1,35	1,2
D	6,9	1,43	0,9



Dijagram 3. Prikaz mutnoće serije 2

## b) Apsorbancija:

Apsorbancija se mjeri u spektru od 498 nm nakon svake filtracije uzorka

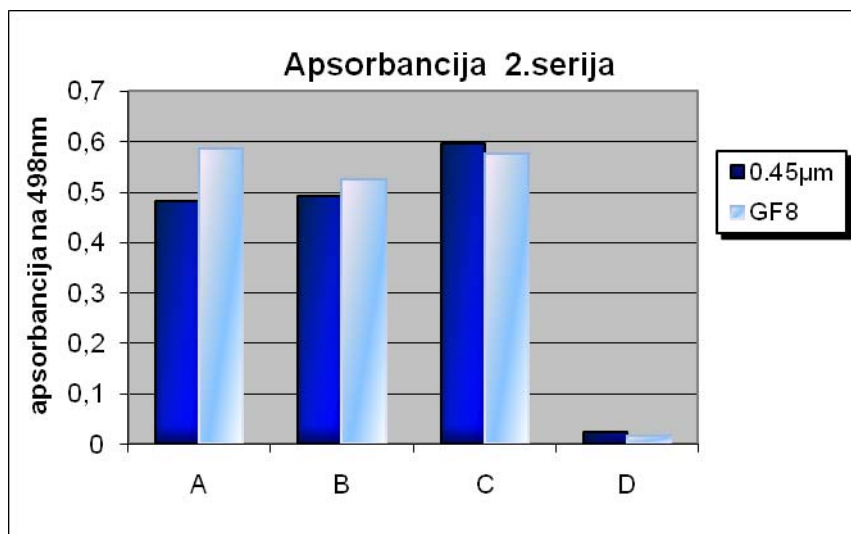


Slika 22. Prikaz spektra 2. serije nakon ručnog filtriranja na GF8 filtru

Da bi se odredio apsorpcijski maksimum potrebno je snimiti apsorpcijski spektar (Slika 22.) bojila mjerenjem apsorbancije u ovisnosti o valnoj duljini u određenom području valnih duljina. Na temelju snimljenog spektra odredi se valna duljina maksimalne apsorpcije. Ovdje je to 498nm. Apсорbancija je direktno proporcionalna koncentraciji; što je veća apsorbancija, to je veća koncentracija tvari.

Tablica 7. Rezultati apsorbancije serije 2

UZORAK	A (498nm)
A - 0.45 $\mu$ m	0,48117
B - 0.45 $\mu$ m	0,49181
C - 0.45 $\mu$ m	0,59471
D - 0.45 $\mu$ m	0,024545
A - GF8	0,58536
B - GF8	0,5249
C - GF8	0,5744
D - GF8	0,01602



Dijagram 4. Prikaz apsorbancije serije 2

c) pH vrijednost:

Mjeri se pH nefiltriranog uzorka

Tablica 8. Rezultati pH-vrijednosti za seriju 2

UZORAK	pH
A	7,01
B	6,37
C	6,51
D	4,21

### 4.3. SERIJA 3

Uzorak:

Demi voda: u 10L vode otopljeno 0,1746 g congo-red bojila (0,025 mmol/L)  
 Polielektrolit: 0,0105 g/100 mL  
 Koagulant: FeCl<sub>3</sub>

Filtracija:

10 000 mL otopine se filtrira prvo preko filtera GF 10, a zatim preko filtera pora veličine 0,45µm



Slika 23. Erlenmeyerova tikvica s posudom za vakuumiranje i vakuum pumpom

Tijek eksperimenta:

Dozirane količine odnose se na 2L otopine

Tablica 9. Prikaz tijeka eksperimenta serije 3

	3min ; 140 o/min	15min ; 30 o/min	25min
<b>A</b>	25µL FeCl <sub>3</sub>	2mL polielektrolita	taloženje
<b>B</b>	50µL FeCl <sub>3</sub>	2mL polielektrolita	taloženje
<b>C</b>	100µL FeCl <sub>3</sub>	2mL polielektrolita	taloženje
<b>D</b>	200µL FeCl <sub>3</sub>	2mL polielektrolita	taloženje
<b>E</b>	-	-	taloženje



Slika 24. Serija 3 za vrijeme taloženja

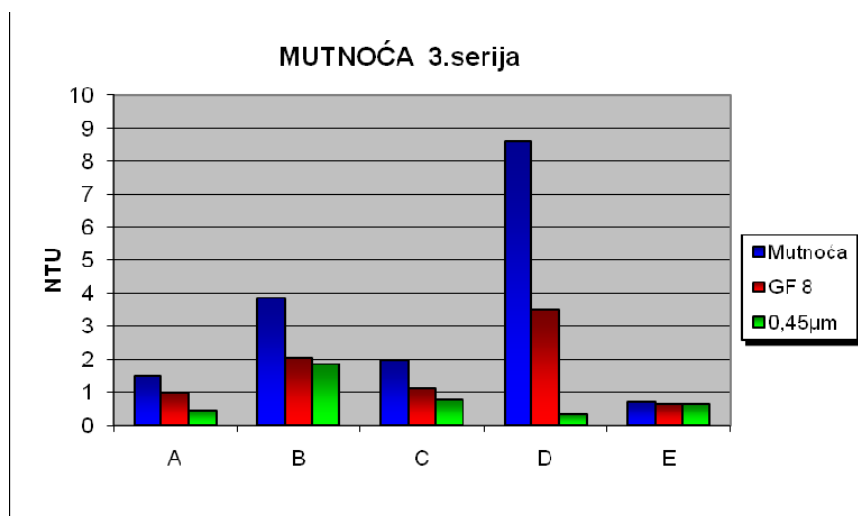
Mjerenja:

a) Mutnoća:

Mutnoća je mjerena prije i nakon filtriranja, a filtriranje se provelo ručno na filtru GF8 i na filtru veličine 0,45µm.

Tablica 10. Rezultati mutnoće za seriju 3

	Mutnoća	GF 8	0,45µm
<b>A</b>	1,5	1	0,45
<b>B</b>	3,86	2,03	1,85
<b>C</b>	1,97	1,13	0,77
<b>D</b>	8,6	3,5	0,33
<b>E</b>	0,7	0,65	0,65



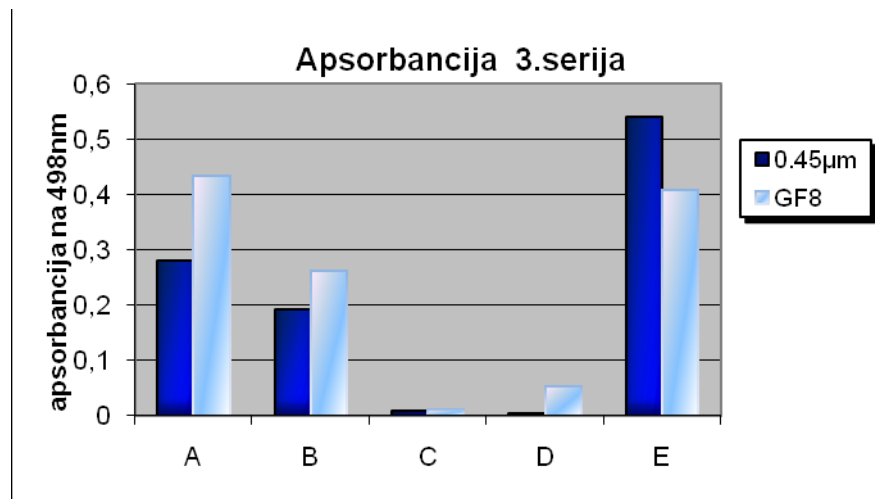
Dijagram 5. Prikaz mutnoće serije 3

## b) Apsorbancija:

Apsorbancija se mjeri u spektru od 498 nm nakon svake filtracije uzorka

Tablica 11. Rezultati apsorbancije serije 3

UZORAK	A (498nm)
A - 0.45 $\mu$ m	0,28101
B - 0.45 $\mu$ m	0,19239
C - 0.45 $\mu$ m	0,0085588
D - 0.45 $\mu$ m	0,0040264
E - 0,45 $\mu$ m	0,53934
A - GF8	0,43433
B - GF8	0,26209
C - GF8	0,011957
D - GF8	0,054392
E - GF8	0,40801



Dijagram 6. Prikaz apsorbancije serije 3

## c) pH vrijednost:

Tablica 12. Rezultati ph-vrijednosti za seriju 3

UZORAK	pH
A	6,18
B	4,54
C	4,13
D	3,66
E	6,24



*Slika 25. Posuda C (100 $\mu$ L FeCl<sub>3</sub>/2L)*

Za ovu seriju koristi se pet posuda. Doziranje se vrši u četiri posude, a peta služi kao referentna te se podvrgava samo miješanju električnom mješalicom. Serija 3 u odnosu na 2.seriju ima prethodnu filtraciju vakuum pumpom kroz dva stupnja. Iz dobivenih rezultata je očito značajno smanjenje primarne mutnoće.

