



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

VEERA SIIRTONEN

Reposaaren jätevedenpuhdistamon saostuskemikaalin optimointi

ENERGIA- JA YMPÄRISTÖTEKNIIKAN
TUTKINTO-OHJELMA
2022

Tekijä(t) Siirtonen Veera	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Marraskuu 2022
	Sivumäärä 76	Julkaisun kieli Suomi
Reposaaren jätevedenpuhdistamon saostuskemikaalin optimointi		
Energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma		
TIIVISTELMÄ Työn tarkoituksena oli tutkia Reposaaren jätevedenpuhdistamolla käytettävän saostuskemikaalin ferrisulfaatin optimaalisia syöttöolosuhteita. Puhdistamolta lähtevän veden laatua pyrittiin parantamaan saostuskemikaalin syötön optimoinnilla. Sopivia ajo-olosuhteita saostuskemikaalille etsittiin säätämällä pH-arvoa ja kemikaalin syöttömäärää sekä syöttöpisteitä. Laboratorio-olosuhteissa toteutettiin kuppikokeita, joissa etsittiin optimaalinen pH-arvo sekä kemikaalin syöttömäärä. Lisäksi laboratoriossa tutkittiin saostuskemikaalin ja fosfaatin välistä reaktionopeutta. Kokeet suoritettiin huhti-toukokuun aikana 2022. Parhaimmat laboratoriotulokset testattiin puhdistusprosessissa. Koeajojakso toteutettiin kesä-syyskuun aikana 2022, jolloin prosessin pH:ta säädettiin arvojen 6,0–7,5 välillä. Saostuskemikaalia syötettiin arvojen 40–50 l/d välillä. Lopulta prosessiin asennettiin saostuskemikaalin kaksipistesyöttö. Säätojen välillä tutkittiin monta näytettä ja nähtiin, miten säädöt vaikuttivat jätevesiprosessin tilaan ja puhdistustulokseen. Parhaimmat puhdistustulokset saavutettiin pH-tasolla 6,0, jolloin kokonaisfosforin poistoteho oli 95 % ja kiintoaineen 94 %. Lisäksi hyviä puhdistustuloksia saatiin kaksipistesyötön yhteydessä pH:n ollessa 6,8. Tällöin kokonaisfosforin ja kiintoaineen poistoteho oli parhaimmillaan 95 %. Koeajojakso päätettiin syyskuussa 2022. Prosessin ajoa jatkettiin saostuskemikaalin kaksipistesyötöllä ja pH:n arvolla 6,8. Työn päätyttyä Porin Vesi jatkoi omatoimisesti koeajoa kaksipistesyötöllä ja pH-arvolla 6,0.		
Avainsanat Jätevesi, fosfori, kiintoaine, saostuskemikaali, optimointi, ferrisulfaatti		

Author(s) Siirtonen Veera	Type of Publication Bachelor's thesis	Date November 2022
	Number of pages 76	Language of publication: Finnish
Optimization of the Dosage of the Coagulation Chemical at the Reposaari Wastewater Treatment Plant		
Degree Programme in Energy and Environmental Engineering		
ABSTRACT The purpose of this work was to investigate optimal driving conditions of the precipitation-dissolving chemical ferric sulfate used at the Reposaari wastewater treatment plant. In order to improve the outgoing water quality of the treatment plant, optimization of the precipitation chemical dosage was studied. Optimum process conditions for the precipitation chemical was searched by adjusting the pH- value and the amount of chemical dosage as well as input points. In laboratory conditions, cup- tests were carried out, in which the optimal pH value and the amount of chemical input was searched. In addition, the reaction time of the precipitation chemical with the phosphate contained in the wastewater was studied in the laboratory. The laboratory tests were performed between April and May 2022. The best laboratory results were taken to the cleaning process for testing. The test run period was carried out between June and September 2022. During the test period, the pH of the process was adjusted between values 6,0–7.5. Precipitation chemical feed was adjusted between 40 and 50 liters/d. Finally, a two-point supply of precipitation chemical was installed in the process. Between the adjustments, many samples were examined, and it was seen how the adjustments affected the state of the wastewater process and the cleaning result. The best cleaning results were achieved at pH 6.0 leading to total phosphorus reduction of 95% and solids reduction of 94%. In addition, good cleaning results were obtained in connection with two-point feeding with pH-level of 6.8. In this case, the best reduction of total phosphorus and solid matter was 95%. Test run period was concluded in September 2022. The process run was continued with a two-point feed of precipitation chemical and a pH value of 6.8. After the work was completed, Porin Vesi continued the test run independently with a two-point feed and a pH value 6.0.		
Keywords Wastewater, phosphorus, solid matter, precipitation chemical, optimizing, ferric sulfate		

ALKUSANAT

Haluan kiittää Porin Veden organisaatiota opinnäytetyön mahdollistamisesta. Erityisesti haluan kiittää Luotsinmäen laboratorion prosessianalyttikkoa Johanna Rinnettä sekä Reposaaaren puhdistamon laitosmiestä Tapio Mäkelää, jotka auttoivat työn etenemisessä.

Lisäksi haluan osoittaa kiitokseni Porin Veden laitospäällikölle Teppo Tapiaiselle, käyttöinsinöörille Anni Nylundille sekä prosessianalyttikon sijaiselle Riia Uusitalolle, antamastaan avusta.

Lopuksi kiitän myös Satakunnan ammattikorkeakoulun lehtoria Timo Hanneliusta opinnäytetyön ohjaamisesta.

Ulvilassa 5.10.2022

Veera Siirtonen

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	7
2 YHDYSKUNTAJÄTEVESI.....	8
2.1 Yhdyskuntajätevesien sisältö	8
2.2 Yhdyskuntajätevedenpuhdistamoiden päästörajat.....	9
2.3 Jätevesien ympäristövaikutukset	9
2.3.1 Ravinteet.....	10
2.3.2 Kiintoaine	10
2.3.3 Hapenkulutus	10
2.3.4 Haitalliset aineet	11
2.3.5 Melu ja haju haitat sekä kiinteät jätteet	11
3 KUNNALLINEN JÄTEVEDENPUHDISTUS	12
3.1 Esikäsittely	12
3.2 Esi-ilmastus	12
3.3 Esiselkeytys.....	13
3.4 Ilmastus – Aktiiviliete	13
3.4.1 Ilmastusaltaan happipitoisuus	14
3.4.2 Ilmastusaltaan lämpötila	15
3.4.3 Ilmastusaltaan pH	15
3.4.4 Ilmastusaltaan ravinteet	16
3.4.5 Nitrifikaatio–denitrifikaatioprosessi	17
3.5 Jälkiselkeytys	19
3.6 Kemiallinen fosforinpoisto saostamalla	19
3.7 Kemiallinen saostus	19
3.7.1 Koagulaatio.....	20
3.7.2 Saostus	23
3.7.3 Kemikaalit.....	24
3.8 Jälkikäsittely.....	25
4 PORIN VESI.....	26
5 REPOSAAREN JÄTEVEDENPUHDISTAMO	28
5.1 Puhdistusprosessi	28
5.2 Vaadittu puhdistustulos puolivuotiskeskisarvoina	30
5.3 Vuoden 2021 puhdistustulos	32
6 LABORATORIOKOKKEET	34
6.1 Lähtötilanne.....	34
6.2 Koejärjestelyt	35

6.2.1 Saostuskemikaalin annostelukoe	35
6.2.2 pH-optimointi	40
6.2.3 pH-optimointi saostuskemikaaliannostukselle 0,35 ml/l	40
6.2.4 pH:n optimointi saostuskemikaaliannostuksella 0,16 ml/l	43
6.2.5 pH:n optimointi saostuskemikaaliannostuksella 0,13 ml/l	48
6.3 Mittatulokset ja tulosten analysointia.....	52
6.3.1 Saostuskemikaalin annostelukoe	52
6.3.2 pH-optimointi	55
7 KENTTÄKOKEET	61
7.1 Käytetyt mittausmenetelmät.....	61
7.2 Lähtötilanne.....	62
7.3 Kenttäkoe 1	63
7.4 Kenttäkoe 2	65
7.5 Kenttäkoe 3	66
8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO.....	73
LÄHTEET	
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia Reposaaaren jätevedenpuhdistamon optimaalisia ajo-olosuhteita. Työssä tutkittiin saostuskemikaalin syöttömäärää ja syöttöpistettä sekä optimaalista pH-arvoa. Työ toteutettiin yhteistyössä Porin Veden kanssa vuoden 2022 aikana.

Reposaaaren puhdistamo on pienikokoinen jätevedenpuhdistamo, jossa jäteveden keskivirtaama on vuorokaudessa noin 264 m^3 . Puhdistus prosessi on tyyliltään yksilinjainen biologiskemiallinen aktiivilietelaitos, jossa rinnakkaisaostuksella poistetaan fosfori hyödyntämällä saostuskemikaalina ferrisulfaattia. Tässä työssä tutkittiin ferrisulfaatin ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) annostelua, jolla pyrittiin parantamaan puhdistustulosta entisestään.

Työssä suoritettiin erilaisia laboratoriokokeita huhti-toukokuussa 2022. Laboratoriokokeet suoritettiin Porin Veden laboratoriossa Luotsinmäen jätevedenpuhdistamolla. Laboratoriokokeissa tutkittiin ferrisulfaatin syöttömäärää ja optimaalista pH-arvoa. Laboratoriokokeista siirryttiin kenttäkokeisiin kesäkuussa 2022 ja kenttäkokeita jatkettiin aina syyskuun 2022 puoliväliin asti. Kenttäkokeissa testattiin niitä arvoja, jotka oli koettu laboratorio olosuhteissa toimiviksi. Kenttäkokeiden yhteydessä suoritettiin näytteenottoa ja tutkittiin monta vuorokausinäytettä, jotta nähtiin, miten tehtävät säädöt vaikuttivat jätevesiprosessin tilaan.

2 YHDYSKUNTAJÄTEVESI

Yhdyskuntajätevesi koostuu kotitalouksien, yksityisten ja julkisten kiinteistöjen sekä teollisuuslaitosten jätevesistä, jotka ovat liittyneet viemäriverkostoon. Lisäksi jätevesien sekaan usein eksyy huonokuntoisten viemäriverkostojen takia hulevesiä ja vuotovesiä. Yhdyskuntajäteveden sisältö vaihtelee jatkuvasti ja se sisältää vaihtelevia määriä erilaisia yhdisteitä. (Isoaho & Valve 1988, 113.)

2.1 Yhdyskuntajätevesien sisältö

Yhdyskuntajätevesi on laadultaan väkevämpää liuosta, kuin luonnonvedet. Tämä johtuu siitä, että jätevesi sisältää usein yhdisteitä, joita luonnon vesistöissä ei usein tavata. Yhdyskuntajätevedet sisältävät pääosin: ulosteita ja niiden hajoamistuotteita, virtsaineita, ravinteita, ruokajätteitä, pesuaineita ja paperia. Jätevesi sisältää usein myös hiekkaa, öljyjä sekä liuottimia. Jätevesien sisältämät partikkelit ovat pääosin biologisesti hajoavia orgaanisia yhdisteitä. Kaikkia yhdisteitä ei kuitenkaan saada jätevedestä poistettua biologisin tavoin, minkä takia usein vaaditaan kemikaaleja tehostamaan puhdistustulosta. (Isoaho & Valve 1988, 113.)

Jätevesien puhdistuksella pyritään vähentämään 70–90 % epäpuhtauksista. Ravinteita, joita jätevedestä pyritään puhdistamaan ja mittaamaan ovat: fosfori ja typpi sekä näiden eri muodot. Biologisia orgaanisia yhdisteitä puolestaan mitataan BOD₇- ja COD_{MN} -määritysten avulla. (Isoaho & Valve 1988, 113.)

2.2 Yhdyskuntajätevedenpuhdistamoiden päästörajat

Jätevedenpuhdistusta rajoittavat ympäristöluvut. Jokaisella jätevedenpuhdistamolla on oma räätälöity ympäristölupa, jossa määritellään, kuinka tehokkaasti puhdistamon tulee toimia. Ympäristölupa asettaa raja-arvot vesistöön jätevesilaitokselta päästettävien epäpuhtauksien ja ravinteiden määriksi. Raja-arvot määritetään seuraaville komponenteille: biologiselle hapenkulutukselle (BOD_7), kemialliselle hapenkulutukselle (COD_{MN}), kiintoaineille sekä typelle ja fosforille. (Laitinen ym. 3.2014, 22.)

Jokaisella jätevedenpuhdistamolla on määritetty omat tietyt raja-arvot, joiden mukaan näitä laitoksia ajetaan (Laitinen ym. 3.2014, 22). Jos jätevedenpuhdistamot eivät täytä ympäristöluvan raja-arvoja, tulee puhdistamolla ryhtyä toimiin, jotta pysytään mahdollisimman hyvin näissä raja-arvoissa. Ympäristöluvan raja-arvoissa pysyminen on ehdottoman tärkeää, jotta käsitelty jätevesi ei kuormita liikaa vesistöä, johon käsitelty jätevesi johdetaan. Raja-arvojen avulla pystytään siis pienentämään jätevesien synnyttämiä ympäristövaikutuksia.

2.3 Jätevesien ympäristövaikutukset

Yhdyskuntajätevesiä käsiteltäessä syntyy päästöjä lähinnä vesistöön ja luontoon. Jätevesien puhdistuksesta saattaa syntyä lisäksi melua, hajua sekä kiinteitä jätevirtoja. (Laitinen ym. 3.2014, 14.) Jätevesien vaikutus kohdistuu luontoon sekä sitä kautta ihmiseen. Jätevesien yhteydessä on siis aina pohdittava luonnon sekä ihmisen terveyden ja elinolosuhteiden parasta. (Isoaho & Valve 1988, 113.)

Yhdyskuntajätevesien mukana vesistöön kulkeutuu kiintoaineita, ravinteita, mikrobeja sekä haitallisia aineita. Vesistöön päässeet epäpuhtaudet ja ravinteet aiheuttavat rehevöitymistä, kuluttavat happea ja lisäksi ne heikentävät veden laatua sekä hygieniasoa. Vaikutusten suuruus riippuu jätevedenpuhdistamon puhdistus kapasiteetista, sijainnista, puhdistus tehosta sekä vesistön luonteesta. (Laitinen ym. 3.2014, 14.)

2.3.1 Ravinteet

Ravinteita, joita pääsääntöisesti jätevedenpuhdistuksesta päätyy vesistöön ja ympäristöön ovat fosfori sekä typpi. Lisäksi kyseisiä ravinteita päätyy vesistöön esimerkiksi pelloilta virtaavien hajakuormitusten mukana. Nämä ravinteet aiheuttavat rehevöitymistä vesistössä. Rehevöityminen on havaittavissa lisääntyneenä levämassan kasvuna. Levämassan lisääntyminen vaatii lisäksi lisää happea, joka näkyy vesistössä lisääntyneenä hapenkulutuksena. Pahimmassa tapauksessa syntyy happikatoja. Happikato tarkoittaa, että vesikasvit ovat kuluttaneet vesistöstä happea, jollin kaloille happi ei enää riitä. Tällöin syntyy kalakuolemia. Lisäksi rehevöityminen voi saada aikaan vesistön pohjaan sedimentoituneiden ravinteiden uudelleenliukenemista, jolloin ravinteet lähtevät vesistössä uudelleen levien kiertoon. Rehevöitymisen yhteydessä vesi usein samentuu. Levät ovat myös myrkyllisiä ihmiselle. Täten virkistyskäyttö vesistössä kärsii. (Laitinen ym. 3.2014, 14.)

2.3.2 Kiintoaine

Jäteveden mukana vesistöön kulkeutuu aina joitakin määriä kiintoainetta. Kiintoaine aiheuttaa vesistössä sameutumista sekä rantojen ja pohjasedimenttien liettymistä. Kiintoaine sitoo puoleensa fosforia sekä orgaanista ainesta. Vesistössä kiintoaineesta saattaa vapautua näitä aineita, jotka edesauttavat rehevöitymisen edistymistä. (Laitinen ym. 3.2014, 14.)

2.3.3 Hapenkulutus

Rehevöitymisen lisäksi hapenkulutusta tapahtuu jäteveden sisältämien epäpuhtauksien ansiosta. Huomattavimpia hapenkuluttajia ovat orgaaninen aines sekä ammoniumtyppi. Orgaanien aines kuluttaa happea bakteeritoiminnan takia. Bakteeritoiminta vaatii happea hajottaakseen ja käyttääkseen ravintona orgaanista ainesta. Ammoniumtyppi puolestaan kuluttaa happea nitrifikaatioprosessin aikana, kun ammoniumtyppi hapettuu nitraatiksi. Varsinkin kesäisin lämpimissä vesissä nitrifikaatio on voimakkaimmillaan. (Laitinen ym. 3.2014, 14.)

2.3.4 Haitalliset aineet

Jätevesi sisältää aina jonkin verran myös ympäristölle ja ihmisille haitallisia ja vaarallisia aineita, kuten kemikaaleja, lääkkeitä, PAH-yhdisteitä ja dioksiineja sekä raskasmetalleja. Näitä aineita päätyy jätevesiin tuotanto- ja palvelutoiminnasta, mutta yhä useammin myös kotitalouksista. Raskasmetallipitoisuuksia jätevesistä mitataan kattavimmin. (Laitinen ym. 3.2014, 14.)

2.3.5 Melu ja haju haitat sekä kiinteät jätteet

Lähiympäristöön voi kantautua haittoja jätevedenpuhdistuksesta syntyvästä melusta ja hajusta. Melua syntyy lähinnä kompressoreista, ilmanvaihdosta ja rekkaliikenteestä, mutta tämäkin melu on pienentynyt uuden tekniikan myötä. Hajuhaittoja syntyy puolestaan jäteveden esikäsittelystä sekä lietteen käsittelystä. Kiinteitä jätteitä syntyy, kun jätevedestä poistetaan suurimmat kiintoaineet/roskat sekä hiekka. Nämä kuitenkin kuljetetaan muualle jatkokäsittelyyn, kuten kaatopaikalle. (Laitinen ym. 3.2014, 14.)

3 KUNNALLINEN JÄTEVEDENPUHDISTUS

Suomessa jätevesien puhdistaminen on yleisesti asetettu kuntien tehtäväksi. Kunnallisessa jätevedenpuhdistuksessa käsitellään keskitetysti yhdyskuntien sekä sopimuksen mukaan teollisuuden jätevesiä. Suomessa toimii noin 350 ympäristöluvanvaraista yhdyskuntien jätevedenpuhdistamo. Jätevesiä voidaan käsitellä mekaanisella, biologisella ja kemiallisella tavalla. Suomessa useimmiten hyödynnetään näitä kaikkia jäteveden puhdistustapoja. Puhdistusprosessissa kiinteät aineet jätevedestä poistetaan mekaanisesti, fosfori saostetaan kemiallisesti ja typpi sekä orgaaninen aines poistetaan biologisesti. (Vesilaitosyhdistyksen www-sivut 2022.)

3.1 Esikäsittely

Esikäsittelyssä jätevedestä poistetaan suurimmat kiintoaineet. Samalla estetään, ettei jäteveden mukana liikkuva kiintoaines pääse vahingoittamaan puhdistusprosessin myöhempiä vaiheita, kuten pumppuja. Välppäämällä siis siivilöidään tulevasta jätevedestä suurimmat kiintoaineet ja roskat pois. Välppiä on olemassa monen kokoisia eri tiheyksillä. (Karttunen, Kiuru & Tuhkanen 2004, 53.) Esikäsittelyssä jätevedestä poistetaan yleensä myös kiviaines. Kiviaineksen erotus jätevedestä tapahtuu useimmiten hiekanerotusaltaiden kautta, jossa kiviaines vajoaa altaan pohjalle. Esikäsittelyssä voidaan poistaa myös rasva ja öljy, mutta kunnallisessa jätevedenpuhdistuksessa sitä ei yleisesti käytetä. (Puolanne, Rantala & Valve 1982, 66.)

3.2 Esi-ilmastus

Esi-ilmastuksen tarkoituksena on sekoittaa jätevesi ilmastuksen avulla. Ilmastus saadaan aikaan, kun kompressoreilla tuotetaan ilmakuplia jäteveeseen. Jäteveden sekoittamisen lisäksi pystytään samalla erottamaan jätevedestä rasvoja sekä muita vettä kevyempiä aineita. Jätevedestä poistuu haitallisia kaasuja esi-ilmastuksen yhteydessä. Esi-ilmastus tapahtuu usein hiekanerotuksen yhteydessä. (Laitinen ym. 3.2014, 47.) Kaikilla laitoksilla esi-ilmastusta ei välttämättä kuitenkaan käytetä.

3.3 Esiselkeytys

Esiselkeytyksen tarkoituksena on erottaa jätevedestä laskeutuvia aineita ja epäpuhtauksia. Selkeytys perustuu tiheyseroon, jossa vettä painavimmat partikkelit laskeutuvat altaan pohjalle. Altaan pohjalle laskeutuneet partikkelit on siten helppo poistaa prosessista. Esiselkeytyksellä pyritään vähentämään ja tasaamaan myöhempien käsittelyvaiheiden kuormitusta. Esiselkeytys allas on usein malliltaan pyöreä, johon on kiinnitetty laaha. Laaha sekoittaa hitaasti altaan sisältöä pohjaa myöden siten, että pohjalle vajonnut liete on helppo poistaa. Lietettä poistetaan altaan pohjalta jatkuvasti. (Puolanne ym. 1982, 69.) Laskeutumisaika esiselkeytysaltaassa tulee olla riittävä, hyvän puhdistustuloksen saavuttamiseksi. Jäteveden sisältämät yksittäiset hiukkaset kuitenkin laskeutuvat eri tahtia, sillä laskeutumiseen vaikuttavat hiukkasen tiheys, koko ja muoto sekä veden tiheys ja viskositeetti. (Karttunen ym. 2004, 79.) Esiselkeytystä ei kuitenkaan käytetä kaikilla jätevedenpuhdistamoilla.

3.4 Ilmastus – Aktiiviliete

Ilmastuksessa veteen johdetaan happea kompressoreiden avulla. Ilma jaetaan tasaisesti koko vesimassalle. Ilmastimet sijaitsevat usein altaan pohjalla, mutta ne voidaan sijoittaa myös altaan pinnalle. (Puolanne ym. 1982, 55.) Ilmastusaltaassa jäteveden sisältämällä mikrobimassalla on suuri merkitys. Tätä mikrobimassaa ja sen toimintoja kutsutaan aktiivilietteeksi. (Puolanne ym. 1982, 124.) Mikrobin päätehtävänä on muuttaa jäteveden sisältämä kolloidinen ja orgaaninen aines solumassaksi eli lietteeksi (Karttunen ym. 2004, 169).

Osa ilmastusaltaaseen johdetusta hapesta liukenee jäteveteen. Aktiivilietteen sisältämät pienet aerobiset bakteerit hyödyntävät tätä happea orgaanisten epäpuhtauksien hajottamiseen jätevedestä. Orgaanisen aineksen määrää jätevedestä tutkitaan BOD-mittauksilla. BOD-mittaus kertoo, kuinka paljon bakteerit kuluttavat jätevedessä happea orgaanisen aineksen hajottamiseen. Aktiiviliete sisältää myös anaerobisia bakteereja, jotka eivät vaadi happea orgaanisen aineksen hajottamiseen vaan saavat energiansa orgaanisesta aineksesta. (Keitaanpää 2017, 13.)

Ilmastusaltaan tarkoituksena on siis poistaa orgaaninen aines mahdollisimman tehokkaasti jätevedestä. Lisäksi ilmastusallasta käytetään typenpoistoon eli nitrifikaatioon. Nitrifikaatiossa ammoniumtyppi hapettuu typpikaasuksi, nitriitiksi ja sitten nitraatiksi. Nitrifikaatio luo siis edellytykset typenpoistolle. Kaikilla laitoksilla nitrifikaatiota ei kuitenkaan vaadita. (Puolanne ym. 1982, 124.)

