



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Anna Karjalainen

PILVILAMMEN VESILAITOKSEN FLOTTAA- TIOLETTEIDEN LASKEUTTAMINEN

Vaasan Vesi

Tekniikan yksikkö
2023

TIIVISTELMÄ

| | |
|--------------------|--|
| Tekijä | Anna Karjalainen |
| Opinnäytetyön nimi | Pilvilammen vesilaitoksen flotaatiolietteiden laskeuttaminen |
| Vuosi | 2023 |
| Kieli | suomi |
| Sivumäärä | 69 |
| Ohjaaja | Irma Hyry |

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Vaasan Veden Pilvilammen vesilaitoksella flotaatioselkeytyksessä syntyvien flotaatiolietteiden käsittelyä laskeuttamalla. Tällä hetkellä kyseiset lietteet johdetaan Pättin jätevedenpuhdistamolle, jossa ne aiheuttavat ajoittain ongelmia prosessiin. Osana opinnäytetyötä selvitettiin Suomen suurimpien vesilaitosten toimintatapoja liittyen flotaatiolietteisiin. Työn toimeksiantajana toimi Vaasan Vesi-liikelaitos ja toteutuspaikkana Pilvilammen talousvesilaitos.

Vaasan Vesi-liikelaitoksen toimintaan, laskeuttamisessa apuna käytettäviin kemikaaleihin ja Suomen suurimpien vesilaitosten toimintaan tutustuttiin kirjallisuuden ja internet -lähteiden avulla. Lisäksi Suomen suurimpien vesilaitosten toimintatapoja selvitettiin puhelu- ja sähköpostihaastatteluiden avulla. Pilvilammen vesilaitoksen toiminnasta ja vedenpuhdistusprosessista minulla oli henkilökohtaista tietoa ja kokemusta, sillä olen työskennellyt siellä kaksi kesää käytönvalvojen sijaisena. Varsinaiset tutkimukset toteutettiin laboratoriotutkimuksena Pilvilammen vesilaitoksella.

Työlle asetetuissa tavoitteissa pääpaino oli selvittää, onko Pilvilammen vesilaitoksen flotaatiolietteiden laskeuttaminen mahdollista, mikä kemikaali laskeutumista edesauttaisi, ja mikä sen annostusmäärä olisi. Tutkimuksen lopputuloksena oli, että flotaatiolietteiden laskeuttaminen on teoriassa mahdollista, mutta vaatii käytännössä toimiakseen jatkuvasti optimiolosuhteet, joiden saavuttaminen vesilaitosprosessissa on miltei mahdotonta. Tutkimuksen avulla saatiin kuitenkin rajattua juuri tälle laitokselle sopivia käyttökelpoisia kemikaaleja, sekä niiden annostusmääriä. Näiden tietojen avulla voidaan tehdä jatkotutkimuksia, kuten flotaatiolietteiden toisenlaisten käsittelytapojen selvitystä.

ABSTRACT

| | |
|--------------------|--|
| Author | Anna Karjalainen |
| Title | Processing the Flotation Sludges of Pilvilampi Water Plant by Settling Process |
| Year | 2023 |
| Language | Finnish |
| Pages | 69 |
| Name of Supervisor | Irma Hyry |

The aim of this thesis was to examine the treatment of flotation sludges at the Pilvilampi water plant of Vaasa Water, by the settling process. Currently these sludges are led to Pätt sewage treatment plant, where they sometimes cause problems in the process. As part of the thesis, the operational ways of processing flotation sludges in Finland's largest water plants were studied. The thesis was commissioned by the Vaasan Vesi corporation and the place of implementation was the Pilvilampi water plant.

The operations of the Vaasan Vesi-corporation, the chemicals used to assist in the settling process and the processes of Finland's largest water plants were studied through literature and internet sources. In addition, the practices of Finland's largest water utilities were studied through telephone and email interviews. The author also has personal knowledge and experience about the operation and water purification process of the Pilvilampi water treatment plant through summer jobs as a substitute for the controller operators. The actual studies were made as a laboratory examination at the Pilvilampi water plant.

The main focus of the thesis was to find out whether the flotation sludges from the Pilvilampi water plant could sink down in the settling process, which chemical would best assist in the process and what the dose of the chemical would be. The study shows that it is theoretically possible to use the settling process for flotation sludges, but in practice it requires continuous optimum conditions, which are almost impossible to achieve in the water treatment process. However, with the study the useable chemicals for this plant and their dosages could be limited. This study will enable further research, such as the study of different methods of handling flotation sludges.

Keywords Flotation, sludge, water plant, and water treatment

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

| | | |
|---|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 8 |
| 2 | VAASAN VESI -LIIKELAITOS..... | 10 |
| | 2.1 Pilvilammen vesilaitoksen vedentuotantoprosessi | 11 |
| 3 | TEOREETTINEN TAUSTA | 16 |
| | 3.1 Flotaatioselkeytyksen toimintaperiaate..... | 16 |
| | 3.2 Flotaatiolietteiden vaikutus jätevesipuhdistamon prosessiin..... | 19 |
| | 3.3 Flotaatiolietteiden käsittely suurimmilla vesilaitoksilla Suomessa | 20 |
| | 3.3.1 Helsinki, Espoo ja Vantaa | 21 |
| | 3.3.2 Tampere | 21 |
| | 3.3.3 Oulu..... | 21 |
| | 3.3.4 Jyväskylä | 22 |
| | 3.3.5 Pori | 22 |
| | 3.3.6 Kouvola..... | 23 |
| | 3.3.7 Turku | 23 |
| | 3.3.8 Pohja- tai tekopohjavesi raakavetenä | 23 |
| | 3.3.9 Lappavesi..... | 24 |
| | 3.4 Mahdollisesti käyttökelpoiset kemikaalit laskeuttamisessa | 25 |
| | 3.4.1 Polymeerit | 25 |
| | 3.4.2 Vaahdonestokemikaalit | 27 |
| 4 | TUTKIMUKSEN TARKOITUS, TAVOITTEET JA ONGELMAT..... | 29 |
| 5 | TUTKIMUKSEN TOTEUTUS | 32 |
| | 5.1 Esitutkimus..... | 34 |
| | 5.2 Tutkittavaksi saadut kemikaalit | 36 |
| | 5.3 Ensimmäiset tutkimukset 3.11.2022..... | 38 |
| | 5.4 Toiset tutkimukset 8.11.2022 | 39 |

| | | |
|-----|--|----|
| 5.5 | Kolmannet tutkimukset 10.11.2022..... | 40 |
| 5.6 | Neljännet tutkimukset 15.11.2022 | 41 |
| 6 | TULOKSET | 42 |
| 6.1 | Ensimmäiset tutkimukset | 42 |
| 6.2 | Toiset tutkimukset | 45 |
| 6.3 | Kolmannet tutkimukset..... | 50 |
| 6.4 | Neljännet tutkimukset..... | 55 |
| 6.5 | Vaahdonestokemikaali | 58 |
| 7 | JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA | 61 |
| 7.1 | Päätelmät..... | 61 |
| 7.2 | Jatkotutkimukset..... | 64 |
| | LÄHTEET | 66 |

TAULUKKO- JA KUVALUETTELO

| | |
|--|----|
| Taulukko 1. Tutkimusolosuhteet..... | 42 |
| Taulukko 2. Tulokset 2,6 mg/l polymeeripitoisuudella. | 42 |
| Taulukko 3. Tulokset 10 mg/l polymeeripitoisuudella. | 44 |
| Taulukko 4. Tulokset 8 mg/l polymeeripitoisuudella. | 49 |
| Taulukko 5. Kolmen valikoidun polymeerin vaikutus lietteen sameuteen 8 mg/l ja 10 mg/l pitoisuuksilla. | 54 |
| Taulukko 6. Vesien sameudet ja rautapitoisuudet 10 mg/l polymeeripitoisuudella. | 56 |
| Taulukko 7. Vesien sameudet 14 mg/l polymeeripitoisuudella. | 57 |
| | |
| Kuva 1. Raakaveden matka laitokselle. | 12 |
| Kuva 2. Pilvilammen vesilaitoksen vedenpuhdistusprosessi. | 15 |
| Kuva 3. Akryyliamidi, sekä yleisimmät kationinen ja anioninen kopolymeeri..... | 27 |
| Kuva 4. Lietteiden kerääminen flotaatiokellarista. | 32 |
| Kuva 5. Esitutkimuksen näytteet..... | 34 |
| Kuva 6. Esitutkimuksen näytteiden faasit..... | 35 |
| Kuva 7. Esitutkimuksen lopputulos. | 36 |
| Kuva 8. Polymeerinäytteet ja mittapullot..... | 37 |
| Kuva 9. Lietteiden reagoiminen 2,6 mg/l polymeeripitoisuuteen (1/2). | 43 |
| Kuva 10. Lietteiden reagoiminen 2,6 mg/l polymeeripitoisuuteen (2/2). | 43 |
| Kuva 11. Lietteiden reagoiminen 10 mg/l polymeeripitoisuuteen (1/2). | 44 |
| Kuva 12. Lietteiden reagoiminen 10 mg/l polymeeripitoisuuteen (2/2). | 45 |
| Kuva 13. Lietteiden reagoiminen 4 mg/l polymeeripitoisuuteen. | 46 |
| Kuva 14. Lietteiden reagoiminen 6 mg/l polymeeripitoisuuteen. | 47 |
| Kuva 15. Lietteiden reagoiminen 8 mg/l polymeeripitoisuuteen (1/2). | 48 |
| Kuva 16. Lietteiden reagoiminen 8 mg/l polymeeripitoisuuteen (2/2). | 48 |
| Kuva 17. Lasisauvalla sekoitetut näytteet. | 50 |

| | |
|--|----|
| Kuva 18. Lietteen reagoiminen loppujen kemikaalien osalta 8 mg/l polymeeripitoisuuteen..... | 51 |
| Kuva 19. Kolmen valikoidun polymeerin vaikutus tuoreeseen lietteeseen 8 mg/l ja 10 mg/l pitoisuuksilla. | 53 |
| Kuva 20. Kolmen valikoidun polymeerin vaikutus kauan seisseeseen lietteeseen 8 mg/l ja 10 mg/l pitoisuuksilla. | 55 |
| Kuva 21. Lietteen reagoiminen 10 mg/l polymeeripitoisuuteen parhaimmilla kemikaaleilla..... | 56 |
| Kuva 22. Lietteen reagoiminen 14 mg/l polymeeripitoisuuteen parhaimmilla kemikaaleilla..... | 57 |
| Kuva 23. Vaahdonestoaineen reagointi lietteeseen. | 58 |
| Kuva 24. Vaahdonestoaineen reagointi N 100 -polymeerin kanssa. | 60 |

1 JOHDANTO

Vaasan Vesi-liikelaitoksen Pilvilammen vesilaitos tuottaa puhdasta talousvettä koko Vaasaan, osaan Mustasaarta ja vuodesta 2013 myös Vähänkyrön asukkaille. Osana vedenpuhdistusprosessia on flotaatioselkeytys, josta syntyneet flotaatiolietteet menevät tällä hetkellä käsiteltäviksi Pättin jätevedenpuhdistamolle, jossa ne ovat ajoittain ongelma prosessin toiminnalle. Tämän opinnäytetyön tutkimuskohteena onkin selvittää pystyisikö näitä flotaatiolietteitä jatkokäsitellä laskeuttamalla jo talousvesilaitoksella, etteivät ne tulevaisuudessa häiritsisi jätevedenpuhdistusprosessia.

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää, olisiko flotaatiossa syntyvää flotaatiolietettä mahdollista laskeuttaa, olisiko jostakin kemikaalista hyötyä laskeuttamisessa, sekä mikä tämän kemikaalin mahdollinen annostusmäärä olisi. Sain aiheen Pilvilammen vesilaitokselta, jossa olen toiminut kaksi kesää käytönvalvojen sijaisena. Aiheen idea lähti siitä, kun laboratoriossa oli huomattu muita tutkimuksia varten kerätystä flotaatiolietteestä, että osa laskeutuu painovoimaisesti keräysastian pohjaan, ja haluttiin tutkia tarkemmin, olisiko kyseistä lietettä mahdollista laskeuttaa isommassa mittakaavassa. Aihetta minulle ehdotti vesilaitoksen kemisti Mari Pispä, joka toimi myös opinnäytetyön työpaikkaohjaajana.

Tutkimusaihe on rajattu koskemaan ainoastaan flotaatioselkeytyksessä syntyneitä flotaatiolietteitä ja tarkemmin vielä näiden lietteiden laskeutumista. Opinnäytetyön selvityksestä on rajattu pois kaikki muut lietteet kuin flotaatioselkeytyksessä syntyvät lietteet, sekä myös muut tavat käsitellä flotaatiolietteitä kuin laskeuttaminen. Lisäksi kemikaalien osalta rajaus on tehty pelkästään polymeereihin ja vaahdonestokemikaaliin, eikä ole pohdittu mitä mahdollisia muita apukemikaaleja voisi olla.

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi Pilvilammen vesilaitoksen toimintaa, kiinnittäen erityishuomiota flotaatioselkeytyksen toimintaperiaatteeseen, perehdytään

siihen, miksi lietteet aiheuttavat ongelmia jätevesilaitoksella, selvitetään laskeut-
tamisen käytön yleisyyttä flotaatiolietteiden jatkokäsittelytapana Suomen suurim-
millä talousvesilaitoksilla, sekä tarkastellaan lietteiden laskeutumiseen mahdolli-
sesti sopivia kemikaaleja ja niiden toimintaperiaatteita. Teoriaosuuden jälkeen
kerrotaan laboratoriotutkimuksissa käytetyistä menetelmistä ja listataan tulokset.
Lopuksi tutkimustulokset analysoidaan ja tehdään tulosten pohjalta johtopäätök-
set.

2 VAASAN VESI -LIKELAITOS

Vaasan Vesi on perustettu vuonna 1915, ja vuodesta 1992 se on toiminut Vaasan kaupungin kunnallisena liikelaitoksena. Perustamisvuotena on rakennettu myös Pilvilammen vesilaitos, joka tuottaa talousvettä koko Vaasaan, osaan Mustasaarta ja vuodesta 2013 myös Vähänkyrön asukkaille. Vaasan Veden hallinnassa on Pilvilammen vesilaitoksen lisäksi toimipisteitä myös muualla, kuten asiakaspalvelu ja toimistotilat, sekä Pättin jätevedenpuhdistamo.¹ Vuonna 2021 vuodenvaihteessa Vaasan Vedellä oli vakituisia työntekijöitä 58 henkilöä.

Vaasan Veden tärkeimpinä tehtävinä on tuottaa talousvettä, puhdistaa jätevettä ja pitää huoli vesihuoltoverkostojen toiminnasta. Pilvilammen vesilaitoksen veden käyttäjiä ovat yllä mainittujen alueiden asukkaat ja yritykset, yhteensä noin 70 000 henkilöä, ja esimerkiksi vuonna 2021 tuotettu vesimäärä oli 5,22 miljoonaa m³.² Samana vuonna Vaasan Veden vesijohtoverkoston pituus oli 1009 kilometriä, ja viemärijohtoverkoston 555 kilometriä. Vaasan Veden tehtäviin kuuluu kummastakin verkostosta huolehtiminen.

Vaasan Veden organisaatio jakautuu neljään osaan; asiakaspalveluun, johon kuuluu myös laskutus, hallinto ja talous, teknisiin palveluihin, joihin kuuluu verkosto- ja liittymäpalvelut, vedentuotantoon, sekä jätevedenpuhdistukseen. Liikelaitosta johtaa, toimitusjohtaja apunaan, johtoryhmä, jossa vedentuotannon vastaavana toimii Pilvilammen vesilaitoksen käyttöpäällikkö Per-Eric Lindh, jonka alaisuudessa suoraan minä työskentelin.³

¹ Vaasan Vesi. 2022 a.

² Vaasan Vesi. 2022 b.

³ Vaasan Vesi. 2022 c.