#### 4.4. SERIJA 4

##### Uzorak:

Demi voda: u 10L vode otopljeno 0,1746 g congo-red bojila (0,025 mmol/L)  
 Polielektrolit: 0,0105 g/100 mL  
 Koagulant: FeCl<sub>3</sub>

##### Filtracija:

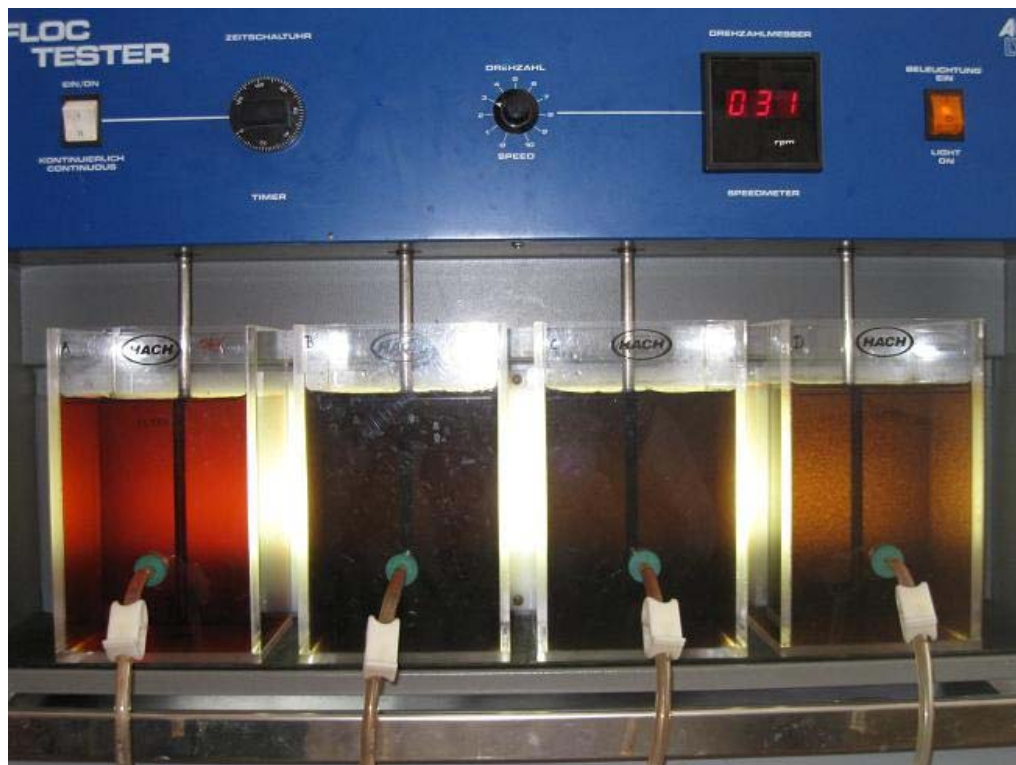
10 000 mL otopine se filtrira vakuum pumpom prvo preko filtera GF 10, a zatim preko filtera pora veličine 0,45µm

##### Tijek eksperimenta:

Dozirane količine odnose se na 2L otopine

Tablica 13. Prikaz tijeka eksperimenta serije 4

	3min ; 140 o/min	3min ; 140 o/min	15min ; 30 o/min	25min
<b>A</b>	25µL FeCl <sub>3</sub>	10 mg/L AUP	2mL polielektrolita	taloženje
<b>B</b>	50µL FeCl <sub>3</sub>	10 mg/L AUP	2mL polielektrolita	taloženje
<b>C</b>	100µL FeCl <sub>3</sub>	10 mg/L AUP	2mL polielektrolita	taloženje
<b>D</b>	200µL FeCl <sub>3</sub>	10 mg/L AUP	2mL polielektrolita	taloženje
<b>E</b>	-	-	-	taloženje



Slika 26. Serija 4 za vrijeme flokulacije



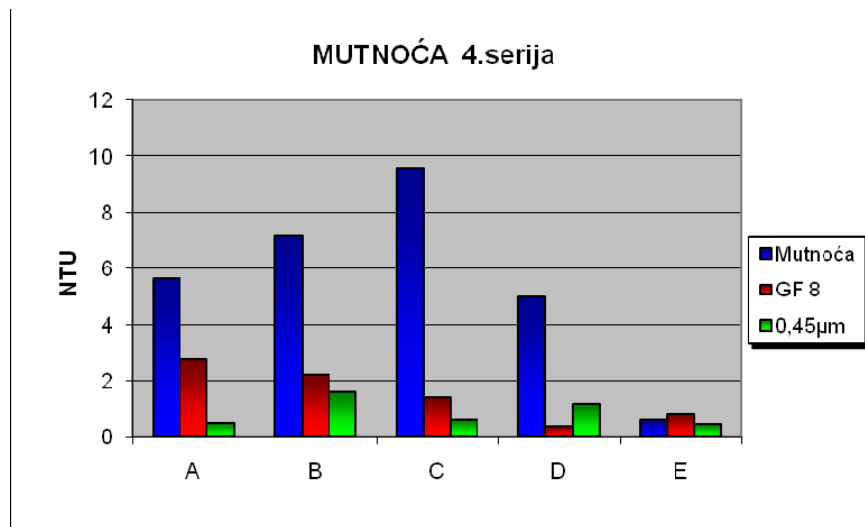
**Mjerenja:**

## a) Mutnoća:

Mutnoća je mjerena prije i nakon filtriranja, a filtriranje se provelo ručno na filtru GF8 i na filtru veličine 45 $\mu$ m.

Tablica 14. Rezultati mutnoće za seriju 4

	Mutnoća	GF 8	0,45 $\mu$ m
<b>A</b>	5,65	2,8	0,5
<b>B</b>	7,18	2,2	1,6
<b>C</b>	9,6	1,4	0,63
<b>D</b>	5	0,37	1,2
<b>E</b>	0,63	0,79	0,47



Dijagram 7. Prikaz mutnoće serije 4

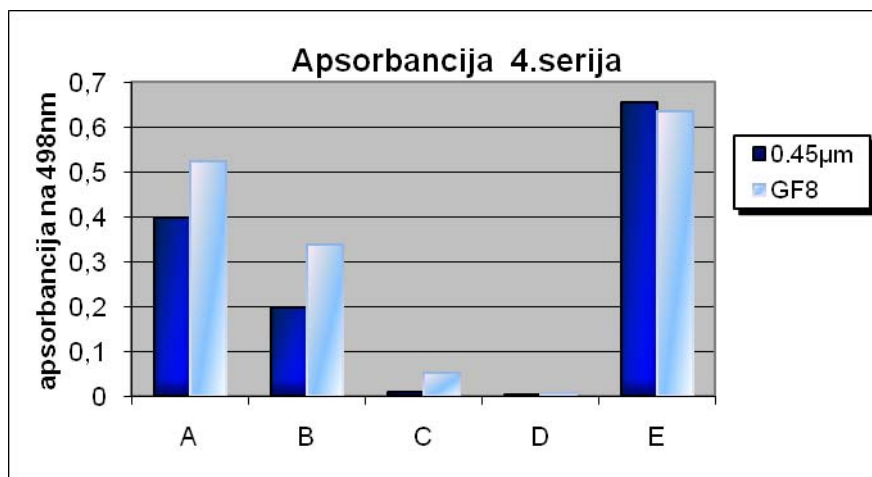
## b) Apsorbancija:

Apsorbancija se mjeri u spektru od 498 nm nakon svake filtracije uzorka

Tablica 15. Rezultati apsorbancije serije 4

UZORAK	A (498nm)
A - 0.45 $\mu$ m	0,39818
B - 0.45 $\mu$ m	0,19943
C - 0.45 $\mu$ m	0,0099
D - 0.45 $\mu$ m	0,00521
E - 0,45 $\mu$ m	0,65572
A - GF8	0,52456
B - GF8	0,33736
C - GF8	0,0535
D - GF8	0,0059581
E - GF8	0,63555





Dijagram 8. Prikaz apsorbancije serije 4

c) pH vrijednost:

Tablica 16. Rezultati ph-vrijednosti za seriju 4

UZORAK	pH
A	6,34
B	4,78
C	4,12
D	3,67
E	7,07

## 4.5. SERIJA 5

### Uzorak:

Demi voda: u 10L vode otopljeno 0,1746 g congo-red bojila (0,025 mmol/L)  
 Polielektrolit: 0,0105 g/100 mL  
 Koagulant:  $\text{FeCl}_3$

### Filtracija:

10 000 mL otopine se filtrira vakuum pumpom prvo preko filtera GF 10, a zatim preko filtera pora veličine 0,45 $\mu\text{m}$ .