3.4.1 Ilmastusaltaan happipitoisuus

Ilmastusaltaan happipitoisuudella on suuri merkitys bakteereiden toiminnalle. Jäteveden happipitoisuuden tulee olla noin 2 mg/l, jotta aerobiset bakteerit pystyvät toimimaan ilmastusaltaassa mahdollisimman tehokkaasti. (Laitinen ym. 3.2014, 47.) Ilmastusaltaan happipitoisuus vaihtelee vuorokauden eri aikoina. Suurimmillaan hapenkulutus on, kun kuormitusta puhdistamolle tulee eniten eli päivällä ja illalla. Pienimmillään hapenkulutus on puolestaan, kun kuormitus on pieni eli yöllä. Ilmastusaltaan happipitoisuutta on hyvä tarkkailla useita kertoja päivässä, jotta tiedetään, että puhdistusprosessi toimii oikein. Lietteen myrkytystilassa hapenkulutus pienenee huomattavasti. (Puolanne ym. 1982, 133.)

Hapentarve on mahdollista laskea likimäärin aktiivilieteprosessissa Emdenin kaavan (1) avulla (Karttunen ym. 2004, 523).

$$O_r = 0,5 \cdot \Delta BOD_5 + 0,1 \cdot MLSS \quad (1)$$

, jossa O_r = hapentarve, kg/m³(vettä)
 ΔBOD_5 = BOD-reduktio 5 vuorokauden aikana, kg/m³
 MLSS = kiintoainepitoisuus ilmastusaltaassa, kg/m³

3.4.2 Ilmastusaltaan lämpötila

Lämpötilalla on suuri vaikutus biologisessa prosessissa. Lämpötila ilmastusaltaassa vaihtelee vuodenaikojen mukaan ja se liikkuu välillä 6–20 °C. Lämpötila vaikuttaa aktiivilietteen sisältämien bakteereiden aineenvaihduntaan. Kun jäteveden lämpötila alkaa nousta, bakteerien aineenvaihdunta ja kasvunopeus kaksinkertaistuvat. (Karttunen ym. 2004, 178). Lisäksi lämpötilalla on suuri vaikutus nitrifikaation toimintaan ja kaasujen liukoisuuteen (Puolanne ym. 1982, 131). Nitrifikaatio toimii parhaiten, kun vedet lämpenevät kevät- ja kesälämpötiloihin.

3.4.3 Ilmastusaltaan pH

pH-arvo vaikuttaa ilmastusaltaassa bakteerien toimintaan sekä nitrifikaatioon, että hiidioksidin poistumiseen. Bakteerit pystyvät toimimaan varsin laajalla pH-alueella aina pH 4–9. Edullisin pH alue toimii kuitenkin välillä 6,5–7,5. Kun pH laskee tasolle alle 4 tai yli 9, jätevetteen syntyy myrkytystila ja aktiivilietteen sisältämät bakteerit kuolevat. (Eliassen, R., King, P. & Linsley R. 1991, 366.) Suuret pH:n vaihteluvälit jätevedenpuhdistuksessa häiritsevät kuitenkin prosessia ja biologista toimintaa. Alhaisissa pH-lukemissa on myös huomioitava, että laitteiston ja putkiston syöpymisvaara kasvaa. Tämän takia on syytä tarkkailla jäteveden pH- arvoa säännöllisesti. (Puolanne ym. 1982, 131). Erilaisilla kemikaaleilla pystytään säätämään jäteveden pH prosessille sopivaksi. Emäksisillä aukaaleilla, kuten kalkilla, soodalla ja lipeällä pystytään nostamaan jäteveden pH:ta ja hapoilla, kuten rikki- tai suolahapolla, laskemaan jäteveden pH:ta. (Puolanne ym. 1982, 171).

pH-arvon määrittäminen tapahtuu kaavan (2) avulla (Mäkiranta 2011, 15).

$$\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}_3\text{O}^+] \quad (2)$$

,jossa $\log_{10}$ = kymmenkantainen logaritmi
 H_3O^+ = vetyionien konsentraatio, mol/L

Veden pH on riippuvainen lisäksi veden lämpötilasta. Näin ollen veden pH laskee, kun lämpötila nousee ja veden pH nousee, kun lämpötila laskee. Tämä johtuu siitä, että veden aktiivisuus muuttuu lämpötilan vaihdellessa. (Mäkiranta 2011, 15.)

3.4.4 Ilmastusaltaan ravinteet

Aktiivilietteen sisältämät mikrobit vaativat orgaanisen aineen lisäksi epäorgaanisia ravinteita toimiakseen. Yhdyskuntajätevesi sisältää useimmiten mikrobien vaatiman määrän epäorgaanisia ravinteita. Fosforia ja typpeä jätevedessä on jopa liikaa suhteutettuna hiilen määrään. Näin ollen ylimääräistä fosforia ja typpeä saattaa kulkeutua vesistöön. Teollisuuden jätevedet ovat usein ravinneköyhempiä kuin yhdyskuntajätevedet. Teollisuuden jätevedet sisältävät lisäksi vaikeasti hajoavia yhdisteitä, mikä vaikeuttaa mikrobien hajotustoimintaa. Tämän takia teollisuuden jätevesiin toisinaan joudutaan lisäämään ravinteita, jotta mikrobit saavat tarvitsemansa ravinteet. (Karttunen ym. 2004, 169.)

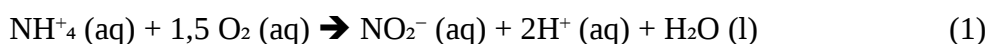
Epäorgaanisia pääravinteita, joita mikrobit tarvitsevat, sisältävät seuraavia alkuaineita: N, S, P, K, Mg, Ca, Fe, Na ja Cl. Lisäksi pieninä pitoisuuksina vaaditaan: Zn, Mn, Mo, Se, Co, Cu, Ni, V ja W. Bakterisolun sisältää keskimäärin 80 prosenttia vettä ja loput 20 prosenttia kuiva-ainetta. Kuiva-aineesta puolestaan 90 prosenttia on orgaanista aineesta ja 10 prosenttia epäorgaanisia suoloja. Taulukossa 1 on esitetty tyypillinen bakterisolun alkuainekoostumus. (Karttunen ym. 2004, 169.) Taulukosta 1 voidaan huomata, että epäorgaanisia yhdisteitä vaaditaan pieniä määriä, mutta niillä on suuri merkitys bakteerien toiminnalle.

Taulukko 1. Tyypillinen bakteerisolun kuiva-aineen alkuainekoostumus. (Karttunen ym. 2004, 170.)

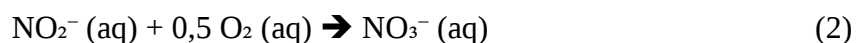
Alkuaine	Prosenttiosuuden vaihteluväli kuiva-aineesta (%)	Tyypillinen arvo (%)
Hiili	45–55	50
Happi	16–22	20
Typpi	12–16	14
Vety	7–10	8
Fosfori	2–5	3
Rikki	0,8–1,5	1
Kalium	0,8–1,5	1
Natrium	0,5–2,0	1
Kalsium	0,4–0,7	0,5
Magnesium	0,4–0,7	0,5
Kloori	0,4–0,7	0,5
Rauta	0,1–0,5	0,2
Muut aineet	0,2–0,5	0,3

3.4.5 Nitrifikaatio–denitrifikaatioprosessi

Nitrifikaatio on aerobinen biologinen prosessi, jossa poistetaan jätevedestä typpeä biologisella menetelmällä. Nitrifikaatio tapahtuu ilmastusaltaan aerobisessa lohossa, jossa autotrofiset bakteerit hapettavat jäteveden sisältämän ammoniumtypen nitriitiksi ja sitten nitraatiksi. Ammoniumtypen hapettuminen nitriitiksi tapahtuu reaktioyhtälön (1) mukaisesti. (Isoaho & Valve 1988, 248.)



Nitriitti hapettuu tämän jälkeen vielä uudelleen nitraatiksi reaktioyhtälön (2) mukaan (Isoaho & Valve 1988, 248).



Bakteerit käyttävät nitrifikaatiossa vapautuvaa energiaa kasvuunsa. Kasvua puolestaan hidastavat jäteveden sisältämät mahdolliset myrkyt. Nitrifikaatio bakteerit ovat luonteeltaan mesofiilejä, jotka toimivat parhaiten lämpötilassa 30–35 °C ja kasvunopeus on voimakkaasti lämpötilasta riippuvainen. Nitrifikaation optimaalinen pH kulkee alueella 7,7–8,5. pH:n laskiessa alle kuuden nitrifikaatioreaktio hidastuu voimakkaasti. (Isoaho & Valve 1988, 248.)

Denitrifikaatio tapahtuu puolestaan anaerobisissa olosuhteissa ja toimii typenpoiston jälkimmäisenä reaktiona. Anaerobisissa olosuhteissa heterotrofiset bakteerit pelkistävät ensin nitraatin nitriitiksi ja sitten nitriitti pelkistyy typpikaasuksi, joka poistuu jätevedestä kuplina ilmaan. (Isoaho & Valve 1988, 248.) Nitriitin ja nitraatin pelkistymisen typpikaasuksi kuvataan reaktioyhtälön (3) mukaan (Keitaanpää 2017, 16).



Heterotrofiset bakteerit pystyvät hyödyntämään nitriittiä ja nitraattia hapen sijaan hengitykseen. Tämän takia denitrifikaatio suoritetaan hapettomissa anaerobisissa olosuhteissa, jotta bakteerit hyödyntäisivät mieluummin nitraattia ja nitriittiä hengitykseensä. (Isoaho & Valve 1988, 249.) Monet bakteerisuvut pystyvät denitrifioimaan muun muassa, *basillus*, *flavobacterium* ja *spirillum* bakteerit kuuluvat näihin. Nitrifioivat sekä denitrifioivat bakteerit ovat heterotrofisia, mikä tarkoittaa sitä, että ne vaativat ulkopuolisen hiililähteen kasvaakseen ja toimiakseen. (Karttunen ym. 2004, 213.)

3.5 Jälkiselkeyty

Jälkiselkeytyksen tarkoituksena on erottaa laskeuttamalla liete kirkkaammasta jätevedestä. Liete laskeutetaan altaan pohjalle ja palautetaan takaisin palautuslietteenä biologiseen prosessiin eli ilmastusaltaaseen. Osa lietteestä voidaan johtaa lietteenkäsittelyyn ja jatkojalostukseen. Kirkkaampi vesi puolestaan johdetaan prosessissa eteenpäin jälkikäsittelyyn tai puretaan vesistöön (Laitinen ym. 3.2014, 48.) Selkeytystuloksen parantamiseksi voidaan lisätä jäteveteen kemikaaleja, kuten polymeerejä, jotka muodostavat pieniä kasaantumia eli flokkeja lietteen kanssa. Nämä flokit ovat muuta ainesta painavimpia, jolloin ne laskeutuvat altaan pohjaan ja ovat helpommin poistettavissa jätevedestä kuin yksittäiset hiukkaset. (Keitaanpää 2017, 16).

3.6 Kemiallinen fosforinpoisto saostamalla

Suomessa vaaditaan jätevedenpuhdistamoilla fosforinpoistoa määrättyjen lupamääräysten täyttämiseksi. Kemiallisen fosforinpoiston tarkoituksena on tehostaa fosforinpoistoa jätevedestä kemikaalien avulla. Kemikaali voidaan syöttää useaan eri kohtaan prosessissa. Yleisimmin syöttö kuitenkin tapahtuu prosessin esikäsittelyvaiheessa tai loppuvaiheessa ennen jälkiselkeytystä. (Laitinen ym. 3.2014, 49.) Kemikaalit sisältävät usein rautasuoloja sekä kalkkia, joita käytetään fosforin saostamiseen jätevedestä. Yleisimpinä kemikaaleina käytetään ferrikloridia (FeCl_3) sekä alumiinisulfaattia ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Suosituttuja ovat myös ferrosulfaatti (FeSO_4) ja ferrokloridi (FeCl_2), joita syntyy metalliteollisuuden sivutuotteina. Fosforinpoisto voidaan toteuttaa myös biologisella tavalla, mutta se vaatii usein suuria altaita sekä enemmän aikaa. (Eliassen, R., King, P. & Linsley R. 1991, 306.)

3.7 Kemiallinen saostus

Kemiallista saostusta voidaan hyödyntää erilaisissa prosesseissa, kuten talousveden tuotannossa ja jätevesien käsittelyssä. Talousveden tuotannossa kemiallisella saostuksella poistetaan raaka vedestä humusta. Jätevesin käsittelyssä kemiallista saostumista hyödynnetään lähinnä fosforin poistoon. (Huoltovarmuusorganisaatio 2020, 8.)

Kemiallisella saostuksella tarkoitetaan seuraavia prosesseja: saostus, koagulaatio ja flokkaus. Näillä prosesseilla ja kemikaaleja eli polymeerejä hyödyntäen saadaan aikaan veden liukoista ja kolloidaalisista aineista muodostumaan erottumiskykyisiä saostumia. (Isoaho & Valve 1988, 154.)

Vesi sisältää kolmenlaisia aineita, joita ovat suspendoituneet aineet, kolloidit ja liuenneet aineet. Nämä aineet voivat olla joko mineraaleja, kuten hiekka ja savi tai orgaanisia aineita, kuten humus ja hajoamistuotteet. Suspensio aineet voivat sisältää mikroorganismeja, kuten levät ja bakteerit. Kolloidit ovat lähes samanlaisia kuin suspendoituneet aineet, mutta niiden koko vaihtelee 0,01–0,1 µm. Liuenneet aineet ovat kooltaan kaikista pienimpiä. Ne ovat varautuneita kationeja ja anioneja. Lisäksi liuenneet aineet voivat olla myös kaasuja. Kolloidaalisia ja liuenneita aineita ei ole mahdollista poistaa vedestä ilman kemiallista käsittelyä. (Karttunen ym. 2004, 133.)

3.7.1 Koagulaatio

Koagulaatiolla poistetaan vedestä suspendoituneet, kolloidaaliset ja osa liuenneesta aineksesta. Suspendoituneet ainekset ovat kooltaan suurempia kuin kolloidaaliset ainekset. Kolloidaalisen ja liuenneen aineksen poistaminen vedestä on hankalampaa niiden pienen koon vuoksi. Tämän takia kolloidaalisen ja liuenneen aineksen kokoa on kasvatettava keinotekoisesti, jotta aines saadaan erotettua pois vedestä. Kolloidaalisen ja liuenneen aineksen kasvattaminen tapahtuu kemiallisfysikaalisilla prosesseilla. (Karttunen ym. 2004, 133.)

Negatiivisesti varautuneet kolloidit neutraloidaan kemikaalien avulla. Kemikaalit rikkovat kolloidin väliset sähköiset varaukset. Tällöin hiukkasten koko alkaa kasvaa ja syntyy flokkeja. Flokin syntymiseen vaaditaan polymeerin lisäksi hämmennys tai sekoitus, jossa polymeeri alkaa kerääntymään kolloidaalisen aineksen ympärille. Flokki on veden sisältämän poistettavan aineksen ja kemikaalin synnyttämä partikkeli, joka on tarkoitus poistaa vedestä. Flokit ovat kolloideja isompia partikkeleja, jotka on helpompi poistaa prosessista. Flokin kokoa kasvatetaan siihen asti, kunnes se on poistettavissa prosessista laskeuttamalla tai flotaation avulla. (Karttunen ym. 2004, 133.)

Mitä pienempi vedestä poistettava hiukkanen on, sitä hankalampi se on vedestä poistaa. Pienellä hiukkasella on nimittäin suurempi ominaispinta-ala verrattuna suureen hiukkaseen. Tämän takia kolloidaalisten ja liuenneiden hiukkasten laskeuttaminen on mahdotonta ilman lisäprosessointia. Hiukkasiin vaikuttavat kaksi päävoimaa, jotka ovat Van der Waalsin vetovoima sekä elektrostaattiset repulsiovoimat. Flokin ja kolloidisen aineen välinen pysyvyys on riippuvainen näistä voimista. Kolloidaaliset partikkelit ovat kuitenkin kaikki eri muotoisia, minkä takia voimat vaikuttavat kuhunkin hiukkaseen eri tavalla ja eri suunnista. (Karttunen ym. 2004, 134.)

Kaava (3) kuvaa kolloidaaliseen hiukkaseen vaikuttavia voimia, Van der Waalsin vetovoiman sekä elektrostaattisten repulsiovoimien summaa. (Karttunen ym. 2004, 134.)

$$E = E_A + E_B \quad (3)$$

, jossa E = kolloidaaliseen hiukkaseen vaikuttavien voimien summa

E_A = Van der Waalsin vetovoima

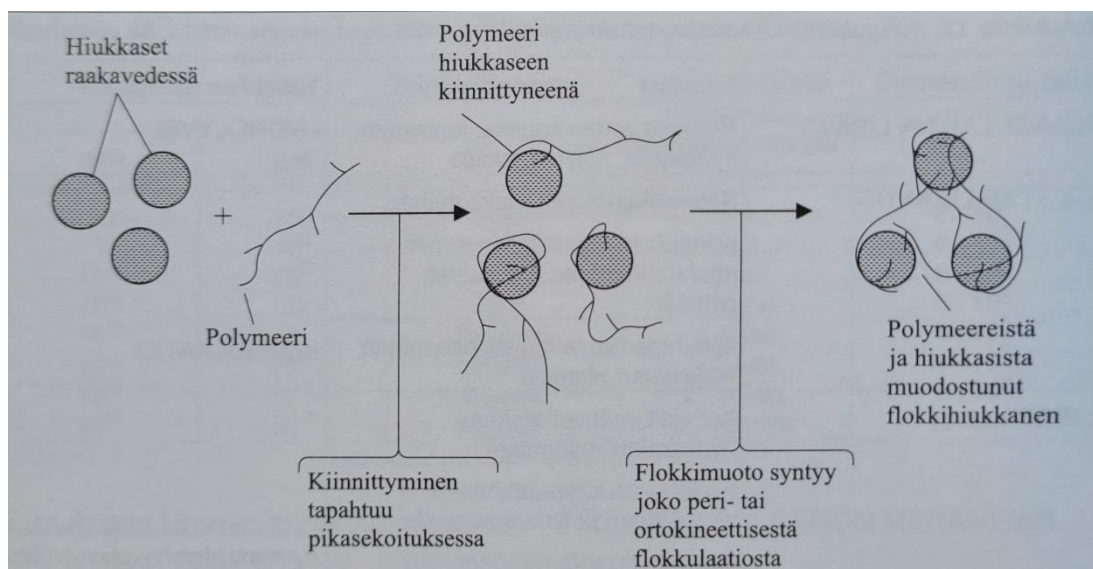
E_B = Elektrostaattiset työntövoimat

Koagulaatioprosessissa on paljon erilaisia vaiheita, jotka tapahtuvat pienessä mitta-kaavassa. Tärkeässä asemassa koagulaatiossa ovat sähköiset varaukset poistettavan hiukkasen ja kemikaalien välillä. Alla on kerrottu neljä tärkeintä päävaihetta koagulaatioprosessissa. (Karttunen ym. 2004, 134.)

Koagulaatioprosessista on erotettavissa neljä vaihetta:

1. Kolloidin sähköisen kaksoiskerroksen puristuminen kokoon
2. Kolloidin varauksen neutraloituminen polymeerin avulla
3. Hiukkasten kasaantuminen, eli agglomeroituminen, suuremmiksi kokonaisuuksiksi polymeerien avulla
4. Kolloidin kiinnittyminen jo muodostuneihin flokkeihin

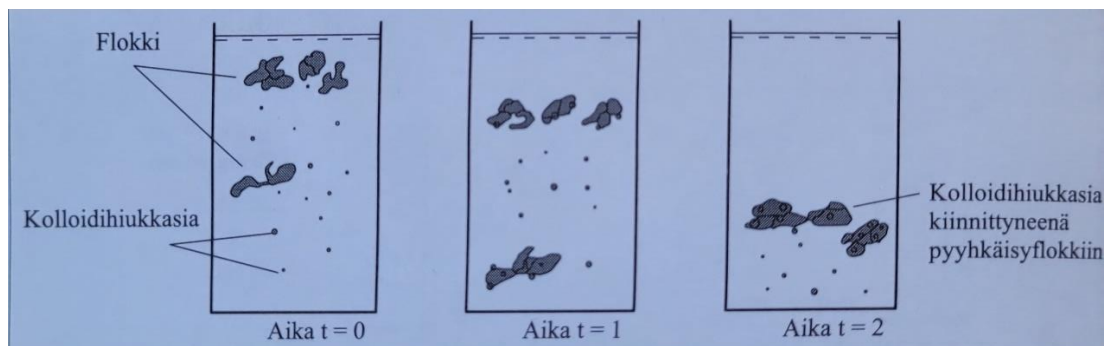
Koagulaatioprosessin etenemistä kuvaa kuva 1. Kuvassa 1 kolloidaalisten hiukkasten sähköiset varaukset neutraloituvat veteen lisättävän polymeerin vaikutuksesta. Sekoituksen aikana polymeeri kiinnittyy hiukkasiin ja alkaa syntymään vedestä helposti poistettavia flokkeja. (Karttunen ym. 2004, 136.)



Kuva 1. Kolloidaalisten hiukkasten kasvattaminen flokeiksi polymeerin avulla. (Karttunen ym. 2004, 136.)

Sekoituksen avulla saadaan polymeeri sitoutumaan kolloidaalisiin hiukkasiin, jolloin syntyy flokkeja. Tämä prosessin osa kuvattuna kuvassa 1. Lisäksi vaaditaan toinen prosessin osa, jossa poistetaan vedestä lopullisesti polymeerin ja hiukkasten synnyttämät flokit. Tätä prosessia kutsutaan laskeuttamiseksi. Laskeuttamisessa annetaan vettä painavimpien flokkien ja hiukkasten laskeutua rauhassa altaan pohjalle. Altaan pohjalta nämä partikkelit sitten poistetaan lietteen mukana. (Karttunen ym. 2004, 134.)

Kuvassa 2 yksinkertaisesti kuvattuna miten flokit ja kolloidaaliset hiukkaset laskeutuvat ajan edetessä altaan pohjalle. (Karttunen ym. 2004, 134.)



Kuva 2 Flokit kasaantuvat ja laskeutuvat altaan pohjalle ajan kasvaessa. (Karttunen ym. 2004, 136.)

3.7.2 Saostus

Kemiallisessa saostuksessa tarkoituksena on muodostaa vaikeasti liukeneva sakka kemikaalin ja poistettavan aineksen, esimerkiksi fosforin tai humuksen kanssa. Tämä sakka on poistettavissa vedestä selkeyttämällä tai suodattamalla. (Karttunen ym. 2004, 140.)

Jätevedestä poistetaan saostamalla fosfori. Fosforin poisto jätevedestä on tärkeä osa prosessia, sillä nykypäivänä ympäristöön päästettävien aineiden pitoisuuksia tarkkailaan tiukasti. Fosforin poistossa jäteveden sekaan lisätään kalsiumia, alumiinia tai rauta suoloja, joiden kanssa fosfori muodostaa vaikealiukoisia yhdisteitä. Yleisimmin jätevedenpuhdistuksessa käytetään alumiini ja rautasuoloja, sillä kalsium on tarkoitettu lähinnä erittäin happamille päästöille. (Karttunen ym. 2004, 142.) Saostuskemikaali sekoaa jäteveden sekaan alkaen muodostamaan saostumia fosforin kanssa. Painava sakka vajoaa selkeytysaltaassa pohjalle ja pinnalle jäävä kirkas vesi virtaa eteenpäin prosessissa. Sakka poistetaan prosessista poistettavan lietteen mukana.

Fosfori esiintyy jätevedessä monessa eri muodossa; ortofosfaattina, polyfosfaattina sekä orgaanisena fosfaattina. Jätevesilaitokselle virtaava fosfori on lähtöisin monesta eri lähteestä. Fosforia sisältävät muun muassa, kotitalous- ja teollisuusjätevedet sekä maatalouden hajakuormitukset. (Eliassen et cetera. 1991, 86.) Jätevedestä fosforia mitataan kuitenkin kahdessa eri muodossa kokonaisfosforina sekä liuenneena fosforina. Liennut fosfori on liennut veden sisältämien molekyylien kanssa sekaisin. Kokonaisfosfori kuitenkin kertoo, kuinka paljon vesi sisältää kokonaisuudessaan fosforia. Kaavassa 4 on esitetty lyhyesti veden sisältämän fosforin esiintyvyys. (Isoaho & Valve 1988, 154.)