2.1 Pilvilammen vesilaitoksen vedentuotantoprosessi

Vaasan Veden Pilvilammen vesilaitoksella valmistettavan talousveden raakavesi otetaan Kyrönjoesta Båskaksen pumppaamolta. Kyrönjoen raakaveden laatu vaihtelee mm. joen pinnan korkeuden, veden lämpötilan sekä vuodenaikojen mukaan, ja raakaveden laatua seurataan jatkuvasti, jotta muutoksiin voidaan reagoida nopeasti. Raakaveden laadun takia sen puhdistamiseen tarvitaan monivaiheinen prosessi, joka aloitetaan jo Båskaksen pumppaamolla. Båskaksella ennen raakavesipumppuja on putkissa välipät eli verkot, joilla estetään suurimpien esineiden, kuten juurakoiden tai isojen kalojen pääsy putkistoon.

Talvisin raakavesi pumpataan Båskaksen pumppaamolta suoraan Pilvilampeen, ja siitä vesilaitokselle, mutta kesäisin raakavesi kulkee Kalliolammen esisaostuslaitoksen kautta. Kesäisin raakaveteen sekoitetaan jo Båskaksen pumppaamolla rautasuolaa, ferrisulfaattia⁴, jonka sopivalla syöttömäärällä saadaan veden pH säädettyä oikealle tasolle niin, että kemikaali reagoi veden orgaanisen aineksen kanssa, saaden humuksen saostumaan lietteeksi Kalliolammen esisaostuslaitoksen lammen pohjaan. Pohjalta liete pumpataan välialtaan kautta maa-altaaseen, jossa sen annetaan laskeutua. Maa-allas ruopataan säännöllisin väliajoin. Kalliolammelta esisaostettu vesi johdetaan painovoimaisesti Pilvilampeen, ja siitä vesilaitokselle.

Pilvilampi on erittäin tärkeä osa Vaasan alueen talousveden hankintaa, sillä sen vesimäärä riittäisi tuottamaan vettä koko alueelle noin kahdeksi kuukaudeksi. Kyrönjoen veden laadun huonontuessa veden pumppaaminen joesta lopetetaan välillä kokonaan, jolloin talousveden tuotantoon käytetään vain Pilvilammessa jo olevaa vettä. Kyrönjoesta pumpatun raakaveden bioaines ehtii Pilvilammessa myös

⁴ Huoltovarmuusorganisaatio. 2020.

hieman laskeutua, ja Pilvilammen veden laatua hoidetaan hapettamalla sitä ilmas-
timilla. Alla kuva (Kuva 1.) siitä, mitä tapahtuu raakavedelle ennen vesilaitokselle
saapumista.



Kuva 1. Raakaveden matka laitokselle.⁵

Pilvilammesta vesi saapuu kanavaa pitkin vesilaitokselle, jossa se johdetaan ensimmäisenä pikahämmmentimelle, jossa veden sekaan nimensä mukaisesti hämmennetään saostuskemikaalia (ferrisulfaatti) ja kalkkia. Näiden kemikaalien avulla säädetään veden pH:ta ja saadaan veden orgaaninen aine saostumaan seuraavassa vaiheessa, eli flotaatioiselkeytyksessä. Flotaatiossa hämmmentimet edesauttavat saostuskemikaalin sekoittumista veteen, saaden sen tarttumaan suurempaan määrään orgaanista ainesta, ja muodostamaan tämän kanssa yhdessä isompia hiutaleita, flokkeja. Flokit nostetaan dispersion, eli paineilman ja veden sekoituksen avulla flotaatioaltaiden pinnalle, josta se kaavitaan pois ja johdetaan jätevesilaitokselle jatkokäsittelyyn. Flotaation ollessa pääkohteena tässä opinnäytetyössä, on siitä jäljempänä vielä tarkemmin tietoa.

Flotaation jälkeen veteen lisätään hiilidioksidia alkaliteetin säätämiseksi ja vesi johdetaan jälkihämmmentimeen, jossa siihen sekoitetaan kalkkiliuosta pH:n nosta-

⁵ Vaasan Vesi. 2019.

miseksi. Jälkihämmentimestä vesi kulkeutuu pikasuodatukseen; kahdeksaan altaaseen, joissa on noin metrin hiekkakerros pohjalla. Vesi suodattuu hiekan läpi, jättäen hiekkaan mm. metallit, kuten raudan, mangaanin ja alumiinin. Pikasuodattimet huuhdellaan vastasuuntaan puhtaalla vedellä ja paineilmalla säännöllisesti, jotta ne eivät mene tukkoon ja niiden suodatusteho säilyy hyvänä.

Pikasuodatuksesta jo lähes puhdas talousvesi johdetaan hidassuodatukseen, sääntäen matkalla jälleen pH:ta hiilidioksidilla. Hidassuodatus pitää sisällään neljä 1 500 m² ulkoallasta, joissa on paksu hiekkakerros. Vesi pumpataan hiekkakerroksen päälle, niin että se ilmastuu samalla. Vesi valuu hitaasti hiekkakerroksen läpi hiekan alla olevaan putkistoon, joka kerää veden ja kuljettaa sen tasausaltaaseen. Hidassuodatus parantaa veden makua ja hajua.

Hidassuodatuksesta vesi kerätään tasausaltaaseen, jonka jälkeen veden alkaliteettia säädetään hiilidioksidilla, se desinfioidaan UV-säteilyllä, säädetään pH kohdalleen lisäämällä kalkkia, ja rajoitetaan mikrobikasvun syntymistä jakeluverkossa klooriamiinilla⁶. Klooriamiini tuotetaan lisäämällä veteen natriumhypokloriittia ja ammoniumsulfaattia, jotka yhdessä reagoivat muodostaen klooriamiinia⁷. Tämän jälkeen vesi on puhdasta talousvettä, ja se siirretään puhdasvesialtaaseen odottamaan pumppausta kuluttajille. ⁸ Jäljempänä kuva (Kuva 2.) koko vedentuotantoprosessista.

Vesilaitoksella raakavesi-, korkeapaine-, ja matalapainepumppuja on kaikkia useampi ja niiden käyttöä vaihdellaan säännöllisesti. Tällä varmistetaan kaikkien pumppujen toimivuus ja pidennetään niiden käyttöikää. Kalkkiliuosta lisätään prosessiin useammassa vaiheessa, ja myös kalkkipumppuja huolletaan ja vaihdellaan

⁶ Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY. Vesi ja viemärit. Vedenpuhdistusprosessi lyhyesti.

⁷ Työterveyslaitos.

⁸ Vaasan Vesi. 2021.

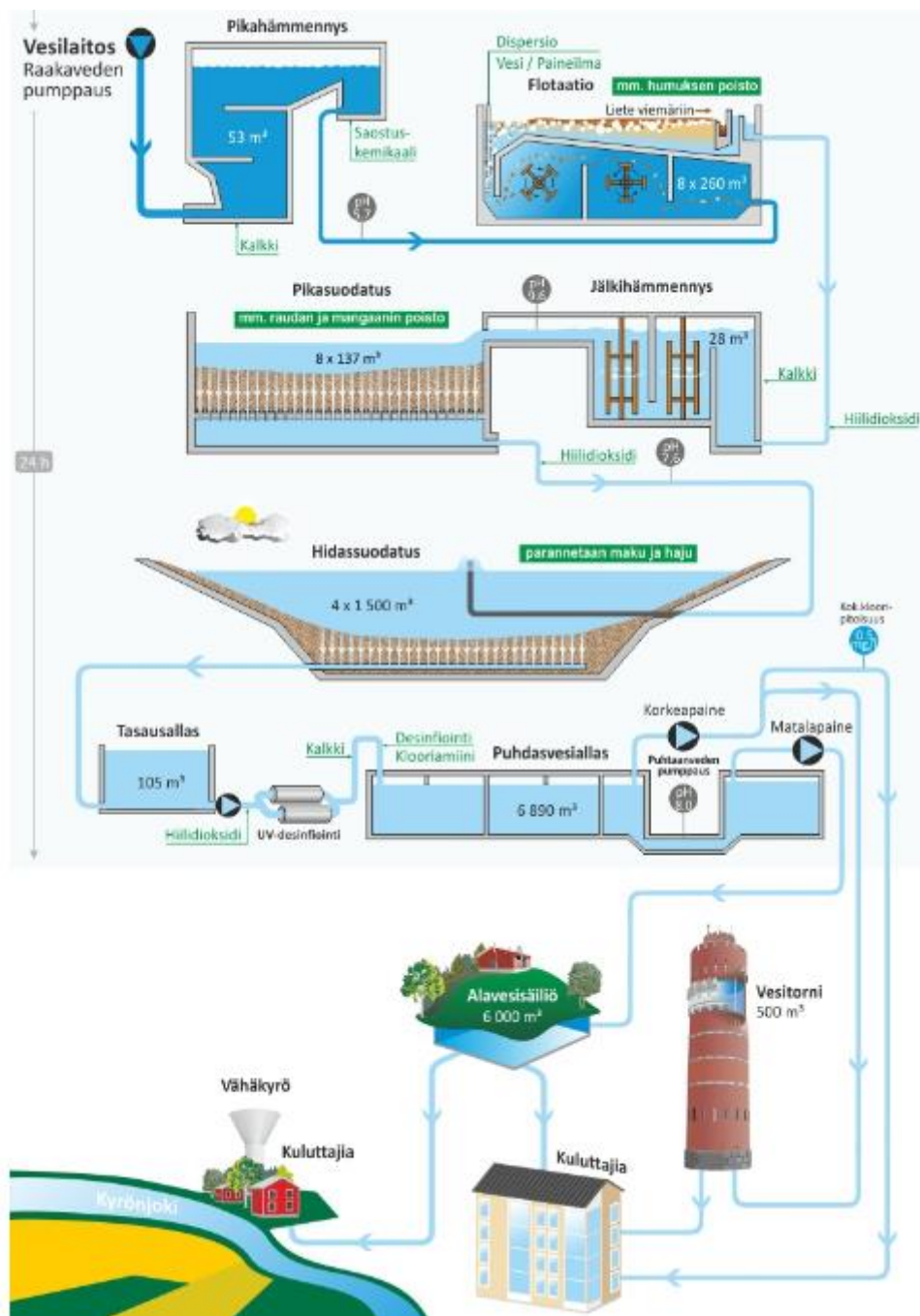
säännöllisesti. Kun kalkkipumppuja huolletaan, voidaan prosessiin ajaa kalkin sijasta lipeää, joka säätelee veden pH:ta.

Veden laatua tarkkaillaan jatkuvasti, jotta se täyttää sosiaali- ja terveysministeriön talousvedelle asettamat laatuvaatimukset⁹. Pilvilammen vesilaitoksella onkin oma laboratorio, jossa veden laatua seurataan säännöllisesti, jotta vedenpuhdistusprosessin ohjaus olisi ajan tasalla. Prosessin ohjaus on pitkälti automatisoitua, ja esimerkiksi pH-muutoksiin vaikuttavien kemikaalien syöttömäärät ohjautuvat prosessissa olevien pH-antureiden mukaan. Veden sameutta seurataan useammassakin prosessin eri vaiheessa automaattisten sameusmittareiden avulla, puhtaan veden kloorimäärä mitataan kloorimittarin avulla, ja alkaliteetti mitataan säännöllisesti laboratoriossa. Myös automatiikan tekemien mittausten oikeellisuutta varmistetaan päivittäin laboratoriossa. Prosessin toimintaa ohjataan ja säädetään näiden prosessissa olevien automaattisten mittausten, sekä laboratoriomittausten perusteella.

Puhdasvesialtaasta puolet vedestä siirretään korkeapainepumppujen avulla joko suoraan kuluttajille tai Vaasan vesitornin kautta kuluttajille. Vesitornissa on pieni vesivarasto, mutta sillä on merkittävämpi rooli paineiskujen tasaamisessa. Toinen puolikas vedestä siirretään matalapaineputkistoa pitkin alavesisäiliölle ja sen kautta kuluttajille.¹⁰

⁹ A 1352/2015. 2015.

¹⁰ Vaasan Vesi. 2021.



Kuva 2. Pilvilammen vesilaitoksen vedenpuhdistusprosessi.¹¹

¹¹ Vaasan Vesi. 2019.

3 TEOREETTINEN TAUSTA

Tässä luvussa käsitellään flotaatioselkeytyksen toimintaperiaatetta tarkemmin, kerrotaan mitä ongelmia flotaatiolietteet aiheuttavat jätevedenpuhdistamolla, sekä selvitetään muiden Suomen vesilaitosten flotaatiolietteiden käsittelyä. Lisäksi perehdytään tutkimuksessa testattaviin kemikaaleihin.

3.1 Flotaatioselkeytyksen toimintaperiaate

Flotaatioselkeytyksen perustoimintaperiaate on jo ylempänä, kappaleessa 2.1, kerrottu seikkaperäisesti. Ennen flotaatioaltaita on pikahämmennin, josta vesi tulee putkea pitkin ja jakaantuu kahteen jakoaltaaseen, joista jälleen kummastakin kahteen flotaatioaltaaseen. Pilvilammen vesilaitoksella on siis käytössä yhteensä neljä kappaletta flotaatioaltaita, joista jokainen tilavuudeltaan noin 500 m³.

Ennen flotaatiota olevan pikahämmennin loppupäässä veteen lisätään ferrisulfaattia, eli rautasuolaa, joka saa vedessä olevan humuksen sakkautumaan ja kasaantumaan isommiksi yhtenäisiksi hiutaleiksi, flokeiksi. Pilvilammen vesilaitoksella käytössä oleva ferrisulfaatti on laadultaan PIX322, ja sen kemiallinen kaava on Fe₂(SO₄)₃. Ferrisulfaatti on Fe³⁺-pohjainen epäorgaaninen nestemäinen saostuskemikaali, jonka avulla vedestä poistetaan orgaanista ainesta. Ferrisulfaatin suola liukenee veteen ja kolmenarvoiset, positiivisesti varautuneet Fe³⁺-ionit yhdistyvät negatiivisesti varautuneen orgaanisen aineksen kanssa. Nämä yhdessä muodostavat mikropartikkeleita, jotka tarttuessaan toisiinsa kasvavat yhä suuremmiksi ja suuremmiksi kokonaisuuksiksi, flokeiksi.¹²

¹² Vesilaitosyhdistys VVY. 2020.

Orgaanisen aineksen poisto vedestä on tärkeää monestakin syystä. Se antaa kasvualustan mikrobeille, sekä aiheuttaa veteen makua, hajua ja väriä. Lisäksi orgaaninen aine on haitaksi prosessin seuraavissa vaiheissa, kuten pikasuodattimissa, aiheuttaen niiden tukkeutumista ja toimintahäiriöitä. Orgaanisen aineen määrää voidaan mitata orgaanisena kokonaishiilenä TOC (total organic carbon), joka kuitenkin yleensä määritetään vasta puhtaasta, juomakelpoisesta juomavedestä.¹³

Flotaatiossa ferrisulfaatin toimintaa tehostetaan hämmentimien avulla niin, että kemikaali pääsee entistä isomman humusmäärän kanssa tekemisiin. Jokaisessa flotaatioaltaassa on kaksi hämmennintä, eli yhteensä kahdeksan kappaletta. Hämmentimien jälkeen syntynyt flokki nostetaan vesi-ilmadispersioon avulla flotaatioaltaan pintaan, josta kaavin kaapii sen säännöllisin väliajoin viemäriin. Tutkimuksen kohteena onkin tämä flotaatioaltaan pinnalta kaavittavan flokkisakan ja veden sekoitus, flotaatioliete.

Flotaatiolietteessä on mukana vettä yllättävänkin paljon, sillä kun flotaatioaltaan pinnan kaavinta alkaa, nousee toisessa päässä allasta padotusluukku ylös, joka estää lietteen sekoittumisen puhdistettuun veteen, mutta myös puhdistetun veden pääsyn eteenpäin prosessissa. Koska flotaatioaltaaseen syötettävä vesimäärä ei kuitenkaan muutu, altaan vedenpinta nousee, ja kaavinnan aikana altaaseen syötetty vesimäärä valuu flokkisakan mukana viemäriin.