### Tijek eksperimenta:

Dozirane količine odnose se na 2L otopine

Tablica 17. Prikaz tijeka eksperimenta serije 5

	3min ; 140 o/min	3min ; 140 o/min	15min ; 30 o/min	25min
<b>A</b>	25 $\mu\text{L}$ $\text{FeCl}_3$	50 mg/L AUP	2mL polielektrolita	taloženje
<b>B</b>	50 $\mu\text{L}$ $\text{FeCl}_3$	50 mg/L AUP	2mL polielektrolita	taloženje
<b>C</b>	100 $\mu\text{L}$ $\text{FeCl}_3$	50 mg/L AUP	2mL polielektrolita	taloženje
<b>D</b>	200 $\mu\text{L}$ $\text{FeCl}_3$	50 mg/L AUP	2mL polielektrolita	taloženje
<b>E</b>	-	-	-	taloženje



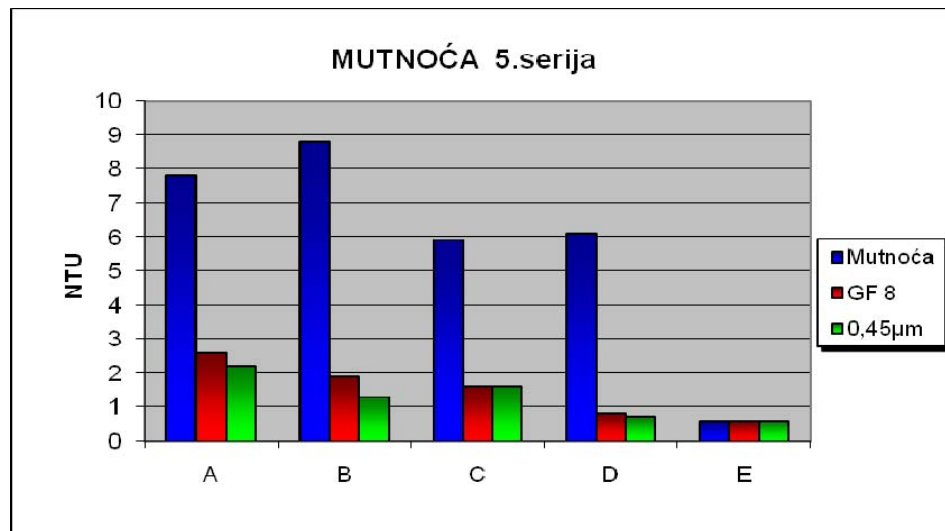
Slika 27. Serija 5 za vrijeme koagulacije

**Mjerenja:**a) **Mutnoća:**

Mutnoća je mjerena prije i nakon filtriranja, a filtriranje se provelo ručno na filtru GF8 i na filtru veličine 45 $\mu$ m.

**Tablica 18. Rezultati mutnoće serije 5**

	Mutnoća	GF 8	0,45 $\mu$ m
<b>A</b>	7,8	2,6	2,2
<b>B</b>	8,8	1,9	1,3
<b>C</b>	5,9	1,6	1,6
<b>D</b>	6,1	0,8	0,7
<b>E</b>	0,6	0,6	0,6



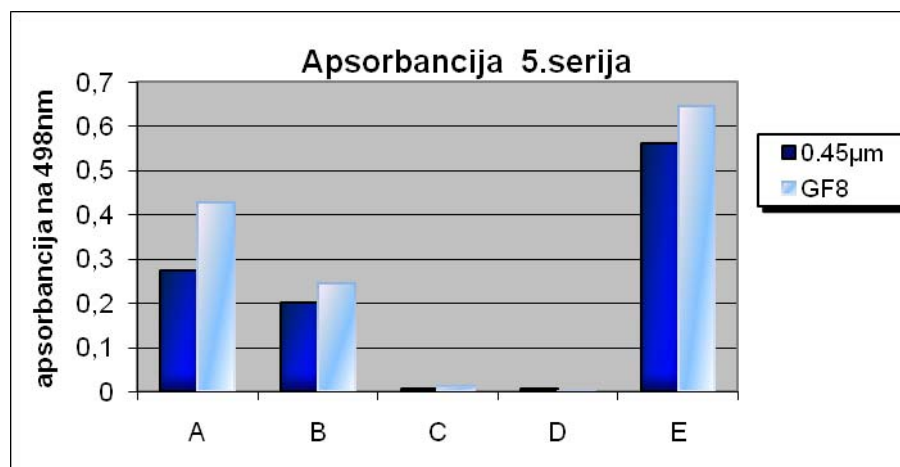
**Dijagram 9. Prikaz mutnoće serije 5**

b) **Apsorbancija:**

Apsorbancija se mjeri u spektru od 498 nm nakon svake filtracije uzorka

**Tablica 19. Rezultati apsorbancije serije 5**

UZORAK	A (498nm)
A - 0.45 $\mu$ m	0,27456
B - 0.45 $\mu$ m	0,20069
C - 0.45 $\mu$ m	0,007099
D - 0.45 $\mu$ m	0,0053806
E - 0,45 $\mu$ m	0,56149
A - GF8	0,42868
B - GF8	0,24465
C - GF8	0,011321
D - GF8	0,0018201
E - GF8	0,64476



Dijagram 10. Prikaz apsorbancije serije 2

c) pH vrijednost:

Tablica 20. Rezultati ph-vrijednosti za seriju 5

UZORAK	pH
A	6,23
B	4,50
C	3,42
D	3,59
E	5,68

## 4.6. SERIJA 6

### Uzorak:

Vodovodna voda: u 10L vode otopljeno 0,1746 g congo-red bojila (0,025 mmol/L)  
 Polielektrolit: 0,0105 g/100 mL  
 Koagulant: FeCl<sub>3</sub>

### Filtracija:

10 000 mL otopine se filtrira vakuum pumpom prvo preko filtera GF 10, a zatim preko filtera pora veličine 0,45μm.

### Tijek eksperimenta:

Dozirane količine odnose se na 2L otopine

Tablica 21. Prikaz tijeka eksperimenta serije 6

	3min ; 140 o/min	15min ; 30 o/min	25min
<b>A</b>	25μL FeCl <sub>3</sub>	2mL polielektrolita	taloženje
<b>B</b>	50μL FeCl <sub>3</sub>	2mL polielektrolita	taloženje
<b>C</b>	100μL FeCl <sub>3</sub>	2mL polielektrolita	taloženje
<b>D</b>	200μL FeCl <sub>3</sub>	2mL polielektrolita	taloženje
<b>E</b>	-	-	taloženje

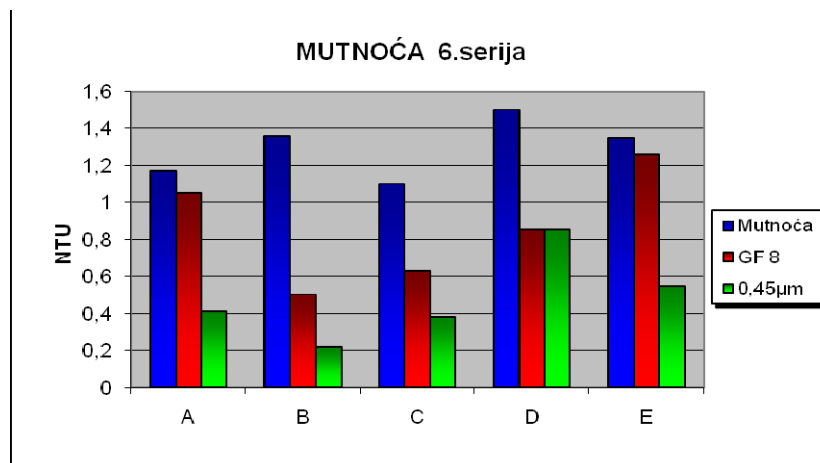
### Mjerenja:

#### a) Mutnoća:

Mutnoća je mjerena prije i nakon filtriranja na ručnom filteru GF8 i na filteru veličine 45μm.

