



Sanna Ahlqvist

Kemiallisen jätevedenpuhdistuksen saostuskemikaalien annostuksen optimointi häiriötilanteessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

6.11.2024

Tiivistelmä

Tekijä:	Sanna Ahlqvist
Otsikko:	Kemiallisen jätevedenpuhdistuksen saostuskemikaalien annostuksen optimointi häiriötilanteessa
Sivumäärä:	31 sivua + 1 liite
Aika:	6.11.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Bio- ja kemiantekniikka
Suuntautumisvaihtoehto:	Kemiantekniikka
Ohjaajat:	Käyttömestari Salla-Mari Leskinen, (Sappi) Lehtori Timo Seuranen, (Metropolia AMK)

Tämän työn tavoitteena oli suunnitella ja koestaa työtapaa, jolla Sappi Kirkniemessä pystytään tulevaisuudessa optimoimaan kemiallisessa jätevedenpuhdistuksessa käytettyjen saostuskemikaalien annostelut puhdistamon häiriötilanteessa. Työtavasta kirjoitettiin työohje tehtaan laboratoriolle. Tutkittavat saostuskemikaalit olivat jätevedenpuhdistamolla käytössä olevat polyalumiinikloridi sekä kationinen polymeeri. Kationisen polymeerin lisäksi päädyttiin myös koestamaan yhdellä annosmäärällä anionista polymeeriä.

Työ suoritettiin Sappi Kirkniemen jätevedenpuhdistamolla virtaavalle jätevedelle käyttäen Kemiran Flocculator 2000 -laitetta. Jätevesinäytteelle sekä flokkulaatiotyön jälkeen kerätyille kirkastenäytteille suoritettiin samat analyysit. Analyysit, joita tässä työssä tehtiin, olivat jäteveden pH:n, sameuden, COD:n, fosforipitoisuuden sekä kiintoaineen määritykset. Näiden analyysien lisäksi kirkastenäytteille suoritettiin jälkisaostustutkimus. Jälkisaostusta tarkastellessa kirkastenäytteet jätettiin huoneenlämpöön kahdeksi vuorokaudeksi, minkä jälkeen kiintoaine määritettiin.

Flokkulaatiotyö oli onnistunut ja työtapaa helposti uusittavissa Sappi Kirkniemen laboratoriossa. Puhdistetun jätevesinäytteen analyysituloksia vertailtiin puhdistamattoman jätevesinäytteen tuloksiin. Reduktio sameudessa, kiintoaineen määrässä sekä kokonaisfosforin pitoisuudessa olivat 90 %:n tasolla verrattuna puhdistamattomaan jätevesinäytteeseen. COD:n pitoisuudessa reduktio oli noin 55 %. Jäteveden pH sekä liuenneen fosforin pitoisuus eivät muuttuneet paljoa.

Avainsanat: flokkulaatio, koagulaatio, kemiallinen puhdistus, jätevedenpuhdistus

Abstract

Author: Sanna Ahlqvist
Title: Optimization of Coagulant and Flocculant Dosages in Chemical Wastewater Treatment During Malfunction
Number of Pages: 31 pages + 1 appendix
Date: 6 November 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Bio and Chemical Engineering
Specialisation option: Chemical Engineering
Instructors: Salla-Mari Leskinen, Operations Supervisor (Sappi)
Timo Seuranen, Senior Lecturer (Metropolia University of applied sciences)

The purpose of this thesis was to design and test a testing method for Sappi Kirkniemi where they can in future optimize the coagulant and flocculant dosages used in chemical wastewater treatment during malfunction. A work instruction on this testing method was written for the laboratory staff. The coagulant was polyaluminium chloride. The flocculants tested in this method were cationic and anionic polymers.

The flocculation was performed using Kemira's Flocculator 2000 machine with Sappi Kirkniemi's wastewater. The selected analyses for the treated wastewater were pH, turbidity, COD, phosphorous content and solids. The analyses were also performed for the nontreated wastewater. In addition, it was tested whether additional precipitation was being formed in the wastewater after treating it.

The flocculation was successful, and the designed method is easily reproducible in Sappi Kirkniemi laboratory. The analysis findings of treated wastewater were compared to the findings of nontreated wastewater. The flocculation reduced turbidity, solids and total phosphorous content around 90 %. COD content was reduced by around 55 %. The pH and dissolved phosphorous content of the wastewater did not decrease considerably after being treated.

Keywords: flocculation, coagulation, chemical treatment, wastewater treatment

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Sappi Kirkniemi	1
3	Koagulaatio ja flokkulaatio	3
4	Paperiteollisuuden jäteveden ominaisuuksia	3
4.1	Kiintoaine	4
4.2	Fosforipitoisuus	4
4.3	COD	5
4.4	pH	5
4.5	Sameus	5
5	Kokeellinen osa	6
5.1	Näyte-erien ja -pisteiden valinta	6
5.2	Polyalumiinikloridin ja polymeerin laimennos- ja annostelulaskut	8
5.3	Flokkulaatiotyön vaiheet	10
5.4	Tehdyt mittaukset	15
5.4.1	Fosforipitoisuus	15
5.4.2	COD	15
5.4.3	pH	16
5.4.4	Sameus	16
5.4.5	Kiintoaine	16
5.4.6	Jälkisaostus	17
5.4.7	Anioninen polymeeri	17
6	Tulokset	17
6.1	Fosforipitoisuus	18
6.2	COD	20
6.3	pH	21
6.4	Sameus	22
6.5	Kiintoaine	22
6.6	Jälkisaostus	24
6.7	Anioninen polymeeri	24
7	Tulosten tarkastelu	25

8	Pohdintaa	28
	Lähteet	30
	Liite 1. Flokkulaatiotyön tulokset	32

1 Johdanto

Tämän työn tavoitteena oli luoda paperitehtaan laboratoriolle testaussuunnitelma, jossa optimoidaan jäteveden kemialliseen puhdistukseen käytettävien saostuskemikaalien annostelu normaalista poikkeavassa tilanteessa. Työn pohjalta myös kirjoitettiin työohje. Kyseisessä poikkeavassa tilanteessa kemialliseen puhdistukseen tuleva jätevesivirtaus on normaaliin tilanteeseen verrattuna likaisempaa häiriötilanteen vuoksi. Työn toimeksiantaja oli Sappi Kirkniemen paperitehdas.

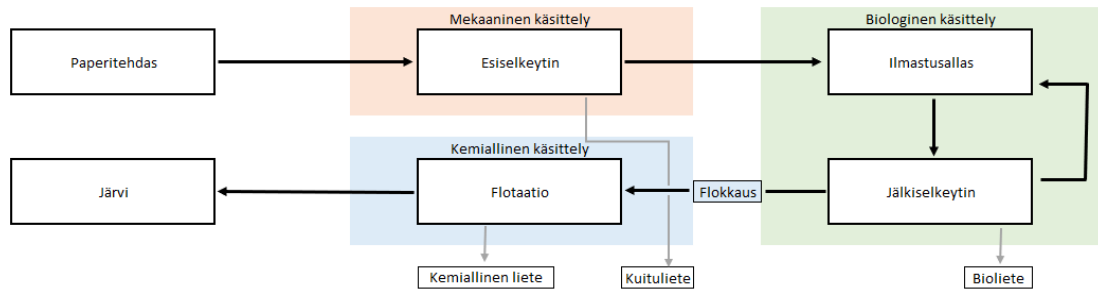
Tämä työ suoritettiin, jotta tulevaisuudessa häiriötilanteen sattuessa ongelman voi ratkaista paperitehtaan oman laboratorion henkilökunta, ilman ulkopuolisen tahon tarvetta. Häiriötilanteessa, jossa jäteveden puhdistuksen biologisessa käsittelyssä tapahtuu häiriötä, kuormittuu puhdistuksen seuraava osio, kemiallinen käsittely.

Jäteveden kemiallinen saostus ja kiintoaineen erotus tehtiin laboratorio-olosuhteissa pilottina. Flokkaus suoritettiin Kemiran Flocculator 2000 -laitteella, jonka sekoitusohjelmointi asetettiin vastaamaan jäteveden kemiallisen puhdistuksen osiota tehtaan puhdistamolla. Flotaatiota simuloitiin antamalla jätevesinäytteen laskeutua 15 minuuttia flokkauksen jälkeen. Tämän jälkeen näytteestä pipetoi-
tiin talteen kirkastetta, joka kuvasti puhdistetun jäteveden päästöä järveen. Kirkasteesta analysoitiin pH, sameus, kiintoaineen määrä, kemiallinen hapenkulutus (COD) ja liuenneen fosforin sekä kokonaisfosforin määrä. Kirkastetta jätettiin myös huoneenlämpöön kahdeksi vuorokaudeksi, sillä haluttiin tutkia, muodostuuko kirkasteessa jälkisaostumista.

2 Sappi Kirkniemi

Sappi Kirkniemen tehdas on Länsi-Uudellamaalla Lohjanjärven rannalla sijaitseva paperitehdas. Sappi Kirkniemen tehtaalla on oma prosessijätevedenpuh-

distamo, jossa prosessijätevedet puhdistetaan ennen laskua Lohjanjärveen, kuten kuvassa 1 on esitettyä. (Leskinen 2024.)