Flotaatiolietteen koostumukseen vaikuttaa eniten sisään otettavan raakaveden määrä ja laatu. Mitä enemmän raakavettä syötetään flotaatioaltaaseen pintakaavinnan aikana, sitä korkeampi on flotaatiolietteen vesipitoisuus, sillä kaavintaan kuluva aika on määritetty vakioksi. Kaavinnassa viemäriin menevän vesimäärän pystyy laskemaan, kun tietää raakavesimäärän, padotusluukun ylhäällä oloajan ja kaapimen käyntiväliajan. Sen sijaan lietteessä olevaa kiintoaineksen määrää ei

¹³ Vesilaitosyhdistys VVY. 2020.

pysty laskemaan, koska se vaihtelee veden laadun mukaan niin paljon. Osana tätä opinnäytetyötä onkin tarkoitus saada selville, kuinka paljon lietteessä on kiintoainesta suhteessa veden määrään.

Raakavesimäärä vaihtelee asiakkaiden veden kulutuksen mukaan, johon vaikuttaa mm. sää, vuodenaika, isot tapahtumat, teollisuus, koulujen aukiolo jne. Veden kulutus, ja tätä myötä laitokselle sisään otettava raakavesimäärä vaihtelee 500–1 000 m³/h välillä, keskiarvona Pilvilammen vesilaitoksella tuotetaan vettä kuitenkin noin 14 000 m³/vrk. Flotaatioaltaisiin tuleva vesimäärä on sisään otettava raakavesimäärä plus dispersiovesimäärä, joka on noin 110 m³/h. Dispersiovesimäärä tarkoittaa sitä puhtaan veden vesimäärää, joka käytetään vesi-ilmadispersioon muodostamiseen. Mikäli raakavesimäärä on esimerkiksi 800 m³/h, dispersiovesimäärä 110 m³/h ja padotusluukun ylhäällä oloaika on vakio 165 sekuntia, saadaan jätevesilaitokselle meneväksi jätevesimääräksi 10,42 m³ jokaisesta kaavinnasta. Kun kaapimen käyntiväliaika on vakio 1,5 h välein, tarkoittaa tämä sitä, että kaikista neljästä flotaatioaltaasta menee pelkkää vettä jätevesilaitokselle yhteensä 41,7 m³ jokaisen puolentoista tunnin aikana. Tämä määrä ei siis edes vielä pidä sisällään varsinaisen kiintoaineksen määrää, vaan on pelkkää vettä, joka mahdollisesti voitaisiin hyötykäyttää, esimerkiksi syöttämällä se takaisin prosessiin.

Ferrisulfaatin syöttömäärä riippuu raakaveden laadusta, johon taas vaikuttaa mm. veden lämpötila, Kyrönjoen tulvatilanne, Kalliolammen esiselkeytyksen käyttö ja vuodenaika. Loppukesästä alkaen, pitkälle syksyyn ja talveen, on raakaveden laatu yleensä parhaimmillaan, mikä tarkoittaa sitä, että flotaatolietteessä olevan huumuksen määrä suhteessa veden määrään on pienimmillään. Näin ollen myös prosessiin syötettävän ferrisulfaatin määrä on pienimmillään. Ferrisulfaatin syöttömäärää säädelään mm. flotaation jälkeen vedestä otettavan sameusmittauksen mukaan. Syöttömäärä vaihtelee noin 50–210 g/m³ välillä. Myös flotaatiossa olevaa pH:ta vaihdellaan veden laadun mukaan 4,9–5,8 välillä. Sitä säädelään samoin perustein kuin ferrisulfaatin syöttöä, sen mukaan mikä milloinkin on prosessin kanalta toimivin pH, eli mm. flotaation jälkeen mitattavan veden sameuden mukaan.

Tämä flotaation jälkeinen sameus pyritään pitämään enintään tasolla 0,5 FTU¹⁴. Flotaation pH:ta säädetään pikahämmennin syötettävän kalkkiliuoksen avulla.

3.2 Flotaatiolietteiden vaikutus jätevesipuhdistamon prosessiin

Osasyynä tutkimuksen tekemiseen on se, että Pilvilammen vesilaitoksella syntyvät flotaatiolietteet menevät tällä hetkellä käsiteltäviksi Pättin jätevedenpuhdistamolle, jossa ne ovat ajoittain ongelma prosessin toiminnalle. Ongelma on huomattu varsinkin silloin, kun vesilaitoksen flotaatioaltaat tyhjennetään ja puhdistetaan, eli silloin, kun flotaatiolietettä tulee jätevedenpuhdistamolle vielä normaalia enemmän.

Flotaatiolietteiden humusperäisyys ja keveys aiheuttaa sen, että niitä on vaikea saada poistettua täysin jätevedenpuhdistusprosessissa. Varsinkin mikäli puhdistamolle tulevan lietteen määrä lyhyessä ajassa on suuri, jää lietteen flokkia pyörimään puhdistusprosessiin, eikä se poistu sieltä. Flotaatiolietteiden aiheuttamien ongelmien taloudellisia kustannuksia ei ole määritetty, mutta periaatteessa flotaatiolietteiden kiintoainepitoisuuden selvittämällä olisi mahdollista arvioida ainakin sen vaikutusta Pättin kokonaiskuormitukseen, ja ehkä massataseeseenkin.

Humuspitoinen flotaatioliete ei laskeudu kunnolla jätevedenpuhdistamon esiselkeytyksessä saostuskemikaalista (ferrisulfaatti, PIX) huolimatta, jolloin niitä ei saada poistettua tehokkaasti prosessin oikeassa vaiheessa. Osa flotaatiolietteestä saattaa kulkeutua biologiseen prosessiin, jossa ne aiheuttavat ylimääräistä kiintoainekuormitusta. Humusperäinen liete on biologisesti erittäin hitaasti hajoavaa, eikä ehdi juurikaan hajota aktiivilieteprosessissa. Tästä syystä osa lietteestä jatkaa matkaansa vieläkin pidemmälle prosessissa, aiheuttaen

¹⁴ Opetushallitus. a.

selkeytsaltaissa heikentynyttä näkösyvyyttä. Näiden syiden takia Pättin jätevedenpuhdistamolta on esitetty toive flotaatiolietteiden käsittelystä jo Pilvilammen vesilaitoksella, niin etteivät lietteet tulisi jätevedenkäsittelyprosessiin ollenkaan.¹⁵

3.3 Flotaatiolietteiden käsittely suurimmilla vesilaitoksilla Suomessa

Lähdin selvittämään suurimpia talousvesilaitoksia yksinkertaisesti Suomen suurimpien kaupunkien mukaan. Kuntaliiton sivuilta löysin vuoden 2022 listauksen Suomen suurimmista kaupungeista asukasluvun mukaan¹⁶. Vaasa oli listauksessa sijalla 15, joten päätin rajata tutkimukseni näihin 14 kaupunkiin, jotka ovat Vaasaa suurempia. Tämän listan perusteella etsin näiden kaupunkien talousvedentuottajat ja tutustuin heidän vedentuotantoprosesseihinsa. Lisäksi vedentuottajia etsiessäni käytin hyväkseni Vesilaitosyhdistys VVY:n listausta yhdistykseen kuuluvista toimijoista¹⁷.

Mikäli tutkittavien vesilaitosten vesi tuotettiin pohja- tai tekopohjavetenä, ei tällöin laitoksella yleensä ole käytössä flotaatioselkeytystä johtuen veden hyvästä puhtaudesta jo sen tullessa laitokselle, pois lukien tapaukset, joissa tekopohjaveden tuotannossa on apuna esiselkeytyslaitos. Mikäli vedentuotantoon käytettiin pintavettä, tai vedenpuhdistusprosessia ei ollut nettisivuilla kerrottu tarpeeksi tarkasti, laitoin kyseiselle vesilaitokselle kyselyä heidän prosessistaan ja flotaatiolietteiden käsittelystä.

¹⁵ Vesala, M. 2022.

¹⁶ Kuntaliitto. 2022.

¹⁷ Vesilaitosyhdistys VVY. 2022.

3.3.1 Helsinki, Espoo ja Vantaa

Listauksessa Suomen suurimmista kaupungeista Helsinki oli ensimmäisenä, Espoo toisena ja Vantaa neljäntenä. Kaikkiin näihin kolmeen kaupunkiin tuottaa talousvettä Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY, joka toimittaa vettä yli miljoonalle asukkaalle alueella.¹⁸ Osa koillis-Vantaan juomavedestä on luonnon pohjavettä, mutta suurin osa vedestä tuotetaan pintavedestä Pitkälän, Vanhankaupungin ja Dämmanin vedenpuhdistuslaitoksilla¹⁹. Laitoksilla on käytössä vaakaselkeytysaltaat, flotaatioselkeytyksen sijasta²⁰. Vaakaselkeytysaltaissa syntynyt orgaaninen sakka-aines johdetaan sellaisenaan jätevedenpuhdistamolle²¹.

3.3.2 Tampere

Tampereen alueen talousveden tuotannosta vastaa Tampereen Vesi. Se tuottaa vettä noin 20 miljoonaa kuutiota vuodessa, ja raakavetenä käytetään pääasiassa (75 %) pintavettä.²² Pintavesilaitoksilla on käytössä flotaatioselkeytys ja siitä syntyvät lietteet johdetaan jätevedenpuhdistamolle²³.

3.3.3 Oulu

Oulussa talousveden tuottaa Oulun Vesi, Hintan ja Kurkelanrannan vesilaitoksilla. Vettä tuotetaan noin 10 miljoonaa kuutiota vuodessa, ja raakavesi on pintavettä Oulunjoesta.²⁴ Vesilaitoksilla on kummallakin käytössä pintaflotaatiot ja niiden lietteet menevät jätevedenpuhdistamolle jatkokäsittelyyn²⁵.

¹⁸ Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY. Vesi ja viemärit.

¹⁹ Helsinginseutu. 2019.

²⁰ Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY. Vesi ja viemärit. Vedenpuhdistusprosessi lyhyesti.

²¹ Poutanen, H. 2022.

²² Tampereen Vesi.

²³ Kettunen, R. 2022.

²⁴ Oulun Vesi.

²⁵ Lahtinen, J. 2022.

3.3.4 Jyväskylä

Jyväskylässä veden tuotannosta ja siirrosta vastaa Alva-yhtiöt Oy, joka tuottaa vettä noin 25 000 kuutiota vuorokaudessa yhteensä kahdeksalla vesilaitoksella. Suurin pintavesilaitos Jyväskylässä on Viitaniemen pintavesilaitos, jossa on käytössä flotaatioselkeytyksen ja hiekkasuodattimen yhdistelmä. Flotaatioselkeytyksen toimintaperiaate on sama kuin Pilvilammen vesilaitoksella, sillä erolla, että heillä saostuskemikaalina toimii polyalumiinikloridi eli PAX.

Flotaatioletteen kaavinnan jälkeen lietteetön vesi suodattuu altaan pohjalla olevan hiekkakerroksen läpi, ja jatkaa prosessin seuraavaan vaiheeseen. Flotaatiolettestä poistetaan ylimääräistä vettä, jonka jälkeen jäljelle jäänyt kiinteämpi liete siirretään lietepumppaamoon, josta se pumpataan jätevesiverkostoon. Flotaatioselkeytyksen alapuolella oleva hiekkasuodatin huuhdellaan vastavirtahuuhteluna tasaisin väliajoin, ja näille huuhteluvesille laitoksella on oma jatkokäsittelynsä.²⁶

3.3.5 Pori

Porissa talousveden tuotannosta vastaa Porin Vesi, joka tuotti vuonna 2021 vettä 5,5 miljoonaa kuutiota²⁷. Porin Veden vesilaitoksella on käytössä flotaatioselkeytyks ja flotaatioletteet johdetaan jätevedenpuhdistamolle, eikä niille ole laitoksella jatkokäsittelyä²⁸.

²⁶ Jukarainen, K. 2022.

²⁷ Pori. 2022.

²⁸ Tapiainen, T. 2022.

3.3.6 Kouvola

Kouvolassa talousveden tuotannosta vastaa Kouvolan Vesi. He tuottavat vettä noin 4,5 miljoonaa kuutiota vuodessa, josta kolme neljäsosaa pohja- tai tekopohjavesilaitoksilla, ja loput Pilkanmaan pintavesilaitoksella.²⁹ Tämän tarkempia tietoja en laitoksesta saanut.

3.3.7 Turku

300 000 turkulaista saa talousvetensä Turun Seudun Vesi Oy:ltä, joka tuottaa veden tekopohjavetenä³⁰. Kuitenkin ennen varsinaista vedentuotantoprosessia Huitisissa on esikäsittelylaitos, jossa vedestä poistetaan orgaanista ainesta flotaatioiselkeytyksen avulla. Saostuskemikaalina toimii polyalumiinikloridi, PAX-18. Kaikki esikäsittelylaitoksen lietteet, siis myös flotaatiolietteet, johdetaan lamelliselkeyttimille, joissa erotetaan laskeuttamalla kiintoaines vedestä. Erotettu kiintoaines tiivistetään vielä linkojen avulla ja kuljetetaan tämän jälkeen läjitykseen lisäkuivumista varten, ja siitä edelleen maanrakennuskäyttöön. Lamelliselkeytyksestä jäänyt vesi johdetaan painovoimaisesti takaisin vesistöön.³¹

3.3.8 Pohja- tai tekopohjavesi raakavetenä

Kuopiossa³², Lahdessa, Joensuussa³³, Lappeenrannassa ja Hämeenlinnassa vedentuotantoon käytetään raakavetenä joko pohjavettä tai tekopohjavettä. Näissä tapauksissa raakavesi itsessään on jo niin puhdasta ja vähähumuksista, ettei flotaatioiselkeytykselle ole tarvetta, ja näin ollen myöskään flotaatiolietettä ei synny.

²⁹ Kouvolan Vesi.

³⁰ Turun Seudun Vesi Oy.

³¹ Puurunen, O. 2022.

³² Kuopion vesi. Tietoa vedestä.

³³ Joensuun Vesi. Veden käsittely.

Kuopiolaisille talousveden tuottaa Kuopion Vesi, palvellen yli 100 000 asukasta. Vesi tuotetaan rantaimetyvänä tekopohjavetenä, sekä maaseututaajamissa pohjavetenä.³⁴ Lahdessa Lahti Aqua tuottaa vetensä pohjavedestä, yhteensä n. 23 000 m³ vuorokaudessa³⁵, samoin kuin Joensuussa Joensuun Vesi 14 000 m³.³⁶ Lappeenrannassa Lappeenrannan Energia Oy tuottaa talousvettä 15 000 m³ vuorokaudessa, käyttäen raakavetenä pohjavettä ja pintavedestä tehtyä tekopohjavettä³⁷. Hämeenlinnassa Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy, HS-Vesi, tuottaa talousveden pohja- ja tekopohjavesistä yhdellätoista vedenkäsittelylaitoksella³⁸.

3.3.9 Lappavesi

Tietoa etsiessäni sain vinkin, että Lappavesi Oy:llä on käytössä jatkokäsittely flotaatiolietteilille. He tuottavat talousveden pohjavedestä, mutta kyseinen raakavesi on niin humuspitoista, että se vaatii esikäsittelyn flotaation avulla. Flotaatiolietteet johdetaan välialtaaseen, ja pumpataan sieltä lingolle kuivattavaksi. Flotaatiossa käytetään polyalumiinikloridia saostuskemikaalina, ja linkouksen apuaineena kationista polymeeriä. Linkokuivattu sakka annetaan kuivua varastossa, erillisessä sakkahallissa, ennen kuin se kuljetetaan jatkokäyttöön täyttömaaksi.³⁹

Lappavesi Oy:llä ei siis ole käytössä laskeutusaltaita flotaatiolietteiden käsittelyyn vaan linko. Lisäksi heidän käyttämänsä saostuskemikaali on eri mitä Pilvilammen vesilaitoksella. Kuitenkin tästä saa viitteitä siihen, että lietteiden käsittely vesilai-

³⁴ Kuopion Vesi. Kuopion Vesi.