Tablica 22. Rezultati mutnoće serije 6

	Mutnoća	GF 8	0,45μm
<b>A</b>	3,13	1,06	0,35
<b>B</b>	3,22	0,41	0,44
<b>C</b>	3,25	0,57	0,19
<b>D</b>	3,19	0,8	0,56
<b>E</b>	1,4	1,3	0,62



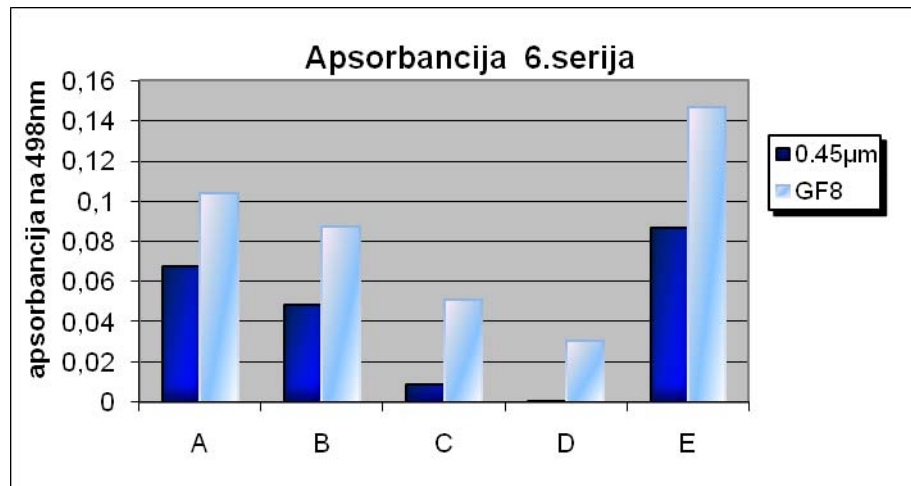
Dijagram 11. Prikaz mutnoće serije 6

## b) Apsorbancija:

Apsorbancija se mjeri u spektru od 498 nm nakon svake filtracije uzorka

Tablica 23. Rezultati apsorbancije serije 6

UZORAK	A (498nm)
A - 0.45 $\mu$ m	0,067344
B - 0.45 $\mu$ m	0,048385
C - 0.45 $\mu$ m	0,0084972
D - 0.45 $\mu$ m	0,0007853
E - 0,45 $\mu$ m	0,087033
A - GF8	0,1039
B - GF8	0,08767
C - GF8	0,050892
D - GF8	0,030435
E - GF8	0,14652



Dijagram 12. Prikaz apsorbancije serije 6

## c) pH vrijednost:

Tablica 24. Rezultati pH-vrijednosti za seriju 6

UZORAK	pH
A	7,86
B	7,82
C	7,68
D	7,58
E	8,06

## 4.7. SERIJA 7

### Uzorak:

Vodovodna voda: u 10L vode otopljeno 0,1746 g congo-red bojila (0,025 mmol/L)

Polielektrolit: 0,0105 g/100 mL

Koagulant: FeCl<sub>3</sub>

### Filtracija:

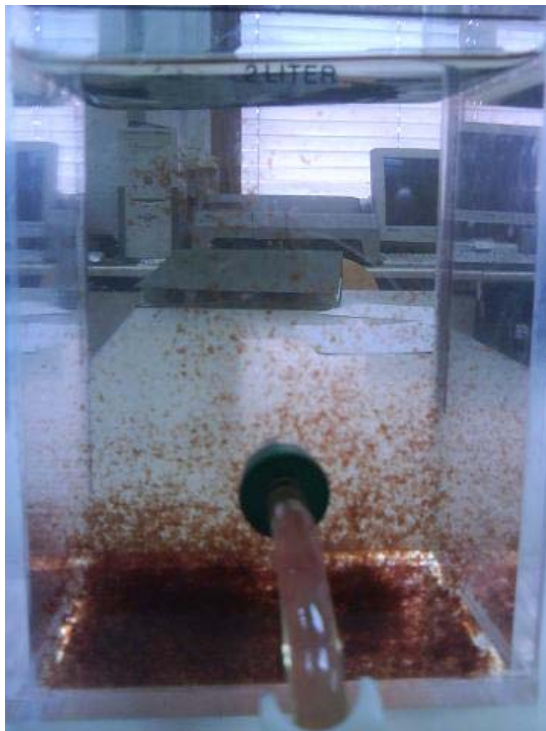
10 000 mL otopine se filtrira vakuum pumpom prvo preko filtera GF 10, a zatim preko filtera pora veličine 0,45µm.

### Tijek eksperimenta:

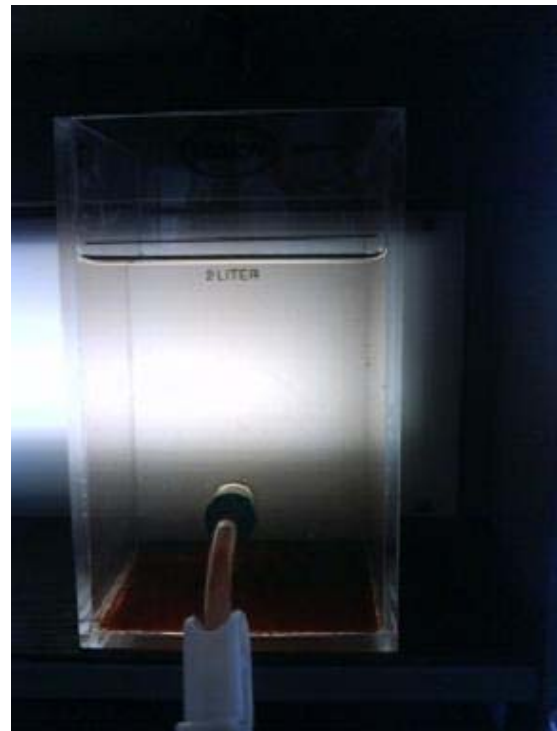
Dozirane količine odnose se na 2L otopine

Tablica 25. Prikaz tijeka eksperimenta serije 7

	3min ; 140 o/min	3min ; 140 o/min	15min ; 30 o/min	25min
<b>A</b>	25µL FeCl <sub>3</sub>	10 mg/L AUP	2mL polielektrolita	taloženje
<b>B</b>	50µL FeCl <sub>3</sub>	10 mg/L AUP	2mL polielektrolita	taloženje
<b>C</b>	100µL FeCl <sub>3</sub>	10 mg/L AUP	2mL polielektrolita	taloženje
<b>D</b>	200µL FeCl <sub>3</sub>	10 mg/L AUP	2mL polielektrolita	taloženje
<b>E</b>	-	-	-	taloženje



Slika 28. Serija 7 - taloženje



Slika 29. Serija 7 -nakon taloženja

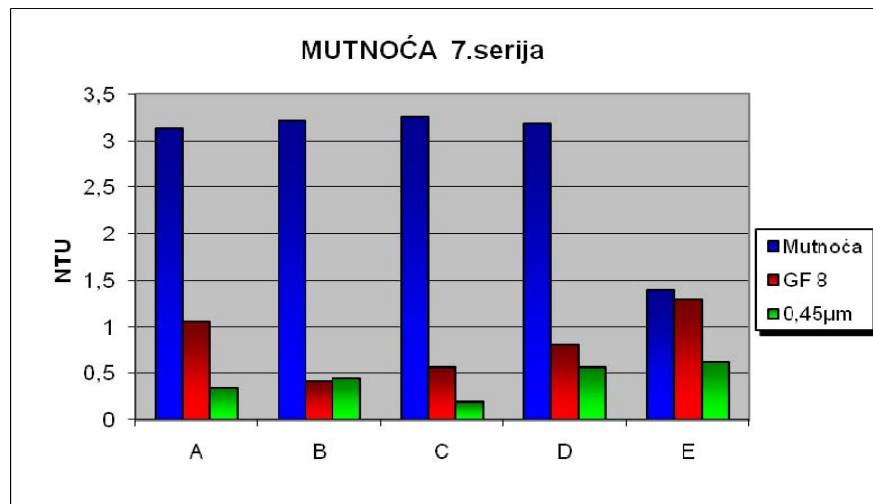
**Mjerenja:**

## a) Mutnoća:

Mutnoća je mjerena prije i nakon filtriranja, a filtriranje se provelo ručno na filtru GF8 i na filtru veličine 45 $\mu$ m.