Kuva 1. Pelkistetty kaavio Sappi Kirkniemen tehtaan jätevedenpuhdistamosta.

Sappi Kirkniemen jätevedenpuhdistamolla jätevesi käsitellään ensin välppäämössä, jossa vedestä erotellaan kaikki suurempi kiintoaine pois. Seuraavana vuorossa on esiselkeytin, jossa jätevedestä erottuvat vettä tiheimät kiintoaineet painovoiman avulla. Painava kiintoaine laskeutuu esiselkeyttimen pohjalle, jossa pohjaa kaapiva laahain kerää sen talteen. Jätevesi ylivuotaa selkeyttimen reunojen yli jatkaakseen seuraavaan käsittelyyn. (Leskinen 2024; Tcho-banoglous ym. 2003: 361–363.) Seuraavana jätevesi virtaa ilmastusaltaaseen, jossa siihen liuenneet orgaaniset aineet hajotetaan mikro-organismeilla. Ilmastusaltaaseen virtaavaan jäteveteen sekoitetaan ilmaa, ravinteita ja palautusliete. Viivyttyään tietyn ajan ilmastusaltaassa ilmastettu jätevesi siirretään jälkiselkeyttimeen. Jälkiselkeyttimessä ilmastuksessa syntynyt bioliete laskeutuu painovoiman avulla pohjalle, josta se kaavitaan talteen laahaimella esiselkeyttimen tavoin ja palautetaan ilmastukseen. (Leskinen 2024; Sustarsic 2009.) Jälkiselkeyttimen käsitelty jätevesi jatkaa seuraavaksi flotaatioaltaaseen flokkauksen kautta. Flokkauksessa virtaavaa jätevettä pikasekoitetaan lyhyen aikaa ja samanaikaisesti joukkoon sekoitetaan koagulantti, joka muodostaa flokit. Sappi Kirkniemen tehtaan jätevedenpuhdistamolla koagulanttina käytetään polyalumiinikloridia (PAC). Ennen flotaatioaltaasta jäteveteen sekoitetaan myös polymeeri, joka vahvistaa muodostuneita flokkeja. Flotaatioaltaalla jäteveteen syötetään dispersiovetä, jonka sisältämät ilmakuplat nostattavat saostuskemikaalien ja sekoitusten avulla muodostuneet flokit pinnalle, josta ne kerätään talteen pinta-pitkin kulkevan kauhan avulla. (Leskinen 2024; Hendricks 2011: 163–164.)

Käsitelty jätevesi virtaa flotaatioaltaasta puhdistettuna Lohjanjärveen (Leskinen 2024).

3 Koagulaatio ja flokkulaatio

Koagulaatiota ja flokkulaatiota käytetään jätevedenpuhdistuksessa, kun vedessä olevien poistettavien pienien kiintoaineiden erottelu luonnollisilla menetelmillä, kuten laskeutuksella, on liian hidasta. Jätevedessä olevat pienet kiintoainepartikkelit ovat pinnaltaan negatiivisesti varautuneita, mikä johdosta ne hylkivät toisiaan. Tämän vuoksi partikkelit eivät pääse törmäämään toisiinsa aiheuttaen suurempia kiintoainekasaantumia eli flokkeja. (Nalco Water 2018.)

Koagulantti on kemikaali, yleisesti alumiini- tai rautaioni, joka lisätään jäteveteen neutraloimaan kiintoaineiden sähkövarauksen. Käytössä on myös synteettisiä koagulantteja, kuten polyalumiinikloridi ja polyalumiinisulfaatti. Koagulantti lisätään jäteveteen sekoituksen aikana. Sekoitus antaa kiintoainepartikkeleille suuremman mahdollisuuden törmätä toisiinsa, mikä johtaa flokkien muodostumiseen. (Nalco Water 2018.)

Partikkeleiden törmäykset toisiinsa aiheuttaen flokkien muodostumista kutsutaan flokkulaatioksi. Tavoitteena flokkulaatiossa on muodostaa niin suuria kiintoainekasaantumisia, että ne pystyvät laskeutumaan. Flokkulaation aikana muodostuneet flokit voivat toisinaan kuitenkin olla tavoiteltua pienempiä. Tällöin käytetään apuna toista kemikaalia, flokkulanttia, jonka tehtävänä on auttaa flokkien koon kasvussa. Flokkulantteina käytetään yleensä ison molekyyli­massan omaavia polymeerejä, joiden varaus voi olla kationinen, anioninen tai nonioninen. Lisäys suoritetaan hitaan sekoituksen aikana. (Nalco Water 2018.)

4 Paperiteollisuuden jäteveden ominaisuuksia

Jäteveden laatu­parametreja tutkitaan laboratorio­analyysien ja silmämääräisten havaintojen avulla. Jätevesien ominaisuudet voidaan jakaa fysikaalisiin, kemial-

lisiin ja biologisiin. (Kumpumäki 2023.) Erilaisia tutkittavia jäteveden ominaisuuksia ovat esimerkiksi veden sameus ja väri, pH, kiintoainemäärä, sähkönjohdavuus sekä fosforin ja typen määrä (Tchobanoglous ym. 2003). Tässä luvussa käydään läpi ominaisuudet, joita analysoitiin työn kokeellisessa osiossa.

4.1 Kiintoaine

Jätevesien kiintoaine kuuluu fysikaalisiin ominaisuuksiin, jonka määriteltäviä parametrejä ovat määrä sekä laatu. Kiintoaine voi jätevedessä ilmetä eri olomuodoissa: kelluvana, laskeutuvana, kolloidisena sekä liuenneena. (Kumpumäki 2023.) Laskeutuvat kiintoaineet ovat kooltaan yleisesti suurempia kuin 10 µm. Kolloidiset kiintoaineet ovat pienempiä kuin 1 µm. (Nalco Water 2018.) Jäteveden kiintoaineen kokonaismäärä voidaan selvittää haihuttamalla näytteestä vesi pois ja punnitsemalla jäljelle jääneen kiintoaineen paino. Kokonaiskiintoaine jakautuu kahteen ryhmään, jotka ovat suspendoitunut ja liennut kiintoaine. Suspendoitunut kiintoaine voidaan määrittää suodattamalla jätevesi noin 0,45–2,0 µm:n huokoiskokoisen suodattimen läpi ja punnitsemalla suodatinpaperille jääneen kiintoaineen paino. Suspendoituneen kiintoaineen määrittäminen on yleinen analyysi, jolla tarkkaillaan jätevedenpuhdistamon toimintaa säännöllisesti. Liennut kiintoaine vastaavasti kuvastaa edellä mainitun suodattimen läpäisevää kiintoainesta. (Leppisaari 2017.) Kiintoaineen vaikutus luonnon vesistöön huomataan veden sameutumisena, pohjan liettymisenä ja vesistöjen mataloitumisena (Knowpap 2024).

4.2 Fosforipitoisuus

Luonnossa fosfori on levien ja muiden biologisten organismien kasvussa välttämätön. Luontoon puhdistetun jäteveden kautta päästettävän fosforin määrää halutaan säännöstellä, sillä se aiheuttaa vesistöjen rehevöitymistä mahdollistamalla levien kasvua vesistöissä. (Tchobanoglous ym 2003: 63–64.)

4.3 COD

Veden kemiallisella hapenkulutuksella (COD, Chemical Oxygen Demand) voidaan määrittää tutkittavassa näytteessä olevien orgaanisten aineiden määrä. COD kuvaa hapen määrää, jonka vedessä oleva orgaaninen aines saa kulutettua. COD-analyysissä tulos ilmoitetaan milligrammoina kulutettua happea litraa vettä kohden. (Tabell 2023.) COD-tuloksen kasvaessa vesistöön pääsevän orgaanisen aineksen määrä kasvaa (Leppisaari 2017). Ympäristön vesistöjen bakteerit hajottavat jäteveden mukana tulleita orgaanisia aineita käyttäen vesistöön liuennutta happea. Tämä johtaa vesistön huonontuneeseen happitilanteeseen, jonka myötä voi aiheutua esimerkiksi kalakuolemia. (Knowpap 2024.)

4.4 pH

Jätevedenpuhdistamolla käsitellyn jäteveden pH:n tulee yleensä olla 6,5–8,5. Mikäli jäteveden pH:ta ei säädetä sallittuihin rajoihin ennen luontoon laskua, se voi muuttaa luonnon veden pH:ta. Jätevesi, jolla on todella matala pH, on myös vaikeaa käsitellä biologisella menetelmällä, joten myös puhdistusprosessin puolesta säätö voi olla välillä tarvittavaa. (Tchobanoglous ym. 2003: 57–58.)