³⁵ Lahti Aqua.

³⁶ Joensuun Vesi. Veden tuotanto.

³⁷ Lappeenrannan Energia Oy.

³⁸ Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy, HS-Vesi.

³⁹ Konttila, S. 2022.

toksella on mahdollista, ja kenties linkous voisi olla seuraavaksi tutkittava käsitte-lytapa Pilvilammenkin flotaatiolietteille, mikäli laskeuttaminen ei jostakin syystä onnistu.

3.4 Mahdollisesti käyttökelpoiset kemikaalit laskeuttamisessa

Tutkimuksessa on tarkoitus testata erilaisten polymeerien käyttäytymistä flotaatiolietteen kanssa. Polymeerejä käytetään paljon hyödyksi jätevedenpuhdistusprosesseissa saostamaan ja laskeuttamaan lietettä, minkä takia niitä lähdettiin testaamaan myös tässä tutkimuksessa mahdolliseksi apuaineeksi laskeuttamiseen. Kemikaalitoimittaja Kemira ehdotti polymeerien lisäksi myös vaahdonestoaineen testaamista apuna laskeuttamisessa.

3.4.1 Polymeerit

Polymeeri koostuu pienistä molekyyleistä, monomeereistä, jotka sitoutuvat toisiinsa kovalenttisilla sidoksilla muodostaen ison molekyyli­massan omaavia makromolekyy­lejä. Polymeerien ominaisuudet vaihtelevat erilaisista rakenteista, sähköisen varauksen tyypistä ja voimakkuudesta, sekä molekyyli­massasta riippuen.

Polymeeri voi koostua kemiallisesti samanlaisista monomeereistä, jolloin sitä kutsutaan homopolymeeriksi, tai useammasta kemiallisesti erilaisesta monomeerista, jolloin sitä kutsutaan kopolymeeriksi. Monomeerien lukumäärää polymeeri­molekyyli­ssä kutsutaan polymeroitumisasteeksi. Polymeroitumisaste ja monomeerien moolimassa määrittelevät polymeerin molekyyli­painon. Polymeerien molekyyli­paino vaihtelee tyypillisesti muutamasta sadasta useisiin kymmeneen miljooniin g/mol.⁴⁰

⁴⁰ Kemira. 2020.

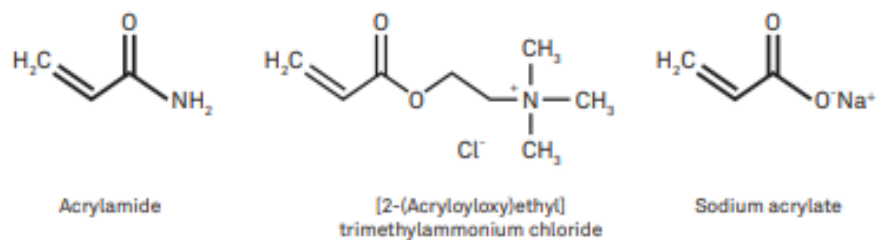
Polymeerit voivat olla joko synteettisiä tai orgaanisia. Synteettisiä polymeerejä voidaan valmistaa polymerisaatiolla, eli yhdistämällä monomeerejä toisiinsa katalyytin avulla. Orgaaniset polymeerit ovat joko luonnossa syntyneitä tai muuten elävän organismin synnyttämiä. Orgaanisia polymeerejä kutsutaan myös biopolymeereiksi.⁴¹

Polymeerit voivat olla sähköisesti varautuneita, tai varauksettomia, eli neutraaleja. Sähköisesti varautuneita polymeerejä kutsutaan polyelektrolyyteiksi, ja varauksen suuruutta kuvataan varaustiheytenä, jonka yksikkö on meq/g. Mikäli polymeeri on positiivisesti varautunut, on se kationinen, ja mikäli se on negatiivisesti varautunut, on se anioninen. Kationinen varaus polymeereissä johtuu tavallisesti sen sisältämistä ammoniumryhmistä, kun taas anioninen varaus perustuu karboksyylihapporyhmien dissosiaatioon (hajoamiseen). Polymeerin sähköinen varaus voi olla polymeerin rakenteeseen ja syntymekanismiin perustuen joko pH-riippuvainen, tai pH-riippumaton.⁴²

Vesihuollossa kaikista eniten käytetty polymeeri on kationinen kopolymeeri akryyliamidi, joka on synteettinen ja vesiliukoinen polyelektrolyytti. Alla kuva (Kuva 3.) akryyliamidin, C_3H_5NO , sekä yleisimmin käytetyn kationisen kopolymeerin, $C_9H_{18}ClNO_2$, ja anionisen kopolymeerin, $C_3H_3NaO_2$, kemiallisesta rakenteesta.

⁴¹ Kemira. 2020.

⁴² Kemira. 2020.



Kuva 3. Akryyliamidi, sekä yleisimmät kationinen ja anioninen kopolymeeri.⁴³

Polymeerejä käytetään talous- ja jätevedenpuhdistuksessa, jotta saadaan vedessä oleva kiintoainne kasaantumaan isommiksi hiutaleiksi, flokeiksi, ja tätä kautta helpommin poistettavaksi. Syntyvän flokin koko riippuu lietteen ja polymeerin ominaisuuksista, annostusmäärästä, syöttöpisteen kohdasta, ja vedenpoistolaitteistosta. Flokkien muodostumista polymeerien avulla kutsutaan flokkulaatioksi, jolloin polymeerejä nimitetään flokkulanteiksi. Flokkulanttien lisäämisen ansiosta flokista tulee tiiviimpään, nopeammin laskeutuvaa, sen leikkauskestävyys paranee, koko kasvaa ja se sisältää vähemmän vettä. Kun tarkoituksena on saada flokkaatioliete laskeutumaan, niin sopivan polymeerin löytäminen on mahdollista vain käytännön pilot-kokeilla. Polymeerejä on saatavana sekä kiinteässä raemuodossa, että valmiina liuoksina.⁴⁴

3.4.2 Vaahdonestokemikaalit

Vahto muodostuu kuplista, jotka ovat keskenään kontaktissa. Puhdas neste ei ikinä yksinään vaahtoa, vaan se tarvitsee epäpuhtauksia ja pinta-aktiivisen aineen vaahtotakseen. Vaahdon syntyyn vaikuttavat myös vallitsevat olosuhteet, kuten

⁴³ Kemira. 2020.

⁴⁴ Kemira. 2020.

lämpötila, pH, nesteen pinnan viskositeetti ja elastisuus, sekä nesteen pintajännitys ja -aktiivisuus. Vaahdon ominaisuudet vaihtelevat mm. vaikuttavien aineiden ja voimien, sekä kuplien muodon, koon ja pysyvyyden mukaan.⁴⁵

Vaahto saattaa aiheuttaa ongelmia prosessiin teollisissa olosuhteissa, ja sen poistamiseksi on kehitetty vaahdonestokemikaaleja. Niitä käytetään apuna mm. jätevesien käsittelyssä, kaivosteollisuudessa, maaleissa ja pinnoitteissa, sekä muusteissa.⁴⁶ Vaahdonestokemikaaleja on kolmenlaisia: antifoam-kemikaaleja, jotka estävät tai vähentävät vaahdon syntyä, defoam-kemikaaleja, jotka vähentävät jo syntynyttä vaahtoa, sekä vaahdonsäätökemikaaleja. Vaahdonestokemikaaleja on vesipohjaisia, vesipitoisia öljypohjaisia, öljypohjaisia, sekä silikonipohjaisia. Vaahdonestoaineiden toiminta voi perustua esimerkiksi pinnan viskositeetin vähentämiseen, elastisuuden vähentämiseen, elektrostaattisten voimien muuttamiseen tai pintajännityksen kasvattamiseen.⁴⁷

⁴⁵ Stevenson, P. 2012.

⁴⁶ Kemira. Products.

⁴⁷ Garret, P.R. 2014.

4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS, TAVOITTEET JA ONGELMAT

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, voiko Pilvilammen vesilaitoksen pintaflotaatiossa syntyviä lietteitä laskeuttaa. Laskeuttamisella tarkoitetaan sitä, että lietteen faasit saadaan eroteltua toisistaan niin, että lietteessä oleva kiintoaines saadaan painumaan altaan pohjalle, ja vesi jäämään pinnalle. Kuten ylempänä on kerrottu, tällä hetkellä kyseiset lietteet menevät Pättin jätevedenpuhdistamolle, jossa ne aiheuttavat ongelmia prosessiin.

Tavoitteena on tutkia kauanko laskeuttamiseen kuluisi aikaa, olisiko jostakin kemikaalista apua laskeutumisessa ja mikä kyseisen kemikaalin annostusmäärä olisi. Lietteestä tutkitaan myös kiintoainepitoisuus, orgaanisen aineksen määrä, sekä rautapitoisuus. Orgaanisen aineen määrää voidaan mitata orgaanisena kokonaisuutena TOC (total organic carbon)⁴⁸. Tätä ei ole Pilvilammen vesilaitoksen flotaatiolietteestä määritetty, sillä vain puhtaasta, valmiista juomavedestä tarvitsee tiettyissä tapauksissa Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen mukaisesti määrittää TOC-arvo⁴⁹. Tehtävän tutkimuksen yhteydessä on kuitenkin tarkoitus määrittää TOC lietteen vedestä, sen jälkeen, kun siitä on kiintoaines eroteltu ja poistettu.

TOC-arvon lisäksi tutkimuksen osatavoitteena on tutkia flotaatiolietteiden laskeuttamisen ja poiston jälkeen jäävästä vedestä veden rautapitoisuus, sillä nämä kaksi vaikuttavat suuresti siihen, mitä vedelle voidaan tehdä kiintoaineksen poiston jälkeen. Veden orgaanisen aineksen määrää voidaan mitata myös määrittämällä siitä kaliumpermanganaatti- eli KMnO_4 -luku, joka kuvaa veden kemiallista hapen kulutusta kaliumpermanganaattina ilmoitettuna. Kemiallinen hapenkulutus ilmoittaa tutkittavassa vedessä olevan kemiallisesti hapettavan orgaanisen aineen määrän

⁴⁸ Vesilaitosyhdistys VVY. 2020.

⁴⁹ A 1352/2015. 2015. Liite 1, Taulukko 4.

muodossa mg/l.⁵⁰ Kaliumpermanganaatti on voimakas hapetin, joka muuttaa orgaanisen aineksen hiiltä hiilidioksidiksi.⁵¹ Näiden määritysten lisäksi tarkoituksena on laskea lietteen käsittelyyn tarvittavien laskeutusaltaiden koko, mikäli laskeuttaminen tutkimuksissa onnistuu.

Flotaatilietteestä tulee saada edustava näyte, jonka avulla tutkitaan käytännössä laboratoriomittakaavan tutkimuksilla lietteen käyttäytymistä kemikaalien kanssa ja ilman niitä. Kemikaalien reagoiminen lietteen kanssa ja optimaalisen annostusmäärän selvittäminen tehdään Pilvilammen vesilaitoksen laboratoriossa pilot-kokeiden avulla.

Ongelmia laskeuttamisen tutkimisessa aiheuttaa raakaveden laadun muutokset vuodenaikojen mukaan, ja tätä kautta saostuskemikaalin ja kiintoaineksen määrän muutokset. Tutkimusta tehdessä raakaveden laatu on parhaimmillaan, jonka takia ferrisulfaatin syöttömäärä ja lietteen kiintoaineksen määrä on pienimmillään. Toisaalta tämä on hyvä asia, sillä saadaan tutkittua optimitilannetta, ja mitattua, minkä verran pienimmillään kiintoainesta voidaan kerätä mahdollista jatkokäyttöä ajatellen. Tutkimustulosten avulla pitäisi olla mahdollista laskea teoreettinen arvio sille, paljonko kiintoaineksen määrä tulee olemaan silloinkin, kun raakaveden laatu on huonompaa.

Suurimman ongelman pintaflotaatiossa syntyvien lietteen laskeuttamisessa todennäköisesti aiheuttaa lietteen sisältämät mikroilmakuplat. Koska liete nostetaan talousvesiprosessissa flotaatioaltaan pintaan vesi-ilmadispersioilla avulla, sisältää se paljon pieniä pieniä ilmakuplia. Nämä kuplat saattavat aiheuttaa sen, ettei liete lähde laskeutumaan painovoimaisesti laskeutusaltaan pohjaan. Toisaalta,

⁵⁰ Opetushallitus. b.

⁵¹ Oravainen, R. 1999.

kun liete kaavitaan flotaatioaltaan pinnalta, tippuu se noin kahden metrin korkuisen pudotuksen betonikourun pohjalle, jonka ansiosta osa lietteen ilmakuplista rikkoutuu. Lisäksi liete kulkee putkistoja pitkin suhteellisen nopealla virtauksella, joka myös edesauttaa kuplien rikkoutumista ja lietteen sekoittumista homogeenisemmäksi. Liete kulkee myös flotaation alla olevan ”flotaatiokellarin” kautta, jossa liete purkautuu putkista avoimeen tilaan, ennen kulkua seuraavaan putkeen. Tässä avoimessa tilassa osa lietteessä olevista ilmakuplista pääsee myös purkautumaan ilmaan.

Mikäli tutkimus onnistuu ja flotaatiliete saadaan laskeutumaan, on siitä moninaisia hyötyjä. Ensinnäkin lietettä ei tarvitsisi enää pumpata jätevesiverkostoa pitkin jätevedenpuhdistamolle, jossa se hankaloittaa varsinaista jätevedenkäsittelyprosessia. Toiseksi lietteelle voisi alkaa suunnitella mahdollista jatkokäyttöä. Yrkeskeshögskolan Novia:lla on jo tehty tutkimus Pilvilammen vesilaitoksen flotaatilietteiden käytöstä mädätyksessä, eli voisiko niitä käyttää biokaasuntuotannon raaka-aineena⁵². Tutkimuksen lopputulos oli miinusmerkkinen eli lietteestä olisi enemmän haittaa kuin hyötyä biokaasuprosessille. Ongelmana tutkimuksessa mielestäni oli kuitenkin se, että testeissä on käytetty nykyistä lietettä sellaisenaan, eli siinä on ollut suurin osa pelkkää vettä, ja hyvin vähän kiintoainesta. Mikäli liete saataisiin laskeutettua, ja sitä kautta tiivistettyä, voisi mädätystestien tulos olla hyvinkin erilainen.

⁵² Willfors, A., Åkerback, N. & Öling-Wärnå, V. 2022.

5 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Tutkimus toteutettiin Pilvilammen vesilaitoksella laboratoriotutkimuksena. Ennen varsinaisia tutkimuksia tehtiin esitutkimus, jossa selvitettiin lietteen käyttäytymistä ilman kemikaaleja, ja tämän jälkeen tehtiin varsinaiset tutkimukset neljänä erillisenä päivänä. Tutkimuspäivät määräytyivät sen mukaan, milloin laboratoriossa oli tilaa tehdä tutkimuksia niin, etten ollut laborantin tiellä.

Tutkimuksissa flotaatiolietettä kerättiin flotaatiokellarin lattialautojen alta tilasta, johon liete purkautuu putkesta kaavinnan jälkeen, ja josta se jatkaa matkaa toiseen putkeen ja siitä jätevesilaitokselle. Liete kerättiin kumihanskat kädessä lietteen purkutilasta jatkovarren päähän kiinnitettyllä litran muovisella mittapullolla. Jo esitutkimuksessa saatiin testattua lietteen keräämistä kyseisestä näytteenotto paikasta ja sen kautta edustavan näytteen saamista. Alla kuva (Kuva 4.) lietteen keräämisestä.



Kuva 4. Lietteiden kerääminen flotaatiokellarista.