Tablica 26. Rezultati mutnoće serije 7

	Mutnoća	GF 8	0,45 $\mu$ m
<b>A</b>	1,17	1,05	0,41
<b>B</b>	1,36	0,5	0,22
<b>C</b>	1,1	0,63	0,38
<b>D</b>	1,5	0,85	0,85
<b>E</b>	1,35	1,25	0,55



Dijagram 13. Prikaz mutnoće serije 7

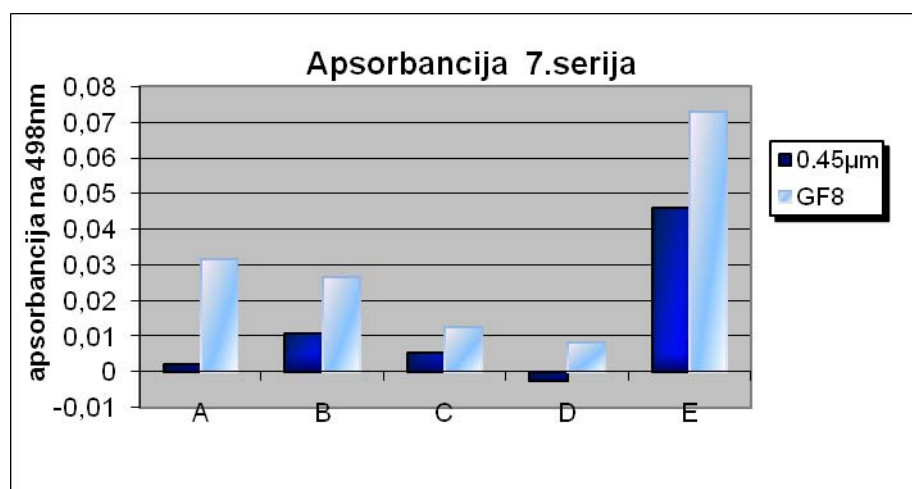
## b) Apsorbancija:

Apsorbancija se mjeri u spektru od 498 nm nakon svake filtracije uzorka

Tablica 27. Rezultati apsorbancije serije 7

UZORAK	A (498nm)
A - 0.45 $\mu$ m	0,002201
B - 0.45 $\mu$ m	0,010746
C - 0.45 $\mu$ m	0,0055127
D - 0.45 $\mu$ m	-0,00246
E - 0,45 $\mu$ m	0,046016
A - GF8	0,031446
B - GF8	0,026484
C - GF8	0,012696
D - GF8	0,0082297
E - GF8	0,072985





Dijagram 14. Prikaz apsorbancije serije 7

c) pH vrijednost:

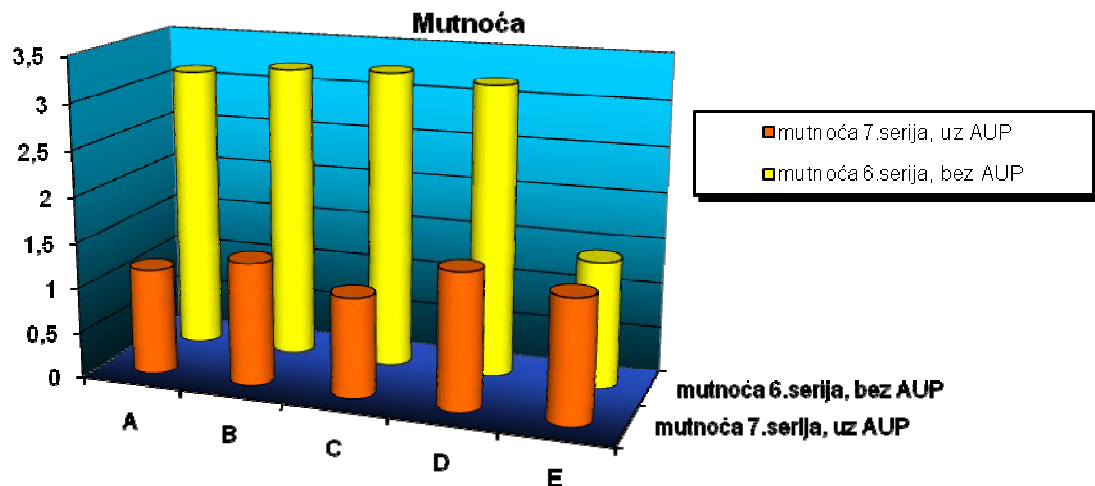
Tablica 28. Rezultati ph-vrijednosti za seriju 7

UZORAK	pH
A	8,00
B	7,92
C	7,83
D	7,76
E	8,07

## 4.7.1. Usporedba 6. i 7. serije:

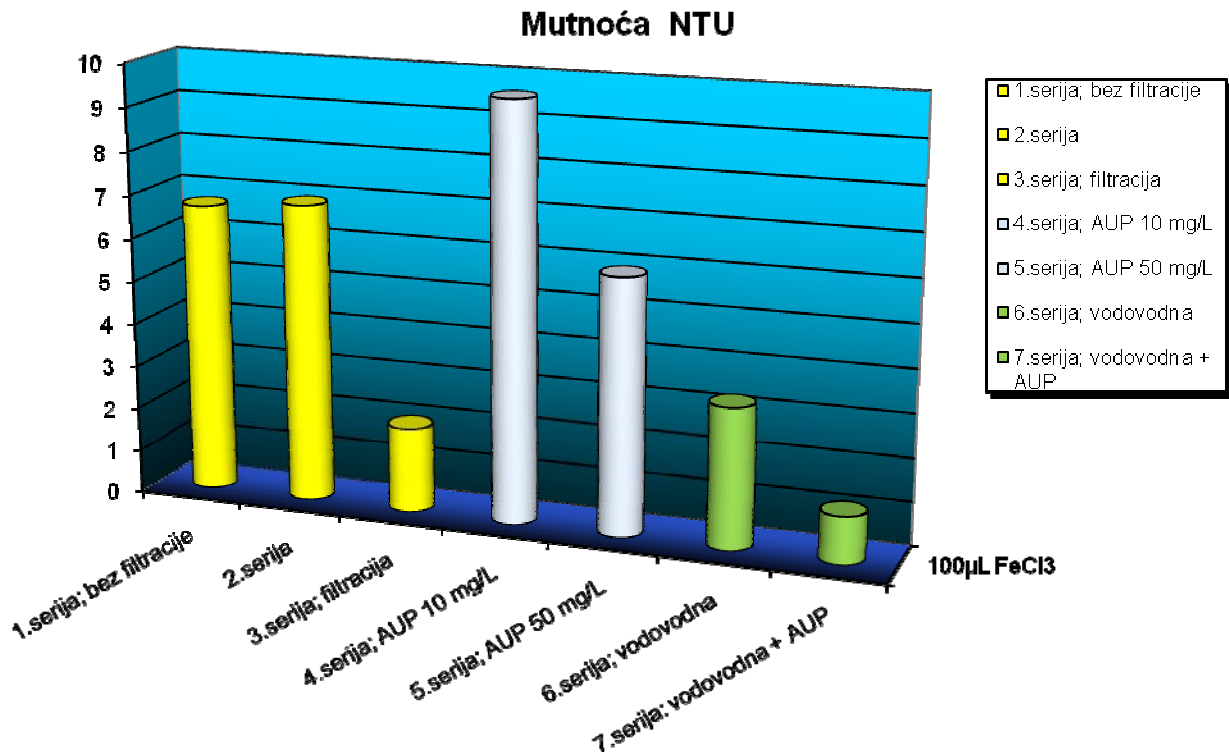
Obje serije kao uzorak koriste vodovodnu vodu sa istom količinom congo-red crvenog bojila. Razlika u eksperimentu ove dvije serije je u tome što se u 7.seriji koristio aktivni ugljen u prahu. Rezultat pokazuje da se mutnoća u 7.seriji prije ručnog filtriranja kreće nešto preko 1 NTU, dok 6.serija mjeri oko 3 NTU.

Što se tiče pH-vrijednosti, 7.serija ima neznatno niže vrijednosti, tj. bliža je neutralnom području. Posuda E, koja je bila podvrgnuta samo mješanju električnom mješalicom u oba slučaju pokazuje iste vrijednosti mutnoće i pH, odnosno potvrđuje ponovljivost.



Dijagram 15. Usporedba mutnoće 6. i 7. serije

Usporedbom ovih dviju serija dolazi se do zaključka da AUP popravljiva taloženje congo-red bojila, odnosno takva voda ima manju mutnoću nego voda bez AUP-a. U prosjeku, vrijednosti mutnoće vode uz dodatak AUP-a su oko 3 puta manje u odnosu na vode bez AUP-a. Time se bitno olakšava proces filtracije u nekom realnom postrojenju jer se produžuje vrijeme do začepljenosti filtera.

4.7.2. Mutnoća posude dozirane sa 100 $\mu$ L FeCl<sub>3</sub> koagulanta

Dijagram 16. Prikaz mutnoće za posudu doziranu sa 100 $\mu$ L/2L koagulanta FeCl<sub>3</sub> kroz sedam serija

Prvi i drugi stupac samo potvrđuju ponovljivost. Razlika trećeg u odnosu na drugi je prethodna filtracija vakuum pumpom. Četvrti i peti stupac prikazuju odnos mutnoće za dvije različite doze AUP-a, 10mg/L i 50mg/L. Šesti stupac je mutnoća vodovodne vode bez AUP-a, a sedmi mutnoća vodovodne vode sa AUP-om.

Najpovoljnije vrijednosti mutnoće nakon koagulacije i flokulacije postignute su u serijama 3 i 7. U obje serije se koristila prethodna filtracija. Treća serija odrađena je sa demineraliziranom vodom, a u sedmoj seriji koristila se vodovodna voda i doziranje AUP-a.

Pretpostavka je da se radi u oba slučaja o ostvarenom zeta potencijalu oko 0mV, te da se dodatkom AUP-a pomoglo u stvaranju krupnijih flokula koje su se brže istaložile i tijekom taloženja dodatno apsorbirale bojilo i otopinu na svoju površinu.