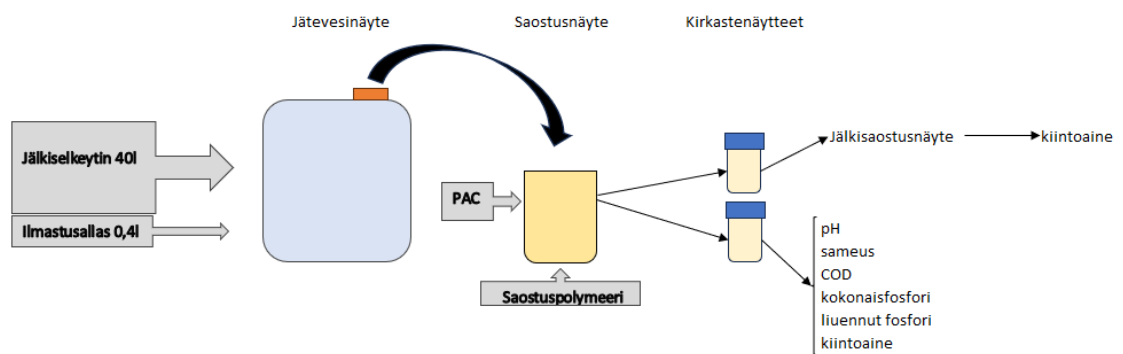
4.5 Sameus

Sameus tarkoittaa jäteveden valonläpäisevyyttä, sillä jäteveden kolloidinen materiaali joko hajottaa tai absorboi valoa. Rungas kolloidinen materiaali jätevedessä nostaa sameutta. Sameutta määriteltäessä on havaittu ongelmaksi tuloksien vaihtelevuus riippuen analyysissä käytetyn valon lähteestä. Tämän takia saadun tuloksen vertailu kirjallisuusarvojen kanssa on lähes mahdotonta. Analyysiä tekevä tehdas voi tosin vertailla omia saamiaan tuloksia keskenään ja tarkastella puhdistamon suorituskykyä. (Tchobanoglous ym. 2003: 51–52.)

5 Kokeellinen osa

Työtä varten kerättiin talteen Sappi Kirkniemen jätevedenpuhdistamon jälkiselkeyttimeltä virtaavaa jätevettä noin 40 litraa. Tähän lisättiin ilmastusaltaan jätevettä noin 0,4 litraa, sillä pelkästään jälkiselkeyttimeltä tuleva jätevesi oli työn suorittamisen aikaan hyvin puhdasta. Ilmastusaltaan jätevedellä nostettiin näytteen kiintoainepitoisuutta, jotta saatiin jäljitelyä mahdollista häiriötilannetta, jossa jälkiselkeytin ei toimi halutulla tavalla. Simuloidussa häiriötilanteessa jälkiselkeytin päästää normaalitilanteeseen verrattuna enemmän kiintoainetta jätevettä läpi. Jätevesinäyte varastoitii jääkaapissa, kunnes flokkulaatiotyö aloitettiin, jolloin jätevesinäyte temperoitiin 30 °C:seen.

Jätevesinäytettä käsiteltiin ja tarkasteltiin useassa eri kohdassa työtä. Näytteet nimettiin työkohdan mukaan, kuten kuvassa 2 on esitetty. Alkuperäinen kemikaaleilla käsittelemätön näyte nimettiin jätevesinäytteeksi. Saostusnäytteen laskeutuksen jälkeen kirkasteesta pipetoitiin kirkastenäytteet, joista jälkisaostusta varten kerätty kirkastenäyte nimettiin vielä tarkemmin jälkisaostusnäytteeksi.



Kuva 2. Pelkistetty kaaviokuva flokkulaatiotyön vaiheista ja niiden vaikutuksista näytteen nimeämiseen.

5.1 Näyte-erien ja -pisteiden valinta

Flokkulaatiotyössä käytettäviä kemikaaleja oli kaksi, joista molempien annoste- luissa haluttiin vertailla useampaa pistettä. Tämän vuoksi kokeiden jakaminen

näyte-eriin, jotka sisälsivät useamman näytepisteen, tuntui parhaimmalta valinnalta. Polyalumiinikloridin annosmääräksi valittiin 20 ppm, 50 ppm, 100 ppm, 200 ppm sekä 300 ppm. Polymeerin annosmääräksi valittiin 1 ppm, 2 ppm, 3 ppm sekä 4 ppm. Näiden kemikaaliannoksien lisäksi mitattiin myös nollanäyte, jossa ei ollut käytössä kumpikaan tutkittavista kemikaaleista.

Kemiran Flocculator 2000 -flokkauslaitteella pystyi sekoittamaan kuutta näytettä samanaikaisesti. Näyte-erät nimettiin numeroilla 100, 200, 300 ja 400, joissa polymeerin annosmäärä kasvoi näyte-erän numeron kasvaessa (taulukko 1).

Taulukko 1. Polymeerin annostelumäärien numeroinnit näyte-erissä.

Polymeerin määrä näyte-erässä	
100	1 ppm
200	2 ppm
300	3 ppm
400	4 ppm

Näyte-erien sisältävät näytepisteet nimettiin numeroilla 1–6. Ensimmäinen näytepiste vastasi nollanäytettä ja loput vastasivat PAC-annosmääriä, kuten taulukossa 2 on esitetty.

Taulukko 2. Polyalumiinikloridin annostelumäärien numeroinnit näytepisteissä.

PAC-määrä näytteessä	
1	nollanäyte
2	20 ppm
3	50 ppm
4	100 ppm
5	200 ppm
6	300 ppm

5.2 Polyalumiinikloridin ja polymeerin laimennos- ja annostelulaskut

Laimennettaessa väkevämpää liuosta laimeammaksi käytettiin laimennoslaskujen kaavaa (kaava 1). Kyseisessä kaavassa V_1 ja c_1 kuvaavat yhden liuoksen tilavuutta ja konsentraatiota vastaavasti. Yhtäläisesti V_2 ja c_2 kuvaavat toisen laimennoksessa käytettävän liuoksen tilavuutta ja konsentraatiota vastaavasti.

$$V_1 * c_1 = V_2 * c_2 \quad (1)$$

Laimentamattoman PAC:in vahvuus oli 1,35 kg/l. Laimentamattomana lisättävän PAC:in pienin annos jätevesinäytteeseen olisi 14,8 µl.

$$1,35 \frac{kg}{l} * x = 20 \times 10^{-6} \frac{kg}{l} * 1 l$$

$$x = \frac{20 \times 10^{-6} kg}{1,35 \frac{kg}{l}}$$

$$x = 1,48 \times 10^{-5} l \approx 14,8 \mu l$$

Päädettiin laimentamaan PAC:ia niin, että pienin pipetoitava annos oli 1 ml. Laskettiin vahvuus PAC:lle käyttäen kaavaa 1, kun näytepisteeseen 02 (20 ppm) pipetoitiin 1 ml kemikaalia.

$$x * 0,001 l = 20 \frac{mg}{l} * 1 l$$

$$x = \frac{20 mg}{0,001 l} = 0,02 \frac{kg}{l}$$

PAC:in laimennetuksi vahvuudeksi saatiin 0,02 kg/l. Seuraavaksi laskettiin kaavalla 1 tarvittava annos laimentamattomasta PAC:ista, jotta päästiin laimennettuun

vahvuuteen. Laimennetun PAC:in tilavuudeksi valittiin 200 ml, jotta kaikkiin neljään näyte-erään pystyttiin käyttämään samaa laimennosta.

$$1,35 \frac{kg}{l} * x = 0,02 \frac{kg}{l} * 0,2 l$$

$$x = 0,00296 l \approx 3 ml$$

Laimennettu PAC valmistettiin pipetoimalla 3 ml laimentamatonta PAC:ia 200 ml:n mittapulloon ja lisäämällä pullon viivaan asti ionivaihdettua vettä. Laimennosta sekoitettiin kääntelemällä pulloa ylösalaisin muutaman kerran.

Laimennetun PAC:in pipetoitavat määrät lopuille näytepisteille laskettiin käyttäen kaavaa 1. Pipetoitavien määrien tulokset ovat esiteltynä taulukossa 3.

Taulukko 3. Näytepisteisiin pipetoitavat polyalumiinikloridin määrät (ml).

20 ppm	1 ml
50 ppm	2,5 ml
100 ppm	5 ml
200 ppm	10 ml
300 ppm	15 ml

Polymeeri laimennettiin ensin kemikaalin tarjoajan ohjeiden mukaan varastoliuokseksi, jonka vahvuus oli 5 mg/ml. Polymeerin varastoliuosta laimennettiin vielä lisää, jotta pipetoitavat annokset näytteisiin olisivat helpommin käsiteltävissä. Polymeerin laimennetun käyttöliuoksen vahvuudeksi valittiin 1 mg/ml. Käyttöliuos valmistettiin 100 ml:n mittapulloon. Laimennus varastoliuoksesta käyttöliuokseksi laskettiin kaavalla 1.

$$5 \frac{mg}{ml} * x = 1 \frac{mg}{ml} * 100 ml$$

$$x = 20 ml$$

Polymeerin käyttöliuos valmistettiin mittaamalla mittalasilla 20 ml varastoliuoksen polymeeriä 100 ml:n mittapulloon ja täyttämällä mittapullo merkkiin asti ionivaihdetulla vedellä. Käyttöliuos sekoitettiin kääntelemällä pulloa muutaman kerran ylösalaisin.