Ensimmäisissä tutkimuksissa pullon täytyttyä se vaihdettiin aina uuteen. Tämä todettiin kuitenkin varsin hitaaksi tavaksi kerätä lietettä, sillä jokaisen flotaatioaltaiden kaavinnan aikana saatiin kerättyä lietettä vain 2–3 litraa. Kaavintavälin ollessa noin 20 min, kesti 10 litran lietteen keräämisessä erittäin kauan. Lisäksi erikseen kerättyjen näytepullojen liete jouduttiin kuitenkin yhdistämään sangossa laboratoriossa, jotta lietteestä tutkittavaksi otettavat näytteet olivat keskenään tasalaa-tuisia. Lopuissa tutkimuksissa liete tyhjennettiin muovipullosta muovisankoon jo keräyshetkellä, jolloin pulloa ei tarvinnut välissä irrottaa jatkovarresta ollen-kaan, ja lietettä sai kerättyä jokaisessa kaavinnassa 5–6 litraa. Tämän keräystavan hyvänä puolena oli lisäksi lietteen vähempi käsittely; lietteessä olevaa ilmaa ei päässyt karkaamaan turhaan, tavoitteena saada pidettyä lietettä lähempänä au-tenttista, todellista olomuotoa, sitä mitä se todellisuudessa olisi prosessissa.

Tutkimuksissa käytettiin apuna Velp scientifica JLT6 flocculation tester – flokkulaattoria, johon mahtui yhtä aikaa kuusi boorisilikaatti dekantterilasia, jokainen vetoisuudeltaan 1 litra. Testit tehtiin kuitenkin 0,5 l lietemäärällä 1 l dekantterila-seihin, jotta niissä oli riittävästi tilavuutta sekoittaa, eikä liete tullut astiasta yli. Polymeerien laimentamisessa sekä lietteeseen annostelussa käytettiin kahden ko-koisia automaattipipettejä: thermos scientific finnpipette F2, 1-10 ml ja 100-1000 µl. Lisäksi laimentamisessa ja annostelussa käytettiin 50ml mittapulloja, tislattua vettä, sekä 50 ml dekantterilaseja.

Polymeerien reagoimista lietteen kanssa tutkittiin silmämääräisesti arvioimalla lietteen koostumusta, mittaamalla kuiva-ainekerroksen paksuutta, mittaamalla näytteen vesiosasta sameus sekä joissain tapauksissa myös rautapitoisuus. Sa-meudet mitattiin aina puhtaan veden osiosta, myös niissä tapauksissa, joissa flok-kikerros nousi astian pintaan. Näissä tapauksissa on otettava huomioon, että sa-meusmittausten virhemarginaali saattaa olla huomattavasti suurempi, sillä flokki tarttui herkästi kiinni pipettiin, ja saattoi sen kautta päätyä osaksi mitattavaa vettä. Polymeerien testauksen rinnalla testattiin myös vaahdonestoaineen toimin-taa lietteen kanssa.

5.1 Esitutkimus

Ennen varsinaista tutkimusta tehtiin 5.10.2022 esitutkimus, jolla selvitettiin hie-
man flotaatiolietteen käyttäytymistä ilman kemikaaleja. Tämän tarkoituksena oli
selvittää, onko lietettä edes mahdollista laskeuttaa, eli sisältääkö se liikaa mikroil-
makuplia ja jää astian pinnalle kellumaan, sen sijaan, että laskeutuisi astian poh-
jaan. Esitutkimuksessa kerättiin kolme erillistä litran näytettä, jotka jätettiin de-
kantterilaseihin laskeutumaan. Alla kuva (Kuva 5.) siitä, miltä lietteet näyttivät heti
näytteen keräämisen jälkeen.



Kuva 5. Esitutkimuksen näytteet.

Kuten kuvastakin voi havaita, näyteastioissa liete alkoi jakaantua heti kolmeen faa-
siin; paljon ilmakuplia sisältävä kiintoaines jäi veden pinnan tuntumaan kuitenkin
pysyen veden pinnan alla, keskimäinen kerros oli vettä ja pohjalle laskeutui hyvin
vähän ilmaa sisältävä kiintoainekerros. Alla kuva (Kuva 6.) noin 5 minuuttia myö-
hemmin, kun faasit alkavat olla selkeästi erillisiä.



Kuva 6. Esitutkimuksen näytteiden faasit.

Oikeanpuoleisen näyteastian annettiin olla sellaisenaan, siihen ei koskettu koko kokeen aikana ollenkaan, vaan se toimi verrokkina muille kahdelle. Kyseisessä astiassa liete pysyi hyvin selkeästi kolmessa faasissa, kunnes noin kahden tunnin paikallaan olon jälkeen pohjalla ollut kiintoainekerros nousi ylös, osaksi pinnan tuntumassa olevaa kiintoainekerrosta.

Vasemmanpuoleisen näyteastian pinnan tuntumassa olevaa kiintoainekerrosta sekoitettiin muutamia kertoja hellästi lasisauvan avulla kokeen aikana. Sekoittamisen tarkoituksena oli rikkoa kiintoaineksen seassa olevia ilmakuplia, ja näin auttaa kiintoainesta laskeutumaan. Sekoittamisesta olikin hyötyä, sillä pohjalle kertyi jonkin verran enemmän kiintoainesta kuin verrokkiastiasa, eikä pohjan kiintoainekerros noussut osaksi pinnan kiintoainekerrosta.

Keskimmäisen näyteastian pinnan kiintoainekerrosta sekoitettiin myös lasisauvalla hitaasti, mutta sekoittaminen oli jatkuvampaa, lähestulkoon kokoaikaista, noin puolen tunnin ajan. Tämän ansiosta lietteessä olevat ilmakuplat hajosivat lähes kokonaan, ja kaikki kiintoaines laskeutui näyteastian pohjalle. Lopuksi vielä testattiin sekoittaa koko näyte sekaisin, niin ettei selkeitä faaseja ollut näkyvissä, ja koska näytteestä oli saatu ilmaa poistettua varsin tehokkaasti, niin lähes kaikki

kiintoaines laskeutui uudelleen astian pohjalle, eikä pintaan enää jäänyt kuin ohut kerros kiintoainesta. Alla kuva (Kuva 7.) lopputuloksesta.



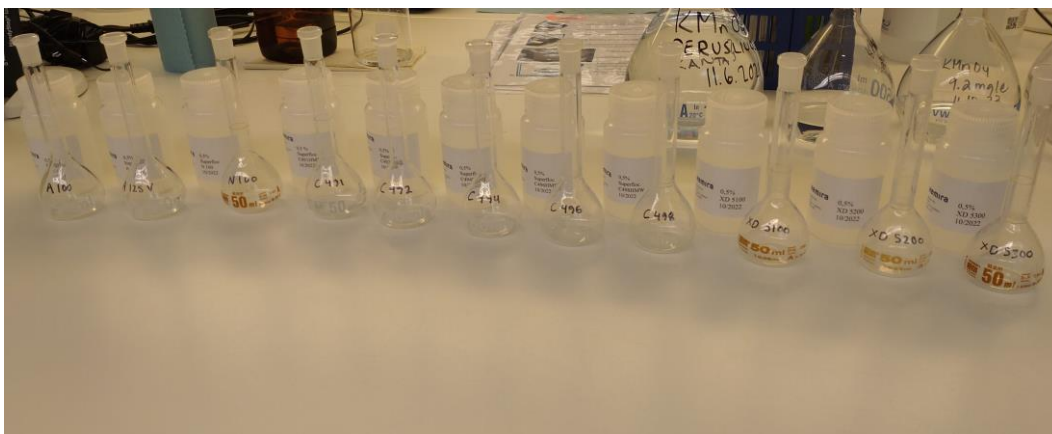
Kuva 7. Esitutkimuksen lopputulos.

Tämän esitutkimuksen avulla voidaan todeta, että flotaatiolietteen kiintoaines on mahdollista saada laskeutumaan, ja näin voidaankin jatkaa varsinaisen työ tekemiseen.

5.2 Tutkittavaksi saadut kemikaalit

Sain Kemiralta näytepakkaukset erilaisia polymeerejä ja vaahdonestoaineen tutkimustani varten. Polymeereistä kaksi oli anionisia: Superfloc A100 ja Superfloc A 125 V, yksi neutraali: Superfloc N100, ja loput kationisia: Superfloc C491 HMW, Superfloc C492 HMW, Superfloc C494 HMW, Superfloc C496 HMW ja Superfloc C498 HMW. Lisäksi oli vielä kolme polymeeriä, jotka olivat kationisia, erittäin pitkäketjuisia polymeerejä: XD 5100, XD 5200 ja XD 5300. Polymeerien lisäksi tutkittavana oli myös vaahdonestoaine KemFoamX 2500, joka on Etoksi-propoksiloitu alkyylialkoholi. Polymeereihin viitataan edempänä pelkillä sähköisenvarauksen ilmoittavalla kirjaimella ja polymeerin numerolla, ilman Superfloc-alkua tai HMW-loppua.

Polymeerit olivat kaikki vahvuudeltaan 0,5 % liuoksia, joista laimennettiin 0,1 % liuoksia. Laimennokset tehtiin 50 ml mittapulloihin, mittaamalla pipetillä 10 ml polymeeriä ja täyttämällä merkkiin asti tislatulla vedellä. Koska mittapulloista ei saanut pipetoitua laimennettua polymeeriä lietteeseen, oli apuna vielä 50 ml dekantterilasit. Alla kuva (Kuva 8.) kemikaalinäytepulloista ja laimennuksiin käytetyistä mittapulloista.



Kuva 8. Polymeerinäytteet ja mittapullot.

Kemiralta tullessa ohjeessa kerrottiin, että mikäli lietteen kuiva-ainepitoisuus on 5–10 %, niin yleensä 100 % polymeeriä tarvitaan 3–6 kg/1 tonni kuiva-ainetta. Tutkimukset tehdään 0,1 % liuoksia. Esitutkimuksen perusteella voidaan arvioida, ettei tutkittavana olevan flotaatiolietteen kuiva-ainepitoisuus ole näin korkea (5–10 %), vaan ennemminkin se on välillä 0,1–1 %. Alla laskukaavat siitä, minkä verran 0,1 % polymeeriliuosta tarvitaan esimerkiksi 1 % kuiva-ainetta sisältävään lietteeseen, jos mitta-astian tilavuus on 1 litra.

Otetaan oletukseksi, että 100 % polymeeriä tarvitaan 5 kg/1 tonni kuiva-ainetta. Oletetaan myös, että kuiva-aine on varsin kevyttä, jolloin sen määrän ollessa 1 % liuoksesta, on liuoksen massa verrattavissa sen tilavuuteen (koska se on suurimaksi osaksi pelkkää vettä) eli $1 \text{ kg} = 1 \text{ l}$, jolloin saadaan:

5 kg/1 000 kg, kuiva-aine pitoisuus 100 %, eli kun

| | |
|--------------------------|----------------------------|
| kuiva-aine pitoisuus 1 % | kuiva-aine pitoisuus 0,1 % |
| 5 kg/100 000 kg, | 5 kg/1 000 000 kg, |
| 5 000 g/100 000 l | 5 000 g/1 000 000 l |
| 5 000 mg/100 l | 5 000 mg/1 000 l |
| 50 mg/1 l | 5 mg/1 l |

Polymeerin muuntosuhde on $5 \text{ g}/100 \text{ g} = 5 \%$, eli $10 \text{ mg}/\text{ml} = 1 \%$. Eli kun tutkimukseen käytetyn liuoksen vahvuus on 0,1 %, niin silloin siinä on polymeeriä 1 mg/ml.

Mikäli lietteen kuiva-ainepitoisuus on 1 %, niin yllä olevan laskun mukaan 100 %:sta polymeeriä tarvitaan 50 mg/l. Polymeerin muuntosuhteen mukaan 100 %:sta polymeeriä on 1 mg/ml 0,1 %:ssa liuoksessa, niin silloin tätä kyseistä 0,1 % polymeeriliuosta tarvitaan 50 ml per litra.

5.3 Ensimmäiset tutkimukset 3.11.2022

Flotaatilietteestä otettiin ennen varsinaisia tutkimuksia litran näyte, joka toimitettiin KVVY:n laboratorioon kuiva-ainepitoisuuden määrittämiseksi. Lietteestä otettiin kuiva-ainepitoisuudeksi saatiin 490 mg/l eli 0,049 %, jonka perusteella laskettiin ensimmäisiin tutkimuksiin testattavat polymeerimäärät. Jokaisella tutkimuskeralla otettiin uusi näyte lietteestä ja toimitettiin kuiva-ainepitoisuuden määrittämiseen. Mutta koska tulokset näistä tutkimuksista tuli aina parin päivän viiveellä, ei niitä voinut tutkimushetkellä käyttää hyödyksi.

Ensimmäisissä tutkimuksissa testattiin kaikkien polymeerien, ja vaahdonestoaineen toimintaa. Tutkimukset tehtiin 0,5 l lietemäärillä, jotta saatiin kerätty lietemäärä riittämään kaikkien kemikaalien testaamiseen kahteen kertaan, ja samalla saatiin säästettyä aikaa lietteen keräämisessä, sekä kuluja, kun kuiva-ainepitoi-

suutta ei tarvinnut määrittää kuin yhdestä näytteestä. Tutkimushetkellä vesilaitokselle sisään otettava raakavesimäärä oli 730 m³/h, raakaveden lämpötila 4,6 °C, ja saostuskemikaalin syöttömäärä 60 g/m³.

Näytteet alkoivat laskeutua heti, kun ne otettiin 0,5 l dekantterilaseihin, ja tästä syystä ne sekoitettiin flokkulaattorilla ennen kemikaalien lisäämistä. Flokkulaattorin sekoitusnopeuteen ja -aikaan otettiin suuntaa antavaa mallia aikaisemmista Kyrönjoen vedestä tehdyistä hieman vastaavanlaisista tutkimuksista. Pelkkää lietettä sekoitettiin flokkulaattorilla ensin 4 minuuttia kierrosnopeudella 250 rpm, jonka jälkeen lisättiin polymeerit, ja sekoitettiin uudestaan 3 minuuttia nopeudella 200 rpm.

Päivän ensimmäisissä testeissä jokaista polymeeriä lisättiin omaan 0,5 l näytteesensä 1,3 ml, ja samana päivänä tehdyissä toisissa testeissä 5 ml. Ensimmäinen testimäärät on laskettu aikaisemmin kohdassa 5.2 kerrottujen tapojen avulla, käyttäen kuiva-ainepitoisuutena 0,05 %, näytemääränä 0,5 l, ja polymeerin pitoisuutena 0,1 %. Näin ollen haluttu polymeerin testimäärä oli 1,25 ml per 0,5 l, mutta sopivan mittalaitteen puuttuessa se pyöristyi 1,3 millilitraan. Saman päivän toisten testien 5 ml testimäärällä taas haluttiin testata ylipäätään, että kemikaalit toimivat oikein, ja siksi valittiin selkeästi liioiteltu syöttömäärä. Tosin samaan aikaan epäiltiin silmämääräisen tutkimuksen perusteella, että kyseisen päivän lietteen kuiva-ainepitoisuus on huomattavasti korkeampi kuin aikaisemmin mitattu 0,05 %, joka myös oli osasy, miksi päivän toiseen testiin valittiin niin suuri polymeerin syöttömäärä.

5.4 Toiset tutkimukset 8.11.2022

Ensimmäisten tutkimusten lietteen kuiva-ainepitoisuus oli 1100 mg/l eli 0,11 %, ja tämän tuloksen, ja edellisten tutkimusten perusteella laskettiin tällä kerralla testattavia polymeerimääriä. Edellisten tutkimusten perusteella valikoitui sameuden perusteella viisi polymeeriä, joilla tällä kerralla tutkittiin sopivampaa syöttömäärää. Valitut polymeerit olivat C492, C494, XD 5100, XD 5200 ja XD 5300, eli kaikki

kationisia polymeerejä. Tällä kerralla testattiin yllä mainituilla polymeereillä syöttömääriä 2 ml, 3 ml ja 4 ml. Tavoitteena saada selville eroavaisuuksia polymeereissä, jotta niistä voidaan valikoida käyttöön sopivin kemikaali. Lisäksi tavoitellaan tulosta siitä, mikä olisi lähemmäs oikeaa syöttömäärää. Näiden lisäksi testattiin vaahdonestoaineen toimintaa huomattavasti pienemmällä syöttömäärällä kuin viimeksi, laimentamalla se 0,1 %:iin.