## 4.8. SERIJA 8

### Uzorak:

Voda: u 10L vode otopljeno 0,5 g titan dioksida P25

Polielektrolit: 0,011g/100 mL

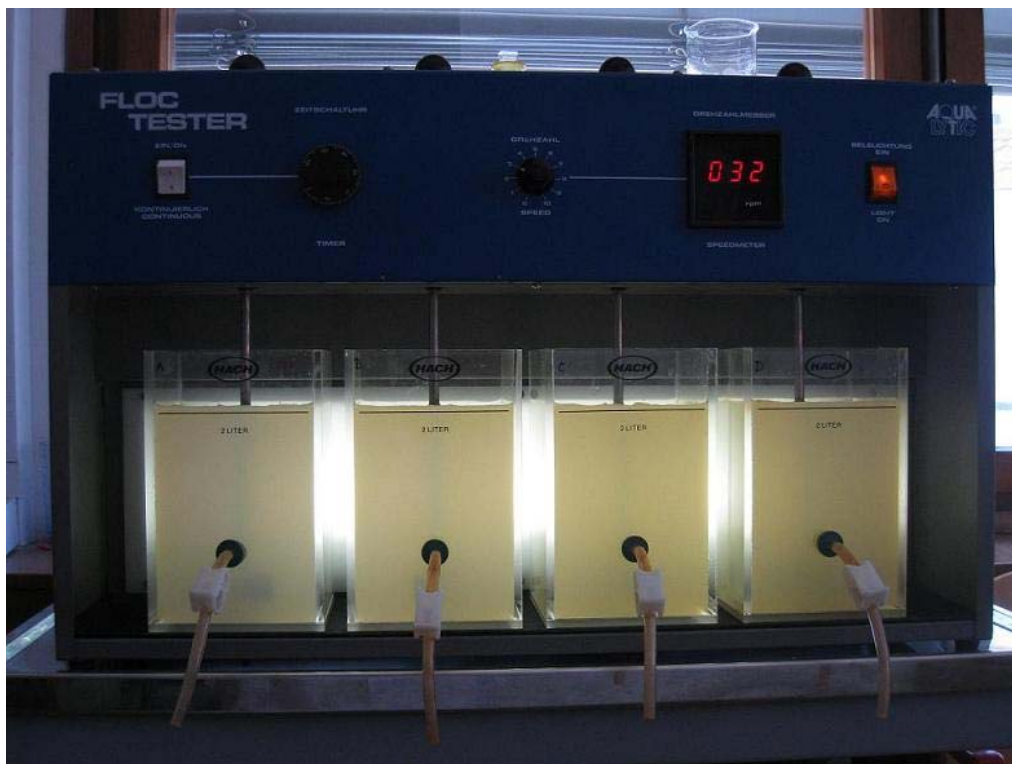
Koagulant:  $\text{FeCl}_3$

### Tijek eksperimenta:

Dozirane količine odnose se na 2L otopine

Tablica 29. Prikaz tijeka eksperimenta serije 8

	3min ; 140 o/min	15min ; 30 o/min	25min
<b>A</b>	25 $\mu\text{L}$ $\text{FeCl}_3$	2mL polielektrolita	taloženje
<b>B</b>	50 $\mu\text{L}$ $\text{FeCl}_3$	2mL polielektrolita	taloženje
<b>C</b>	100 $\mu\text{L}$ $\text{FeCl}_3$	2mL polielektrolita	taloženje
<b>D</b>	200 $\mu\text{L}$ $\text{FeCl}_3$	2mL polielektrolita	taloženje
<b>E</b>	-	-	taloženje



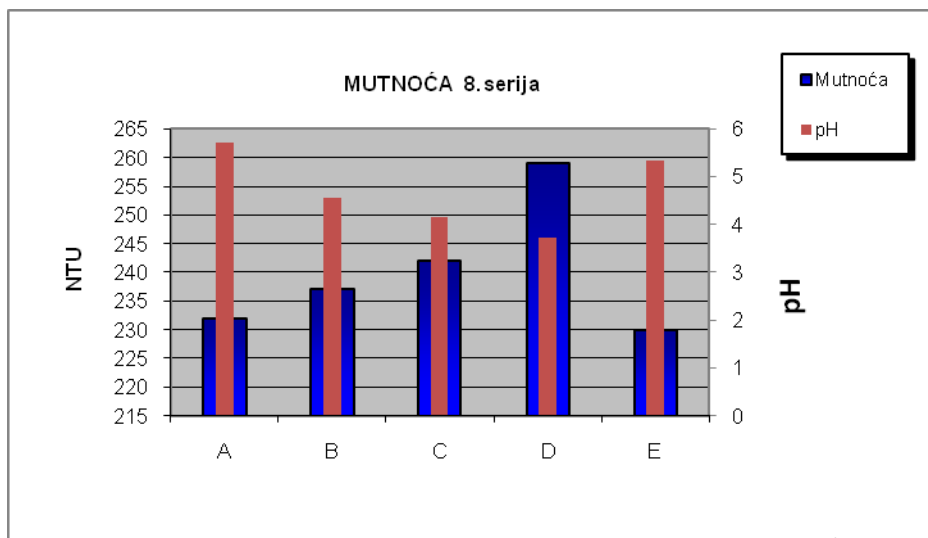
Slika 30. Serija 8 za vrijeme flokulacije

Mjerenje:

## Mutnoća

Tablica 30. Rezultati mutnoće, pH-vrijednosti i temperature serije 8

	Mutnoća	pH	°C
<b>A</b>	232	5,71	24,5
<b>B</b>	237	4,56	24,4
<b>C</b>	242	4,14	24,4
<b>D</b>	259	3,73	24,5
<b>E</b>	230	5,33	24

Dijagram 17. Prikaz mutnoće i pH-vrijednosti pri temperaturi =24<sup>±0,5</sup> °C

Kod serije 8. kao i kod sve tri serije sa titanovim dioksidom, nije mjerena apsorbancija iz razloga što se apsorbancija mjeri samo u otopljenim tekućinama. Titanov dioksid ostaje u koloidnim česticama, pa se on može vidjeti preko mjerenja mutnoće.

## 4.9. SERIJA 9

### Uzorak:

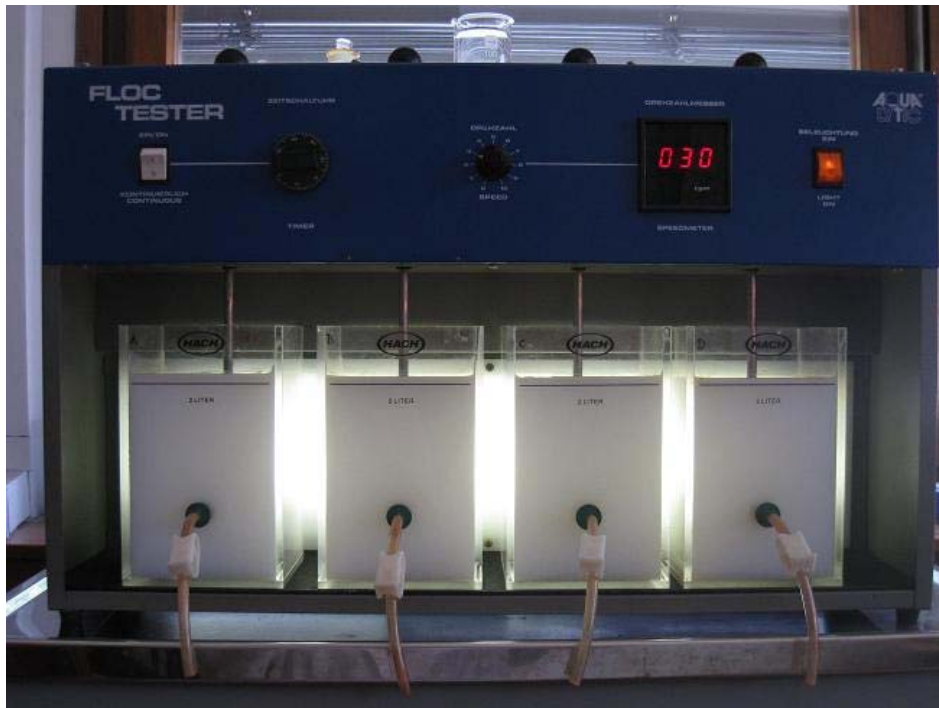
Voda: u 10L vode otopljeno 5 g titan dioxida P25  
 Polielektrolit: 0,011g/100 mL  
 Koagulant: FeCl<sub>3</sub>  
 Lužina: Puffer

### Tijek eksperimenta:

podešavanje pH vrijednosti otopine na područje neutralno do blago lužnato dodavanjem PUFERA u koncentraciji 3ml/2L.  
 Dozirane količine odnose se na 2L otopine