Kaava (4) vedessä esiintyvä fosfori. (Isoaho & Valve 1988, 154.)

$$P_{\text{kok}} = P_{\text{liuk}} + P_{\text{kiint}} \quad (4)$$

, jossa P_{kok} = kokonaisfosforipitoisuus
 P_{liuk} = liennut fosfori
 P_{kiint} = kiintoaineeseen sitoutunut fosfori

3.7.3 Kemikaalit

Suosituimpia saostuskemikaaleja Suomessa ovat ferrosulfaatti ja alumiinisulfaatti. Ferrosulfaattia on paljon tarjolla, sillä sitä saadaan valmistettua teollisuuden jätevirroista. Ferrosulfaatin käyttö vaatii, että ferrosuolat on hapetettava ennen varsinaista saostusprosessia tai sen aikana. Ferrosuolojen hapettua syntyy ferrisuoloja, jotka pystyvät sitomaan puoleensa fosforia. Ferrosulfaatista onkin kehitetty muoto ferrisulfaatti, joka ei vaadi erillistä hapettumista. Näin ollen ferrisulfaatti ei vaadi erillistä hapettumisvaihetta. Rautasuolat muodostavat vaikeasti liukenevia fosfaatteja optimaalisella pH-alueella. Optimaalinen pH-arvo rautasuolojen toiminnalle on noin 5,5. On kuitenkin muistettava, että jokainen puhdistusprosessi toimii omalla tavallaan, minkä takia tämä pH-alue ei välttämättä pidä paikkaansa. (Karttunen ym. 2004, 142.)

Alumiinisulfaatti toimii saostuskemikaalina samalla periaatteella kuin rautasuolatkin. Se ei kuitenkaan vaadi erillistä hapettumista ennen fosforin sitomista. Alumiinisuolojen optimaalinen pH-alue liikkuu 6,0–6,5 välillä. (Karttunen ym. 2004, 142.)

Niin alumiinisuolojen kuin rautasuolojenkin kohdalla syntyy veteen kevyttä höyhenmäistä sakkaa. Kevyt ja höyhenmäinen sakka on huonosti laskeutuvaa ja tiivistyvää, mikä vaikeuttaa fosforia sisältävän sakan poistoa prosessista. Lietettä syntyy paljon laitoksilla, joissa hyödynnetään rauta- ja alumiinisuoloja. Tämä vaatii säännöllistä lietteen tyhjennystä. Höyhenmäinen sakka vaatii pitkän laskeutumisajan, jonka takia selkeytysaltaan tulee olla toimiva. Toisinaan on jopa hyvä puhdistaa selkeytysallas kokonaisuudessaan, jotta sakka saadaan pestyä pois. Rauta- ja alumiinisuoloja käytettäessä flotaatio on toimiva selkeytysmenetelmä. (Karttunen ym. 2004, 142.)

3.8 Jälkikäsittely

Toisilla laitoksilla vaaditaan jäteveden jälkikäsittelyä, mikäli lähtevä vesi ei täytä ympäristöluvan mukaisia raja-arvoja. Jälkikäsittelyssä keskitytään kiintoaineen ja fosforijäämien poistoon. Jälkikäsittely menetelmiä on monenlaisia. Suosituimpia ovat erilaiset suodattimet, flotaatio ja kemiallinen jälkisaostus. (Laitinen ym. 3.2014, 49.)

4 PORIN VESI

Pori sijaitsee Kokemäenjoen varrella länsirannikolla. Etäisyydet Porin seudulla ovat pitkät, esimerkiksi keskustasta satamaan n. 20–30 km. Lisäksi yhdyskuntarakentaminen on varsin hajanainen. Maasto on varsin tasaista ja joki helposti liettyvää. Nämä yhdessä tuottavat haasteita vesihuollon toteuttamiselle ja ylläpidolle. Tällä hetkellä Porin vesihuolto on kuitenkin kestäväällä pohjalla ja tulevaisuuden haasteisiin pystytään hyvin vastaamaan. Haasteita tuottavat kuitenkin rahoituksen riittävyys sekä jatkuvasti kasvava verkostojen saneeraustarve. (Juuti, Katko, Louekari & Rajala 2010,9.)

Ensimmäinen viemärilaitos rakennettiin Poriin jo 1890-luvulla. Viemärilaitoksen jätevedet johdettiin kuitenkin käsittelemättöminä ympäristöön. Talousvettä alettiin kuitenkin tuottaa huomattavasti myöhemmin, sillä Porin alueella pohjavesiä löytyy paljon ja kaivoja on käytetty kauan. Talousvesilaitos aloitti Porin Lukkarinsannassa 1930-luvulla tuottamalla talousvettä Kokemäen joen pintavedestä. (Juuti ym 2010, 9.) Vuonna 1952 Porissa huolestuttiin Kokemäenjoen tilasta, sillä jokeen oli johdettu jo pitkään jätevesiä. Jokivesi oli hyvin likaista ja siellä kellui muun muassa teollisuudesta tulleita kuitu- ja lietekokkareita. Tämä tehosti 1960-luvulle tultaessa viemäriverkoston rakentamista ja ensimmäinen jätevedenpuhdistamo rakennettiin Porin Kaanaaseen 1967. Jätevedenpuhdistamon kapasiteetti loppui kuitenkin nopeasti ja uutta keskuspuhdistamoa alettiin rakentamaan Luotsinmäelle 1970-luvulla. (Juuti ym. 2010, 314.) Vesi- ja viemärilaitos yhdistyivät Porissa vuonna 1987. Porin vesi- ja viemärilaitos nimettiin Porin Vedeksi vuonna 1998. (Juuti ym. 2010, 9.)

Tällä hetkellä Porin Vesi toimii Porin kaupungin alaisena liikelaitoksena. Liikelaitos työllistää vakituisesti noin 60 henkilöä. Yritys toimii Porin seudulla tuottaen talousvettä alueen asukkaille sekä puhdistamalla Porin ja lähikuntien jätevedet. Lisäksi yritys vastaa lähialueen vesijohtoverkostoista ja viemäriverkostoista. Porin Vedellä on toiminnassa kolme jätevedenpuhdistamoa: keskuspuhdistamo Luotsinmäellä, Lavian puhdistamo ja Reposaaressa puhdistamo. Lisäksi Porin vesi tuottaa talousvettä Noormarkun Harjakankaalla tekopohjavedestä sekä varavesilaitos toimii Kokemäenjoen varrella Porin Lukkarinsannassa. (Porin Vesi perehdytysopas 1.5.2020, 3.)

Tässä työssä tarkasteltiin Reposaaren jätevedenpuhdistamoa. Pori Veden laitosten käsittelemien vuosittaisten vesien määrä kuutiota kohden on kuvattuna taulukossa 2. Taulukosta 2 voidaan huomata, että Luotsinmäen keskuspuhdistamo on huomattavasti suurempi kuin Porin Veden pienpuhdistamot Lavia sekä Reposaari. Harjakankaan tekopohjavesilaitos tuottaa myös vuositasolla suuret määrät talousvettä.

Taulukko 2. Porin Veden Harjakankaan talousvesilaitoksen tuottama vesimäärä (m^3/a) ja jätevedenpuhdistamoiden käsitellyt jätevesimäärät (m^3/a) vuonna 2021 (Porin Vesi 2021, 29).

Harjakankaan talousvesilaitos	Luotsinmäen keskuspuhdistamo	Lavian puhdistamo	Reposaaren puhdistamo
5 490 423	11 119 998	113 946	96 422

Taulukossa 3 on puolestaan esitetty Porin Veden jätevedenpuhdistamoiden keskimääräiset vuorokausivirtaamat vuonna 2021. Taulukosta 3 voidaan havaita, että Lavian ja Reposaaren jätevedenpuhdistamot ovat lähes samankokoisia. Laviassa sadat mökkiasukkaat kesäisin kuitenkin lisäävät jätevesivirtaamaa.

Taulukko 3. Porin Veden jätevesipuhdistamoiden keskimääräiset vuorokausivirtaamat vuonna 2021 (Rinne J 10.1.2022,4; 12.1.2022; 4; 13.1.2022,4).

Luotsinmäen Keskuspuhdistamo	Lavian puhdistamo	Reposaaren puhdistamo
30 697 m^3/d	312 m^3/d	264 m^3/d

5 REPOSAAREN JÄTEVEDENPUHDISTAMO

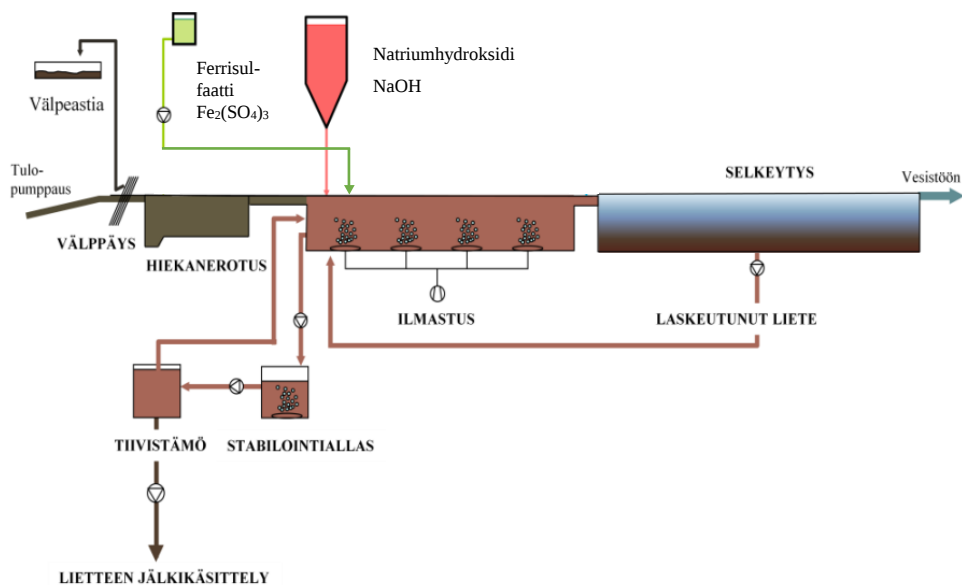
Reposaaren jätevedenpuhdistamo sijaitsee Porissa Tukkiiviikkilahden rannalla Reposaaren kaupunginosassa. Reposaaren jätevedenpuhdistamo on rakennettu vuonna 1981 ja sittemmin rakennettu uudestaan vuonna 1997 tuhopolton seurauksena.

Reposaaren jätevedenpuhdistamon prosessi on luonteeltaan yksilinjainen biologiskemiallinen aktiivilietelaitos, jossa fosforia poistetaan jätevedestä rinnakkaissaostuksena ferrisulfaattia käyttäen. (Mäkiranta J 2011, 10). Puhdistamolle johdettu jätevesi käsitellään siis mekaanisella, kemiallisella ja biologisella tavalla ennen vesistöön johtamista. Puhdistamoa ajetaan siten, että nitrifikaation annetaan käynnistyä olosuhteiden salliessa. Prosessia kuitenkin pyritään ajamaan nirtifioivana läpi vuoden. (Rinne J 12.1.2022,3.) Reposaaren jätevedenpuhdistamo on kooltaan melko pieni, puhdistamon keskimääräinen vuorokausivirtaama on 264 m³/d. Vuodessa puhdistetaan vettä noin 96 360 m³. (Rinne J 12.1.2022,4.)

Reposaaren asukasluku vuonna 2020 oli 938 asukasta. Suurin osa alueen jätevesistä johdetaan Reposaaren puhdistamolle. Lisäksi puhdistamolle johdetaan lähialueen kalasataman jätevedet. Kalasatama toimii epäsäännöllisesti ja onkin ainoa teollisuusjätevesien tuottaja Reposaaren puhdistamolle.

5.1 Puhdistusprosessi

Reposaaren jätevedenpuhdistamoa voidaan kuvata rinnakkaissaostuslaitoksena, joka tarkoittaa, että jäteveden kemiallinen saostus tapahtuu aktiivilieteyksikössä. Täten biologinen ja kemiallinen puhdistus tapahtuu yhtä aikaa samassa yksikössä. (Puolanne, Rantala & Valve 1982, 167.) Kuvassa 3 on esitetty Reposaaren puhdistamon prosessikaavio. Prosessikaaviosta voidaan nähdä prosessin eri vaiheet ja saostuskemikaalin ferrisulfaatin (Fe₂(SO₄)₃) sekä pH:n säätöön tarkoitetun natriumhydroksidin (NaOH) annostelulupaikat ilmastusaltaan alussa.



Kuva 3. Reposaaren jätevedenpuhdistamon prosessikaavio. (Virtanen J 2012, 13.)
(Muutokset Veera Siirtonen.)

Laitokselle pumpattu jätevesi virtaa ensimmäisenä porrasväljän lävitse, jossa säleväli on 3 mm. Väljän tarkoituksena erotella suurimmat kiintoaineet ja roskat pois jätevedestä. (Virtanen J 2012, 13.) Välppäys materiaali kulkeutuu roskasäiliöön ja sitä kautta jatkokäsittelyyn kaatopaikalle.

Ilmastettu hiekanerotusallas poistaa seuraavana jätevedestä kiviaineksen. Kiviaines vajoaa altaan pohjalle ja poistuu sitä kautta prosessista. (Virtanen J 2012, 13.) Kiviaines imetään kerran vuodessa altaan pohjalta pois ja kuljetetaan jatkokäsittelyyn.

Jätevesi virtaa seuraavaan vaiheeseen ilmastusaltaaseen. Ilmastusallas on kooltaan 200 m³ ja sen alussa veteen lisätään pH:n nostamiseksi ja alkaliteetin ylläpitämiseksi vahvaa 50 %:sta natriumhydroksidia (NaOH). Ilmastusaltaaseen lisätään myös fosforin saostamiseksi rauta (III)sulfaattia (Fe₂(SO₄)₃). Ilmastus tapahtuu altaan pohjassa sijaitsevien kumikalvoilmastimien avulla (Virtanen J 2012, 13). Ilmastusaltaassa tapahtuu biologinen jäteveden puhdistuminen. Aktiivilietteen sisältämät bakteerit ja mikrobit käyttävät ilmastusaltaassa ravintonaan jäteveden sisältämiä epäpuhtauksia. Lisäksi bakteerit saavat aikaan ilmastusaltaassa nitrifikaation, jossa bakteerit hapettavat jäteveden sisältämän ammoniumtypen nitraatiksi.

Lopulta käsitelty jätevesi johdetaan suorakaiteen muotoiseen selkeytysaltaaseen, jonka tilavuus on 366 m³. Selkeytysaltaassa loput epäpuhtaudet ja liete laskeutuvat altaan pohjaan ja siirtyvät takaisin kiertoon palautuslietteen mukana. Kirkas vesi johdetaan altaan pinnalta vesistöön eli Tukkiiviikkilahteen. (Virtanen J 2012, 13.)

Selkeytysaltaan pohjalle laskeutunut liete palautetaan mämmuttipumpulla takaisin ilmastusaltaaseen käsittelyyn. Ilmastusaltaasta kerätään poistettavaa ylijäämälietettä ajoittain, joka pumpataan 30 m³ stabilointialtaaseen. Stabilointialtaasta liete johdetaan eteenpäin tiivistysaltaaseen. Tiivistysaltaassa erottuva kirkas vesi palautetaan takaisin puhdistusprosessiin käsiteltäväksi. (Virtanen J 2012, 13.) Stabilointialtaan ja tiivistysaltaan liete tyhjenetään kahden viikon välein ja kuljetetaan säiliöautolla Luotsinmäen keskuspuhdistamolle jatkokäsittelyyn.

5.2 Vaadittu puhdistustulos puolivuotiskeskisarvoina

Jokaisella jätevedenpuhdistamolla on oma ympäristöviranomaisen hyväksymä ympäristölupa. Ympäristölupa antaa puhdistamolle luvan toimia tiettyjen luparajojen sisällä. Ympäristöluparaja määrittää, kuinka tehokkaasti puhdistamon tulee toimia. Tämä ympäristökeskuksen laatima luparaja antaa luvan päästää vesistöön tietyn määrän ympäristöä kuormittavia tekijöitä. (Laitinen ym. 3.2014, 20.)

Reposaaren jätevedenpuhdistamon ympäristöluvan (LOS-2005-Y-799–121) vaatima puhdistustulos puolivuotiskeskisarvoina on kuvattu taulukossa 4. Reposaaren puhdistamolta vaaditaan tarkkailua seuraavien kuormittavien tekijöiden kohdalta; BOD₇, ATU, COD_{Cr}, fosfori sekä kiintoaine. Taulukossa 4 on lisäksi esitetty, kuinka suuria pitoisuuksia lähtevä vesi saa näitä aineita sisältää, sekä millainen käsittelyteho eli reduktio näillä aineilla tulee olla. (Ympäristölupapäätös LOS-2005-Y-799-121 20.6.2006, 12).

Taulukko 4. Reposaaren puhdistamon ympäristöä kuormittavien tekijöiden päästö-määrät vesistöön puolivuotiskeskivertoina (Ympäristölupapäätös LOS-2005-Y-799-121 20.6.2006, 12).

	Pitoisuus enintään	Käsittelyteho vähintään
BOD ₇ ATU	15 mg O ₂ /l	90 %
COD _{Cr}	125 mg O ₂ /l	75 %
Fosfori	0,7 mg P/l	90 %
Kiintoaine	35 mg/l	90 %

Reposaaren puhdistamon puhdistustulosta seurataan jatkuvasti tekemällä päivittäisiä mittauksia jätevedestä. Näitä mittauksia ovat muun muassa, näkösyvyyden mittaaminen, pH, happi sekä fosforin mittaaminen. Vuodessa Reposaaren puhdistamolta otetaan ympäristöluvan mukaisesti kuusi kokoomanäytettä kahden kuukauden välein. Kokoomanäytteet kuljetetaan Luotsinmäen keskuspuhdistamon laboratorioon tutkittavaksi. Kokoomanäytteet kerätään vuorokausinäytteenä automatisoiduilla näytteenottimilla. Näytteet kerätään tulevasta ja lähtevästä vedestä. Lisäksi kerätään kertainäyte aktiivi- ja palautuslietteestä.

Kokoomanäytteistä tutkitaan seuraavat suuret:

- BOD₇ ATU
- COD_{Cr}
- Kokonaisfosfori
- Kiintoaine
- Kokonaistyyppi
- Ammoniumtyppi
- pH
- Alkaliteetti
- Liukoinenfosfori
- Jäännösrauta

Nämä tiedot kirjataan velvoitetarkkailutaulukkoon ja lähetetään ympäristöviranomaisille tarkkailtavaksi.

Kokoomanäytteen lisäksi voidaan tarvittaessa ottaa kertanäytteitä jätevedestä, jos tilanne vaatii. Näistä näytteistä pystytään tarvittaessa tutkimaan, millaista tulevan jäteveden laatu on, sekä miten jätevesiprosessi toimii. Esimerkiksi tämän työn aikana otettiin niin kertanäytteitä kuin vuorokausinäytteitäkin laboratoriokokeita ja prosessin koeajoa varten. Näistä näytteistä tehtiin tarvittavia laboratoriomittauksia ja nähtiin, miten erilaiset prosessiin tehtävät muutokset näkyvät jäteveden lopullisessa laadussa.

5.3 Vuoden 2021 puhdistustulos

Vuonna 2021 Reposaaren jätevedenpuhdistamo toimi kohtuullisen hyvin. Vuoden aikana pysyttiin ympäristöluvan sallimissa rajoissa paitsi fosforin osalta puhdistusteho kärsi hieman. Nitrifikaatiota pystyttiin myös ylläpitämään ympäri vuoden. Ammoniumtypen reduktio oli jopa 99 % (Rinne J 12.1.2022,5).

Yleisesti puhdistustulos oli hyvä, kuten taulukosta 5 nähdään. Taulukossa 5 on esitetty vuoden 2021 keskiarvo Reposaaren puhdistustuloksesta. Taulukosta 5 on myös nähtävissä lupaehdon rajat, kuinka paljon kyseistä ainetta saa olla lähtevässä vedessä ja mikä puhdistustehon tulee olla. Puhdistusteho oli BOD₇ osalta 96 %, COD osalta 90 %, kiintoaineen osalta 90 % ja fosforin osalta 88 %. Kiintoaineen puhdistusteho saavutti juuri lupaehtojes rajan. Fosforin puhdistusteho jäi hieman alle luparajan puhdistustehon ollessa 88 %, kun vaadittu puhdistusteho oli 90 %.

Taulukko 5. Reposaaaren puhdistamon käsitellyn ja vesistöön johdetun jäteveden pitoisuudet ja puhdistustehot vuodelta 2021 (Rinne J 12.1.2022,5.).

	Käsitelty mg/l	Puhdistus- teho %	Vesistöön mg/l	Koko- naisteho %	Lupaehto
BOD ₇ ATU	6,3	96	6,3	96	15 mg/l, 90 %
COD Cr	44	90	35	90	125 mg/l, 75 %
Fosfori	0,66	88	0,66	88	0,7 mg/l, 90 %
Kiintoaine	17	90	17	90	35 mg/l, 90 %
Kok. typpi	37	25	37	25	

6 LABORATORIOKOKKEET

Ennen varsinaista työtä suoritettiin laboratorioskokeita. Laboratorioskokeet suoritettiin huhti- toukokuun aikana. Laboratoriotutkimuksissa tutkittiin pienessä mittakaavassa, miten jätevesi reagoi saostukseen ja selkeytykseen tehtäviin erilaisiin muutoksiin. Opinnäytetyöntekijä suoritti laboratoriotutkimukset Porin Veden keskuspuhdistamolla Luotsinmäen laboratoriossa Porin Veden henkilökunnan opastuksella.

Laboratorioskokeita suoritettiin kahdenlaisia. Etsittiin optimaalinen saostuskemikaalin annostelumäärä sekä optimaalinen pH, jossa saostuskemikaali toimisi parhaiten. Saostuskemikaalin ja pH-optimoinnin avulla pyrittiin löytämään oikeat olosuhteet fosforin ja kiintoaineen tehokkaaseen poistoon sekä puhdistustuloksen tasapainoiseen ylläpitoon.

6.1 Lähtötilanne

Lähtötilanteessa pohdittiin, miten fosforin ja kiintoaineen poistoa puhdistusprosessissa voitaisiin kehittää. Tarkoituksena oli selvittää, miten puhdistamolla käytettävän saostuskemikaalin ferrisulfaatin avulla voitaisiin parantaa puhdistustulosta.

Kokeita varten tehtiin laboratoriosuunnitelma, ks. liite 1. Suunnitelmassa käytiin läpi, mitä välineitä työssä tarvitaan ja minkälaisia kokeita laboratoriossa tullaan tekemään. Suunnitelma sisälsi alustavat ohjeet saostuskemikaalin annostelu- ja pH-optimointi kokeisiin. Suunnitelmalla luotiin alustava pohja laboratorioskokeille, jota työn aikana tarvittaessa modifioitiin.

Ennen laboratorioskokeita Reposaaressa puhdistamolta ei otettu erillistä tutkittavaa näytettä jätevedestä. Laboratorioskokeissa ei nimittäin ollut tarvetta tietää jäteveden sisäistä koostumusta sen tarkemmin. Tarkoituksena oli tutkia jäteveden reaktiota erilaisiin muutoksiin. Kenttäkokeissa puolestaan mitattiin jäteveden koostumus ennen uusia säätöjä.

6.2 Koejärjestelyt

Kokeita varten hankittiin yhden litran dekanterilaseja sekä koululta lainattiin magneettisekoitin sekä sameusmittari. Reposaaressa puhdistamolta haettiin aamulla puhdistamatonta jätevettä. Jätevesi kerättiin kerta-äytteenä tulevasta jätevedestä. Jätevesi kuljetettiin Luotsinmäen keskuspuhdistamon laboratorioon, jossa jätevedelle tehtiin erilaisia kuppikokeita. Kuppikokeet tehtiin yhden litran dekanterilaseissa, jotta näytteisiin tehtävät muutokset olisivat helposti erotettavissa tarvittaessa myös silmämääräisesti ja kemikaalien annostelu olisi selkeämpää.

Ennen varsinaisia kokeita tehtiin esikoe, jotta nähtäisiin, mitä tapahtuu kokeen eri vaiheissa. Esikokeessa määritettiin muun muassa; kemikaaliannostuksen määrät, pH-arvot, magneettisekoittimien nopeudet ja sekoitusajat sekä lisäksi näytteiden laskeutumis aika.