Lietteen käsittelyä keräyshetkellä minimoitiin, kuten aikaisemmin on mainittu, ja lisäksi näytteiden sekoitusaikaa ilman kemikaalia lyhennettiin. Myös sekoitusaika kemikaalin kanssa pienennettiin edellisten tutkimusten 3 minuutista 1 minuuttiin, jotta se vastaisi paremmin todellisia olosuhteita. Tutkimushetkellä vesilaitokselle sisään otettava raakavesimäärä 800 m³/h, saostuskemikaalin syöttömäärä sama kuin viimeksi eli 60 g/m³, ja veden lämpötila 5,0 °C.

5.5 Kolmannet tutkimukset 10.11.2022

Kolmannella kerralla testattiin toisella kerralla testaamatta jääneitä polymeerejä 4 ml annostuksella, eli testattavat polymeerit olivat: A 100, A 125 V, N 100, C 491, C 496, ja C 498. Edellisten testien perusteella polymeerin syöttömäärässä olisi jonkinlainen raja-arvo 4–5 ml välillä, sillä 5 ml kaikki laskeutuu pohjaan ja 4 ml kaikki laskeutuu ensin pohjaan ja nousee tämän jälkeen pintaan. Tästä syystä halutaan testata myös loput, vielä 4 ml testimäärällä testaamattomat polymeerit tällä määrällä, jotta nähdään miten ne reagoivat. Lisäksi päivän toisena testinä testattiin uudelleen edellisen kerran perusteella valikoidut kolme parasta kemikaalia yhtä aikaa sekä 4 ml että 5 ml polymeerimäärällä, sekä juuri kerätyn, mahdollisimman vähän ja nopeasti käsitellyn lietteen kanssa, että kauan seisseen lietteen kanssa, jotta nähtiin vaikuttaako seisonta-aika tuloksiin.

Päivän ensimmäisten testien aikana laitokselle sisään otettava raakavesimäärä oli 790 m³/h, saostuskemikaalin syöttömäärä 60 g/m³ ja veden lämpötila 4,1 °C. Ennen päivän toisia testejä prosessiin oli tehty muutoksia, ja raakavesimäärä oli laskeutu 680 m³/h.

5.6 Neljännet tutkimukset 15.11.2022

Viimeisellä tutkimuskerralla tutkittiin edellisissä testeissä parhaimmilla vaikuttaneita polymeerejä. Näiden rinnalla oli verrokkina ns. nollanäyte, eli yhdessä dekantterilasissa oli pelkkää lietettä ilman kemikaalia. Tutkittavat kemikaalit olivat C492, C494, XD 5200, XD 5300, ja neutraali N 100. Näillä tein testit ensin 5 ml polymeerimäärällä 0,5 l lietenäytteeseen, ja sitten oikein reilulla yliannostuksella, eli 7 ml polymeerimäärällä. Tarkoituksena oli mitata silmämääräisen tutkimuksen lisäksi sameus, rautapitoisuus (Fe) ja permanganaatti (KMnO_4). Lisäksi parhaimman sameuden omaavaan polymeeri-liete-sekoitukseen testattiin vielä kerran vaahdonestoaineen käyttöä. Tutkimushetkellä laitokseen sisään otettavan raakaveden määrä oli $660 \text{ m}^3/\text{h}$, veden lämpötila $4,3 \text{ }^\circ\text{C}$, ja saostuskemikaalin syöttömäärä $60 \text{ g}/\text{m}^3$.

6 TULOKSET

Tulokset on jaoteltu tutkimuspäivien mukaan, sillä poikkeamalla kuitenkin, että vaahdonestoaineeseen liittyvät tutkimukset on jaoteltu omaksi osiokseen. Alla yhdistelmätaulukko (Taulukko 1.) kullakin tutkimushetkellä vallinneista olosuhteista.

Taulukko 1. Tutkimusolosuhteet.

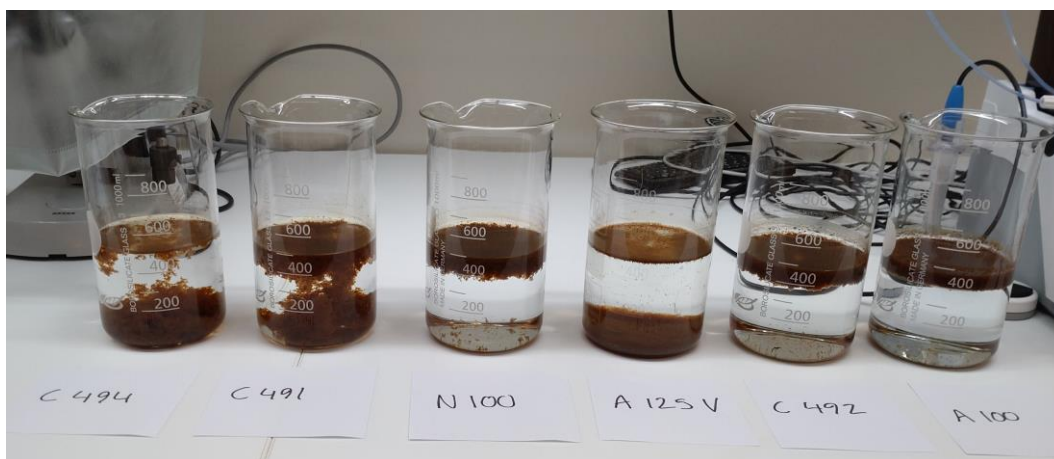
| Tutkimus nro. | Pvm | Raakavesi määrä (m ³ /h) | Veden lämpötila (°C) | Ferrisulfaatin syöttömäärä (g/m ³) | Kuiva-ainepitoisuus (%) |
|---------------|------------|-------------------------------------|----------------------|--|-------------------------|
| 1 | 3.11.2022 | 730 | 4,6 | 60 | 0,11 |
| 2 | 8.11.2022 | 800 | 5 | 60 | 0,11 |
| 3 (1/2) | 10.11.2022 | 790 | 4,1 | 60 | 0,1 |
| 3 (2/2) | 10.11.2022 | 680 | 4,1 | 60 | 0,095 |
| 4 | 15.11.2022 | 660 | 4,3 | 60 | 0,12 |

6.1 Ensimmäiset tutkimukset

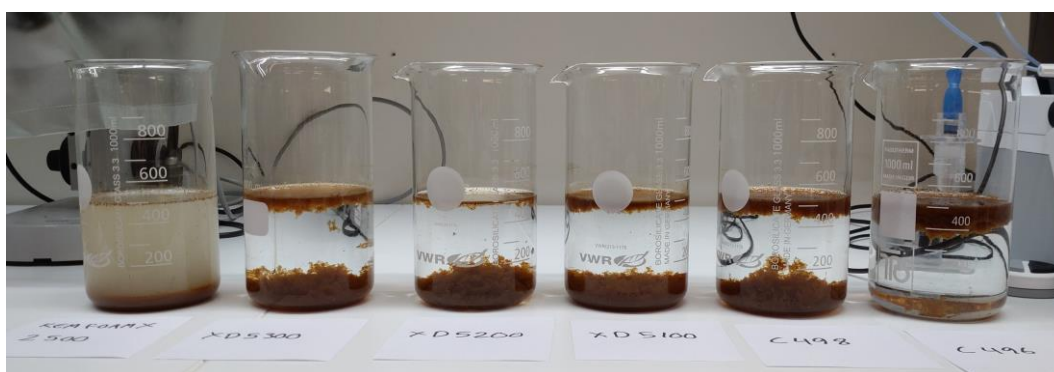
Ensimmäisten tutkimusten lietteestä otetun näytteen kuiva-ainepitoisuus oli 1100 mg/l, eli 0,11 %. Päivän ensimmäisissä tutkimuksissa sekoitettiin 0,1 % polymeeriliuosta 1,3 ml 0,5 l lietemäärään. Alla tutkimuksen tulokset taulukoituna (Taulukko 2.) ja kuvattuna (Kuvat 8. ja 9.).

Taulukko 2. Tulokset 2,6 mg/l polymeeripitoisuudella.

| Näyte | Käsittely | | | | | | Tulokset |
|--------------------|-----------|-------|----------------|------|----------------------|----------------------------|----------|
| | Pvm | Klo | Näytemäärä (l) | pH | Veden lämpötila (°C) | Polymeeri pitoisuus (mg/l) | |
| Superfloc A 100 | 3.11.2022 | 15.00 | 0,5 | 5,05 | 4,6 | 2,6 | 1,12 |
| Superfloc A 125 V | 3.11.2022 | 15.00 | 0,5 | 5,05 | 4,6 | 2,6 | 2,72 |
| Superfloc N 100 | 3.11.2022 | 15.00 | 0,5 | 5,05 | 4,6 | 2,6 | 0,775 |
| Superfloc C491 HMW | 3.11.2022 | 15.00 | 0,5 | 5,05 | 4,6 | 2,6 | 0,945 |
| Superfloc C492 HMW | 3.11.2022 | 15.00 | 0,5 | 5,05 | 4,6 | 2,6 | 0,88 |
| Superfloc C494 HMW | 3.11.2022 | 15.00 | 0,5 | 5,05 | 4,6 | 2,6 | 0,643 |
| Superfloc C496 HMW | 3.11.2022 | 18.00 | 0,5 | 5,05 | 4,6 | 2,6 | 2,93 |
| Superfloc C498 HMW | 3.11.2022 | 18.00 | 0,5 | 5,05 | 4,6 | 2,6 | 1,34 |
| XD 5100 | 3.11.2022 | 18.00 | 0,5 | 5,05 | 4,6 | 2,6 | 0,971 |
| XD 5200 | 3.11.2022 | 18.00 | 0,5 | 5,05 | 4,6 | 2,6 | 0,313 |
| XD 5300 | 3.11.2022 | 18.00 | 0,5 | 5,05 | 4,6 | 2,6 | |



Kuva 9. Lietteen reagoiminen 2,6 mg/l polymeeripitoisuuteen (1/2).



Kuva 10. Lietteen reagoiminen 2,6 mg/l polymeeripitoisuuteen (2/2).

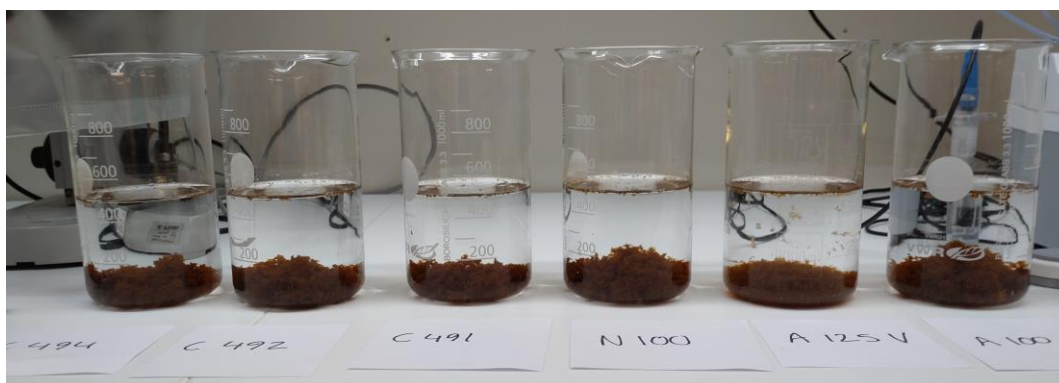
Kuten kuvista voidaan nähdä, niin tuloksissa on suurta hajontaa; osa näytteistä nousee pintaan, osa laskeutuu pohjaan, ja osa jakaantuu kahteen kiintoainekerrokseen; sekä pohjaan että pinnalle. Selkeästi parhaiten laskeutuu kationinen, pitkäketjuinen polymeeri XD 5200, jolla on myös paras sameus. Taulukosta puuttuu XD 5300 polymeeri-lietenäytteen sameus, sillä jostain syystä se on hävinnyt muisiinpanoistani.

Myös anioninen A 125 V laskeutui hyvin pohjaan, mutta flokin koostumus oli huonoin, sillä se oli hyvin höttöistä, eikä tästä syystä vastannut toivottua. Samoin toisen anionisen; A 100 – polymeerin flokin koostumus oli samantyylinen, ja flokki nousi myös pintaan. Muissa polymeereissä, sekä neutraalissa että kationisissa flokin koostumus oli keskenään varsin samanlaista; rakeista ja isokokoista.

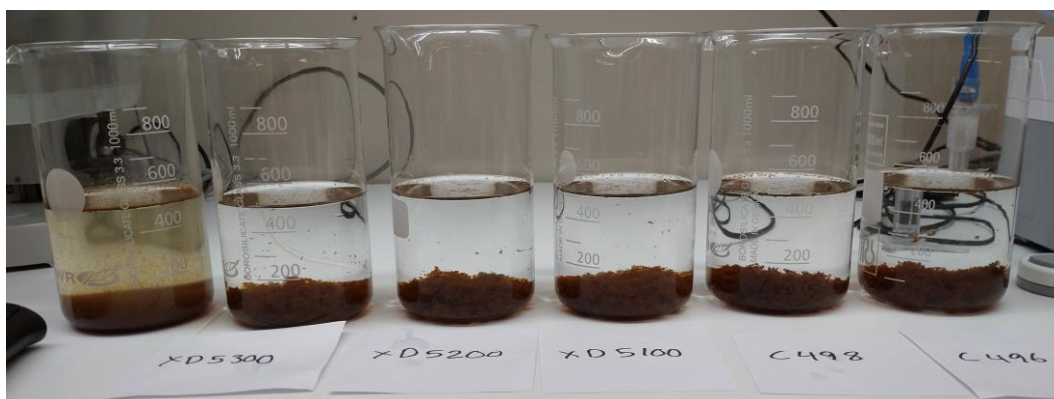
Päivän toisella kierroksella sekoitettiin 0,1 % polymeeriliuosta 5 ml 0,5 l lietemäärään. Alla tutkimuksen tulokset taulukoituna (Taulukko 3.) ja kuvattuna (Kuvat 10. ja 11.).

Taulukko 3. Tulokset 10 mg/l polymeeripitoisuudella.

| Näyte | Käsittely | | | | | | Tulokset | |
|--------------------|-----------|-------|----------------|------|----------------------|----------------------------|--------------|--|
| | Pvm | Klo | Näytemäärä (l) | pH | Veden lämpötila (°C) | Polymeeri pitoisuus (mg/l) | Sameus (FTU) | |
| Superfloc A 100 | 3.11.2022 | 22.00 | 0,5 | 5,05 | 4,6 | 10 | 0,318 | |
| Superfloc A 125 V | 3.11.2022 | 22.00 | 0,5 | 5,05 | 4,6 | 10 | 0,286 | |
| Superfloc N 100 | 3.11.2022 | 22.00 | 0,5 | 5,05 | 4,6 | 10 | 0,39 | |
| Superfloc C491 HMW | 3.11.2022 | 22.00 | 0,5 | 5,05 | 4,6 | 10 | 0,419 | |
| Superfloc C492 HMW | 3.11.2022 | 22.00 | 0,5 | 5,05 | 4,6 | 10 | 0,251 | |
| Superfloc C494 HMW | 3.11.2022 | 22.00 | 0,5 | 5,05 | 4,6 | 10 | 0,267 | |
| Superfloc C496 HMW | 4.11.2022 | 00.00 | 0,5 | 5,05 | 4,6 | 10 | 0,344 | |
| Superfloc C498 HMW | 4.11.2022 | 00.00 | 0,5 | 5,05 | 4,6 | 10 | 0,449 | |
| XD 5100 | 4.11.2022 | 00.00 | 0,5 | 5,05 | 4,6 | 10 | 0,269 | |
| XD 5200 | 4.11.2022 | 00.00 | 0,5 | 5,05 | 4,6 | 10 | 0,249 | |
| XD 5300 | 4.11.2022 | 00.00 | 0,5 | 5,05 | 4,6 | 10 | 0,221 | |



Kuva 11. Lietteen reagoiminen 10 mg/l polymeeripitoisuuteen (1/2).