Tablica 31. Prikaz tijeka eksperimenta serije 9

	3min ; 140 o/min	15min ; 30 o/min	25min
<b>A</b>	25μL FeCl <sub>3</sub>	2mL polielektrolita	taloženje
<b>B</b>	50μL FeCl <sub>3</sub>	2mL polielektrolita	taloženje
<b>C</b>	100μL FeCl <sub>3</sub>	2mL polielektrolita	taloženje
<b>D</b>	200μL FeCl <sub>3</sub>	2mL polielektrolita	taloženje
<b>E</b>	-	-	taloženje



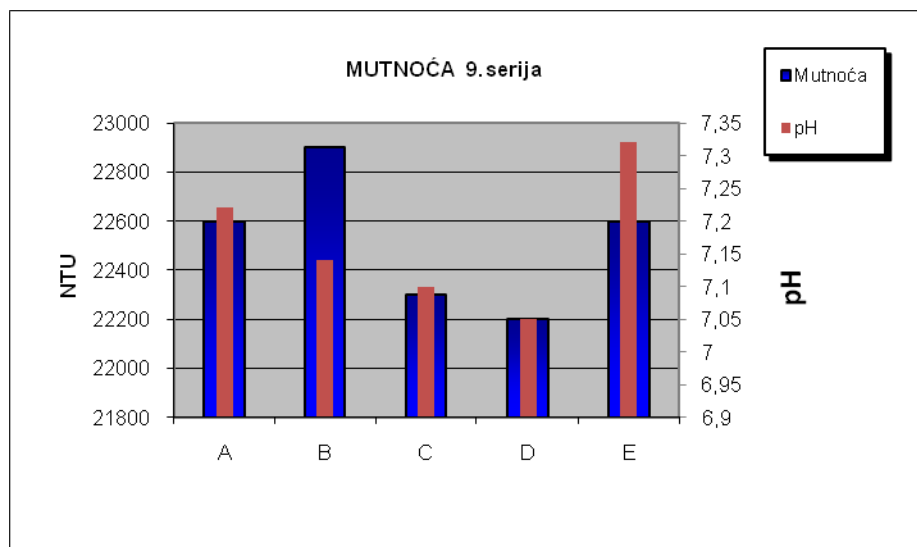
Slika 31. Serija 9 za vrijeme flokulacije

Mjerenje:

Mutnoća

Tablica 32. Rezultati mutnoće, pH-vrijednosti i temperature serije 9

	Mutnoća	pH	°C
<b>A</b>	22600	7,22	24,7
<b>B</b>	22900	7,14	24,7
<b>C</b>	22300	7,1	24,6
<b>D</b>	22200	7,05	24,6
<b>E</b>	22600	7,32	24

Dijagram 18. Prikaz mutnoće i pH-vrijednosti pri temperaturi =25<sup>±0,5</sup> °C

Ova serija u odnosu na prethodnu ima otopinu vode sa većom koncentracijom titanovog dioksida. Iz dijagrama je vidljivo kako je mutnoća izrazito velika. Pri mjerenju mutnoće pojavio se problem premalog mjernog područja turbidimetra. Rješenje je bilo pomiješati otopinu sa demineraliziranom vodom. Novonastala razrijeđena otopina očitana je na turbidimetru, te pomnožena sa koeficijentom uzetog uzorka.

#### 4.10. SERIJA 10

Uzorak:

Voda: u 10L vode otopljeno 0,5 g titan dioksida P25

Polielektrolit: 0,011g/100 mL

Koagulant: FeCl<sub>3</sub>

Lužina: Puffer

Tijek eksperimenta:

podešavanje pH vrijednosti otopine na područje neutralno do blago lužnato dodavanjem PUFERA u koncentraciji 3ml/2L.

Dozirane količine odnose se na 2L otopine

Tablica 33. Prikaz tijeka eksperimenta serije 10

	3min ; 140 o/min	15min ; 30 o/min	25min
<b>A</b>	25μL FeCl <sub>3</sub>	2mL polielektrolita	taloženje
<b>B</b>	50μL FeCl <sub>3</sub>	2mL polielektrolita	taloženje
<b>C</b>	100μL FeCl <sub>3</sub>	2mL polielektrolita	taloženje
<b>D</b>	200μL FeCl <sub>3</sub>	2mL polielektrolita	taloženje
<b>E</b>	-	-	taloženje



Slika 32. Serija 10 za vrijeme flokulacije





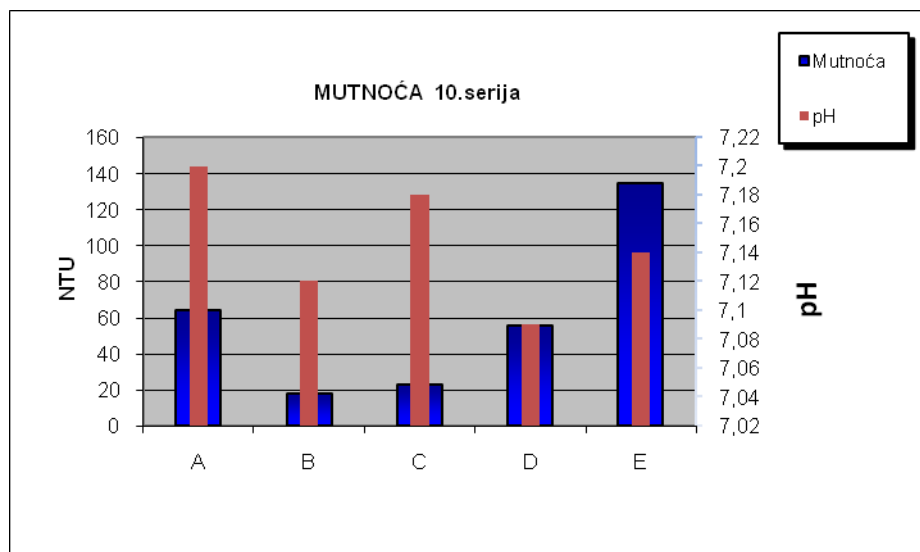
Slika 33. Serija 10 nakon taloženja

Mjerenje:

Mutnoća

Tablica 34. Rezultati mutnoće, pH-vrijednosti i temperature serije 10

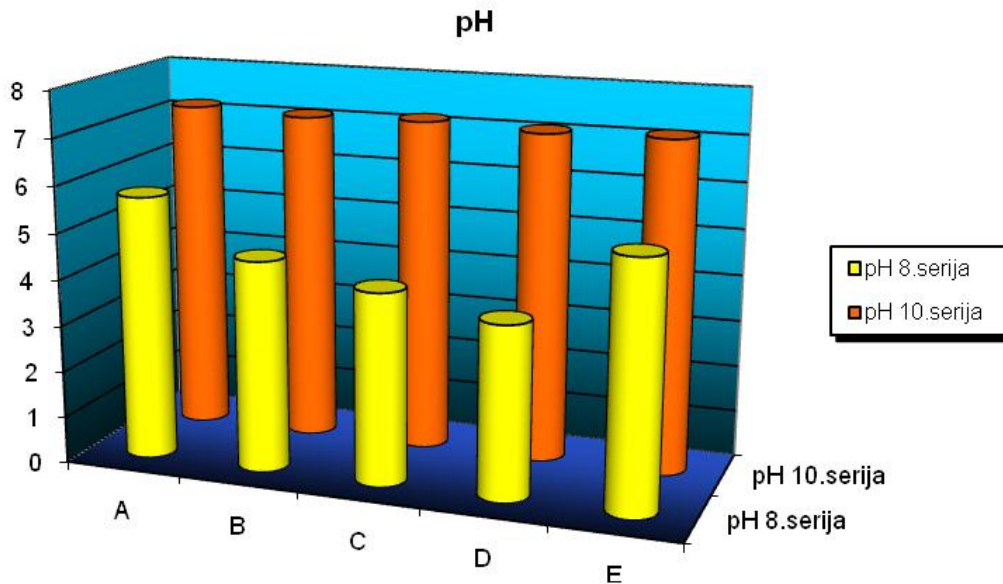
	Mutnoća	pH	°C
A	64,1	7,2	24,6
B	18	7,12	24,5
C	23	7,18	24,5
D	56	7,09	24,5
E	135	7,14	23,8