6.2.1 Saostuskemikaalin annostelukoe

Ennen laboratoriokokeita selvitettiin, kuinka paljon saostuskemikaalia kuluu puhdistamolla keskimäärin vuorokaudessa vuoden aikana. Vuoden 2021 tietoja hyödyntäen selvitettiin, että saostuskemikaalia kuluu keskimäärin noin 34,40 l/d. Lisäksi selvitettiin vuoden 2021 raportoinnin avulla keskimääräinen vuorokausivirtaama vuoden aikana, joka puhdistamolla oli 264 m³/d. Täten pystyttiin laskemaan keskimääräinen saostuskemikaalin syöttö yhtä jätevesilitraa kohden vuodessa, joksi saatiin 0,13 ml.

Ensimmäisessä laboratoriokokeessa tutkittiin saostuskemikaalin annostelumäärän vaihtelua. Kokeilla haluttiin saada aikaan vaihtelua jätevesinäytteiden sameuksien välillä. Selvitetiin, millä saostuskemikaalin annostuksella jäteveden epäpuhtaudet saostuvat parhaiten ja mitkä ovat maksimi ja minimi annostelumäärät.

Saostuskemikaalina Reposaaressa puhdistamolla toimii kauppanimeltään PIX-105, joka tunnetaan myös nimellä ferrisulfaatti, eli rauta (III)sulfaatti (Fe₂(SO₄)₃). Reposaaressa puhdistamolalta otettiin ferrisulfaattia mukaan laboratoriokokeisiin. Ferrisulfaatin pitoisuus on noin 40 %, jolloin raudan pitoisuus on 11,2 % liuoksesta.

Litran dekantterilaseja työssä oli käytettävissä yhteensä 10 kappaletta, joista yksi toimi aina nollanäytteenä eli jätevesinäytteenä, johon ei tehty muutoksia. Magneettisekoittimia puolestaan oli käytettävissä vain 6 kappaletta, joka hankaloitti työn tekoa. Täytetyt dekantterilasit asetettiin magneettisekoittimien päälle sekoittumaan tasaisesti 100 rpm tahtiin, kuten kuvasta 5 nähdään.

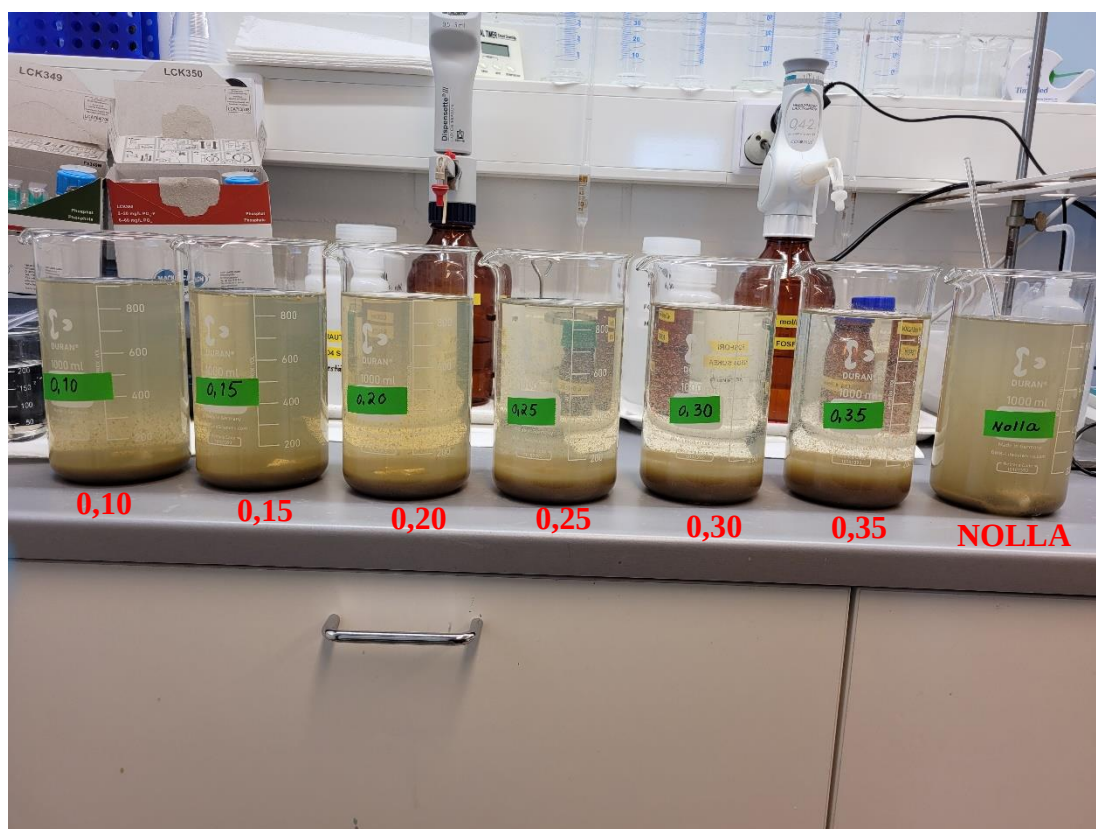


Kuva 5. Jätevesinäytteiden sekoittamista saostuskemikaalin annostelukokeessa.

Saostuskemikaalia syötettiin näytteisiin eri määrät, jotta nähtiin, miten syöttömäärän vaihtelu vaikuttaa jäteveden saostumiseen ja selkeytymiseen. Syöttömäärät vaihtelivat toisistaan 0,05 ml:n välein. Pienin syöttömäärä oli 0,05 ml ja suurin 0,45 ml.

Jokaista jätevesinäytettä sekoitettiin ensin hitaasti noin 100 rpm:n kierrosluvulla. Seuraavaksi jokaiseen näytteeseen lisättiin määrätty saostuskemikaali määrä ja sekoitusta lisättiin minuutin ajaksi tasolle 400 rpm. Tämän jälkeen sekoitusta hiljennettiin 5 minuutin ajaksi jälleen tasolle 100 rpm. Lopuksi sekoitus sammutettiin ja näytteiden annettiin laskeutua rauhassa 5 minuuttia.

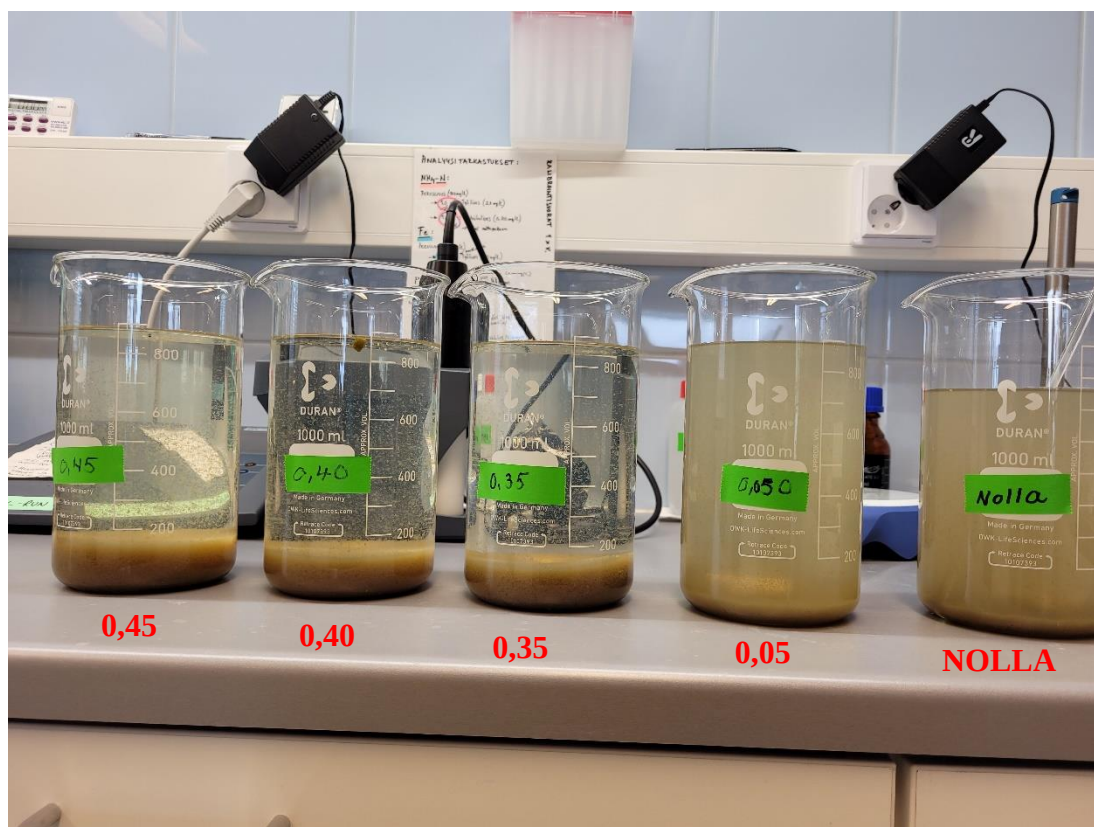
Kuvassa 6 saostuskemikaalia annosteltiin 0,10 ml – 0,35 ml/näyte ja lisäksi kuvassa on mukana nollanäyte.



Kuva 6. Saostuskemikaaliannostelukoe, jätevesinäytteet 0,10–0,35 ml:n saostuskemikaaliannostuksella sekä nollanäyte oikealla. Kuva on otettu saostumisen ja sitä seuraavan 5 min laskeutumisen jälkeen.

Kuvan 6 näytteistä huomattiin jo silmämääräisesti ero sameuden suhteen. Sameimmat näytteet nollanäytteen jälkeen olivat selkeästi näytteet, joihin kemikaalia oli annosteltu 0,10 ml ja 0,15 ml. Kirkkainta näytettä oli hankalampi erottaa silmämääräisesti, sillä näytteissä, joissa kemikaalia oli annosteltu 0,30 ml ja 0,35 ml kirkkaus oli melko lähellä toisiaan.

Edellä esitettyjen koetulosten jälkeen haluttiin laajentaa saostuskemikaalin annostelu-
aluetta. Haluttiin siis selvittää, mikä määrä saostuskemikaalia olisi jätevedessä huomattavasti liikaa ja mikä liian vähän. Tätä varten tehtiin uusi koe, joka on nähtävissä kuvasta 7. Tässä kohtaa näytteisiin annosteltiin saostuskemikaalia kummastakin ääripäästä. Pienin määrä oli vain 0,05 ml ja suurin määrä 0,45 ml.



Kuva 7. Saostuskemikaali annostelukoe, jätevesinäytteet 0,05 ml ja 0,35 ml - 0,45 ml saostuskemikaali annostuksella. Saostumisen ja sitä seuraavan 5 min laskeutumisen jälkeen.

Kuvan 7 näytteistä pystyttiin huomaamaan eroja silmämääräisesti katsomalla. Näytteistä samein oli huomattavasti näyte, jossa kemikaaliannostus oli 0,05 ml ja joka vastasi lähes nollanäytettä. Kirkkaimmat näytteet olivat puolestaan näytteet, joissa annostus oli 0,45 ml, 0,40 ml ja jo aiemmin tutkittu näyte annostuksella 0,35 ml.

Tämä koe osoitti, että kemikaalin syöttömäärää kasvattamalla saadaan parannettua jäteveden kirkkautta eli kiintoainetta ja fosforia sitovia flokkeja syntyy enemmän. Tulosten mukaan optimaalisin saostuskemikaalin annostelumäärä koeolosuhteissa oli 0.35–0.40 ml yhdessä litrassa jätevettä. Lopuksi näytteistä mitattiin sameudet sekä pikatesteillä määritettiin fosfaattipitoisuudet. Nämä tulokset ovat nähtävissä mittatulokset osioissa.

Työn jälkeen kuitenkin havaittiin, että kemikaalisyöttömäärä 0,35 ml/l on todella suuri. Kemikaalia syötettäisiin 93 l/d, joka vastaisi kiloina 141 kg/d. Nämä määrät ovat pienelle puhdistamolle valtavan suuria. Vuodessa kemikaalia kuluisi 51465 kg. Lisäksi kemikaalipumpuilla olisi vaikeuksia pumpata näin suuria määriä kemikaalia päivän aikana. Lähtevän veden näkösyvyys saattaisi myös heikentyä raudan rusehtavan värin takia.

6.2.2 pH-optimointi

Oikean saostuskemikaaliannostuksen löytämisen lisäksi oli tärkeää löytää oikea pH-arvo, jossa jäteveden sisältämät kolloidiset ainekset saostuvat parhaiten. Sopivan pH:n löytäminen on kuitenkin laitospaikoista, minkä takia laboratoriotyössä pyrittiin löytämään oikea pH-arvo testaamalla jäteveden saostumista eri pH-alueilla. Lisäksi työssä vaihdeltiin saostuskemikaalin syöttömäärää, jotta nähtiin, mikä pH-arvo toimii milläkin kemikaalisyöttömäärällä.

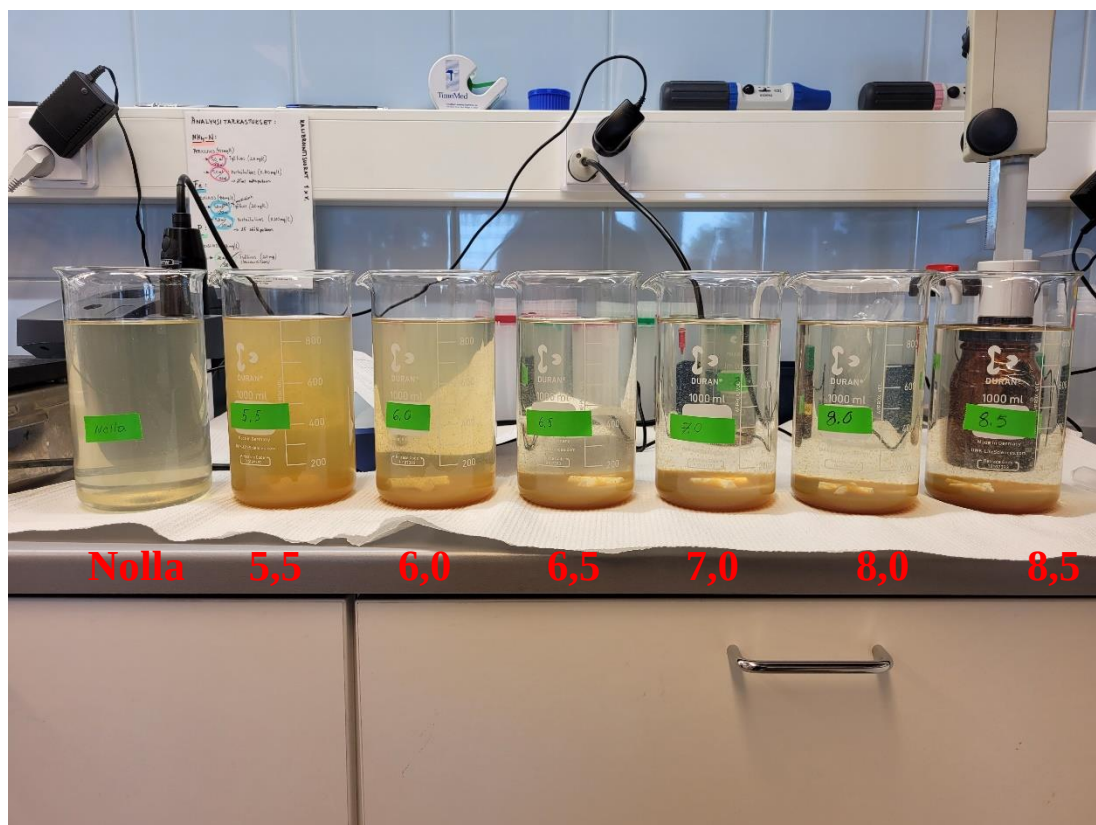
pH-kokeissa säädettiin ensin jäteveden pH-arvot käyttämällä 5 % lipeää ja 39 % rikkihappoa. pH-asteikkona toimi: 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5; 8,0 ja 8,5. Lipeää käytettiin pH:n nostamiseen ja rikkihappoa puolestaan pH:n laskemiseen. Ennen tehtäviä pH-mittauksia pH-anturi kalibroitiin. Työssä asetettiin jokaiselle näytteelle ensin oikea pH-arvo, jonka jälkeen näytteisiin annosteltiin saostuskemikaalia ja sekoitusta lisättiin. Lopuksi näytteiden annettiin seota hiljalleen 5 minuutin ajan ja tämän jälkeen laskeutua 5–30 minuuttia. Näytteistä mitattiin sameudet sekä pikatesteillä määritettiin fosfaattipitoisuudet. Nämä tulokset ovat nähtävissä mittatulokset osioissa.

6.2.3 pH-optimointi saostuskemikaaliannostukselle 0,35 ml/l

Edellisessä saostuskemikaalinannostelu kokeessa havaittiin, että saostuminen tapahtuu parhaiten kemikaaliannostuksella 0,35 ml/l. Tämän kokeen jälkeen havaittiin, että kemikaalimäärä on liian suuri. Tässä laboratoriotyössä haluttiin kuitenkin myös kokeilla oikean pH-arvon löytämistä saostuskemikaalisyötölle 0,35 ml/l, vaikka sitä ei voitaisi todellisuudessa käyttää. Tämän kokeen aikana ferrisulfaattia ei huomattu vielä laimentaa, joten ferrisulfaatin pitoisuus oli 40 %, jonka rautapitoisuus oli 11,2 %-pääprosenttia.

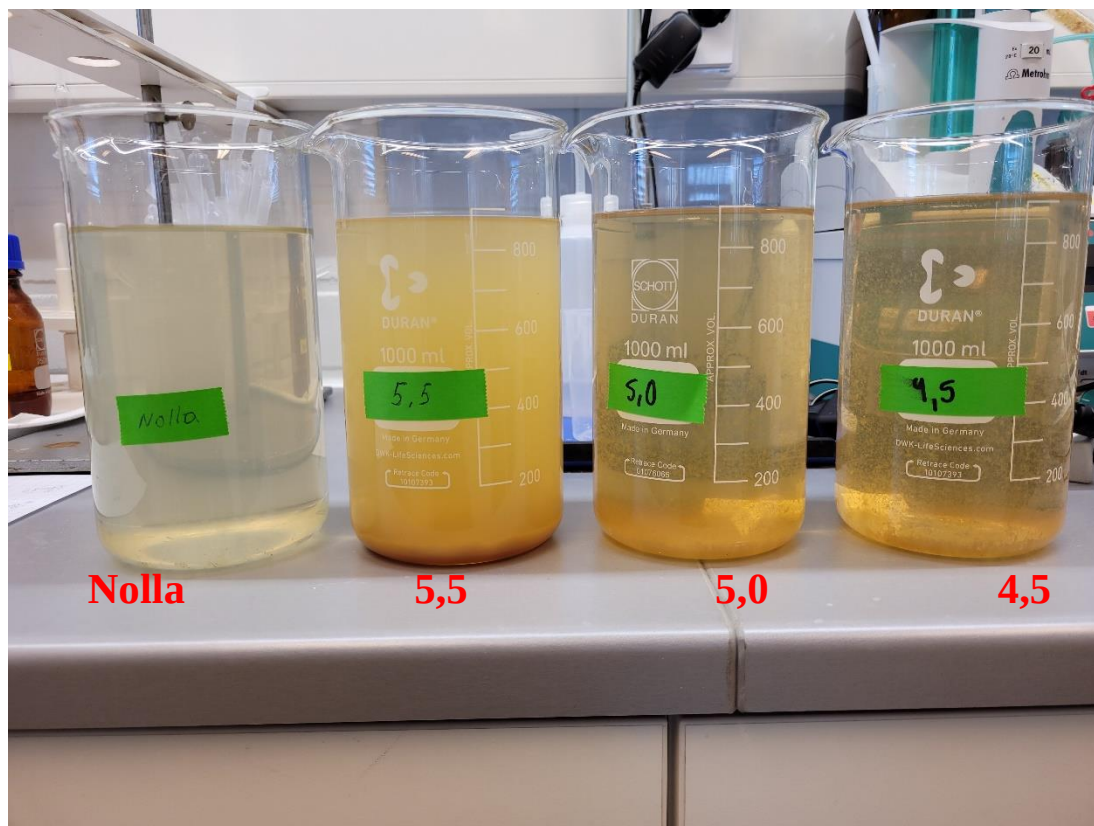
Ensimmäisessä pH-optimointi kokeessa tutkittiin optimaalista pH-arvoa kemikaalisyötön ollessa 0,35 ml/l. Näytteiden pH-arvot säädettiin ensimmäiseksi oikeaan arvoon lipeän ja rikkihapon avulla. Tämän jälkeen näytteisiin annosteltiin 0,35 ml saostuskemikaalia ja näytteiden sekoitusnopeutta kasvatettiin minuutin ajaksi. Lopuksi näytteiden annettiin saostua hitaasti 5 minuutin ajan. Tämän jälkeen sekoittimet sammutettiin ja näytteet laskeutuivat vielä 5 minuutin ajan.

Kuvassa 8 näytteisiin on asetettu pH-arvot: 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 8,0 ja 8,5 sekä nollanäyte. Kuvasta 8 puuttuu pH-arvo 7,5, mutta tästä on kuitenkin tehty tarvittavat mittaukset ja vastaukset ovat nähtävissä mittatulokset kappaleesta.



Kuva 8. pH:n optimointi alueella 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 8,0; 8,5 saostuskemikaalisyötöllä 0,35 ml/l. Saostumisen ja sitä seuraavan 5 min laskeutumisen jälkeen. Kuvassa myös nollanäyte.

Kuvassa 9 näytteisiin on asetettu pH-arvot: 4,5; 5,0 ja 5,5, lisäksi kuvassa on nollanäyte, johon ei ole tehty muutoksia.



Kuva 9. pH-optimointi alueella 4,5; 5,0; 5,5 saostuskemikaalisyötöllä 0,35 ml/l. Saostumisen ja sitä seuraavan 5 min laskeutumisen jälkeen. Kuvassa myös nollanäyte.

Silmämääräisesti kuvista 8 ja 9 erottuvat kirkkaimmat näytteet, jossa saostuminen on tapahtunut parhaiten. Parhaiten erottuivat näytteet, joiden pH-arvo oli 6,5–8,5. Näiden näytteiden välillä oli kuitenkin vaikea huomata eroavaisuuksia silmämääräisesti. Sameusmittarilla mitattaessa näytteiden sameus kuitenkin erosi toisistaan huomattavasti.

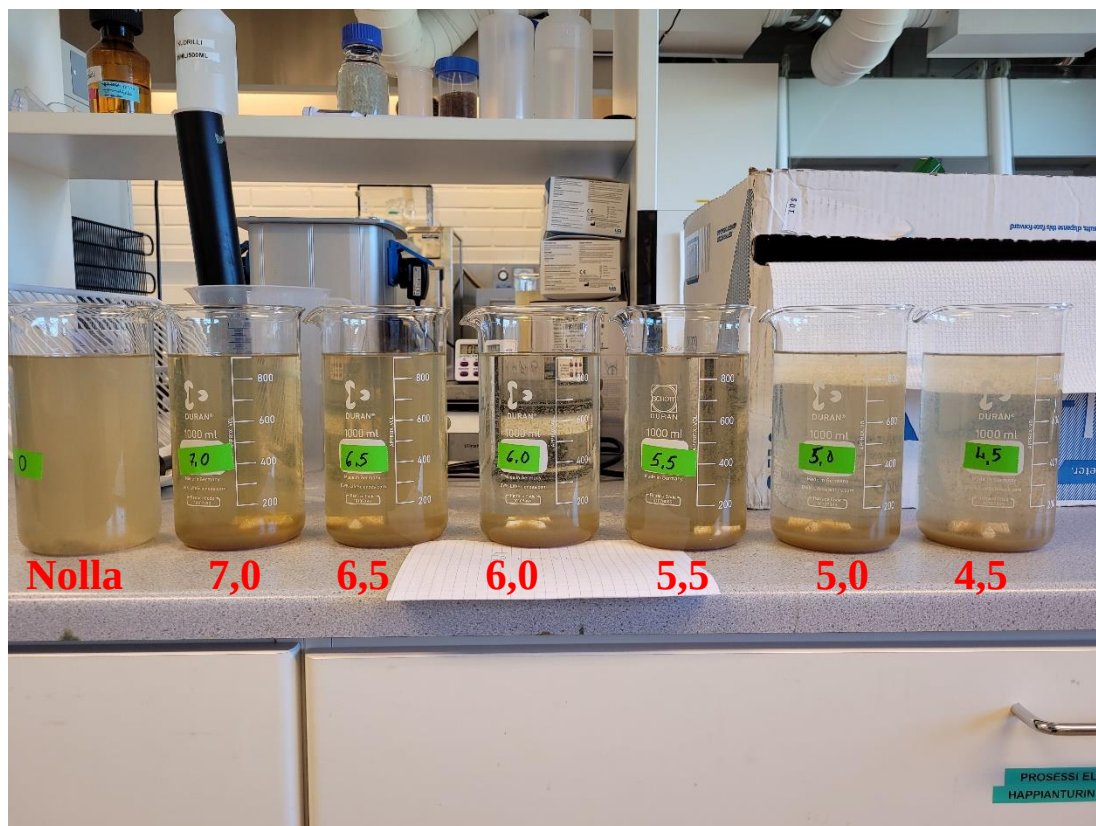
Sameimmat näytteet erottuvat kuvista 8 ja 9 helposti. Nämä näytteet olivat pH-arvoilla 4,5–6,0. Lisäksi tässä kokeessa huomattiin silmämääräisesti, kuinka ferrisulfaatin syöttömäärä 0,35 ml/l jätevetä kohden on huomattavasti liikaa. Tämä on huomattavissa kuvien 8 ja 9 näytteiden väristä. Suuri saostuskemikaaliannostus värjäsi veden ruskeaksi sekä pohjalle kerääntyi paljon rautasakkaa.