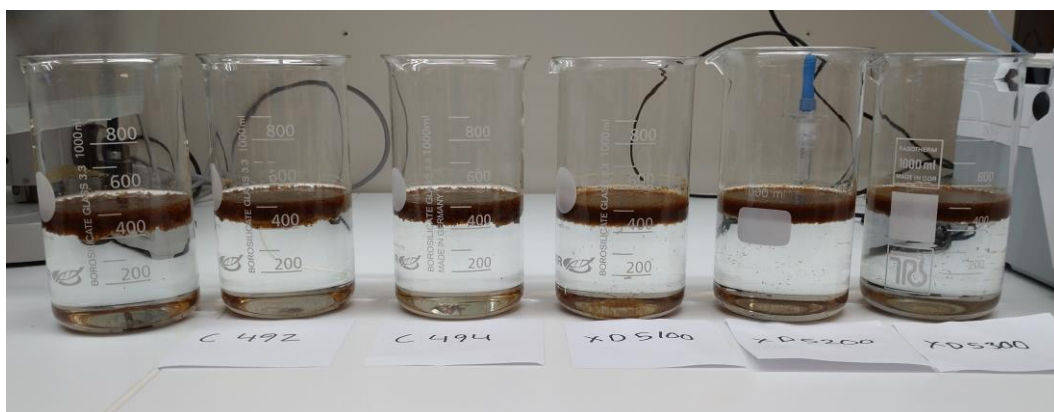


Kuva 12. Lietteän reagoiminen 10 mg/l polymeeripitoisuuteen (2/2).

Kuten kuvista on havaittavissa, 5 ml/ 0,5 l polymeeripitoisuudella kaikki polymeerit käyttäytyivät juuri niin kuin toivottiin, eli flokkikerros laskeutui astian pohjalle. Alemmassa kuvassa on verrokkina vasemmassa reunassa yksi lietenäyte, johon ei ole lisätty kemikaalia, mutta se on sekoitettu flokkulaattorilla muiden näytteiden kanssa samalla tavalla. Lähes kaikkien näytteiden flokin koostumus oli kiinteää ja yhtenäistä, isoa rakeista flokkia, ainoastaan anionisen A 125 V:n flokin koostumus oli poikkeavaa, hiutaleisempaa ja ei niin kiinteää. Tässä tutkimuksessa tärkeämpään arvoon nouseekin sameusmittaukset, joiden perusteella valittiin seuraavan kerran tutkimuksiin viisi parasta kemikaalia tutkittavaksi tarkemmin.

6.2 Toiset tutkimukset

Toisten tutkimusten lietteestä otetun näytteen kuiva-ainepitoisuus oli 1100 mg/l, eli 0,11 %, eli täsmälleen sama kuin ensimmäisissä tutkimuksissa. Edellisten tutkimusten perusteella valikoitui viisi polymeeriä tarkemmin tutkittavaksi: C 492, C 494, XD 5100, XD 5200 ja XD 5300. Näillä polymeereillä testattiin sekoittaa kemikaalia ensin 2 ml, sitten 3 ml ja lopuksi vielä 4 ml puoleen litraan lietettä. Lietteän sekoittamisaika ennen kemikaalin lisäystä vähennettiin minuuttiin, kuten myös sekoittamisaika kemikaalin kanssa, kierrosnopeuden ollessa kummassakin 200 rpm. Alla kuva (Kuva 12.) ja selitykset lopputuloksista.

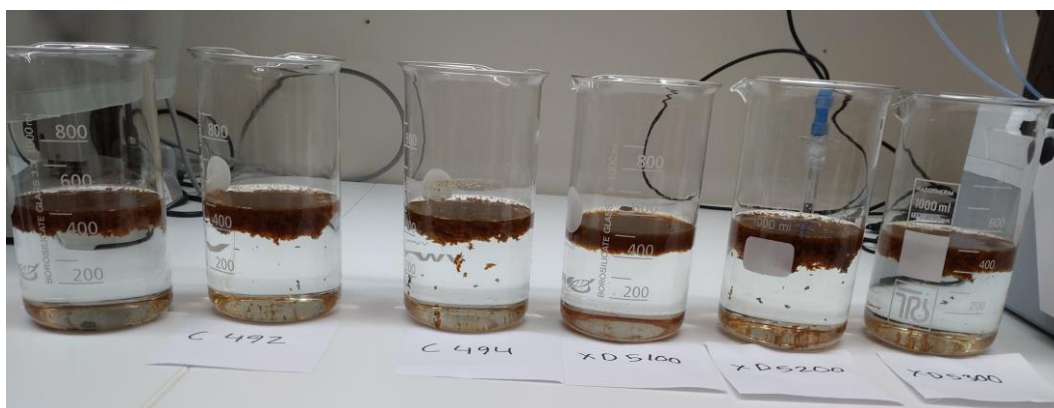


Kuva 13. Lietteen reagoiminen 4 mg/l polymeeripitoisuuteen.

4 mg/l eli 2 ml/ 0,5 l testeissä kaikkien näytteiden flokkikerrokset nousivat heti sekoituksen jälkeen pintaan, eli selkeästi kemikaalipitoisuus oli liian pieni. Tästä syystä näytteistä ei edes mitattu sameuksia. Lisäksi flokin koostumus ei ollut niin hyvä kuin edellisissä 5 ml testeissä, eikä näytteiden vesiosuus ollut täysin kirkasta silmämääräisestikään. Kemikaalien välillä kuitenkin oli isompia eroja kuin 5 ml testeissä; C 492 ja C 494 olivat koostumukseltaan kiinteämpää ja isompaa kuin pitkäketjuiset XD 5100, XD 5200 ja XD 5300. Pitkäketjuisen XD 5100 kohdalla myös kesti huomattavasti kauemmin, että liete kasaantui kokoon, eikä siitä silloinkaan tullut kunnolla yhtenäistä.

Yllä olevassa kuvassa näkyvässä vasemmanpuoleisimmassa näytteessä on testattu polymeerin C 492 flokkulointia samalla kemikaalimäärällä ja lietemäärällä, mutta 1 minuutin sekoittamisen sijasta 2 minuuttia, jotta nähdään sekoitusajan vaikutus kemikaalin reagoimiseen. Pidentäytällä sekoitusajalla ei ollut positiivista vaikutusta lopputulokseen, vaan flokista tuli jopa hieman höttöisempää kuin lyhyemmän aikaa sekoitetussa, sekä veden sekaan jäi enemmän irtonaisia hippusia.

Päivän toisissa testeissä 0,5 l lietteen sekaan lisättiin 3 ml kutakin polymeeriä, eli polymeeripitoisuus oli 6 mg/l. Alla kuva (Kuva 13.) lopputuloksista.

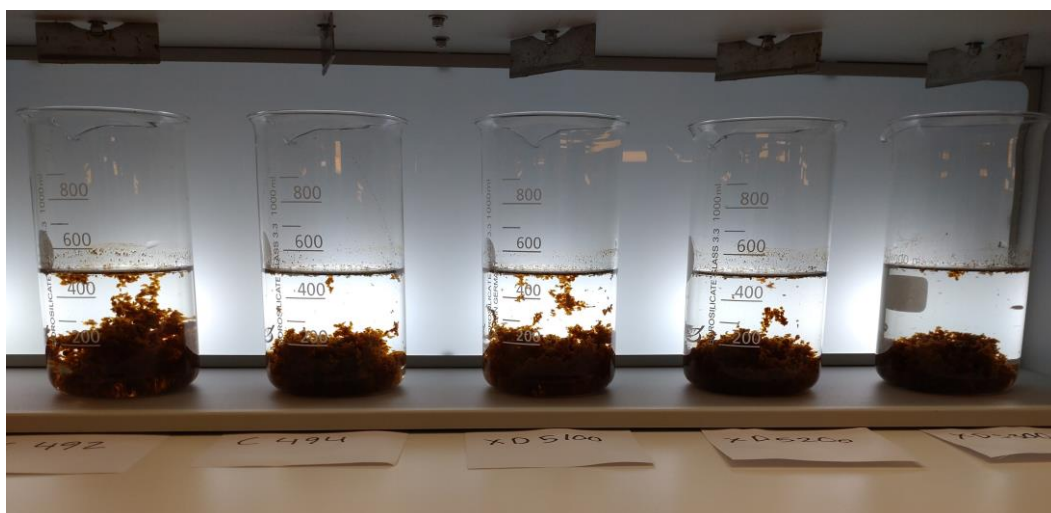


Kuva 14. Lietteen reagoiminen 6 mg/l polymeeripitoisuuteen.

Näissäkin tutkimuksissa kävi samoin kuin edellisissä; flokkikerros nousi heti sekoittamisen jälkeen astian pintaan, eikä sameuksia tästä syystä testattu. Kuitenkin eroa edellisiin oli havaittavissa flokin koostumusten suhteen; kaikkien koostumus selkeästi hieman parani yhtenäisempään, isompirakeiseen suuntaan. Toisaalta se kasvatti myös XD 5100:n eroa muihin, sillä nyt sen koostumuksen eron voi havainnoida kuvastakin.

Myös tällä polymeeripitoisuudella tehtiin sekoitusaikatesti samoin kuin edellisessä kohdassa. Tästä syystä yllä olevassa kuvassa näkyy kaksi C 492 näytettä, joista vasemmanpuoleisimmassa näytteessä sekoitusaikana on ollut 2 minuuttia, 1 minuutin sijasta. Jälleen tulokset olivat samat kuin aikaisemmin, eli pidennetyllä sekoitusajalla ei ollut positiivista vaikutusta lopputulokseen.

Päivän kolmansissa tutkimuksissa polymeeripitoisuus oli 8 mg/l eli laimennettua polymeeriä lisättiin 0,5 l näytteeseen 4 ml. Alla kuvat lopputuloksista (Kuvat 14. ja 15.)



Kuva 15. Lietteen reagoiminen 8 mg/l polymeeripitoisuuteen (1/2).



Kuva 16. Lietteen reagoiminen 8 mg/l polymeeripitoisuuteen (2/2).

Kaikki näytteet toimivat aluksi toivotusti, ja flokkikerros laskeutui jokaisessa näytteessä astian pohjalle. Kuitenkin noin puolen tunnin kuluttua jo melkein kaikkien flokkikerrokset olivat nousseet täysin vesikerroksen pintaan ja XD 5300 oli ainoa, jonka flokkikerros oli selkeästi edelleen pohjalla. Flokkikerrokset nousivat pintaan seuraavassa järjestyksessä: selkeästi nopeimmin nousivat XD 5100, ja C 492, jo noin 5 min sekoittamisen jälkeen, seuraavaksi nousi C 494 (kuvassa vasemmanpuoleinen sekoitettu 2min, ja oikeanpuoleinen sekoitettu 1min), josta osa flokista kuitenkin jäi pohjalle. Viimeisinä nousivat XD 5200, joka ensin oli kokonaan pohjalla, sitten jakautui puoliksi pohjalle ja pinnalle, ja lopulta nousi kokonaan pintaan, sekä XD 5300, josta osa flokista oli vielä tunninkin jälkeen edelleen pohjalla.

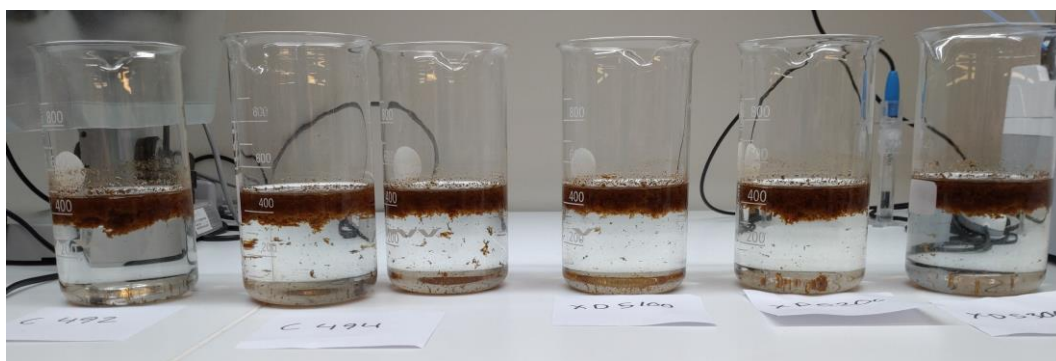
Koostumukseltaan flokkikerrokset olivat taas huomattavasti lähempänä toisiaan kuin edellisissä mittauksissa. Kuitenkin XD 5100:n flokki oli edelleen hieman hienojakoisempaa kuin muiden. Näistä näytteistä otettiin sameusmittaukset, joiden tulokset on taulukoitu alla (Taulukko 4.).

Taulukko 4. Tulokset 8 mg/l polymeeripitoisuudella.

| Näyte | Käsittely | | | | | Tulokset |
|--------------------|-----------|-------|----------------|----------------------|----------------------------|--------------|
| Näyte | Pvm | Klo | Näytemäärä (l) | Veden lämpötila (°C) | Polymeeri pitoisuus (mg/l) | Sameus (FTU) |
| Superfloc C492 HMW | 8.11.2022 | 16.00 | 0,5 | 5 | 8 | 0,634 |
| Superfloc C494 HMW | 8.11.2022 | 16.00 | 0,5 | 5 | 8 | 0,654 |
| XD 5100 | 8.11.2022 | 16.00 | 0,5 | 5 | 8 | 0,79 |
| XD 5200 | 8.11.2022 | 16.00 | 0,5 | 5 | 8 | 0,607 |
| XD 5300 | 8.11.2022 | 16.00 | 0,5 | 5 | 8 | 0,621 |

Sameudet on mitattu kirkkaan veden osasta, mutta vasta kun kaikkien näytteiden flokkikerros on jo noussut pintaan, joten niiden virhemarginaali on suurempi. XD 5100-polymeerin ero muihin on huomattavissa myös sameusmittauksen tuloksissa.

Sameuksien mittaamisen jälkeen testattiin vielä sekoittaa kaikki näytteet kunnolla lasisauvalla, jotta nähdään, miten kestävä on minkäkin kemikaalin tuottama flokkikerros. Jokaisessa näytteessä flokkikerros rikkoutuu, mutta pysyy suhteellisen isoina flokkeina. Samoin kaikissa flokkikerros nousee takaisin astian pintaan, mutta veden sekaan jää pientä hippua, ja silmämääräisestikin sameus huonontuu. Parhaiten flokkikerros palautuu, vesi selkeytyy ja ylipäätään sekoitusta kestävä C 492 ja XD 5300. Alla kuva (Kuva 16.) lasisauvalla sekoitetuista ja jo asettuneista näytteistä.



Kuva 17. Lasisauvalla sekoitetut näytteet.

Näiden testien avulla löydettiin tietynlainen raja-arvo, millä kaikki lietenäytteet laskeutuvat ensin pohjaan, mutta nousevat sitten pintaan. Tästä voidaan päätellä että 8 mg/l polymeeripitoisuus on liian pieni pitämään flokin pohjalla, mutta kuitenkin riittävä ensin laskeuttamaan sen. Aikaisemmissa 10 mg/l tutkimuksissa kaikkien lietenäytteiden flokkikerrokset laskeutuivat ja pysyivät pohjalla. Näin ollen sopivan polymeeripitoisuuden voidaan arvioida olevan jossakin 8 mg/l ja 10 mg/l välillä.