Pipetoitavien annoksien määrät näyte-eriin laskettiin käyttäen kaavaa 1. Lasketut tulokset ovat esiteltynä taulukossa 4.

Taulukko 4. Näyte-eriin pipetoitavien polymeeriannoksien määrät (ml).

1 ppm	1 ml
2 ppm	2 ml
3 ppm	3 ml
4 ppm	4 ml

5.3 Flokkulaatiotyön vaiheet

Temperoitu jätevesinäyte mitattiin 1 000 ml:n mittalasilla korkeaan yhden litran dekantterilasiin. Jätevesinäyte oli käsittelemättömänä väriltään keltaisen ruskeaa ja sisälsi runsaasti leijailevia heikkoja kiintoainehippusia (kuva 3). Näyterän näytepisteitä vastaava määrä huoneenlämpöistä laimennettua polyaluminiokloridia pipetoitiin jätevesinäytteisiin.



Kuva 3. Jätevesinäyte ennen sen käsittelyä.

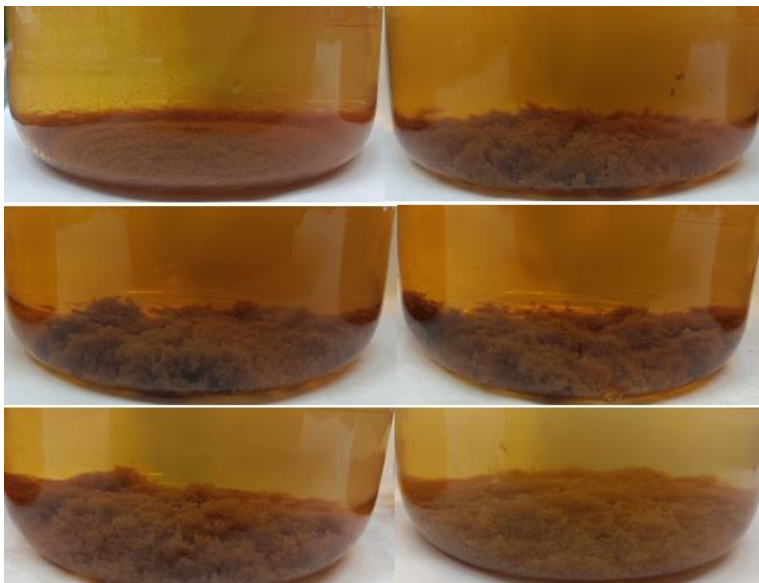
Flokkulaattorilla näytettä pikasekoitettiin 30 sekuntia sekoitusnopeudella 400 rpm. Pikasekoituksen jälkeen saostusnäytteeseen lisättiin kationista saostuspolymeeriä näyte-erää vastaava määrä automaattipipeillä ja hämmennettiin sekoitusnopeudella 40 rpm viiden minuutin ajan.

Saostusnäytteistä yksikään nollanäytteistä (numeroon 01 loppuvat) ei muodostanut flokkulaatio-ohjelman sekoituksien aikana flokkeja. Näyte-erien 100 ja 200 saostuskemikaaleja sisältävät saostusnäytteet muodostivat sekoituksien aikana heikosti tai ei ollenkaan sakkaa, jättäen kirkasteeseen leijaillemaan pieniä kiintoainehiukkasia. Näyte-erän 300 saostusnäytteet alkoivat muodostamaan näytepisteillä 02–04 jo sekoituksien aikana isomman kokoisia ja vahvempia flokkeja (kuva 4). Näyte-erällä 400 kaikki kemikaaleilla käsitellyt näytepisteet muodostivat sekoituksien aikana isoja vahvoja flokkeja.



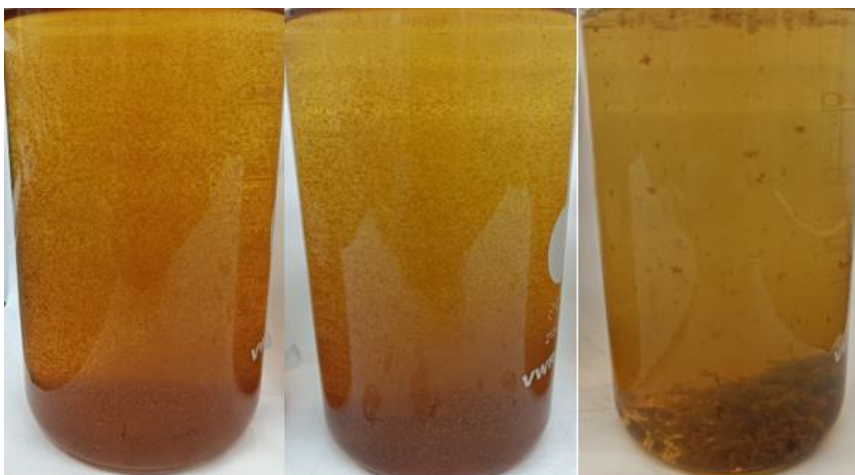
Kuva 4. Näytteet 301, 303 ja 306 laskeutuksen alussa.

Sekoituksien jälkeen saostusnäytteet siirrettiin sivuun laskeutusta varten. Näyteerän 100 näytteisiin muodostui laskeutuksen aikana heikot sakat, joissa flokit olivat pieniä. Saostusnäytteiden nollanäytteisiin muodostui jokaisessa näyteerässä heikko ja pieni flokkinen sakka. Näyteerällä 200 saostuskemikaaleja sisältäviin saostusnäytteisiin muodostui aiempaa näyteerää isompia flokkeja sakkaan. Kyseisen näyteerän sisällä isoimmat flokit muodostuivat näytepisteisiin 05 ja 06. Näyteerissä 300 ja 400 kaikkiin saostuskemikaaleja sisältäviin saostusnäytteiden sakkoihin muodostui isoja ja vahvan oloisia flokkeja (kuva 5). Laskeutuksen aika oli 15 minuuttia, jonka jälkeen saostusnäytteen kirkastetta kerättiin kahteen näytepurkkiin talteen. Kirkastenäyte pipetoitiin noin 3 cm saostusnäytteen nestepinnan alapuolelta varovasti, ettei laskeutunut sakka lähtisi liikkumaan ja sekoittuisi kirkasteeseen.



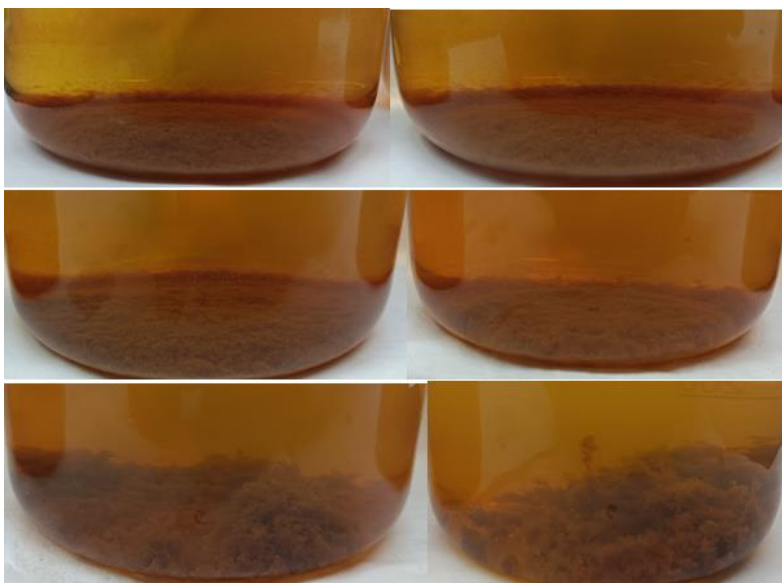
Kuva 5. Näyte-erän 300 näytepisteille muodostunut sakka laskeutuksen jälkeen. Näytepisteet ylärivillä ovat vasemmalla 301 ja oikealla 302, keskellä vasemmalla 303 ja oikealla 304 sekä alhaalla vasemmalla 305 ja oikealla 306.

Kun flokkulaatiotyö sisältäen kationista saostuspolymeeriä oli suoritettu valmiiksi ja tehtävät analyysit mitattu, analysoitiin saatuja tuloksia. Tuloksien perusteella valikoitiin polymeerimäärä 3 ppm anionista polymeeriä sisältävään flokkulaatiotyöhön. Anioninen flokkulaatiotyö suoritettiin täysin samalla tavalla kuin kationista polymeeriä käytettäessä. Ainoina eroina olivat polymeerin varauksen ero sekä vain yhden näyte-erän suoritus, sillä oletuksena ennen työn suoritusta oli, että anioninen polymeeri suoriutuu puhdistuksessa kationista polymeeriä heikommin. Anioninen polymeeri aiheutti flokkien muodostumista sekoitusten aikana vain isoilla PAC-annosmäärillä, kuten kuvassa 6 näkyy.



Kuva 6. Anionista polymeeriä käyttävän näyte-erän pisteet 01, 03 ja 06 laskeutuksen alussa vastaavasti.