6.2.4 pH:n optimointi saostuskemikaaliannostuksella 0,16 ml/l

Edellisen kokeen lisäksi haluttiin löytää optimi pH realistisemmalle saostuskemikaalisyötölle. Vuoden 2021 aikana saostuskemikaalin keskimääräinen syöttömäärä on ollut 0,13 ml jätevesilitraa kohden. Työn tarkoituksena oli kuitenkin testata jätevesiprosessin ajoa eri kemikaaliannostuksilla, minkä takia testissä lisättiin saostuskemikaaliannostusta. Kokeessa lisättiin saostuskemikaalinsyöttöä 25 %:lla, jolloin saostuskemikaalia annosteltiin 0,16 ml jätevesilitraa kohden. Lisäksi prosessin sen hetkistä saostuskemikaalisyöttöä vastasi parhaiten arvo 0,16 ml ferrisulfaattia jätevesilitraa kohden.

Tässä kokeessa saostuskemikaalia laimennettiin suhteessa 10:100, jolloin ferrisulfaatin pitoisuudeksi saatiin 4 %. Kemikaali laimennettiin, jotta sen käsittely laboratorioolosuhteissa olisi turvallisempaa, sekä annostelu näytteisiin olisi tarkempaa. Koe suoritettiin säätämällä ensin pH-arvot kohdilleen, sitten lisättiin laimennettua saostuskemikaalia 1,6 ml jätevesinäytettä kohden, jonka jälkeen sekoitusta lisättiin. Minuutin nopean sekoituksen jälkeen sekoitusta hidastettiin 5 minuutin ajaksi ja tämän jälkeen näytteiden annettiin laskeutua.

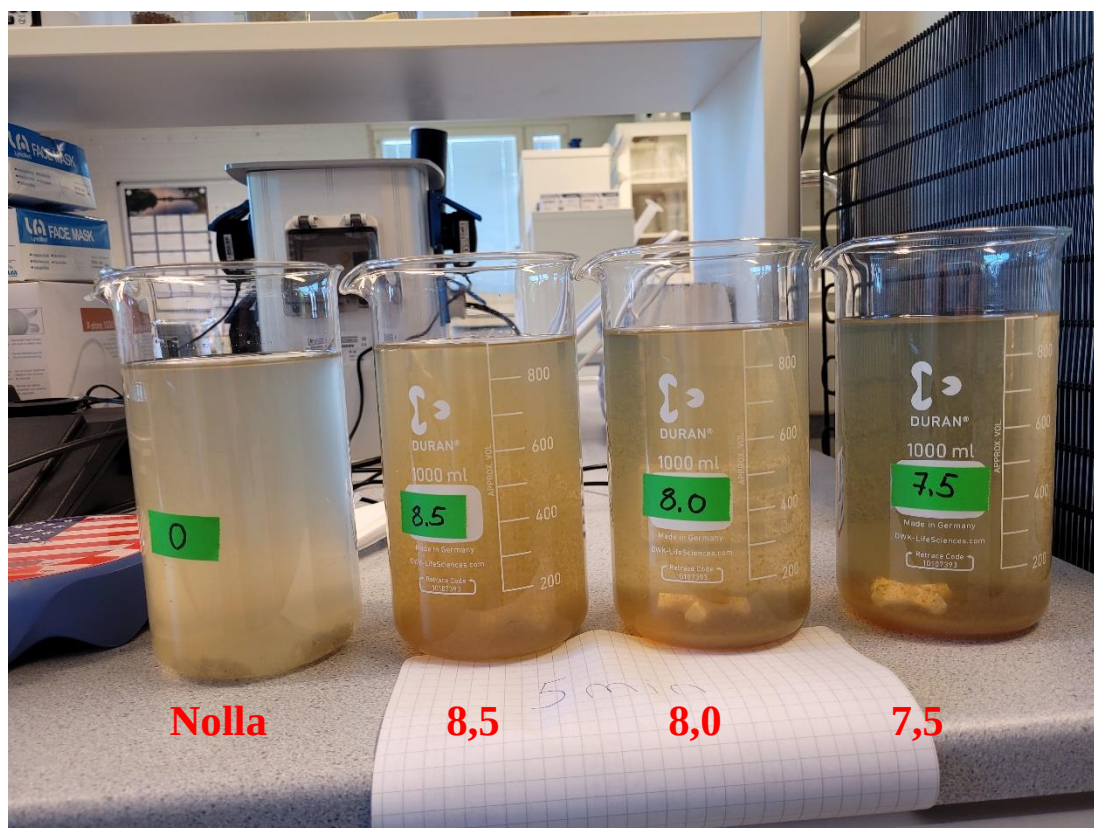
Näytteiden annettiin laskeutua ensin 5 minuutin ajan, jonka jälkeen niistä mitattiin sameus. Kuvassa 10 on kuvattuna näytteet pH-arvoilla: 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5 ja 7,0 sekä nollanäyte.



Kuva 10. pH:n optimointi alueella 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5 ja 7,0 laimennetulla saostuskemikaalisyötöllä 1,6 ml/l. Saostumisen ja sitä seuraavan 5 min laskeutumisen jälkeen. Kuvassa myös nollanäyte.

Näytteistä oli havaittavissa jo tässä kohtaa silmämääräisesti kirkkain näyte, jossa saostuminen oli tapahtunut parhaiten. Saostuminen tapahtui parhaiten pH-arvolla 6,0, joka on nähtävissä kuvan 10 keskellä.

Kuvassa 11 on kuvattuna näytteet pH-arvoilla: 7,5; 8,0 ja 8,5 sekä nollanäyte.

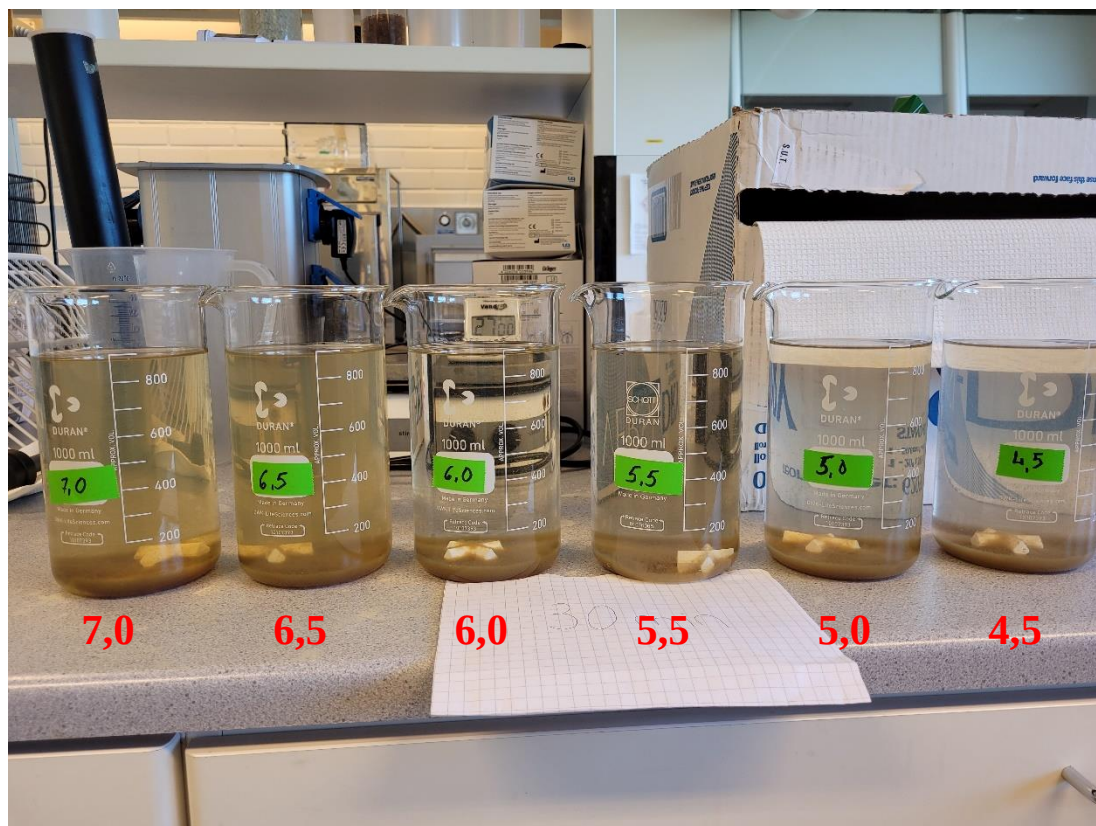


Kuva 11. pH:n optimointi alueella 7,5; 8,0 ja 8,5 laimennetulla saostuskemikaalisyötöllä 1,6 ml/l. Saostumisen ja sitä seuraavan 5 min laskeutumisen jälkeen. Kuvassa myös nollanäyte.

Kuvien 10 ja 11 näytteistä voidaan huomata, että mitä korkeampi pH-arvo on sitä heikommin, saostuminen tapahtui ja sitä sameammaksi vesi jäi.

Tämän jälkeen näytteiden annettiin laskeutua vielä 25 minuutin ajan, jolloin laskeutumis kokonaisajaksi muodostui 30 minuuttia. Lopuksi näytteistä mitattiin uudestaan sameudet sekä fosfaattipitoisuudet. Näytteiden annettiin laskeutua 30 minuuttia, sillä haluttiin nähdä miten pidennetty laskeutumisaika vaikuttaa flokkien muodostumiseen ja sitä kautta näytteiden sameuteen.

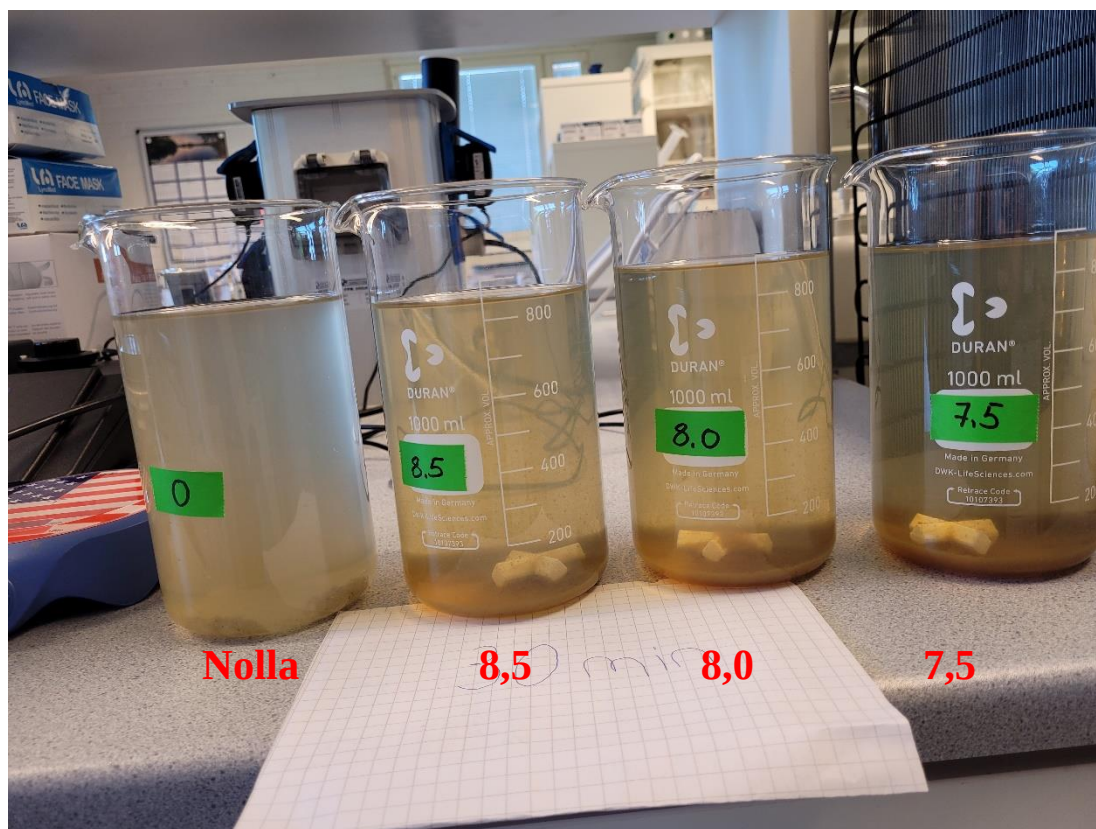
Näytteet kirkastuivat huomattavasti laskeutumisajan kasvaessa. Kuvassa 12 on nähtävissä näytteet pH-arvoilla: 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5 ja 7,0 esitetty 30 minuutin laskeutumisen jälkeen.



Kuva 12. pH:n optimointi alueella 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5 ja 7,0 laimennetulla saostuskemikaalisytöllä 1,6 ml/l. Saostumisen ja sitä seuraavan 30 min laskeutumisen jälkeen.

Kuvasta 12 huomataan hienosti, kuinka vesi kirkastui laskeutumisajan kasvaessa, kun kuvaa vertaa kuvaan 10, jossa laskeutumisaikana oli 5 minuuttia. Näytteiden laskeututtua 30 minuuttia silmämääräistä eroa näytteiden sameuksien välillä oli hankalampi erottaa. Tämä on havaittavissa kuvan 12 näytteiden: 6,0; 5,5; 5,0 ja 4,5 välillä.

Kuvassa 13 näytteet, joiden pH-arvo ovat 7,5; 8,0 ja 8,5 sekä nollanäyte 30 minuutin laskeutumisen jälkeen.



Kuva 13. pH:n optimointi alueella 7,5; 8,0 ja 8,5 laimennetulla saostuskemikaali-syötöllä 1,6 ml/l. Saostumisen ja sitä seuraavan 30 min laskeutumisen jälkeen. Kuvassa myös nollanäyte.

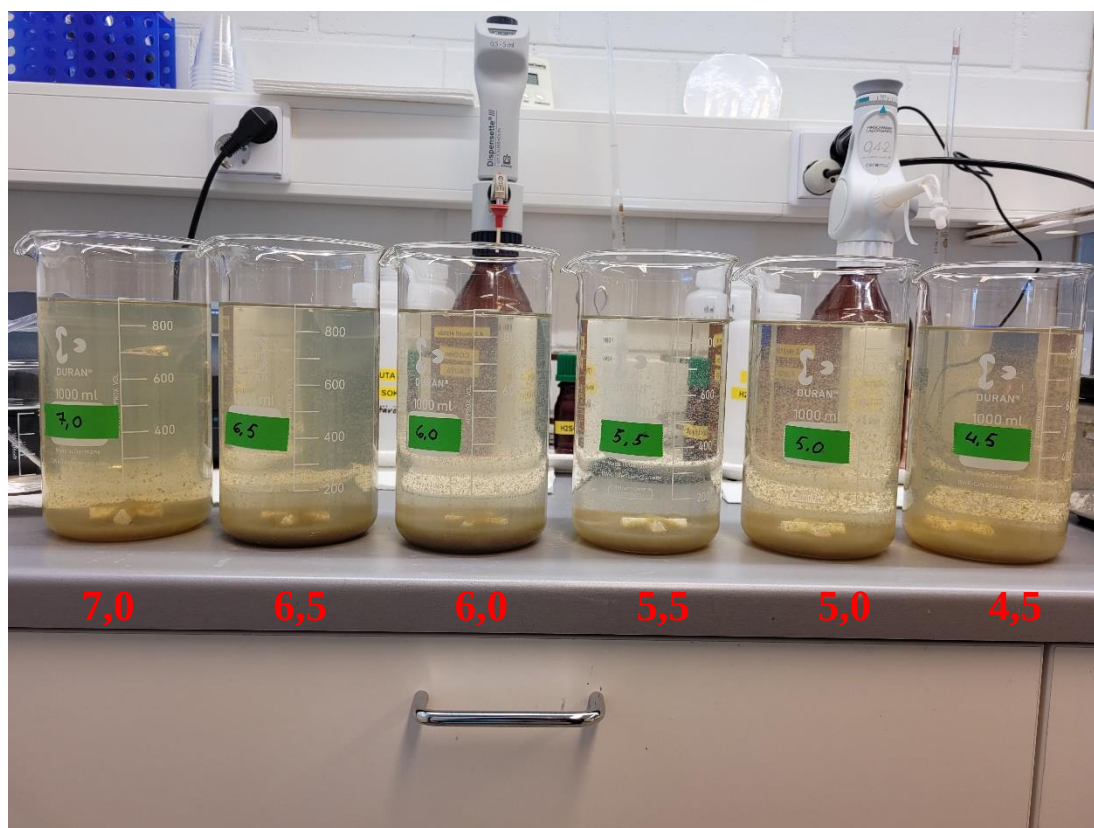
Sameimmat näytteet pH-arvolla: 7,5; 8,0 ja 8,5 pysyivät silmämääräisesti lähes yhtä sameina kuin laskeutumisajan ollessa 5 minuuttia. Tämä voidaan havaita vertailemalla kuvia 13 ja 11.

6.2.5 pH:n optimointi saostuskemikaaliannostuksella 0,13 ml/l

Lopuksi selvitettiin optimi pH vuoden 2021 aikana syötetyn keskimääräisen saostuskemikaalimäärän mukaan, joka oli 0,13 ml ferrisulfaattia litraa jätevettä kohti. Tällä testillä haluttiin lisäksi tukea edellisen kokeen paikkansapitävyyttä ja oikean pH-arvon löytämistä.

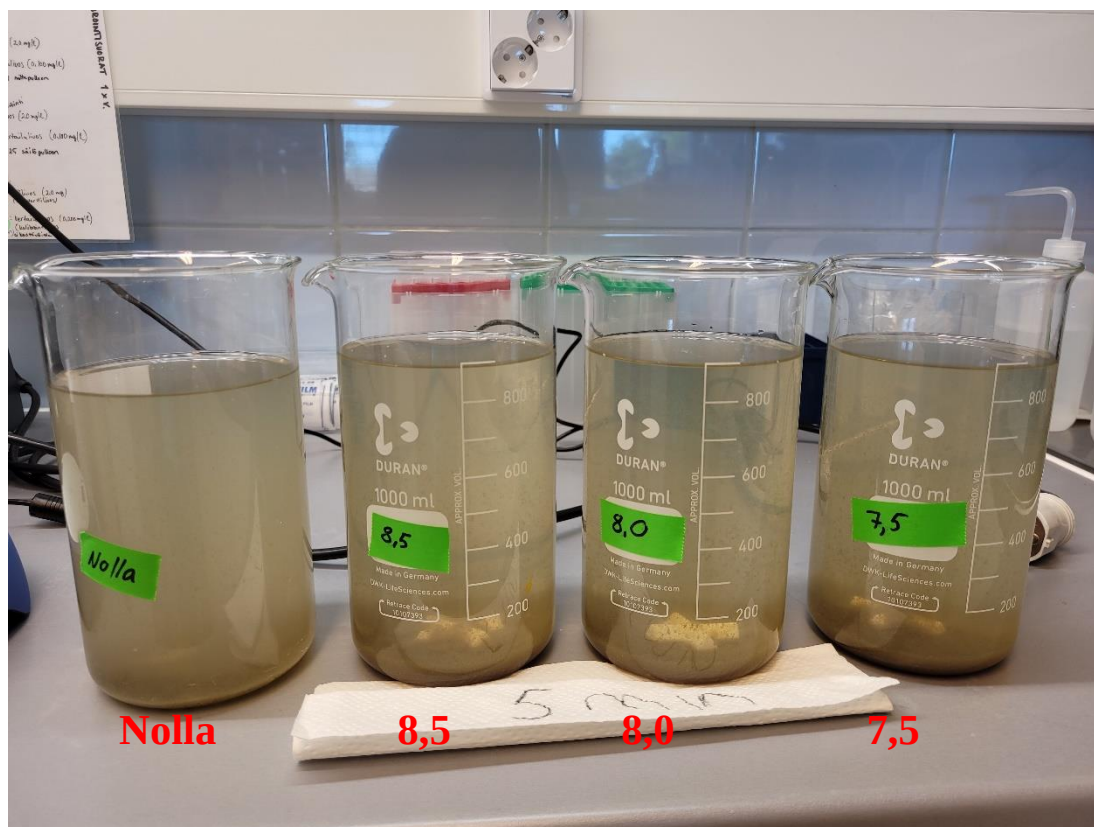
Ensimmäisenä säädettiin näytteiden pH-arvot kohdilleen lipeän ja rikkihapon avulla. Tämän jälkeen lisättiin 10:100 laimennettua 4 % ferrisulfaattia jokaiseen litran näytteeseen 1,3 ml samalla sekoitusta nopeuttaen. Minuutin nopean sekoittamisen jälkeen sekoitusta hidastettiin 5 minuutin ajaksi, jonka jälkeen näytteiden annettiin laskeutua rauhassa ensin 5 minuutin ajan.

Kuvassa 14 näytteet pH-arvoilla: 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5 ja 7,0 viiden minuutin laskeutumisen jälkeen.



Kuva 14. pH:n optimointi alueella 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5 ja 7,0 laimennetulla saostuskemikaalisyötöllä 1,3 ml/l. Saostumisen ja sitä seuraavan 5 min laskeutumisen jälkeen.

Kuvassa 15 on esitetty pH-arvot: 7,5; 8,0 ja 8,5 sekä nollanäyte viiden minuutin laskeutumisen jälkeen.

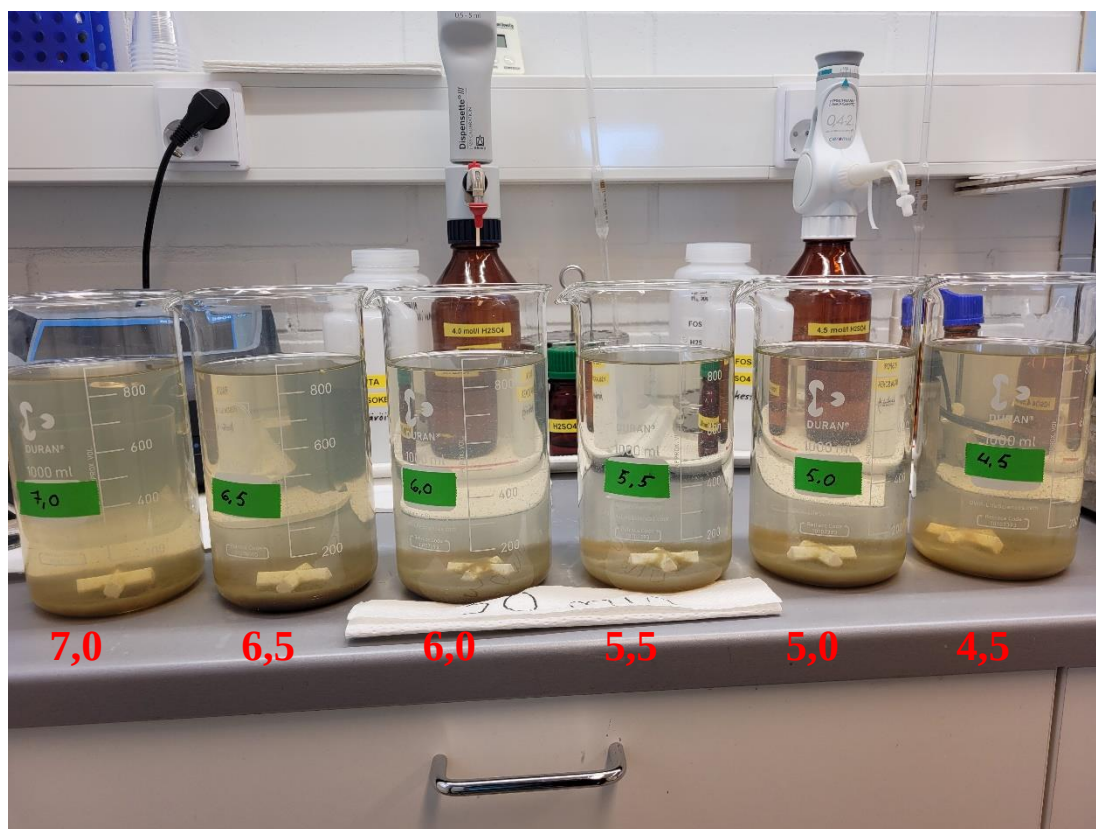


Kuva 15. pH:n optimointi alueella 7,5; 8,0 ja 8,5 laimennetulla saostuskemikaalisyötöllä 1,3 ml/l. Saostumisen ja sitä seuraavan 5 min laskeutumisen jälkeen. Kuvassa myös nollanäyte.