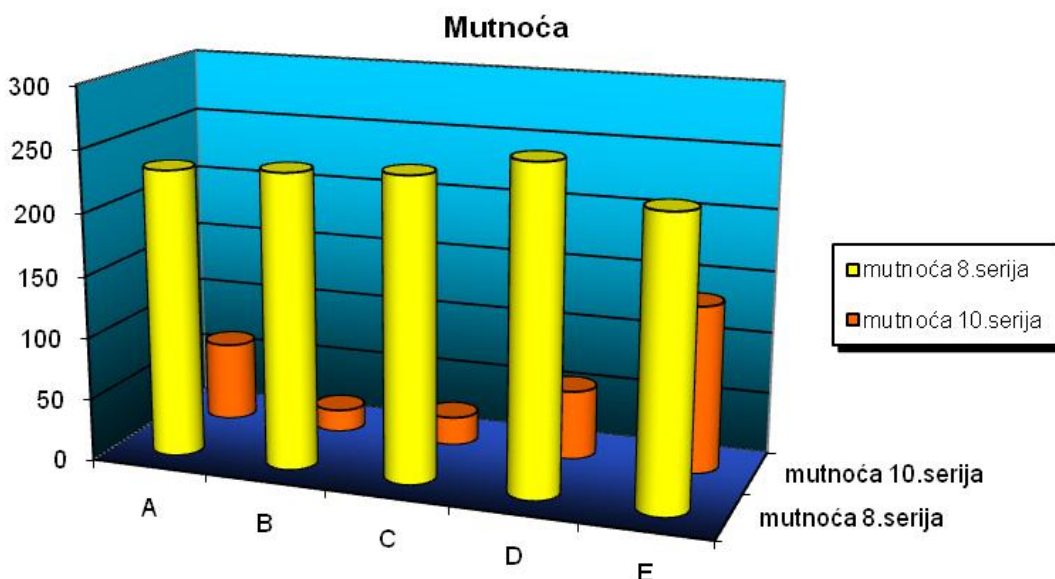
Dijagram 19. Prikaz mutnoće i pH-vrijednosti pri temperaturi =24<sup>±0,5</sup> °C

## 4.10.1 Usporedba 8. i 10. serije

Razlog podešavanja pH vrijednosti otopine na blago lužnato područje dodavanjem pufera povezan je sa zeta-potencijalom. Naime, optimalni zeta potencijal iznosi  $-5\text{mV}$  do  $+5\text{mV}$ . Dodavanjem pufera otopina je dovedena u područje oko  $-30\text{mV}$ . Procesom koagulacije, odnosno doziranjem željeznog klorida vrijednost pH pada jer nastaje HCl (klorovodična ili solna kiselina). Kako pH pada, tako pada i zeta-potencijal, koji je sada doveden u optimalno područje.[11]



Dijagram 20. Usporedba pH-vrijednosti



Dijagram 21. Usporedba mutnoće

#### 4.11 PRORAČUN SNAGE

Tijekom eksperimenta, snaga je očitana na voltmetru energy check 3000. Izmjerena snaga se odnosi na miješanje sve četiri posude ukupnog volumena 8L na jar-aparaturi.

Tablica 35. Prikaz utrošene snage tijekom miješanja

t [min]	o/min	P [W]	P <sub>zr</sub> [W]	ΔP [W]
0-3	140	19,4	15,7	3,7
3 - 18	30	15,4	12,4	3
18 - 43	-	-	-	-

P – snaga potrebna za miješanje

P<sub>zr</sub> – snaga vrtnje miješalice u zraku, tj. bez otpora otopine

$$G_{sr} = \sqrt{\frac{P_{sr}}{\mu V}}$$

G<sub>sr</sub> – prosječni gradijent brzine strujanja fluida (s<sup>-1</sup>)

P<sub>sr</sub> – prosječna snaga potrebna za miješanje

μ - dinamička viskoznost vode (8,95 × 10<sup>-4</sup> Pas na temperaturi oko 25 °C)

V – volumen posude (0,008 m<sup>3</sup>)

Gradijent brzine strujanja fluida vrlo je važan faktor kod utvrđivanja optimalne brzine miješanja pri flokulaciji. Koncept su razvili Camp i Stein 1943. godine zbog potrebe utvrđivanja miješanja u flokulacijskom bazenu. [5]

Koloidne čestice se sudaraju međusobno zbog gradijenta brzine koji je stvoren unutar fluida mehaničkim načinom (miješanjem).

Gradijent brzine strujanja fluida za vrijeme koagulacije:

$$G_{sr} = 1646 \text{ s}^{-1}$$

$$G_t = G_{ave} \times t_k$$

$$G_t = 1646 \text{ s}^{-1} \times 180 \text{ s} = 296300$$

Gradijent brzine strujanja fluida za vrijeme flokulacije:

$$G_{sr} = 1466 \text{ s}^{-1}$$

$$G_t = G_{ave} \times t_k$$

$$G_t = 1466 \text{ s}^{-1} \times 900 \text{ s} = 1319916$$

## 5. ZAKLJUČAK

Eksperimentalnim postupkom u deset serija utvrđeno je da je tehnološki postupak koagulacije i flokulacije prikladna metoda za uklanjanje bojila i pigmentata iz otpadnih voda.

Količina sredstva za koagulaciju nije proporcionalna smanjenju koncentracije bojila ili pigmentata. Povećanje doze koagulantata ne osigurava i veći učinak uklanjanja suspendiranih tvari u otpadnoj vodi.

Dodatkom pomoćnih tvari, kao npr. aktivnog ugljena u prahu, poboljšava se efekt taloženja, odnosno smanjuje se mutnoća otpadne vode. No kako se radi o skupoj tvari, potrebna je naknadna tehnološko ekonomska analiza opravdanosti takvog postupka.

Otopina congo-red bojila u vodovodnoj vodi daje bolje rezultate u odnosu na otopinu u demineraliziranoj vodi. Pretpostavka za takav rezultat je veći sadržaj otopljenih soli u vodovodnoj vodi koje bi mogle pomoći u stvaranju jezgara za flokulaciju.

Za pigment titanov dioksid, pravilan odabir pH vrijednosti bitno povećava učinak taloženja. Uz  $\text{pH} \approx 7$  primjećeno je znatno smanjenje mutnoće nakon dodatka  $\text{FeCl}_3$  i polielektrolita. Koncentracija pigmenta također utječe na stupanj taloženja, pa tako pri većim količinama dispergirano pigmenta titanovog dioksida (5g/10L) nije uočeno taloženje uz postupak neutralizacije pH vrijednosti i uz doziranje uobičajenih količina koagulantata.

Svako projektiranje sustava za koagulaciju i flokulaciju zahtijeva eksperimentalno utvrđivanje svih parametara, npr. volumen spremnika za doziranje i miješanje koagulantata, volumen spremnika za flokulaciju i taloženje, vrste sredstva za koagulaciju i flokulaciju, optimalne dozirne količine, trajanje miješanja i taloženja te količina unešene mehaničke energije za miješanje.

Ukupni efekt koji ovakva analiza može polučiti svakako će ovisiti o karakteru otpadne vode, ali u svakom slučaju je tehnološki opravdana. Da bi se postigla što veća kvaliteta obrade uz što manji utrošak kemikalija, potrebna je i ekonomska analiza sredstava za koagulaciju i flokulaciju.

## 6. LITERATURA

- [1] [http://www.malvern.de/LabGer/technology/zeta\\_potential/zeta\\_potential\\_LDE.htm](http://www.malvern.de/LabGer/technology/zeta_potential/zeta_potential_LDE.htm) , lipanj 2010.
- [2] <http://www.afssociety.org/education/0609oneminute.html> , lipanj, 2010.
- [3] H.Juretić, N.Ružinski, S. Dobrović, Pojave na graničnim površinama u koloidnim sustavima i njihov utjecaj na proces bistrenja vode, Radovi, FSB, 24 (2000); 63-74
- [4] [http://www.fsb.hr/NewsUpload/01\\_03\\_2005\\_3094\\_podl\\_VGM\\_voda\\_2004\\_05.pdf](http://www.fsb.hr/NewsUpload/01_03_2005_3094_podl_VGM_voda_2004_05.pdf), lipanj 2010.
- [5] S.Parsons, B.Jefferson, Introduction to potable water treatment processes, Blackwell Publishing Ltd, Oxford, 2006.
- [6] <http://www.tu-cottbus.de/zal/zal/prakt/uvvisspe.htm>, srpanj, 2010.
- [7] <http://www.answers.com/topic/beer-lambert-law>, srpanj, 2010.
- [8] Degremont, Water Treatment Handbook, 6th edition, 1991.
- [9] D.Ljubas, N.Ružinski, S.Dobrović, Utjecaj redoslijeda primjene koagulanta i adsorbenta na smanjenje sadržaja prirodnih organskih tvari u jezerskoj vodi, Strojarstvo, 41 (1999), 5,6 ; 191-200.
- [10] N.Mandzy, E.Grulke, T.Druffel, Breakage of  $\text{TiO}_2$  agglomerates in electrostatically stabilized aqueous dispersions, Powder Technology 160 (2005) 121 - 126
- [11] Edward E. Baruth (Ed), Water Treatment Plant Design, Mcgraw – Hill, New York, London, 2005.