Anionisen polymeerin näytepisteet 05 ja 06 olivat ainoat, jotka aiheuttivat kunollisen sakan muodostumista laskeutuksen aikana (kuva 7). Näytepisteistä ensimmäinen sekä 05 ja 06 valikoitiin analysoitaviksi, sillä loput olivat huonosti laskeutuneita ja edelleen likaisia.



Kuva 7. Laskeutuksen jälkeen muodostuneet sakat anionista polymeeriä käytetäessä. Näytepisteet ylärivillä ovat vasemmalla 01 ja oikealla 02, keskellä vasemmalla 03 ja oikealla 04 sekä alhaalla vasemmalla 05 ja oikealla 06.

5.4 Tehdyt mittaukset

Kaikki kirkasteille tehdyt mittaukset tehtiin Sappi Kirkniemen laboratoriossa ja niihin käytettiin laboratorion voimassa olevia työohjeita. Jätevesinäytteelle suoritettiin samat analyysit kuin kirkasteille, jotta flokkulaatiotyön tuloksia pystyttiin vertailemaan jätevesinäytteen kanssa.

Yhdestä kerätyistä kirkastenäytteistä mitattiin pH, sameus, COD, kokonais- ja liuenut fosforin määrä sekä kiintoaine. Toinen kirkastenäyte jätettiin huoneenlämpöön noin kahdeksi vuorokaudeksi jälkisaostumaan, minkä jälkeen analysoitiin kiintoaine.

5.4.1 Fosforipitoisuus

Kirkastenäytteestä määriteltiin kokonaisfosforin ja liunneen kokonaisfosforin määrä Hach Langen menetelmällä. Kokonaisfosforin määrittämistä varten analysoitavaa näytettä tuli käsitellä happamissa olosuhteissa peroksidisulfaattihajotuksella. Tällöin näytteessä oleva kaikki fosfori muuttui reaktiiviseen muotoon eli ortofosfaatiksi. Liunneen kokonaisfosforin määrittämistä varten näytettä suodatettiin kalvosuodattimen läpi ennen hajotuksen suorittamista. Hajotus suoritettiin HT200S-kuivahauteella. Kirkastenäytteen ortofosfaatti muodostaa sinisen kompleksiyhdisteen analyysissä käytettävien antimoni- ja molybdaatti-ionien kanssa. Väriin absorbanssi mitattiin Hach Lange DR5000 -spektrofotometrillä. Kirkastenäytteen tulos luettiin laiteesta, joka antoi sen muodossa mg/l. (Sappi Kirkniemi 2017.)

5.4.2 COD

Kemiallinen hapenkulutus (COD, Chemical Oxygen Demand) määritettiin kirkastenäytteestä dikromaattihapetuksella Hach Langen menetelmällä. Analyysissä käytettävä kaliumdikromaatti hapettaa näytteessä olevaa orgaanista ainetta rikkihappoisessa liuoksessa käyttäen hopeasulfaattia katalysaattorina. Analyysikemikaalien kanssa sekoitettu kirkastenäyte käsiteltiin HT200S-kuivahauteella, jolloin näytteen reaktio muodostaa näytteelle vihreän värin. Näytteen

väri mitattiin Hach Lange DR5000 -spektrofotometrillä, josta näytteen tulos luettiin muodossa mg/l. (Sappi Kirkniemi 2018.)

5.4.3 pH

Kirkastenäytteen pH:n määrittämistä varten näytettä ei tarvinnut esikäsitellä. Hyvin sekoitettuun näytteeseen asetettiin pH-mittarin elektrodi, joka lähetti mittauksen jälkeen tuloksen pH-mittarin näytölle luettavaksi.

5.4.4 Sameus

Kirkasteen sameus määritettiin suoraan näytteestä ilman sen esikäsitelyä. Laboratorion työohjeesta poikettiin, sillä näyte ei sisällä kuituja tai täyteaineita, joita tarvitsee erottaa sentrifugoimalla.

Sameuden määrittämistä varten kirkastenäytettä pipetoitiin näytekyvetin merkkiviivaan asti ja kyvetin korkki suljettiin. Kyvetin lasiosa pyyhittiin pehmeällä paperilla. Kyvetti käännettiin muutaman kerran ylösalaisin ja asetettiin pöydälle tasantumaan 30–60 sekunnin ajaksi. Kyvetti asetettiin HACH 2100AN IS -sameusmittariin. Laitteesta luettiin kirkastenäytteen tulos, joka oli ilmoitettu NTU-yksikkönä (Nephelometric Turbidity Unit). (Sappi Kirkniemi 2022.)

5.4.5 Kiintoaine

Ennen kiintoaineen määrittämistä MGA-lasikuitusuodattimia valmisteltiin tarvittava määrä. Lasikuitusuodattimet pestiin, kuivattiin ja tasapainotettiin eksikaattorissa, minkä jälkeen ne punnittiin analyysivaa'alla 0,1 mg:n tarkkuudella. Kiintoaineen määrittämistä varten hyvin sekoitettua kirkastenäytettä mitattiin mitalasiin 50 ml, joka suodatettiin yllä mainitun lasikuitusuodattimen läpi imusuodatuksella. Lasikuitusuodatin suodatetulla kiintoaineella kuivattiin lämpökaapissa, minkä jälkeen se siirrettiin tasapainotumaan eksikaattoriin. Tasapainotuksen jälkeen se punnittiin analyysivaa'alla 0,1 mg:n tarkkuudella. Kiintoaineen pitoisuus laskettiin kaavan 2 mukaan, jossa x on kirkastenäytteen kiintoainepitoisuus (mg/l), a on kuivan kiintoainenäytteen ja suodattimen yhteinen paino (mg),

b on suodattimen paino (mg) ja c on suodatetun kirkastenäytteen määrä (l).
(Sappi Kirkniemi 2024.)

$$x = \frac{(a-b)}{c} \quad (2)$$

5.4.6 Jälkisaostus

Jälkisaostusta tutkittiin, sillä tehtaan jätevedenpuhdistamolta järveen johtavalla ojalla oli huomattu ilmentyneen saostumista. Jälkisaostumista tutkimalla haluttiin selvittää, saostuuko puhdistetun jäteveden kirkaste matkalla järveen vai muodostuuko huomattu saostuminen, kun puhdistuksessa käytetyt saostuskemikaalit reagoivat ojassa olevien materiaalien kanssa. Jälkisaostumisen ajaksi valittiin kaksi vuorokautta, sillä kirkasteen viipymä ojassa ei ole pitkä. Kirkaste-näytteelle kuitenkin haluttiin antaa tarpeeksi aikaa muodostaa mahdollista saostumista. Jälkisaostuminen määritettiin samalla analyysillä kuin kiintoaineen määrittäminen.

5.4.7 Anioninen polymeeri

Flokkulaatiotyön suorituksen anionista polymeeriä käyttäen jälkeen kerätyille kirkastenäytteille tehtiin sameuden analyysi. Näytteiden sisältämä kiintoaine ei flokkaantunut hyvin flokkulaatiotyön aikana ja jätti näytteet silminnähden sameammiksi kuin kationinen polymeeri. Mikäli anionisen polymeerin kirkastenäytteiden sameus oli selkeästi suurempi kuin kationisen polymeerin, kyseisen varauksen sisältämä polymeeri pystyttäisiin hylkäämään tutkimatta muita analyysejä.

6 Tulokset

Käsittlemättömän jätevesinäytteen mittaustulokset on ilmoitettu taulukossa 5. Näiden määrittäminen oli tärkeää, jotta saostuskemikaalien vaikuttavuutta pystyttiin tarkastelemaan käsitellyissä jätevesinäytteissä. Kirkastenäytteille tehtyjen analyysien kaikki tulokset ovat liitteessä 1.

Taulukko 5. Jätevesinäytteen tulokset tutkittavista ominaisuuksista.

pH	sameus	COD	kokonaisfosfori	liuennut fosfori	kiintoaine
8,3	98	530	0,686	0,035	171

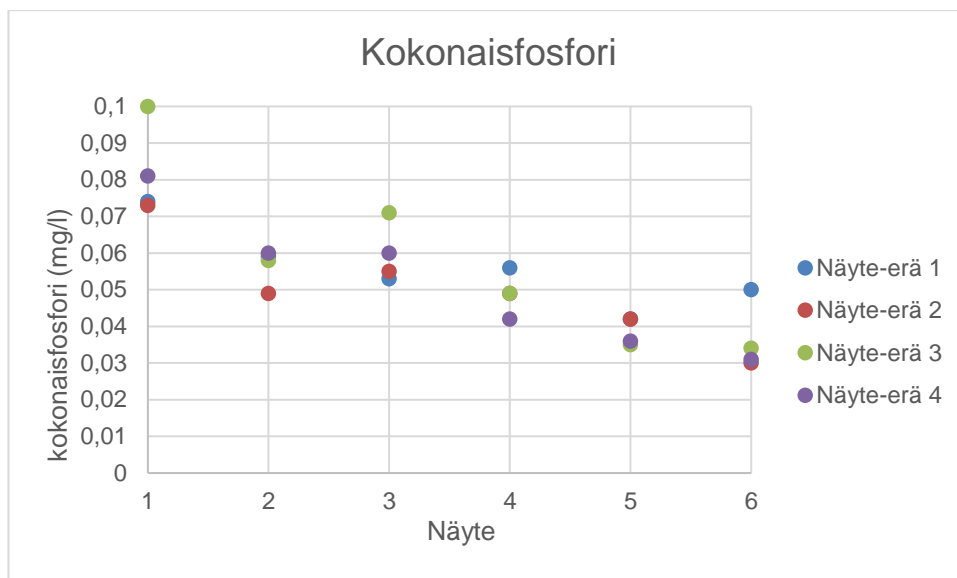
6.1 Fosforipitoisuus

Kokonaisfosforipitoisuus saostuskemikaaleilla käsitellyissä jätevesinäytteissä pieneni alkuperäiseen jätevesinäytteeseen verrattuna yli 90 % lähes kaikissa näytteissä. Nollanäytteillä reduktio alkuperäiseen jätevesinäytteeseen oli 85–89 %:n paikkeilla. (taulukko 6)

Taulukko 6. Kokonaisfosforin tulokset ja reduktion määrä verrattuna jätevesinäytteen kokonaisfosforiin.