Viiden minuutin laskeutumisen jälkeen näytteistä mitattiin sameus. Näytteiden sameudessa huomattiin eroavaisuuksia jo silmämääräisesti. Kirkkain näyte erottui silmämääräisesti pH-arvolla 5,5, joka on huomattavissa myös kuvasta 14. Kaikki näytteet olivat kuitenkin silmämääräisesti melko tasaisia sameudeltaan, kuten kuvista 14 ja 15 voidaan huomata. Varsinkin pH:n ollessa korkea 7,5–8,5 oli sameuden eroa silmämääräisesti vaikea erottaa. Nämä näytteet vastasivat silmämääräisesti lähes nollanäytteen sameutta. Tämä on huomattavissa kuvasta 15.

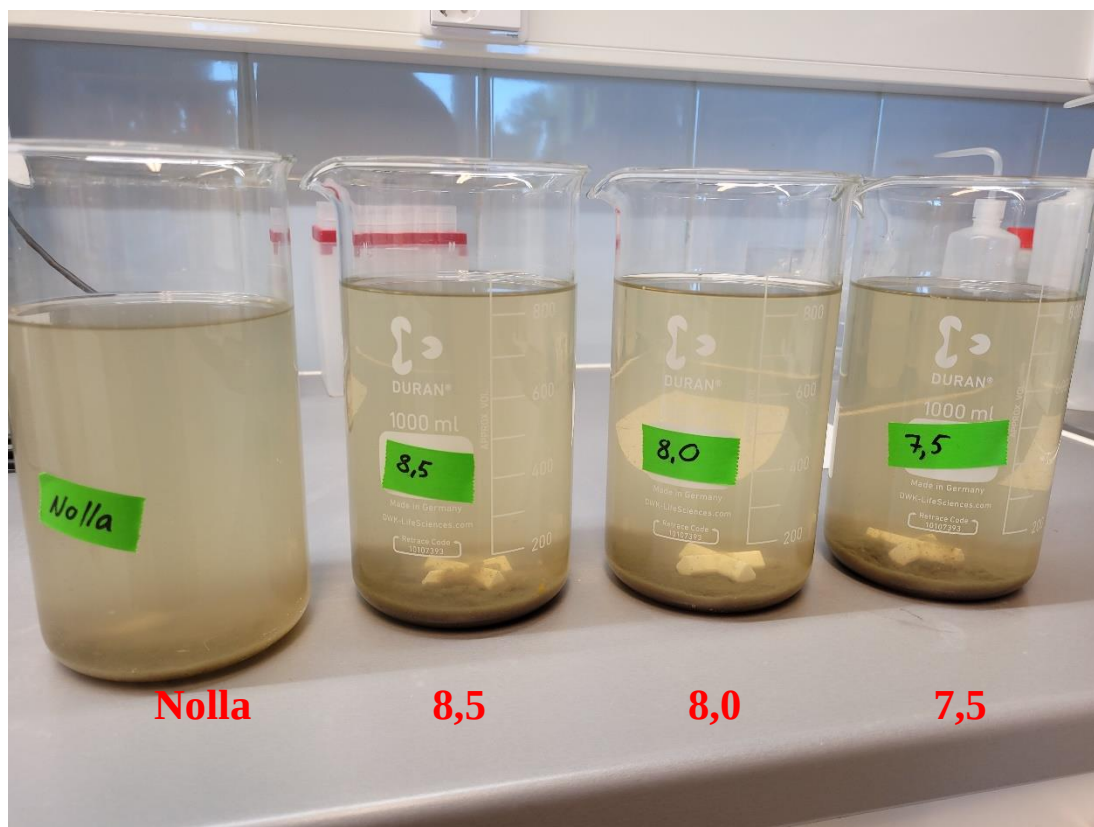
Tämän jälkeen näytteiden annettiin laskeutua vielä 25 minuutin ajan, jolloin laskeutumisen kokonaisajaksi muodostui 30 minuuttia. Lopuksi näytteistä mitattiin uudestaan sameus sekä fosfaattipitoisuudet. Näytteiden annettiin laskeutua 30 minuuttia, sillä näytteissä haluttiin nähdä sameuseroja laskeutumisaajan pidennyttyä.

Kuvassa 16 esillä pH-arvot: 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5 ja 7,0 esitetty 30 minuutin laskeutumisen jälkeen.



Kuva 16. pH:n optimointi alueella 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5 ja 7,0 laimennetulla saostuskemikaalisyötöllä 1,3 ml/l. Saostumisen ja sitä seuraavan 30 min laskeutumisen jälkeen.

Kuvassa 17 näytteet, joiden pH-arvot: 7,5; 8,0 ja 8,5 sekä nollanäyte esitetty 30 minuutin laskeutumisen jälkeen.



Kuva 17. pH:n optimointi alueella 7,5; 8,0 ja 8,5 laimennetulla saostuskemikaali-syötöllä 1,3 ml/l. Saostumisen ja sitä seuraavan 30 min laskeutumisen jälkeen. Kuvassa myös nollanäyte.

Huomattiin jälleen, kuinka näytteet kirkastuivat laskeutumisajan kasvaessa. Samalla näytteiden välinen sameusero tasaantui ja silmämääräisesti näytteiden välistä sameuseroa oli hankalampi huomata.

Silmämääräisesti tarkasteltuna 30 minuutin laskeutumisen jälkeen kirkkaimpana näytteenä erottui yhä näyte pH-arvolla 5,5. Lisäksi näytteet pH-arvoilla: 4,5; 5,0; 6,0; 6,5 sekä 7,0 kirkastuivat huomattavasti 30 minuutin laskeutumisen jälkeen, verrattaessa viiden minuutin laskeutumisaikaan. Tätä voidaan havainnoida vertailemalla kuvaa 16, jossa näytteet on esitetty 30 minuutin laskeutumisen jälkeen sekä aiempaa kuvaa 14, jossa näytteet on esitetty 5 minuutin laskeutumisen jälkeen.

Sameimmat näytteet esiintyivät yhä korkeammilla pH-arvoilla: 7,5; 8,0 ja 8,5. Nämä näytteet vastasivat lähes yhä nollanäytteen sameutta ja silmämääräisesti sameuseroja näytteiden välillä oli vaikea havaita, kuten kuvasta 17 nähdään. Nämä näytteet kuitenkin kirkastuivat edellisen 5 minuutin laskeutumisaikaan verraten. Kuvan 17 näytteiden silmämääräistä kirkkautta voidaankin verrata kuvan 15 näytteisiin, jossa näytteillä oli 5 minuutin laskeutumisaika.

6.3 Mittatulokset ja tulosten analysointia

Laboratoriokokeiden jälkeen tulokset analysoitiin. Tämän perusteella tehtiin päätöksiä, mitä säätöjä ja uusia muutoksia puhdistusprosessiin tehdään. Tulosten perusteella päätettiin, kuinka paljon kemikaalia prosessiin annostellaan sekä millä pH:lla puhdistusprosessia ajetaan.

6.3.1 Saostuskemikaalin annostelukoe

Saostuskemikaalikokeen jälkeen kustakin näytteestä mitattiin sameus sekä fosfaattipitoisuudet käyttämällä pikatestejä. Taulukossa 6 on esitetty tulokset saostuskemikaalin annostelukokeesta, jossa syötettiin eri määrät saostuskemikaalia käsittelemättömän jäteveden sekaan. Näytteitä oli yhteensä yhdeksän sekä nollanäyte. Näytteissä oli litran verran käsittelemätöntä jätevettä, johon annosteltiin eri määrät saostuskemikaalia. Kemikaalin syöttömäärät on esitetty taulukon 6 ensimmäisessä sarakkeessa ferrisulfaatin syöttö ml. Pienin kemikaalimäärä, joka annosteltiin, oli vain 0,05 ml ferrisulfaattia litran jätevesinäytettä kohden ja puolestaan suurin oli 0,45 ml ferrisulfaattia litran jätevesinäytettä kohden.

Taulukko 6. Saostuskemikaali annostelukoe mittatulokset.

Ferrisulfaatin syöttö 40 % (ml)	Sameus 5 min (NTU)	PO ₄ (mg/l)
Nollanäyte	74,2	6,24
0,05	37,4	4,37
0,1	35,1	4,03
0,15	33	3,75
0,2	31,3	2,53
0,25	13,1	0,86
0,3	6,3	0,46
0,35	4,3	0,31
0,4	5,5	0,36
0,45	6,9	0,44

Kaikista näytteistä mitattiin sameus sekä fosfaattipitoisuus sekoituksen ja viiden minuutin laskeutumisen jälkeen. Näytteissä käytetty jätevesi oli kertanäytteenä nostettua, minkä takia fosfaattipitoisuudet saostuksen ja laskeutumisen jälkeen olivat huomattavasti korkeampia, kuin mitä olisi vuorokausinäytteessä. Sameimpana näytteenä toimi tietysti nollanäyte, johon ei tehty muutoksia. Nollanäytteen sameudeksi mitattiin 74,2 NTU ja fosfaattipitoisuudeksi 6,24 mg/l, joka voidaan havaita myös taulukosta 6. Taulukosta 6 voidaan havaita, kuinka veden sameus ja fosfaattipitoisuus muuttui ferrisulfaatin syötön seurauksesta. Sameus ja fosfaattipitoisuus pieneni mitä enemmän näytteeseen ferrisulfaattia annosteltiin, kunnes vastaan tuli raja, jossa sameuden ja fosfaatin pitoisuus alkoi jälleen kasvaa.

Parhaimmat mittausarvot saavutettiin 0,35 ml kemikaalisyötöllä. Tämä oli havaittavissa myös silmämääräisesti kokeita tehdessä sekä aiemmin esitetystä kuvasta 6. Tämän näytteen sameudeksi mitattiin 4,3 NTU, joka vastaa jo hyvin kirkasta vettä. Fosfaattipitoisuudeksi mitattiin 0,31 mg/l, mikä oli alhaisin ja paras arvo tuloksia vertailtaessa.

Kuten jo aiemmin todettiin tämän saostuskemikaalisyötön ongelmaksi, koitui liian suuri kemikaalimäärä. Tässä kohtaa pohdittiin, mikä on Suomen puhdistamoilla käytetyn ferrisulfaatin maksimi määrä. Ympäristöministeriön teoksessa: Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamot, löydettiin ferrisulfaatin annostelun vaihteluväliksi 61–531 g/m³. Teoksessa mainittiin, että tämä arvo ei kuitenkaan ole kovin vertailukelpoinen, sillä ferrisulfaattia käytetään prosesseissa eri tavalla ja eri käyttötarkoituksiin. Arvo on kuitenkin suuntaa antava.

Täten 0,35 ml kemikaalia litraa jätevettä kohden vastaisi 532 g/m³. Tämä olisi Suomessa annosteltavan ferrisulfaatti määrän ylärajoilla. Reposaaressa puhdistamo on pieni laitos, joten näin suuri ferrisulfaatin syöttömäärä saattaisi olla liikaa puhdistamon biologialle sekä lähtevän veden sameudelle. Lisäksi kustannukset tulisivat valtavan suuriksi ja suuren kemikaalimäärän varastoimisessa olisi ongelmia.

Täten pohdittiin, missä menee sopivan kemikaalisyötön raja. Kokeiden aikaista prosessiin syötettävää kemikaalimäärää vastasi noin 40 l/d. Tämä vastasi taulukosta 6 kemikaalisyöttöä 0,15 ml litran jätevesinäytettä kohti. Tämän näytteen sameudeksi mitattiin 33 NTU ja fosfaattipitoisuudeksi 3,75 mg/l. Pohdittiin, että puhdistusprosessin parantamisen kannalta riittäisi pienikin kemikaalisyötön lisäys, sillä lähtevän veden laadulta ei vaadittu täydellistä kirkkautta. Tämän takia taulukosta 6 tarkasteltiin ferrisulfaatin syöttöä 0,20 ml, joka vastaisi prosessiin syötettävänä kemikaalimääränä noin 50 l/d. Taulukosta 6 tarkasteltuna kemikaalisyötön 0,20 ml sameus oli 31,3 NTU ja fosfaattipitoisuus 2,53 mg/l. Kemikaalimääränä se vastasi 25 % lisäystä aiempaan 40 l/d kemikaalisyöttöön. Täten siis päätettiin, että kenttäkokeissa kokeiltaisiin syöttää prosessiin kemikaalia noin 50 l/d.

6.3.2 pH-optimointi

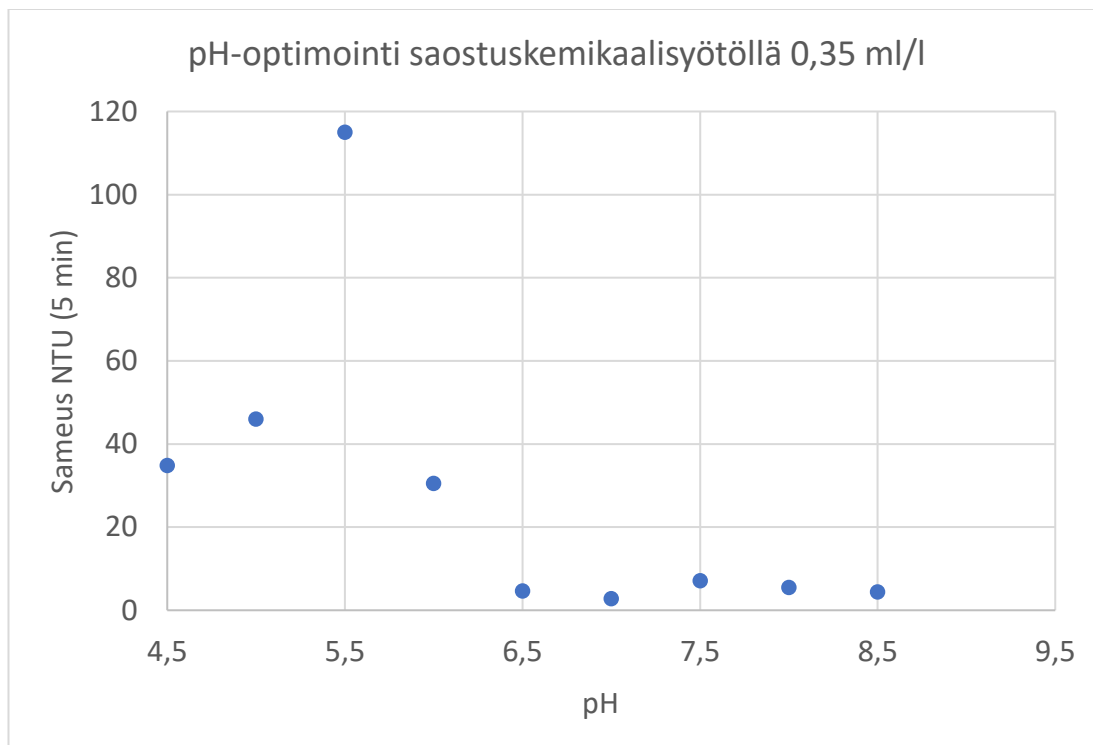
Oikean pH:n löytäminen tapahtui testaamalla jäteveden saostumista eri pH-alueilla ja saostuskemikaalisyötöillä. Yhteensä pH-optimointikokeita tehtiin kolme, joissa kussakin oli käytössä eri saostuskemikaalisyöttömäärä. Kemikaalia syötettiin 0,35 ml, 0,16 ml ja 0,13 ml. Kaikissa tapauksissa tutkittiin saostumista pH-arvoilla: 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5; 8,0 ja 8,5. Kaikille saostuskemikaalisyötöille löydettiin optimi pH, jossa saostuminen tapahtui parhaiten.

Tutkimus aloitettiin selvittämällä optimi pH-arvo saostuskemikaalisyötölle 0,35 ml/l, joka osoittautui saostuskemikaalikokeessa parhaimmaksi tulokseksi, mutta käytännön kannalta ei toimivaksi. Taulukossa 7 on esitetty tulokset pH-optimoinnille saostuskemikaalisyötön ollessa 0,35 ml. Parhain tulos saatiin pH-arvolla 7,0, jossa veden sameus oli sekoituksen ja viiden minuutin laskeutumisen jälkeen vain 2,7 NTU. Veteen sitoutunut fosfaattipitoisuus oli vain 0,07 mg/l, jolloin nollanäytteen ja pH 7,0 näytteen välinen reduktio oli 97 %.

Taulukko 7. pH-optimointi saostuskemikaalisyötöllä 0,35 ml.

pH	Ferrisulfaatin syöttö 40 % (ml)	Sameus 5min (NTU)	PO ₄ (mg/l)
Nollanäyte (7,6)	0	18,9	3,33
4,5	0,35	34,8	2,36
5,0	0,35	46	1,4
5,5	0,35	115	1,07
6,0	0,35	30,5	0,30
6,5	0,35	4,6	0,13
7,0	0,35	2,7	0,07
7,5	0,35	7,0	0,14
8,0	0,35	5,4	0,16
8,5	0,35	4,4	0,12

Alapuolella kuvassa 18 esitetty taulukon 7 tulokset sameuden suhteen kuvaajana. Parhaimpana erottuvat samein näyte 115 NTU pH-arvolla 5,5 ja kirkkain näyte 2,7 NTU pH-arvolla 7,0.



Kuva 18. pH-optimointi saostuskemikaalisyötöllä 0,35 ml/l. Samein näyte pH-arvolla 5,5 sameuden ollessa 115 NTU ja kirkkain näyte pH-arvolla 7,0 sameuden ollessa 2,7 NTU.

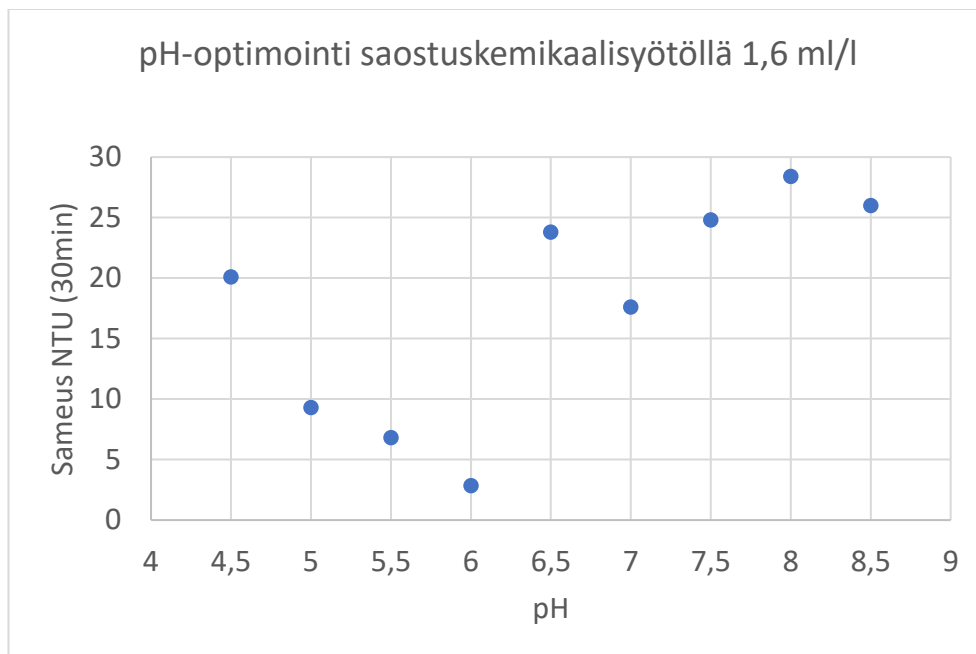
Näin ollen selvitetiin, että käytännöllisempi saostuskemikaalinsyöttö olisi huomattavasti pienempi kuin 0,35 ml. Täten selvitetiin optimi pH-arvo saostuskemikaali syötön ollessa 0,16 ml litran näytettä kohti. Tässä kokeessa saostuskemikaalia laimennettiin 10:100, minkä takia kemikaalia syötettiin näytteisiin 1,6 ml, jotta kemikaalin teho vastasi samaa kuin aiemmassa kokeessa. Taulukossa 8 on esitetty tulokset pH-optimoinnille saostuskemikaalisyötön ollessa 1,6 ml.

Taulukko 8. pH-optimointi saostuskemikaalisyötöllä 1,6 ml

pH	Ferrisulfaatin syöttö 4 %(ml)	Sameus 5min (NTU)	Sameus 30 min (NTU)	PO ₄ (30 min) (mg/l)
Nollanäyte (7,7)	0	44,1	41,2	5,48
4,5	1,6	28,1	20,1	1,82
5,0	1,6	10,4	9,3	0,83
5,5	1,6	17,2	6,8	0,71
6,0	1,6	5,01	2,8	0,35
6,5	1,6	24,7	23,8	2,23
7,0	1,6	18,2	17,6	1,64
7,5	1,6	26,4	24,8	1,87
8,0	1,6	31,4	28,4	2,09
8,5	1,6	33,5	26	1,98

Parhain tulos saatiin pH-arvolla 6,0, jossa veden sameus oli viiden minuutin laskeutumisen jälkeen 5,0 NTU ja 30 minuutin laskeutumisen jälkeen 2,8 NTU. Veteen sitoutuneen fosfaatin pitoisuus oli puolestaan 30 minuutin laskeutumisen jälkeen 0,35 mg/l, jolloin nollanäytteen ja pH-arvon 6,0 välinen reduktio oli 93 %.

Alapuolella kuvassa 19 on esitetty taulukon 8 tulokset sameuden suhteen kuvaajana. Parhaimpana erottuvat samein näyte pH-arvolla 8,0 sameuden ollessa 28,4 NTU ja kirkkain näyte pH-arvolla 6,0 sameuden ollessa 2,8 NTU.



Kuva 19. pH-optimointi saostuskemikaalisyötöllä 1,6 ml/l. Samein pH-arvo 8,0 sameuden ollessa 28,4 NTU ja kirkkain pH-arvo 6,0 sameuden ollessa 2,8 NTU.