Kokonaisfosfori (mg/l)		Näyte-erä							
		100		200		300		400	
		tulos	reduktio %	tulos	reduktio %	tulos	reduktio %	tulos	reduktio %
Näyte	1	0,074	89,2	0,073	89,4	0,1	85,4	0,081	88,2
	2	0,059	91,4	0,049	92,9	0,058	91,5	0,06	91,3
	3	0,053	92,3	0,055	92,0	0,071	89,7	0,06	91,3
	4	0,056	91,8	0,049	92,9	0,049	92,9	0,042	93,9
	5	0,042	93,9	0,042	93,9	0,035	94,9	0,036	94,8
	6	0,05	92,7	0,03	95,6	0,034	95,0	0,031	95,5

Kokonaisfosforin tuloksien näytepisteillä piirretyllä kuvaajasta kuvassa 8 nähdään, että PAC:in annosmäärän noustessa näytteen fosforipitoisuus laskee.



Kuva 8. Kokonaisfosforin tulokset piirrettynä kuvaajalle.

Liuenneen fosforin pitoisuuksien tulokset olivat kaikilla näytepisteillä pieniä (taulukko 7). Myös alkuperäisen jätevesinäytteen sisältämä liuennut fosforipitoisuus oli samoissa lukemissa kuin käsiteltyjen näytteiden tulokset.

Taulukko 7. Liuenneen fosforin tulokset.

Liuennut fosfori (mg/l)		Näyte-erä			
		100	200	300	400
Näyte	1	0,052	0,024	0,047	0,026
	2	0,022	0,020	0,022	0,041
	3	0,053	0,026	0,027	0,034
	4	0,023	0,021	0,022	0,027
	5	0,020	0,045	0,038	0,041
	6	0,032	0,031	0,022	0,031

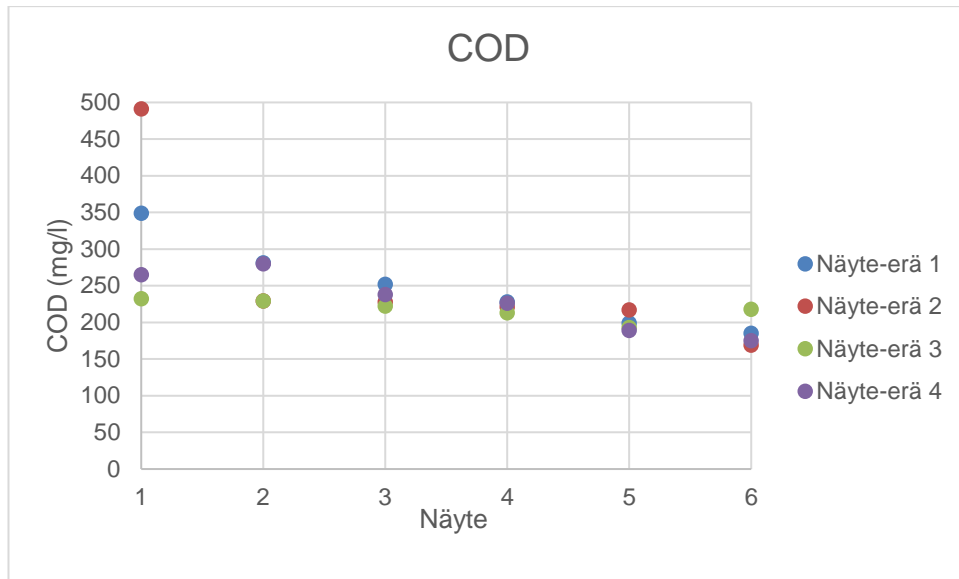
6.2 COD

Nollanäytteiden välillä on tuloksissa paljon heittoa. Näyte-erien 03 sekä 04 nollanäytteiden tulokset ovat samaa suuruusluokkaa muiden käsiteltyjen näytepisteiden kanssa (taulukko 8). Jäteveden käsittelyllä COD:n reduktiossa päästiin lähes kaikissa yli 50 %:iin sekä muutamalla pisteellä lähelle 70 %:a.

Taulukko 8. COD:n tulokset ja reduktion määrä verrattuna jätevesinäytteen COD-tulokseen.

COD (mg/l)		Näyte-erä							
		100		200		300		400	
		tulos	reduk-tio %	tulos	reduk-tio %	tulos	reduk-tio %	tulos	reduk-tio %
Näyte	1	349	34,2	491	7,4	232	56,2	265	50,0
	2	281	47,0	229	56,8	229	56,8	280	47,2
	3	252	52,5	228	57,0	222	58,1	238	55,1
	4	228	57,0	221	58,3	213	59,8	226	57,4
	5	199	62,5	217	59,1	193	63,6	189	64,3
	6	185	65,1	169	68,1	218	58,9	175	67,0

Käsiteltyjen näytteiden COD-pitoisuudet laskivat, kun näyte-erissä lisääntyi käytetyn PAC-määrä (kuva 9).



Kuva 9. COD:n tulokset piirrettynä kuvaajalle.

6.3 pH

Muutokset pH:ssa olivat hyvin samanlaisia jokaisessa näyte-erässä (taulukko 9). PAC:in vaihtelu pienimmän ja suurimman ppm:n määrän välillä aiheutti noin 0,5 yksikön verran vaihtelua pH:ssa. Jätevesinäytteen alkuperäinen pH oli 8,3.

Taulukko 9. Kirkastenäytteiden pH:n tulokset.

pH		Näyte-erä			
		100	200	300	400
Näyte	1	8,3	8,3	8,3	8,3
	2	8,2	8,2	8,2	8,3
	3	8,2	8,2	8,1	8,2
	4	8,1	8,1	8,0	8,1
	5	7,9	7,9	7,9	7,9
	6	7,8	7,9	7,7	7,8

6.4 Sameus

Lähes kaikkien kirkastenäytteiden näytepisteiden sameuden tulokset olivat alle 10. Alkuperäisen jätevesinäytteen sameus oli 98 NTU, joten lähes kaikissa kirkastenäytteissä päästiin yli 90 %:n reduktioon. (taulukko 10)

Taulukko 10. Sameuden tulokset ja reduktion määrä verrattuna jätevesinäytteen sameuteen.

Sameus (NTU)		Näyte-erä							
		100		200		300		400	
		tulos	reduk- tio %	tulos	reduk- tio %	tulos	reduk- tio %	tulos	reduk- tio %
Näyte	1	5	94,9	9	90,8	7	92,9	11	88,8
	2	7	92,9	6	93,9	5	94,9	5	94,9
	3	9	90,8	7	92,9	7	92,9	7	92,9
	4	8	91,8	6	93,9	6	93,9	6	93,9
	5	11	88,8	7	92,9	6	93,9	6	93,9
	6	14	85,7	7	92,9	7	92,9	6	93,9

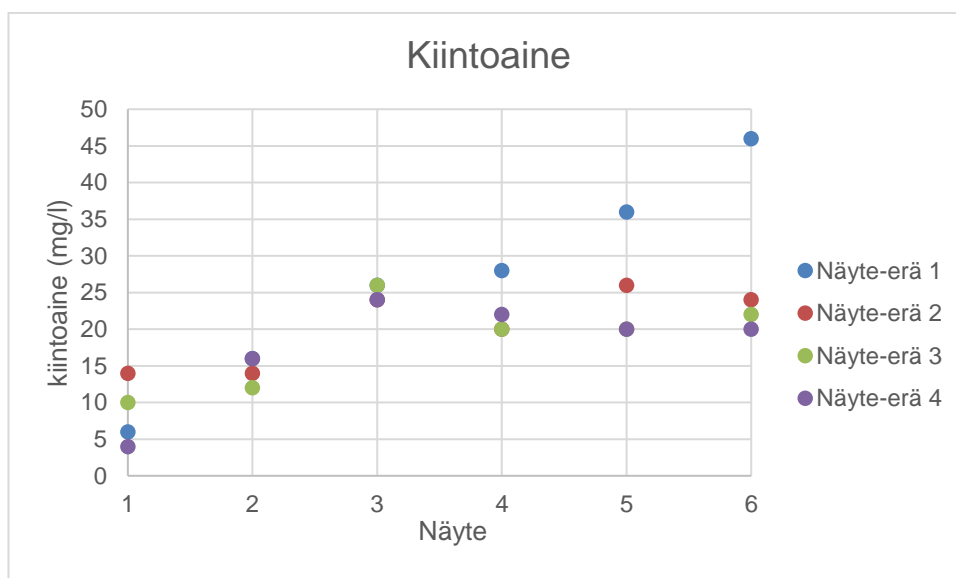
6.5 Kiintoaine

Käsiteltyjen näytteiden kiintoainemäärät olivat suurimmaksi osaksi noin 20 mg/l. Alkuperäisen jätevesinäytteen kiintoainemäärä oli 171 mg/l. Lähes kaikilla kirkastenäytteillä reduktio oli yli 80 %. (taulukko 11)

Taulukko 11. Kiintoaineen tulokset ja reduktion määrä verrattuna jätevesinäytteen sisältämään kiintoaineeseen.

Kiintoaine (mg/l)		Näyte-erä							
		100		200		300		400	
		tulos	reduk- tio %	tulos	reduk- tio %	tulos	reduk- tio %	tulos	reduk- tio %
Näyte	1	6	96,5	14	91,8	10	94,2	4	97,7
	2	16	90,6	14	91,8	12	93,0	16	90,6
	3	26	84,8	24	86,0	26	84,8	24	86,0
	4	28	83,6	20	88,3	20	88,3	22	87,1
	5	36	78,9	26	84,8	20	88,3	20	88,3
	6	46	73,1	24	86,0	22	87,1	20	88,3

Näyte-erän 100 kohdalla kiintoaineen määrä nousi hyvin tasaisesti erän näytteiden mukaisesti. Näyte-erissä 200, 300 ja 400 kiintoaineen määrän lisääntymisen loppui ja tasaantui erien viimeisillä näytteillä. (kuva 10)



Kuva 10. Kiintoaineen tulokset piirrettynä kuvaajalle.

Kiintoaineen suodatukseen käytetyt suodatinlaput värjäntyivät kellertäviksi näytteillä, jotka oli käsitelty saostuskemikaaleilla. Silmämääräisesti tarkasteltuna näyte-erien alkupään näytteiden suodatinlapuissa näkyi enemmän kiintoainehippusia, kuin loppupään näytteissä.

6.6 Jälkisaostus

Jälkisaostuksen jälkeen saadut kiintoaineen tulokset olivat hyvin samoissa lukemissa kuin suoraan kirkasteesta analysoidut kiintoainemäärät. Jälkisaostuksen jälkeen saadut kiintoainetulokset ovat taulukossa 12. Samoin kuin kirkasteesta tehtyjen kiintoaine analyysien kohdalla, myös jälkisaostuksen jälkeen käytetyt suodatinlaput värjäytyivät kellertäviksi niillä näytteillä, joissa oli käytössä saostuskemikaaleja.

Taulukko 12. Kiintoaineen määrä jälkisaostuksen jälkeen.

Kiintoaine jälkisaostus (mg/l)		Näyte-erä			
		100	200	300	400
Näyte	1	8	8	16	10
	2	20	18	18	16
	3	32	26	28	30
	4	28	24	22	22
	5	44	26	22	22
	6	52	26	26	20

6.7 Anioninen polymeeri

Anionisen polymeerin kirkastenäytteistä kerättiin talteen nollanäyte sekä kirkasteet 05 ja 06 tutkittaviksi. Näytteille suoritettiin sameuden analyysi aluksi. Nollanäytteelle sameudeksi saatiin 7 NTU. Kirkasteille 05 ja 06 sameudet olivat 41 NTU sekä 35 NTU.

7 Tulosten tarkastelu

Kirkastenäytteissä jäteveden pH ei laskenut alkuperäisen jäteveden pH:seen verrattuna paljoa, minkä vuoksi reduktion tarkastelu on turhaa. Jäteveden pH on sopiva vesistöön laskemista varten. Sameuden puolesta kirkastenäytteet olivat hyvin kirkkaita ja puhtaita. Sameuden reduktio alkuperäisen jätevesinäytteen ja kirkastenäytteiden välillä oli noin 93 %. Näytteiden välinen reduktio COD:ssa oli sameuden, kokonaisfosforin ja kiintoaineen reduktioihin verrattuna pienemmällä tasolla. Kuitenkin COD:n reduktio oli hyvissä lukemissa. Kokonaisfosforin määrä väheni todella paljon, noin 92 %. Liuenneen fosforin määrä ei muuttunut juurikaan alkuperäiseen jätevesinäytteeseen verrattuna. Toisaalta liuenneen fosforin määrä alun perin oli jo hyvin pieni näytteessä. Kiintoaineen reduktio oli myös hyvissä lukemissa noin 88 %. (taulukko 13)

Taulukko 13. Alkuperäisen jätevesinäytteen tutkittujen ominaisuuksien tulokset ja niiden keskiarvoinen reduktio prosentteina alkuperäisen sekä kirkastenäytteiden välillä.

	pH	sameus	COD	Kok-P	Liu-P	kiintoaine
Jätevesinäyte	8,3	98	530	0,686	0,035	171
Reduktio % ka.	-	93	55	92	-	88

Jälkisaostuksen aikana kirkastenäytteiden pohjalle muodostui kevyttä ja helpposti hajoavaa sakkaa. Jälkisaostuksen jälkeen kiintoaineen määrässä ei ollut painollisesti paljoa muutosta ja muutokset kirkastenäytteissä olivat toisiinsa verrattuna hyvin samankaltaisia (taulukko 14).

Taulukko 14. Erotus kiintoaineiden välillä ennen ja jälkeen jälkisaostuksen suorittamista.

Kiintoaine erotus (mg/l)		Näyte-erä			
		100	200	300	400
Näyte	1	2	-6	6	6
	2	4	4	6	0
	3	6	2	2	6
	4	0	4	2	0
	5	8	0	2	2
	6	6	2	4	0

Prosentuaaliset muutokset olivat kirkastenäytteillä suuria toisiinsa verrattuina, kuten taulukosta 15 nähdään. Jälkisaostumisen mahdollisuudesta ei tämän työn pohjalta pysty muodostamaan lopputulosta.

Taulukko 15. Muutos kiintoaineiden välillä prosentteina ennen ja jälkeen jälkisaostuksen suorittamista.

Prosentuaalinen muutos %		Näyte-erä			
		100	200	300	400
Näyte	1	33,3	-42,9	60	150
	2	25	28,6	50	0
	3	23,1	8,3	7,7	25
	4	0	20	10	0
	5	22,2	0	10	10
	6	13	8,3	18,2	0

Nollatuloksien välillä tutkituissa ominaisuuksissa oli heittoa. Tämä on kuitenkin suhteellisen normaalia, sillä samalle näytteelle suoritettaessa useamman kerran sama analyysi muodostuu marginaali, jonka sisällä näytteen tulos on. Osalla

tutkituista ominaisuuksista heitto tuloksien välillä oli todella paljon. Useamman analyysin suoritus näytteelle antaisi enemmän tuloksia, joiden pohjalta tarkempi tulos pystyttäisiin arvioimaan. Kirkastenäytteille tehtiin vain yhden analyysin, joten niille ei muodostunut marginaaleja. Kirkastenäytteiden tulokset eivät mahdollisesti ole täysin todellisuutta vastaavia, mutta silti tarpeeksi lähellä, jotta niiden pohjalta voitaisiin määrittää saostuskemikaalien annostelumäärät häiriötilanteessa.

Anionisen polymeerin käyttö toisena saostuskemikaalina tuotti hyvin sameaa kirkastetta. Anionisen polymeerin kirkastenäytteet olivat selkeästi kationisen polymeerin kirkasteisiin verrattuna sameampia. Sameuden tutkimisen jälkeen pystyttiin poissulkemaan anionisen polymeerin käyttö saostuskemikaalina Sappi Kirniemen puhdistamolla. Tämän vuoksi anionisella polymeerillä ei suoritettu enempää analyysejä tai näyte-eriä.

Tässä työssä oli monia virhettä mahdollistavia kohtia. Näytteenotossa jätevesinäyte otettiin kohdasta, jossa sekoitus on runsasta, joten näyte on ollut yhtenäinen puhdistamon virtaukseen. Ensimmäinen virheen mahdollisuus tässä työssä on voinut tulla näytteeseen lisätessä ilmastusaltaalta virtaavaa jätevettä. Jatkossa kyseinen virheen mahdollisuus on kuitenkin mahdoton, sillä tutkittava jätevesi on se, joka puhdistamolla virtaa. Ilmastusaltaan virtauksen lisäys jätevesinäytteeseen tehtiin yhdessä isossa ämpärissä. Hyvin ja jatkuvasti sekoitettu jätevesi lapottiin ämpäristä kanistereihin. Mikäli sekoitus lappoamisen aikana ei ole ollut riittävää, voivat kanistereissa olevat jätevedet olla toisistaan eroavia. Samaa sekoitukseen liittyvää virhettä on voinut ilmetä muissakin työn kohdissa, joissa jätevettä on siirretty astiasta toiseen.