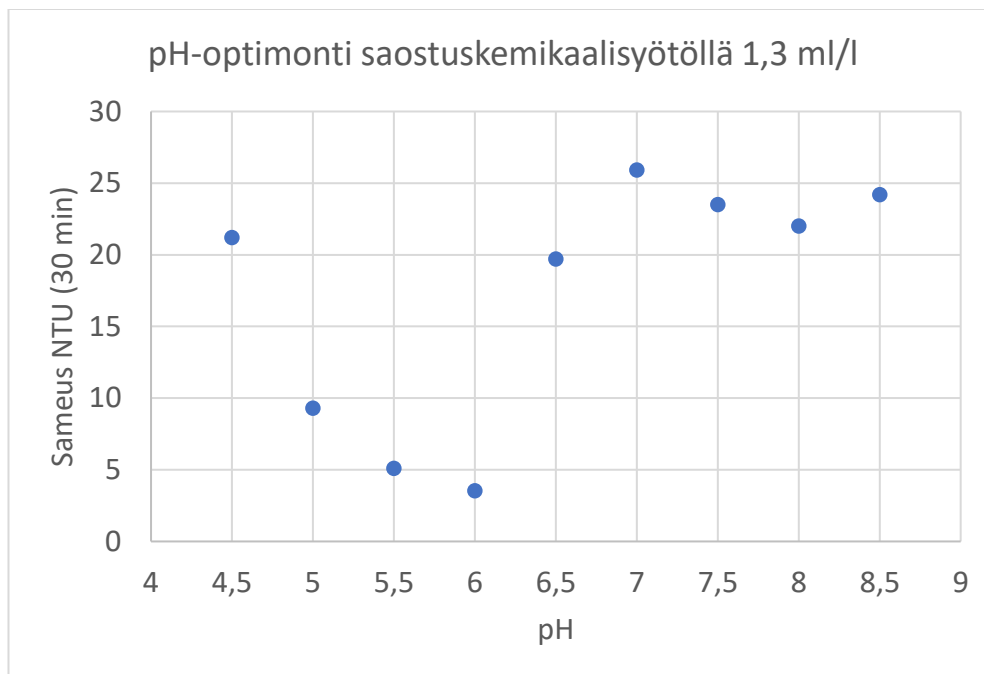
Lopuksi selvitettiin optimaalinen pH-arvo kemikaalisyötön ollessa vain 0,13 ml litran näytettä kohden. Tässä kokeessa saostuskemikaalia laimennettiin 10:100, jolloin näytteisiin annosteltiin kemikaalia 1,3 ml. Taulukossa 9 on esitetty tulokset pH-optimoinnille saostuskemikaalisyötön ollessa 1,3 ml.

Taulukko 9. pH-optimointi saostuskemikaalisyötöllä 1,3 ml.

pH	Ferrisulfaatin syöttö 4 % (ml)	Sameus 5 min (NTU)	Sameus 30min (NTU)	PO ₄ (mg/l)
Nollanäyte (7,6)	0	47,3	44,9	6,52
4,5	1,3	25,8	21,2	2,21
5,0	1,3	12,5	9,3	1,28
5,5	1,3	8,3	5,1	0,87
6,0	1,3	5,8	3,5	0,57
6,5	1,3	20,1	19,7	2,83
7,0	1,3	27,4	25,9	3,35
7,5	1,3	27,7	23,5	2,59
8,0	1,3	22,7	22	2,54
8,5	1,3	24,2	24,2	2,59

Parhain tulos saatiin pH-arvolla 6,0, jossa veden sameus oli viiden minuutin laskeutumisen jälkeen 5,8 NTU ja 30 minuutin laskeutumisen jälkeen 3,5 NTU. Veteen sitoutuneen fosfaatin pitoisuus oli puolestaan 30 minuutin laskeutumisen jälkeen 0,57 mg/l, jolloin nollanäytteen ja pH-arvon 6,0 väliseksi reduktioksi saatiin 91 %.

Alapuolella kuvassa 20 esitetty taulukon 9 tulokset sameuden suhteen kuvaajana. Parhaimpana erottuvat samein näyte pH-arvolla 7,0 sameuden ollessa 25,9 NTU ja kirkkain näyte pH-arvolla 6,0 sameuden ollessa 3,5 NTU.



Kuva 20. pH-optimointi saostuskemikaalisyötöllä 1,3 ml/l. Samein pH-arvo 7 sameuden ollessa 25,9 NTU ja kirkkain pH-arvo 6 sameuden ollessa 3,53 NTU.

Tarkkailtaessa kuvia 19 ja 20 huomataan, että käyrät ovat saman muotoisia. Kirkkain näyte esiintyy kummassakin tapauksessa pH-arvolla 6,0, jossa myös fosfaatti on saostunut parhaiten. Vesi puolestaan samenee pH-arvon kasvaessa. Näin ollen voitiin todeta, että suhteellisen pienellä saostuskemikaalisyötöllä optimaalinen pH-arvo on 6,0. Tämän tutkimuksen mukaan päätettiin asettaa jätevesiprosessin pH-arvo asetukselle 6,0.

7 KENTTÄKOKEET

Laboratoriokokeiden jälkeen päästiin toteuttamaan jätevesiprosessiin säätöjä, jotka oli todettu toimiviksi laboratorio-olosuhteissa. Prosessiin tehtävissä säädöissä huomioitiin kuitenkin se, että laboratorio-olosuhteissa tehdyt kokeet ja parhaimmat tulokset eivät välttämättä toimisi itse prosessissa. Kenttäkokeet tehtiin vuoden 2022 kesä-syyskuun aikana.

Työssä toteutettiin kuusi prosessiin kohdistuvaa säätöä. Jokaisen säädön jälkeen prosessin annettiin tasaantua noin viikon verran. Tämän jälkeen nähtiin, miten tehdyt muutokset vaikuttivat prosessiin. Viikon jälkeen puhdistamolta otettiin vuorokausinäyte tulevasta ja lähtevästä vedestä sekä lietteestä. Saatujen mittatulosten avulla rajattiin pois ei toimivat menetelmät.

Kenttäkokeiden aikana tutkittiin useampi näyte, jossa säädöt pysyivät samoina. Merkittävimmät näytteet esitellään seuraavana ja kaikki mittatulokset ovat nähtävissä liitteestä 2.

7.1 Käytetyt mittaussmenetelmät

Opinnäytetyöntekijä mitattasi näytteet standardien mukaisilla menetelmillä. Jäteveden pH:n mittaamisessa hyödynnettiin standardia SFS 3021.

Kokonaisfosforin määrittäminen tapahtui standardin SFS-EN ISO 6878 mukaan. Tämän standardin avulla pystytään määrittämään vedestä: ortofosfaatit, liuenneet fosfaatit sekä kokonaisfosforipitoisuus.

Kiintoaineen määrittämisessä seurattiin standardia SFS-EN 872, joka soveltuu raakavesien ja jätevesien sisältämän kiintoainekuorman määrittämiseen. Standardin periaatteena on määrittää veden sisältämä kiintoaine suodattamalla neste ohuen suodatinpaperin kautta. (SFS-EN 872, 1.)

Näytteiden alkaliteetin määrittäminen tapahtui standardin SFS 3005 avulla, jossa alkaliteetin määrittäminen tapahtuu titrimetrian avulla. Standardin periaatteena on toteuttaa titrimetria suolahapon avulla, titraamalla näyte pH-arvoon 4,5. (SFS 3005, 1.)

Lähtevän veden rautapitoisuuden määrittäminen toteutettiin standardin SFS 3028 mukaan, jossa raudan määrittäminen suoritetaan fotometrisen periaatteen avulla. Tämä kyseinen standardi soveltuu luonnonvesien sekä hieman likaantuneiden vesien raudan kokonaispitoisuuksien määrittämiseen. Tässä rauta saatetaan reagoimaan muotoon hapettamalla se peroksidisulfaattilla keittämällä näyte suljettuna kovan paineen alla. (SFS 3028, 1.)

7.2 Lähtötilanne

Lähtötilanne prosessissa oli kohtalaisen hyvä. Päivittäinen lähtevän veden näkösyvyys liikkui 40–60 cm:n paikkeilla. Ferrisulfaattia puolestaan syötettiin ilmastusaltaaseen noin 30–40 l/d, riippuen lähtevän veden fosforipitoisuudesta. Lisäksi prosessiin asetettu pH-arvo oli 6,8. Näillä arvoilla prosessia oli ajettu jo useamman vuoden ajan.

Lähtötilanteessa otettiin vuorokausinäyte 1.6.2022 Reposaaressa puhdistamolta. Näytteenoton aikana vuorokausivirtaama puhdistamolle oli 193 m³. Lähtevän veden näkösyvyys oli 40 cm ja ferrisulfaattia syötettiin 34 l/d. Vuorokausinäyte kerättiin puhdistamolle tulevasta jätevedestä sekä lähtevästä vedestä. Tämän näytteen tarkoituksena oli, että alkuperäistä näytettä voitaisiin verrata säätöjen edetessä otettaviin näytteisiin.

Näytteet tutkittiin Luotsinmäen laboratoriossa, jossa vuorokausinäytteistä selvitettiin senhetkinen tila jätevesiprosessissa. Tulevan jäteveden kokonaisfosforipitoisuus oli korkeahko 7,3 mg/l, mikä vaikutti myös lähtevän veden kokonaisfosforipitoisuuteen, joka osoittautui myös suhteellisen korkeaksi 0,97 mg/l. Näin ollen näytteen kokonaisfosforin poistoteho oli 87 %.

Kiintoaineen määrä tulevassa jätevedessä oli normaalilla tasolla 138 mg/l. Lähtevän kiintoainepitoisuus oli sen sijaan hieman korkea 24 mg/l. Näin ollen kiintoaineen poistotehoksi saatiin 83 %.

Lähtevän veden alkaliteetti 2,1 mmol/l oli hyvä. Myös lähtevän jäännösraudan pitoisuus oli kohtalaisen hyvä 0,18 mg/l. Jäännösraudan arvo olisi kuitenkin voinut olla matalampi normaalisti sen ollessa noin 0,08 mg/l.

Sameus tulevassa jätevedessä oli 95,3 NTU ja lähtevässä 8,4 NTU. Sameudesta huomattiin, kuinka vesi kirkastui prosessin myötä. Lähtötilanteen arvot osoittautuivat kohtuullisen hyviksi. Uusien säätöjen avulla näitä arvoja pyrittiin parantaa entisestään.

7.3 Kenttäkoe 1

Laboratoriokokeissa optimaaliseksi pH-arvoksi osoittautui pH 6,0. Täten ensimmäisenä säätönä prosessin pH-asetettiin arvoon 6,0. Lisäksi ferrisulfaatin annostelumäärää nostettiin arvoon 45 l/d. Kesäkuun keskivaiheilla 17.6 2022 otettiin vuorokausinäyte. Virtaama puhdistamolle oli näytteenoton aikana 176 m³/d ja näkösyvyys näytteenoton yhteydessä oli 50 cm.

Tulevan veden kokonaisfosforipitoisuus oli näytteessä korkea 9,2 mg/l. Sen sijaan lähtevän fosforipitoisuus oli hyvä arvolla 0,44 mg/l. Näin ollen kokonaisfosforin poistotehoksi saatiin 95 %, joka oli odotettua parempi.

Näytteen kiintoainepitoisuus tulevassa vedessä oli normaali 178 mg/l. Prosessin aikana kiintoaine saostui kohtuullisesti ja lähtevän veden kiintoainemäärä oli 10 mg/l. Täten kiintoaineen poistoteho oli hyvä 94 %.

Kasvatetusta PIX-syötöstä huolimatta lähtevän veden jäännösrauta-arvo pysyi hyvänä, vaikka arvo oli hieman koholla lukeman ollessa 0,35 mg/l. Tarkoituksena on pitää lähtevän veden jäännösrautapitoisuus mahdollisimman pienenä, sillä rautasulfaatin tarkoituksena on sitoutua jäteveden sisältämään kolloidiseen ainekseen ja muodostaa sen kanssa prosessista poistettavia flokkeja.

Mittauksien yhteydessä huomattiin lähtevän veden alkaliteetin olevan alhaisempi kuin ennen säätöjä. Lähtevän veden alkaliteetiksi mitattiin 0,5 mmol/l, ja lähtötilanteessa arvo oli 2,1 mmol/l. Tämä ei kuitenkaan haitannut prosessin toimintaa.

Tulevan veden sameus näytteessä oli 192 NTU ja lähtevässä 4,4 NTU. Sameuden arvot kulkevat kokonaisfosforin ja kiintoaineen poistotehon rinnalla. Lähtevän veden sameus oli erittäin hyvä, reduktiona 97 %. Näin myös kokonaisfosforin ja kiintoaineen poistotehot olivat erittäin hyviä.

Tässä kohtaa päätettiin säätää prosessin pH takaisin arvoon 7,0. Tämän tarkoituksena oli tukea puhdistusprosessin tilan tasaantumista ennen uusia säätöjä.

Ensimmäisen vuorokausinäytteen yhteydessä ei huomattu mitata jätevedestä kokonaistyppeä. Tämä on nähtävissä liitteestä 2. Kokonaistypen määrittäminen otettiin kuitenkin huomioon jo seuraavassa vuorokausinäytteessä. Reposaaren puhdistamolla ei ole typenpoiston vaatimusta, mutta siihen on suositus. Lisäksi koeajoissa otettiin huomioon, että hyvän fosforinpoiston seurauksena typenpoisto saattaa heikentyä. Näin ollen myös hyvän typenpoiston seurauksena fosforinpoisto saattaa heikentyä. Täten työssä huomioitiin fosforin- ja typenpoiston tasapainoinen toiminta.

7.4 Kenttäkoe 2

Prosessin tasaantumisen jälkeen säädettiin pH toiseen äärilaitaan. Haluttiin nähdä mitä tapahtuu, kun pH-arvoa kohotetaan. pH-arvo säädettiin tasolle 7,5. Pian kuitenkin huomattiin, että laitoksen lipeäpumppu, joka säätää veden pH:ta ja alkaliteettia ei pysty pumppaamaan tarpeeksi lipeää pH:n nostamiseksi arvoon 7,5. Täten pH jäi arvoon 7,2. Samalla kasvatettiin ferrisulfaatin syöttömäärää arvoon 47 l/d.

Vuorokausinäyte otettiin 24.7.2022. Vuorokausivirtaama näytteenoton aikana oli 212 m³. Näkösyvyys oli puhdistamolle tyypillinen 55 cm. Kokonaisfosforipitoisuus oli tulevassa jätevedessä alhainen 3,6 mg/l. Näin ollen lähtevässä vedessä kokonaisfosforipitoisuus oli myös hyvä 0,37 mg/l. Täten kokonaisfosforin poistoteho oli kohtalainen 90 %, mutta hieman heikompi kuin edellisen näytteen 95 % poistoteho.

Tulevan veden kiintoainepitoisuus oli näytteessä normaalilla alueella 180 mg/l. Siitä huolimatta lähtevän veden kiintoainepitoisuus oli hieman koholla sen ollessa 24 mg/l. Näin ollen kiintoaineen puhdistusteho oli 87 %. Edellisen näytteen 94 % poistotehoon verraten poistoteho oli alhaisempi, mutta silti kohtalainen.

Lähtevän veden alkaliteetti oli hyvä arvolla 3,11 mmol/l. Samalla lukema oli noussut edellisen näytteen arvosta 0,5 mmol/l. Jäännösraudan-arvo lähtevässä vedessä oli erittäin hyvä 0,02 mg/l ja huomattavasti alhaisempi kuin edellisen näytteen arvo 0,35 mg/l.

Tulevan veden sameus oli näytteessä kohtuullinen 145 NTU, mutta lähtevän veden sameus oli hieman koholla sen ollessa 10 NTU. Aikaisemmin tutkitussa näytteessä, jossa pH-asetus oli 6,0, lähtevän veden sameus oli vain 4,4 NTU, joten tästä päätellen lähtevän veden sameus olisi voinut olla myös parempi.

Prosessin ajoa jatkettiin kyseisillä säädöillä vielä toisen viikon verran, sillä rautasuolajen on todettu kirjallisuudessa toimivan parhaiten korkeassa tai matalassa pH:ssa. Tässä tapauksessa haluttiin varmistaa rautasuolajien toiminta korkeassa pH:ssa, samalla lisäten rautasulfaatin syöttömäärää arvoon 50 l/d. Nämä tulokset ovat nähtävissä liitteestä 2.

7.5 Kenttäkoe 3

Lopulta päädyttiin siihen tulokseen, että prosessi ei toimi halutulla tavalla, kun pH-arvo on asetettu arvoon 7,5. Täten lähdettiin suunnittelemaan seuraavaa säätöä.

Tässä kohtaa pH säädettiin takaisin arvoon 6,8 ja pohdittiin mitä säätöjä on vielä keilematta. Koe mielessä suoritettiin kuppikoe Luotsinmäen laboratoriossa, jossa tutkittiin, miten saostumisen ja laskeutumisen ajan kasvaminen vaikuttaa ferrisulfaatin reagoimiseen fosfaatin kanssa. Reaktioyhtälön 4 mukaisesti ferrisulfaatti reagoi fosfaatin kanssa, synnyttäen niukkaliukoisia saostumia. Tätä reaktioyhtälöä apuna käyttäen selvitettiin kuinka monta prosenttia ferrisulfaatista reagoi fosfaatin kanssa ajan muuttuessa.



Työssä tutkittiin neljää eri reagoimisaikaa: 2,5 min, 5 min, 10 min ja 15 min. Jokainen reagoimisaika koostui sekoituksesta ja laskeutumisesta. Esimerkiksi 2,5 minuutin näyte sekoitui ensin 2,5 minuuttia hitaasti, jonka jälkeen näyte laskeutui vielä 2,5 minuuttia. Tämän jälkeen näytteistä mitattiin pikatesteillä fosfaattipitoisuudet sekä sameusmittarilla sameudet. Lisäksi mitattiin nollanäytteestä fosfaattipitoisuus ja sameus. Taulukossa 10 on esitetty mittatulokset. Mittausten jälkeen pystyttiin laskemaan saatujen tulosten avulla, kuinka monta prosenttia ferrisulfaatista reagoi fosfaatin kanssa ajan muuttuessa. Taulukon 10 alapuolella esimerkki laskentatavasta.

Taulukko 10. Ferrisulfaatin reagoimiskokeen tuloksia.

Reagointiaika min	Fosfaatti mg/l	Sameus NTU	Ferrisulfaatista reagoi %
0	8,16	105	0
2,5	2,93	30	13,5
5	3,22	30	13
10	2,93	26	13,5
15	0,988	12	18,7

Esimerkkinä lasketaan, kuinka suuri osuus PIX-kemikaalista on reagoinut fosfaatin kanssa.

PIX:

Moolimassa $M = 399,9 \text{ g/mol}$

Pitoisuus $40 \% = 400 \text{ g/L} = 400 \text{ mg/ml}$

Näytteeseen syötetty PIX laimennettu 10:100, eli 10 mL 40 % PIX:iä + 90 mL vettä, jolloin PIX pitoisuus laski 4 %:iin.

Näytteeseen syötetty laimennettu PIX määrä oli 2,0 mL/L.

$2,0 \text{ ml} \times 40 \text{ mg/ml} = 80 \text{ mg} = 0,08 \text{ g}$

Ainemäärä $n = 0,08 \text{ g} / 399,9 \text{ g/mol} = 0,20 \text{ mmol}$ rautasulfaattia

1 mol PIX saostaa 2 mol fosfaattia, ks. reaktioyhtälö 4.

Täten 0,20 mmol rautasulfaattia saostaa 0,4 mmol fosfaattia.

Nollanäyte:

$\text{PO}_4^{-3} = 8,16 \text{ mg/L}$

15 min näyte:

$\text{PO}_4^{-3} = 0,988 \text{ mg/L}$

$\Delta_{15 \text{ min}} = 8,16 \text{ mg/L} - 0,988 \text{ mg/L} = 7,17 \text{ mg/L}$ fosfaattia saostunut

Moolimassa (PO_4^{-3}) $M = 94,97 \text{ mg/mmol}$

$c_{15} = 7,17 \text{ mg/l} / 94,97 \text{ mg/mmol} = 0,075 \text{ mmol/L}$

PIX:iä kuluu tästä puolet reaktioyhtälön 4 perusteella.

Täten todellisuudessa rautasulfaattia saostuu 0,0375 mmol.

$(0,0375 \text{ mmol} / 0,20 \text{ mmol}) \times 100 = 18,74 \% \sim 19 \%$

Täten 15 min sekoituksen ja 15 min laskeutumisen jälkeen 19 % rautasulfaatista reagoi jäteveden sisältämän fosfaatin kanssa.

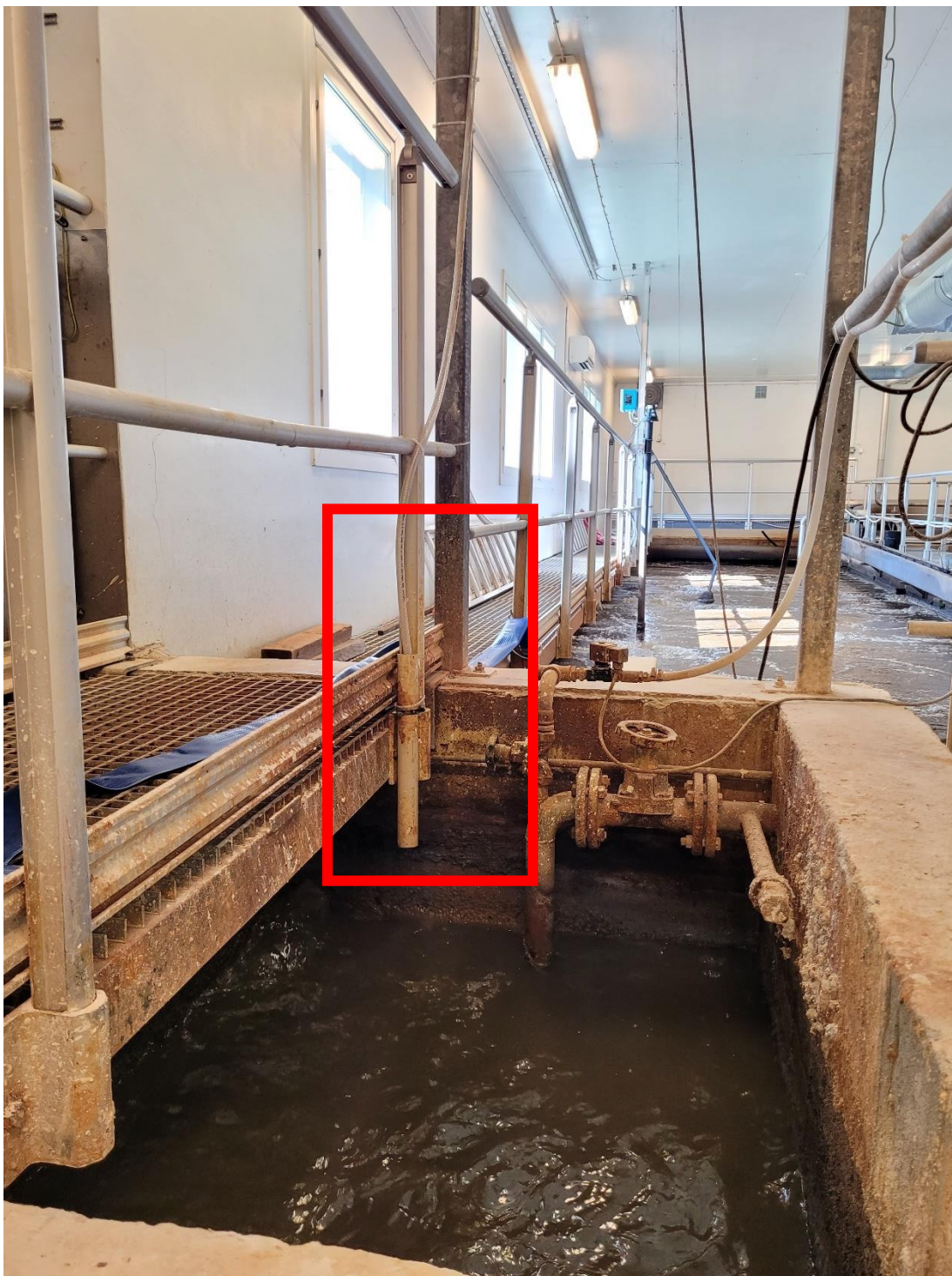
Laboratoriokoe osoitti, että rautasulfaatin saostumistehon parantamiseksi vaaditaan enemmän reaktioaikaa. Rautasulfaatti ehtii reagoimaan fosforin kanssa tehokkaammin, kun saostumis- ja laskeutumisaikaa kasvatetaan.

Tämän laboratoriokokeen jälkeen päädyttiin testaamaan ferrisulfaatin syöttöpisteen muuttamista. Saostuskemikaali vaatii paljon aikaa, jotta se pystyy muodostamaan flokkeja mahdollisimman tehokkaasti kiintoaineen sekä fosforin kanssa. Ennen tehtäviä säätöjä ferrisulfaattia syötettiin ilmastusaltaan keskivaiheille. Uutena säätönä ferrisulfaatin syöttö muutettiin kaksipistesyötöksi.