Kirkastenäyte pipetoitiin noin kolme senttiä nestepinnan alapuolelta. Tällä pyrittiin pienentämään pipetoinnista mahdollisesti aiheutuvaa sekoitusta kirkasteessa. Mikään kirkastenäytteistä ei pipetoinnin aikana nostattanut sakkaa pohjasta.

Analyysimenetelmissä kaikissa on omat mahdolliset virhettä tuottavat tilanteensa. Nämä eivät olleet työn aihepiiriin kuuluvia, joten niitä ei ole tarkemmin tutkittu. Huomioidaan vain, että virheen mahdollisuus näissä on läsnä.

Analyysien yksittäiset mittauspisteet eivät anna mahdollisuutta tutkia mittauspisteiden virhettä. Näyte-eristä muodostuvat kuvaajat kullekin analyysille viittaavat, kuinka käsitelty jätevesi käyttäytyisi kullakin saostuskemikaalimäärällä. Näytepisteiden todellisuutta varten tutkimuksia yhdellä pisteellä tulee tehdä enemmän.

8 Pohdintaa

Tämän työn tavoitteena oli tehdä ja koestaa flokkulaatiotyö, jolla Sappi Kirkniemen jätevedenpuhdistamolla käytettyjen saostuskemikaalien annostelumääriä pystytään optimoimaan häiriötilanteessa. Flokkulaatiotyön suunnittelu ja suorittaminen Sappi Kirkniemen laboratoriossa onnistui. Työ olisi myös helposti uusittava tulevaisuudessa, minkä vuoksi työn tavoitteeseen päästiin. Osasta flokkulaatiotyön tuloksista piirrettiin kuvaajat. Kuvaajien avulla tulevaisuudessa häiriötilanteessa valitaan saostuskemikaalien annostelumäärät koeajoja varten. Tuloksista muodostetut kuvaajat näyttivät hyviltä annostelumäärien määrittystä varten. Flokkulaatiotyön tuloksien perusteella huomataan käsitellyn jäteveden vastaavan jätevedenpuhdistamolla käsiteltyä jätevettä. Tämän puolesta voidaan todeta flokkulaatiotyön käytön sopivaksi simuloimaan puhdistamon kemiallista käsittelyä. Työn pohjalta kirjoitettiin Sappi Kirkniemen laboratoriolle kirjallinen työohje.

Flokkulaatiotyön suoritus sisältää useamman kohdan, jotka voivat aiheuttaa virhettä tuloksissa. Näiden kohtien huomiointi on olennaista työtä suoritettaessa, jotta tuloksien todellisuudesta voidaan olla varmoja. Työohjeen ja -tavan tarkastelut ja korjaukset tulevaisuudessa ovat oleellisia, mikäli jätevedenpuhdistamolla tapahtuu muutoksia, kuten käytettävien saostuskemikaalien vaihtuminen.

Työn alussa oli oletuksena, ettei anioninen polymeeri ole Sappi Kirkniemen jäteveden puhdistuksessa kationista polymeeriä parempi. Tästä kuitenkin haluttiin varmistua ja anioniselle polymeerille suoritettiin yhden näyte-erän verran koestusta flokkulaatiotyöllä. Tulos anionisen polymeerin toiminnasta vastasi alun oletusta, joten enempää koestuksia ei kyseisellä polymeerillä suoritettu.

Jälkisaostus tuotti hyvin epämääräiset tulokset, joiden pohjalta ei voi muodostaa vahvaa lopputulosta. Aiheen lopputulokseen pääsyä varten tarvitsee suorittaa täysin siihen keskittyviä tutkimuksia.

Lähteet

Hendricks, David 2011: Fundamentals of Water Treatment Unit Processes: Physical, Chemical and Biological. Taylor & Francis Group.

Knowpap 2024. Yrityksen sisäinen aineisto, Sappi Kirkniemi. Viitattu 29.8.2024.

Kumpumäki, Merja 2023: Jätevesien karakterisointi ja kiintoaineen laskeutusprosessi. Opinnäytetyö, Centria-ammattikorkeakoulu.

Leppisaari, Joonas 2017: Koagulaation ja flokkulaation optimointi teollisuuden pesujäteveden käsittelyssä. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto.

Leskinen, Salla-Mari 2024: Sappi Kirkniemen jätevedenpuhdistamo. Tutustumiskierros Sappi Kirkniemen jätevedenpuhdistamolla 3.7.2024.

Nalco Water 2018: The Nalco Water Handbook (Fourth Edition). Ecolab Company.

Sappi Kirkniemi 2018: COD/Cr Hach Lange DR5000: kemiallisen hapenkulutuksen määrittäminen dikromaattihapetuksella. Yrityksen sisäinen aineisto, Sappi Kirkniemi.

Sappi Kirkniemi 2024: Jäteveden kiintoaineen määrittäminen MGA lasikuitusuodattimella ja pH ja johtokyky määrittäykset. Yrityksen sisäinen aineisto, Sappi Kirkniemi.

Sappi Kirkniemi 2017: Kokonaisfosforin määrittäminen vedestä Hach Langen menetelmällä LCK 348/349/350. Yrityksen sisäinen aineisto, Sappi Kirkniemi.

Sappi Kirkniemi 2022: Sameuden mittaaminen tehdasvesistä Hach 2100 AN IS sameusmittarilla. Yrityksen sisäinen aineisto, Sappi Kirkniemi.

Sustarsic, Mark 2009: Wastewater Treatment: Understanding the Activated Sludge Process. CEP-verkkolehti, marraskuu 2009. www.aische.org/cep. Viitattu 17.10.2024.

Tabell, Sakari 2023: Orgaanisen aineen määrittäminen jätevedestä. Opinnäytetyö, Tampereen ammattikorkeakoulu.

Tchobanoglous, George ym. 2003: Wastewater Engineering: Treatment and Reuse (Fourth Edition). Metcalf & Eddy Inc.

Liite 1. Flokkulaatiotyön tulokset

	pH	sameus (NTU)	sameusreduktio (%)	COD (mg/l)	COD-reduktio (%)	kokonais-fosfori (mg/l)	kokonais-fosforireduktio (%)	liuennut fosfori (mg/l)	liuennut fosforireduktio (%)	liuennut fosfori (mg/l)	liuennut fosforireduktio (%)	kiintoaine (mg/l)	kiintoaine (mg/l)	kiintoaine reduktio (%)
101	8,3	5	94,9	349	34,2	0,074	89,2	0,052	-48,6	6	96,5			
102	8,2	7	92,9	281	47,0	0,059	91,4	0,022	37,1	16	90,6			
103	8,2	9	90,8	252	52,5	0,053	92,3	0,033	-51,4	26	84,8			
104	8,1	8	91,8	228	57,0	0,056	91,8	0,023	34,3	28	83,6			
105	7,9	11	88,8	199	62,5	0,042	93,9	0,02	42,9	36	78,9			
106	7,8	14	85,7	185	65,1	0,05	92,7	0,032	8,6	46	73,1			
		kar:	90,8	53,0			91,9				84,6			
201	8,3	9	90,8	491	7,4	0,073	89,4	0,024	31,4	14	91,8			
202	8,2	6	93,9	229	56,8	0,049	92,9	0,02	42,9	14	91,8			
203	8,2	7	92,9	228	57,0	0,055	92,0	0,026	25,7	24	85,0			
204	8,1	6	93,9	221	58,3	0,049	92,9	0,021	40,0	20	88,3			
205	7,9	7	92,9	217	59,1	0,042	93,9	0,045	-28,6	26	84,8			
206	7,9	7	92,9	169	68,1	0,03	95,6	0,031	11,4	24	86,0			
		kar:	92,9	51,1			92,8				88,1			
301	8,3	7	92,9	232	56,2	0,1	85,4	0,047	-34,3	10	94,2			
302	8,2	5	94,9	229	56,8	0,058	91,5	0,022	37,1	12	93,0			
303	8,1	7	92,9	222	58,1	0,071	89,7	0,027	22,9	26	84,8			
304	8	6	93,9	213	59,8	0,049	92,9	0,022	37,1	20	88,3			
305	7,9	6	93,9	193	63,6	0,035	94,9	0,038	-8,6	20	88,3			
306	7,7	7	92,9	218	56,9	0,034	95,0	0,022	37,1	22	87,1			
		kar:	93,5	58,9			91,6				89,3			
401	8,3	11	88,8	265	50,0	0,081	88,2	0,026	25,7	4	97,7			
402	8,3	5	94,9	280	47,2	0,06	91,3	0,041	-17,1	16	90,6			
403	8,2	7	92,9	238	55,1	0,06	91,3	0,034	2,9	24	86,0			
404	8,1	6	93,9	226	57,4	0,042	93,9	0,027	22,9	22	87,1			
405	7,9	6	93,9	189	64,3	0,036	94,8	0,041	-17,1	20	88,3			
406	7,8	6	93,9	175	67,0	0,031	95,5	0,031	11,4	20	88,3			
		kar:	93,0	56,8			92,5				89,7			