Uusi kaksipistesyöttö asetettiin puhdistamolle 11.8.2022. Ensimmäinen syöttöpiste asetettiin hiekanerotusaltaaseen, sillä syöttöpiste vaatii mahdollisimman turbulenssin syöttökohdan. Toinen syöttöpiste asetettiin ilmastusaltaan loppupuolelle. Ferrisulfaattia syötettiin prosessiin 50 l/d. Kaksipistesyötössä päätettiin hiekanerotusaltaaseen syötettävän 80 % kemikaalista ja ilmastusaltaan loppupäähän 20 % kemikaalista. Täten hiekanerotusaltaaseen syötettiin 40 l/d ja ilmastusaltaaseen 10 l/d.

Reposaaren puhdistamolla hiekanerotusallasta oli käytetty aiemminkin saostuskemikaalin annostelupaikkana. Tämä kuitenkin havaittiin aikoinaan toimimattomaksi ja syöttöpiste vaihdettiin ilmastusaltaaseen. Puhdistamolla ei ollut aiemmin kokeiltu kaksipistesyöttöä, minkä takia uudella syöttötoiminnoilla oli korkeat odotukset.

Seuraavissa kuvissa esitetty hiekanerotusaltaan ja ilmastusaltaan kemikaalisyöttöpisteet.



Kuva 21. Saostuskemikaalin kaksipistesyöttö. Ensimmäinen syöttöpiste hiekanerotusaltaassa.



Kuva 22. Saostuskemikaalin kaksipistesyöttö. Toinen syöttöpiste ilmastusaltaan loppupäässä.

Uuden syöttöpisteen ollessa toiminnassa muutaman päivän alkoi näkösyvyys lähtevässä vedessä parantua. Näkösyvyys vaihteli normaalisti kesä- elokuun aikana 40–60 cm:n välillä. Uuden kemikaalisyötön aikana näkösyvyys parani noin 10 cm, jolloin näkösyvyys nousi 70 cm. Toisaalta näkösyvyyden paraneminen saattoi myös johtua loppukesän viileästä säästä tai jäteveden laimeammasta laadusta. Näkösyvyyden paraneminen tarkoitti joka tapauksessa sitä, että lähtevän veden mukana karkaavan kiintoaineen ja fosforin määrä laski.

Uuden kaksipistesyötön annettiin vaikuttaa noin viikon verran, jonka jälkeen kerättiin näyte 17.8.2022. Näytteen keräyksen yhteydessä jätevedenpuhdistamolle virtasi paljon hulevesiä rankkasateen vuoksi. Vuorokausivirtaama oli näytteenoton yhteydessä huomattavasti suurempi kuin normaalisti. Virtaama oli 299 m³, kun normaalisti puhdistamolle virtaa jätevettä noin 180 m³ vuorokaudessa. Näytteen näkösyvyys oli kohtalainen 65 cm sateesta riippumatta.

Tulevan jäteveden kokonaisfosfori pitoisuus oli maltillinen 2,8 mg/l. Tähän kuitenkin vaikutti sadevesi, joka laimensi tulevan jäteveden pitoisuutta. Lähtevän kokonaisfosfori pitoisuus oli hyvä 0,22 mg/l. Samalla arvo osoittautui yhdeksi parhaimmista koeajonäytteiden fosforipitoisuuksista. Näin ollen kokonaisfosforin poistoteho oli hyvä 92 %, mutta toistaiseksi heikompi, kuin poistoteho pH-arvolla 6,0, jolloin teho oli 95 %.

Kiintoainetta tuleva jätevesi sisälsi 204 mg/l, joka vastasi normaalia määrää. Lähtevässä kiintoainetta oli jäljellä 17 mg/l. Tämä oli kohtalaisen hyvä arvo, mutta olisi voinut olla mahdollisesti myös pienempi, kuten pH-arvolla 6,0 lähtevän kiintoaine pitoisuus oli 10 mg/l. Kiintoaineen poistotehoksi saatiin 92 %, joka oli hyvä arvo, mutta hieman heikompi kuin poistoteho pH-arvolla 6,0, jolloin teho oli 94 %.

Liitteestä 2 nähdään, että näytteessä kokonaistypen poistoteho jäi varsin heikoksi. Tulevan veden kokonaistypen arvoksi mitattiin 24 mg/l ja lähtevässä vedessä kokonaistypen arvo oli 23 mg/l. Näin ollen poistoteho oli vain 7 %. Typen poistotehoa luultavasti kuitenkin laimensi puhdistamolle tuleva sadevesi. Tässä tilanteessa ammoniumtypen mittaaminen olisi vahvistanut kokonaistypen poistotilannetta.

Kaksipistesytön myötä lähtevän veden alkaliteetti laski arvoon 1,8 mmol/l. Alkaliteetin arvon laskeminen ei kuitenkaan häirinnyt prosessin toimintaa ja pysyi korkeampana kuin pH-asetuksen ollessa 6,0, jolloin alkaliteetiksi mitattiin 0,5 mmol/l.

Tulevan jäteveden sameus oli sadevedestä huolimatta näytteessä normaalilla tasolla 144 NTU. Näin ollen lähtevän veden sameus osoittautui myös kohtuullisen alhaiseksi arvon ollessa 6,9 NTU. Lähtevän sameus oli hyvä, mutta jäi hieman sameammaksi kuin lähtevän pH-arvolla 6,0, jolloin sameudeksi mitattiin 4,5 NTU.

Näytteen jäännösrauta-arvo osoittautui myös alhaiseksi arvon ollessa 0,08 mg/l. Tästä päätellen kaksipistesytön myötä rautasulfaatin reagoimisaika kasvoi, jolloin flokkeja ehti muodostua enemmän. Tämä oli nähtävissä myös veden sameudesta, sillä lähtevän veden sameus pysyi kohtuullisena. Lisäksi lähtevän veden jäännösrauta-arvo pysyi alhaisena, mikä tarkoittaa sitä, että rauta sitoi puoleensa epäpuhtauksia.

Kaksipistesytön annettiin vaikuttaa prosessiin useamman viikon ajan, jonka aikana otettiin muutamia näytteitä. Näytteiden tulokset esitettynä liitteessä 2.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Koeajojakso päätettiin syyskuun 2022 puolivälissä. Prosessia oli ajettu koejakson aikana niin korkealla kuin matalallakin pH:n arvolla. Matalimmillaan pH-arvo oli 6,0 ja korkeimmillaan 7,2. Kokeilematta jäivät korkeimmat pH-arvot 7,5 , 8,0 ja 8,5, sillä tämä olisi vaatinut uuden tehokkaamman lipeäpumpun hankintaa. Parhaimmat poistotehot kokonaisfosforin osalta saatiin pH-arvolla 6,0. Kiintoaineen osalta parhain poistoteho saatiin pH-arvolla 6,8, mutta myös pH-arvolla 6,0 päästiin lähes yhtä hyvään tulokseen.

Koejakson aikana saostuskemikaalin syöttömäärää nostettiin jatkuvasti. Koejakson alussa syöttömäärä oli vain noin 35–40 l/d ja koejakson lopussa määrä oli 50 l/d. Saostuskemikaalin syöttömäärää muokattiin lähtevän veden fosforipitoisuuksien mukaan sekä lisäksi koeajo mielessä. Kaiken kaikkiaan haluttiin selvittää, millaisia vaikutuksia saostuskemikaalin syöttömäärän kasvattamisella oli prosessiin. Kemikaalin syöttömäärästä huolimatta lähtevän veden jäännösrautapitoisuus vaihteli paljon. Jäännösrautapitoisuuteen vaikutti prosessin pH-arvo, saostuskemikaalin syöttöpiste sekä lisäksi jäteveden sisältämän kolloidisen aineksen määrä. Korkein jäännösrautapitoisuus lähtevässä vedessä mitattiin pH-arvolla 6,0, jossa saostuskemikaalia syötettiin ilmastusaltaaseen 45 l/d. Puolestaan matalimmat jäännösrautapitoisuudet mitattiin pH-arvolla 6,8, jossa saostuskemikaalia syötettiin kaksipistesyöttönä hiekanerotusaltaaseen sekä ilmastusaltaan loppuun yhteensä 50 l/d.

Saostuskemikaalin kaksipistesyöttö asennettiin laitokselle elokuun 2022 alussa. Tarkoituksena oli pidentää saostuskemikaalin reagoimisaikaa, jolloin fosforilla ja kiintoaineella olisi enemmän aikaa sitoutua saostuskemikaalin kanssa ja synnyttää flokkeja. Kaksipistesyöttö toteutettiin niin, että ensimmäinen syöttöpiste asennettiin hiekanerotusaltaaseen ja toinen syöttöpiste ilmastusaltaan loppuun. Yhteensä saostuskemikaalia syötettiin 50 l/d, josta 80 % syötettiin hiekanerotusaltaaseen ja 20 % ilmastusaltaan loppuun. Kaksipistesyötöstä huolimatta puhdistustulos ei parantunut merkittävästi.

Koejakson päätyttyä Porin Vesi jatkoi omatoimisesti koeajoa. Koeajoa jatkettiin pH-asetuksella 6,0 ja saostuskemikaalin kaksipistesytöillä syöttömäärän ollessa 39 l/d + 10 l/d. Koeajon alussa todettiin, että pH-arvolla 6,0 kokonaisfosforin ja kiintoaineen reduktio oli tehokasta, minkä takia tätä asetusta haluttiin kokeilla vielä kaksipistesytön yhteydessä. Tulokset osoittautuivat fosforinpoiston kannalta jälleen tehokkaiksi, reduktioiden ollessa 95 %. Sen sijaan kiintoaineen reduktio ei ollut yhtä tehokasta. Lisäksi alkaliteetti laski arvoon 0,4 mmol/l, mikä tapahtui myös aikaisemmin pH-säädön ollessa 6,0, se ei kuitenkaan näyttänyt haittaavan prosessin toimintaa.

Kaiken kaikkiaan koejakson aikana puhdistustulos pysyi puhdistamolle tyypillisissä arvoissa. Suurimmaksi osin säätöjen myötä puhdistustulos oli parempaa. Lopuksi voidaan todeta, että lähtevä vesi sisältää vaihtelevasti pienenpienä kiintoainehiukkasta, joka saattaa heikentää veden laatua. Puhdistustulos pysyy kuitenkin pääosin hyvänä.

LÄHTEET

Eliassen, R., King, P. & Linsley R. 1991. Wastewater Engineering. Singapore: McGraw Hill. Viitattu 12.4.2022.

Huoltovarmuusorganisaatio. 2020. Kemiallisen saostuksen huoltovarmuuden parantaminen suomen vesihuollossa. Viitattu 28.3.2022. https://www.vvy.fi/site/assets/files/3226/kemi-allisen_saostuksen_huoltovarmuuden_parantaminen.pdf

Isoaho, S & Valve, M. 1988. Vesikemian Perusteet. Helsinki: Otakustantamo. Viitattu 30.3.2022.

Juuti, P., Katko, T., Louekari, S. & Rajala, R. 2010. Näkymätönt Porrii. Porin Veden Historia. Saarijärvi: Saarijärven offset Oy. Viitattu 30.3.2022.

Karttunen, E., Kiuru, H. & Tuhkanen, T. 2004. RIL124-2 Vesihuolto II. Vammala: Vammala Kirjanpaino Oy. Viitattu 12.4.2022.

Keitaanpää, N-M. 2017. Jätevedenpuhdistamon ilmastuksen ohjaaminen ammonium-typen määrityksellä. AMK-opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Viitattu 17.5. 2022. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/132878/Keitaanpaa_Noora-Maria.pdf;jsessionid=8EDE92DA7F1FDDB06CBA2137D9D31F8?sequence=1

Laitinen, J. Nieminen, J. Saarinen, R. & Toivikko, S. 3.2014. Ympäristöministeriö. Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamot. Paras käyttökelpoinen tekniikka. Helsinki: Edita Prima Oy. Viitattu 30.3.2022.

Mäkiranta, J. 2011. Reposaaressa kalasataman jätevesien kuormitustarkkailu. AMK-opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Viitattu 12.4.2022.

Porin Vesi. 2021. Vuosikertomus. Viitattu 28.3.2022. https://www.pori.fi/sites/default/files/atoms/files/porin_vesi_vuosikertomus_2021.pdf

Puolanne, J., Rantala, P. & Valve, M. 1982. Jätevedenpuhdistamon käytön ohjaus ja valvonta. Helsinki. Viitattu 12.4.2022.

Rinne J.12.1.2022. Porin kaupungin Reposaaaren jätevedenpuhdistamon kuormitus-tarkkailun vuosiyhteenveto 2021. Viitattu 19.3.2022.

SFS 3021. Veden pH-arvon määrittäminen. 1979. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 21.9.2022.

SFS 3028. Veden raudan määrittäminen. Fotometrisen menetelmä. 1976. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 21.9.2022.

SFS-EN 872. Water quality. Determination of suspended solids. Method by filtration through glass fibre filters. 2005. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 21.9.2022.

SFS-EN 3005. Veden alkaliteetin ja asiditeetin määrittäminen. Potentiometrinen titraus. 1981. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 21.9.2022.

SFS-EN ISO 6878. Water quality. Determination of phosphorus. Ammonium molybdate spectrometric method. 2004. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 21.9.2022

Vesilaitosyhdistyksen www-sivut. 2022. Viitattu 12.5.2022. <https://www.vvy.fi/vesihuolto/jatevesista-eksperteille/>

Virtanen, J. 2012. Reposaaaren jätevesilaitoksen selkeytyksen kehittäminen polymeerin avulla. AMK-opinnäytetyö. Vaasan ammattikorkeakoulu. Viitattu 19.3.2022. <https://docplayer.fi/64824000-Joni-virtanen-reposaaaren-jatevesilaitoksen-selkeytyksen-kehittaminen-polymeerin-avulla.html>

Ympäristölupapäätös. 20.6.2006. LOS-2005-Y-799-121. Viitattu 28.3.2022.

LABORATORIOSUUNNITELMA

18.4.2022

Alustava laboratoriosuunnitelma Reposaaren jätevedenpuhdistamon pH:n optimoinnin ja ferrisulfaatin annostelun määrittämiseksi.

Ferrisulfaatin annostelu

Ferrisulfaatin annostelumäärä riippuu jäteveden fosforipitoisuudesta. Saostuskemikaalin ja fosforin välisellä moolisuhteella on suuri merkitys, kun arvioidaan, paljonko saostuskemikaalia tulee syöttää jäteveeseen. Hyödynnetään laskuissa jätevedestä mitatun kokonaisfosforin määrää. Yleisesti kirjallisuudessa on todettu, että 1 mol rautaa saostaa 1 mol fosforia. Kirjallisuudesta löytyy useita tapoja laskea saostuskemikaalin oikea annostelumäärä, mutta kirjallisuudessa myös mainitaan, että saostuskemikaalin määrää ei ole mahdollista laskea vaan se pitää etsiä kokein.

Saostuskemikaalin oikea annostelumäärää on kuitenkin haastavaa laskea. Lisäksi jäteveden laatu vaihtelee jatkuvasti, mikä vaikeuttaa oikean kemikaalimäärän määrittämistä. Tässä työssä saostuskemikaalin optimaalinen annostelu on tarkoitus etsiä kokeiden avulla.

Laskelmieni mukaan vuoden 2021 ferrisulfaatin keskimääräinen kulutus on ollut 34,4 l/d. Keskimääräinen vuorokausivirtaama puolestaan 264 m³/d.

Tästä laskien ferrisulfaatin syöttö jätevesi litraa kohden: 0,13 ml= 130 µl.

Laboratorio-osio

Haetaan Reposaaaren puhdistamolta puhdistamatonta jätevettä. Saostuskemikaalin annostelumäärä määritetään kokeellisesti. Tarkoituksena on siis kokeilla saostuskemikaalin eri syöttömääriä ja löytää paras mahdollinen tulos.

Suoritetaan esikoe: annostellaan jätevettä 1 litran verran dekanterilasiin. Asetetaan näyte magneettisekoittimen päälle ja määritetään sekoitusnopeudet hidas ja nopea. Annostellaan näytteeseen ferrisulfaattia ja lopussa määritetään sopiva laskeutumisaika.

Jätevesi asetetaan muutamaan (3–8 kpl) litran dekanterilasiin tutkittavaksi näytteeksi. Nimetään näytteet selkeästi. Yksi näyte on vertailunäyte, johon ei tehdä muutoksia. Vertailunäytteestä on mahdollista mitata sellaisenaan jäteveden sisältämät ainepitoisuudet ja sitä on mahdollista verrata näytteisiin, joihin tehdään muutoksia.

Määritetään ferrisulfaatin annostusmäärä 1 litran jätevesinäytteisiin. Näytteisiin annostellaan muutama millilitra/millilitransadasosa enemmän tai vähemmän kemikaalia. Näin nähdään millaista vaihtelua jäteveden saostumiselle ja laskeutumiselle tapahtuu, kun kemikaalia annostellaan näytteisiin eri määrät.

Tutkittavat näytteet asetetaan dekanterilaseissa magneettisekoittimen päälle. Kaikkiin näytteisiin asetetaan sama sekoitusnopeus noin 100 rpm. Annostellaan kaikkiin paitsi vertailunäytteeseen ferrisulfaattia ja lisätään sekoitusnopeutta 400 rpm/ 10 s. Tämän jälkeen pienennetään sekoitus nopeutta takaisin 100 rpm/5min.

Sammutetaan magneettisekoittimet ja annetaan näytteiden laskeutua rauhassa noin viiden minuutin ajan. Liian pitkä laskeutumisaika saattaa vaikeuttaa laskeutumiserojen hahmottamista. Mitataan näytteiden sameus ja vertailla näytteiden sameuksia. Otetaan kuvat dekanterilaseista ja vertaillaan silmämääräisesti saostuskemikaalin toimintaa eri annostuksilla. Lisäksi voidaan mitata näytteistä fosfaattipitoisuudet esim. pikatesteillä. Tuloksena halutaan melko nopeasti laskeutuva ja selkeä kirkkaan veden ja lietteen synnyttämä raja. Tarkastellaan näytteeseen muodostuneita flokkeja.

pH-Optimointi

Selvitetään optimaalinen pH jätevedelle. Optimaalisella pH-alueella jätevesi saostuu parhaiten, jolloin veteen syntyy flokkeja. Flokit sisältävät fosforia ja kiintoainetta, jossa nämä ovat saostuneet kemikaalin kanssa. Lisäksi pH-optimoinnilla varmistetaan, että putkisto ja laitteisto ei ala syöpymään. Syövyttävä pH-arvo laskee alle 5,0.

RIL 124-2-2004 Vesihuolto II mukaan rautasuolat saostuvat parhaiten, kun pH on lähellä arvoa 5,0. Lähteessä Wastewater Engineering mainitaan, että rautasuolat toimivat parhaiten, kun pH on korkea. Joni Virtasen opinnäytetyössä Reposaaren puhdistamolle 2012 mainitaan, että rautasuolat toimisivat parhaiten pH-alueella: 4,5–5,5 tai 8,0–8,5.

Optimin pH:n selvittämiseksi tehdään pieniä dekantterilasikokeita laboratoriossa, jossa testataan, millä pH alueella jäteveden saostuminen parhaiten tapahtuu. Samalla voidaan määrittää näytteistä tarvittaessa, paljonko ne sisältävät ferrisulfaattia, fosforia ja kiintoainetta. Täten voidaan määrittää, minkälaisia vaikutuksia tietyllä pH:lla on jäteveden sisältämiin epäpuhtauksiin ja saostusolosuhteisiin.

Laboratorio-osio

Reposaaren puhdistamolta haetaan puhdistamatonta jätevettä. Jätevesi asetetaan muutamään (6–8 kpl) litran dekantterilasiin tutkittavaksi näytteeksi. Nimetään näytteet selkeästi. Yksi näyte on vertailunäyte, johon ei tehdä muutoksia. Vertailunäytteestä on mahdollista mitata sellaisenaan jäteveden sisältämät ainepitoisuudet ja sitä on mahdollista verrata näytteisiin, joihin tehdään muutoksia.

Suoritetaan esikoe: määritetään ferrisulfaatin annostelu sekä kokeen loppupuolella tehtävä laskeutumisaika. Määritetään myös annostelujärjestys, annostellaanko ensin natriumhydroksidia vai ferrisulfaattia.

Tutkittavat näytteet asetetaan dekantterilaseissa magneettisekoittimen päälle. Kaikkiin näytteisiin asetetaan sama sekoitusnopeus noin 100 rpm. Sääsetään natriumhydroksidin ja rikkihapon avulla pH-arvot: pH=4,5; pH=5; pH=5,5; pH=6; pH=6,5; pH=7; pH=7,5; pH=8 ja pH=8,5. Kaikkiin näytteisiin paitsi vertailunäytteeseen annostellaan ferrisulfaattia sovittu määrä ja nostetaan sekoitusnopeutta 400 rpm/1min. Tämän jälkeen sekoitusnopeus voidaan hidastaa 100 rpm.

Jatketaan sekoittamista hitaammin 100 rpm/ 5min. Pysäytetään magneettisekoitin ja annetaan näytteiden laskeutua noin viiden minuutin ajan. Pitkä laskeutumisaika antaa näytteiden laskeutua liikaa, jolloin erot näytteissä tasoittuvat ja vertailu vaikeutuu.

Näytteiden laskeutuessa nähdään silmämääräisesti eroavaisuuksia laskeumien muodostumisessa. Otetaan kuvat kaikista näytteistä vertailua varten. Lisäksi mitataan näytteiden fosfori- ja kiintoainesisältö. Lisäksi jokaisesta näytteestä mitataan sameus.

Kirjataan tulokset ylös ja vertaillaan näytteitä. Tehdään tarvittaessa lisäkokeita. Lisäkokeissa voidaan toistaa sama koe lisäämällä tai pienentämällä ferrisulfaatin annostelua ja havainnoimalla mahdollisia eroavaisuuksia näytteissä.

LIITE 2

REPOSAAREN JÄTEVEDENPUHDISTAMON KOEAJO-NÄYTTEET KESÄ-SYYSKUULTA 2022.

Pvm.	Näyte	Virtaus m³	Näköisyys	Aeratus pH	PiX (l/g)	huom!	P kok mg/l			teho			Kiltoaine mg/l			teho			N kok mg/l			teho			pH	alkaliteetti mmol/l			Säureus NTU	P liuk mg/l			Fe liuk mg/l		
							T	L	%	T	L	%	T	L	%	T	L	%	T	L	%	T	L	%		T	L	%		T	L	%	T	L	%
1.6.2022	Vuorokausi	195	40	6,8	34		7,3	0,97	87 %	138	24				83 %									7,5	7,5	5,8	3,1	99,3	8,6	0,28	0,18				
17.6.2022	Vuorokausi	176	50	6	45		9,2	0,44	95 %	178	10	4450	3400	94 %										7,7	7,3	6,4	0,5	95,2	4,0	0,13	0,95				
24.7.2022	Vuorokausi	212	55	7,5	47	Ajaa pH 7,2	3,6	0,37	90 %	180	24	3441	6220	87 %	69	47	32 %	7,8	7,8	6,2	3,1	145	10									0,02			
2.8.2022	Vuorokausi	275	35	7,5	50	Ajaa pH 7,2	3,4	0,56	84 %	340	43	5350	5150	87 %	60	54	10 %	7,6	7,6	4,7	3,4	217	20,4												
17.8.2022	Vuorokausi	299	65	6,8	50	Pix 2 x syöttö	2,8	0,22	92 %	204	17	3348	4057	92 %	24	23	4 %	7,6	7,6	4,7	1,8	144	6,9									0,08			
24.8.2022	Vuorokausi	495	60	6,8	50	Pix 2 x syöttö	1,1	0,22	80 %	58	19	3173	3906	67 %	11	9	18 %	7,7	7,4	3,4	1,8	47,6	7,8										0,15		
15.9.2022	Vuorokausi	191	50	6,8	50	Pix 2 x syöttö	2,5	0,18	93 %	119	12	2645	4093	90 %	26	21	19 %	7,6	7,4	4,0	1,5														

HUOM! 17.8.2022: Sadetta, suuret vesimäärät 239 m³/d. Vaikuttaa hypenspoiston tehoon.

24.8.2022: Sadetta, suuret vesimäärät 495m³/d. Tulvan veden laimentuminen vaikuttaa kokonaisfosforin, kiintoaineen ja typen poistotehoon.