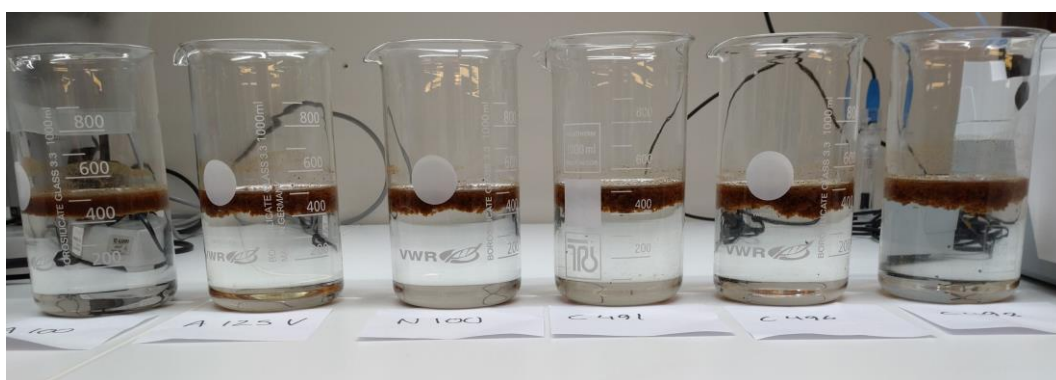
Lisäksi tällä tutkimuksella saatiin eroteltua kemikaaleja toisistaan, sillä XD 5100:n ja C 492:n flokkikerrokset nousivat varsin nopeasti pohjalta pintaan, joten nämä mielestäni voisi suosiolla jo karsia pois parhaimpien kemikaalien listalta. XD 5100:n flokin koostumuskin oli huonompi kuin muissa, joten en näe järkeä jatkaa tutkimuksia tämän kemikaalin osalta.

6.3 Kolmannet tutkimukset

Päivän ensimmäisissä tutkimuksissa haluttiin tutkia loputkin polymeerit 4 ml/0,5 l, eli 8 mg/l pitoisuudella, jotta nähtiin laskeutuvatko ne samalla tavalla kuin edellisen tutkimuksen kemikaalit, vai voidaanko ne varmuudella sulkea pois jatkotutkimuksista. Päivän toisissa tutkimuksissa tarkkailtiin lietteen tuoreuden vaikutusta flokkauksen onnistumiseen, tekemällä tutkimukset parhaimmiksi valikoiduilla kemikaaleilla ja testaamalla niiden käyttäytymistä ihan tuoreella, vastakerätyllä liet-

teellä, ja kauan aikaa seisseellä lietteellä. Koska jälkimmäisiin tutkimuksiin tarvittiin tuoretta lietettä, oli kumpaankin päivän tutkimuksiin haettava erikseen liete, ja kummastakin oli erikseen mitattava kuiva-ainepitoisuus. Ensimmäisien tutkimusten kuiva-ainepitoisuus oli 1 000 mg/l eli 0,10 %, ja toisten tutkimusten 950 mg/l eli 0,095 %.

Ensin tutkittiin polymeerien A 100, A 125 V, N 100, C 491, C 496 ja C 498 käyttäytymistä yllä mainitulla pitoisuudella. Alla kuva (Kuva 17.) lopputuloksesta.



Kuva 18. Lietteen reagoiminen loppujen kemikaalien osalta 8 mg/l polymeeripitoisuuteen.

Kuten kuvasta näkyy, nousivat kaikkien näytteiden flokkikerrokset suoraan pintaan. Näin ollen niistä ei edes mitattu sameuksia ollenkaan, ja ne voidaan karsia pois jatkotutkimuksista. Flokkien koostumuksissa havaittiin kuitenkin eroja; varsinkin anionisen A 100:n flokki oli huomattavasti heikompaa kuin muiden, pienempää ja hiutaleisempaa. Muiden flokkien koostumus oli keskenään hyvin samantyyppistä mutta ero edellisissä 4 ml testeihin oli selkeä; edellisissä flokki oli isompaa ja pysyi paremmin kasassa, kun taas näissä flokki oli hieman pienempää, eikä niissä ollut pitkiä selkeitä erillisiä flokkikasoja ja ketjuja.

Toisaalta huomattiin myös, että neutraalin N 100 -polymeerin vesiosuus oli silmämääräisesti hyvin kirkasta ja puhdasta, jopa parempi kuin edellisten tutkimusten näytteissä. Näytteet testattiin sekoittamalla lasisauvalla samoin kuin edellisissä tutkimuksissa, ja lopputulos oli myös samantyylinen; jokaisessa näytteessä flokkikerros

rikkoutuu, mutta palautuu takaisin astian pintaan, jättäen veden sekaan pientä hippua, huonontaen sameutta. Selkeästi kirkkain vesi on neutraalissa N 100 polymeerilietenäytteessä, sekä ennen, että jälkeen sekoittamisen. Vaikka kyseisestä liuoksesta ei otettu sameusmittausta, päätettiin polymeeri ottaa mukaan jatkotutkimuksiin tämän tutkimuksen perusteella.

Näissä tutkimuksissa huomattiin anionisten polymeerien A 100 ja varsinkin A 125 V polymeerin laimentamisessa ongelmia, sillä niiden sekoittuminen tislattuun veteen oli epätäydellistä ja laimennetun polymeerin seassa oli pitkiä yhtenäisiä polymeeriketjuja. Tämä on saattanut vaikuttaa tutkimuksen tuloksiin, vaikkakin teoriassa liian vahvan polymeerin pitäisi nimenomaan edesauttaa lietettä flokkautumaan paremmin, eikä niin kuin kävi, että flokki jää huonommaksi kuin muissa.

Päivän toisissa tutkimuksissa testattiin edellisten tutkimusten perusteella valikoitujen kolmen parhaan polymeerin reagointia juuri kerättyyn lietteeseen ja kauan seisseeeseen lietteeseen sekä 8 mg/l pitoisuudella että 10 mg/l pitoisuudella. Valikoidut kemikaalit olivat kationiset C 494, XD 5200 ja XD 5300. Kuvissa saman kemikaalin näytteet ovat vierekkäin niin, että vasemmanpuoleinen näyte on 8 mg/l pitoisuudella, ja oikeanpuoleinen 10 mg/l pitoisuudella. Alla kuva (Kuva 18.) lopputuloksista.



Kuva 19. Kolmen valikoidun polymeerin vaikutus tuoreeseen lietteeseen 8 mg/l ja 10 mg/l pitoisuuksilla.

Kuten kuvasta näkyy, lietteet eivät reagoineet toivotulla tavalla polymeereihin. Edellisissä testeissä nämä kyseiset polymeerit olivat ne, jotka flokkasivat ja laskeuttivat lietteet parhaiten, mutta nyt kaikkien flokkikerrokset nousivat heti suoraan astian pintaan. Selkeää syytä tälle ei löytynyt, mutta mahdollisia selityksiä on monia.

Ensinnäkin vedentuotantoprosessissa oli tehty muutoksia juuri hetki ennen näitä tutkimuksia; yksi hidassuodattimista oli ollut puhdistuksessa ja otettu nyt käyttöön, jonka takia laitokselle sisään otettavaa raakavesimäärää oli pienennetty aamun tutkimusten jälkeen 110 m³/h. Tästä syystä on mahdollista, ettei saostuskemikaalin syöttö ole välttämättä ehtinyt tasaantua kunnolla ennen lietteen keräämistä, vaikka mittareiden mukaan flotaation pH oli pysynyt tasaisena. Kuitenkin haluttiin vielä mitata lietteestä sen pH ja arvoksi saatiin 5,29, vaikka sen pitäisi olla lähellä 5,0. Tämä sai epäilemään, ettei pH-mittari kestä lietteen rautapitoisuutta, tai että lietteen orgaaninen aines tukkii mittarin, jonka takia testattiin mitata pH puhtaasta vedestä. Myös puhtaan veden pH oli pielessä ensimmäisillä mittauksilla, mutta muutamaa mittausta myöhemmin alkoi näyttää oikein. Koe myös testattiin uudelleen ensin lietteellä ja sitten puhtaalla vedellä, ja edelleen lopputulos oli sama; lietteen pH oli 5,57, ja jälleen puhtaasta vedestä saatiin oikea tulos vasta muutaman mittauksen jälkeen, pH mittarin puhdistuttua kunnolla lietejäämistä.

Eli tästä syystä aikaisemmin saatuun lietteen pH tulokseen ei ole suoraan luottaminen, mutta se ei myöskään sulje pois sitä mahdollisuutta, että pH olisi ollut pielessä lietteenkeräyshetkellä.

Vaikka lietteet nousivat pintaan, haluttiin niistä silti ottaa vertailun vuoksi sameusmittaukset. Alla taulukoituna (Taulukko 5.) tulokset.

Taulukko 5. Kolmen valikoidun polymeerin vaikutus lietteen sameuteen 8 mg/l ja 10 mg/l pitoisuuksilla.

| Näyte | Käsittely | | | | | | Tulokset | |
|--------------------|------------|-------|-----------------|----------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| | Pvm | Klo | Näyttemäärä (l) | Veden lämpötila (°C) | Polymeeri pitoisuus (mg/l) | Polymeeri pitoisuus (mg/l) | Sameus 8 mg/l (FTU) | Sameus 10 mg/l (FTU) |
| Superfloc C494 HMW | | | | 10.11.2022 | 13.00 | 0,5 | 4,1 | 8 |
| XD 5200 | 10.11.2022 | 13.00 | 0,5 | 4,1 | 8 | 10 | 0,876 | 1,2 |
| XD 5300 | 10.11.2022 | 13.00 | 0,5 | 4,1 | 8 | 10 | 2,09 | 2,547 |

Mielenkiintoa sameuksissa herättää se, että pienemmällä polymeeripitoisuudella olevien näytteiden sameudet olivat parempia, kuin suuremmalla polymeeripitoisuudella. Syynä tähän saattaa olla se, että suuremmalla polymeeripitoisuudella näytteessä on jo polymeerin ylisyyttä, jolloin osa polymeeristä jää lietteen veteen, eikä sitoudu flokkiin.

Siitä huolimatta, että kaikkien näytteiden flokkikerros nousi pintaan, tehtiin vielä uudet testit samoilla kemikaaleilla ja samoilla polymeeripitoisuuksilla, mutta kauan aikaa (n. 4 h) seisseellä lietteellä. Alla kuva (Kuva 19.) lopputuloksesta.

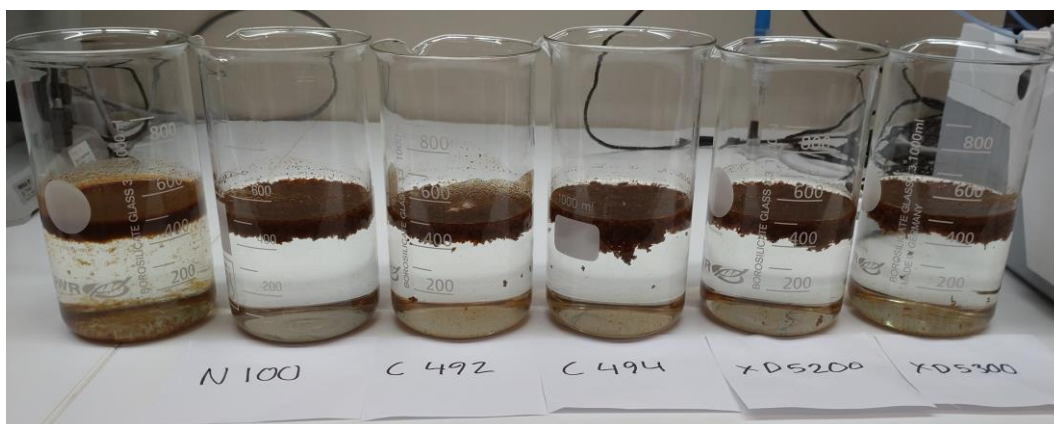


Kuva 20. Kolmen valikoidun polymeerin vaikutus kauan seisseeseen lietteeseen 8 mg/l ja 10 mg/l pitoisuuksilla.

Edelleen kaikkien näytteiden flokkikerrokset nousevat vesikerroksen pintaan. Sameuksien mittaaminen tässä kohtaa koettiin turhaksi, eikä sitä siksi tehty. Tällä tutkimuskohdalla saatiin todistettua se, että vaikka lietettä käsitellään enemmän, ja sen annetaan reagoida ilman kanssa kauemmin, ei se vaikuta lopputulokseen positiivisesti.

6.4 Neljännet tutkimukset

Viimeisellä tutkimuskerralla tutkittiin kationisten C492, C494, XD 5200, XD 5300, ja neutraalin N 100 polymeerien vaikutusta lietteeseen 10 mg/l ja 14 mg/l polymeeripitoisuudella. Näiden rinnalla oli verrokkina nollanäyte, eli pelkkää lietettä ilman kemikaalia. Tutkimushetkellä lietteen kuiva-ainepitoisuus 1 200 ml/l eli 0,12 %. Alla kuva (Kuva 20.) lopputuloksista 10 mg/l polymeeripitoisuuksilla.



Kuva 21. Lietteen reagoiminen 10 mg/l polymeeripitoisuuteen parhaimmilla kemikaaleilla.

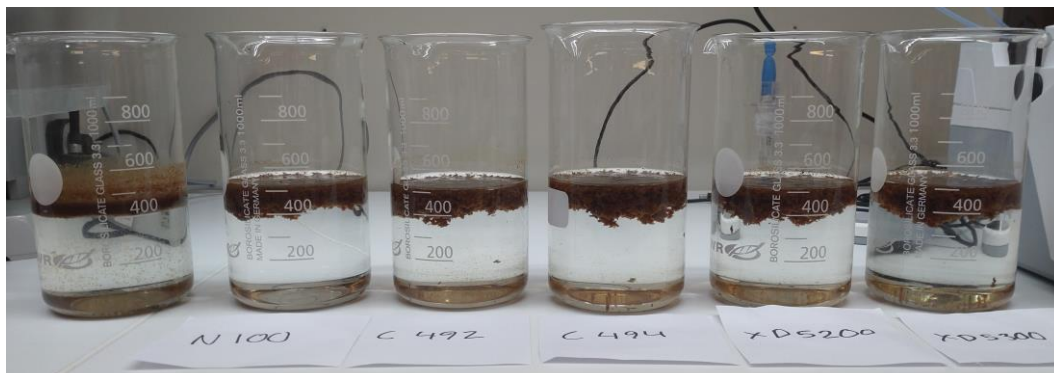
Tarkoituksena oli mitata 10 mg/l polymeeripitoisuuden näytteistä silmämääräisen tutkimuksen lisäksi sameus, rautapitoisuus (Fe) ja permanganaatti (KMnO₄). Mutta kuten kuvasta näkyy, flokkikerrokset nousivat jokaisessa näytteessä jälleen astian pintaan, eikä näin ollen permanganaattia pystytty mittaamaan ollenkaan. Sameus ja rautapitoisuus kuitenkin mitattiin, ja tulokset on taulukoitu (Taulukko 6.) alla.

Taulukko 6. Vesien sameudet ja rautapitoisuudet 10 mg/l polymeeripitoisuudella.

| Näyte | Käsittely | | | | | Tulokset | |
|--------------------|------------|-------|----------------|----------------------|----------------------------|--------------|-----------------|
| | Pvm | Klo | Näytemäärä (l) | Veden lämpötila (°C) | Polymeeri pitoisuus (mg/l) | Sameus (FTU) | Rauta Fe (mg/l) |
| Nollanäyte | 15.11.2022 | 12.00 | 0,5 | 4,3 | 10 | 2,29 | 1,46 |
| N 100 | 15.11.2022 | 12.00 | 0,5 | 4,3 | 10 | 0,457 | 0,27 |
| Superfloc C492 HMW | 15.11.2022 | 12.00 | 0,5 | 4,3 | 10 | 0,738 | 0,53 |
| Superfloc C494 HMW | 15.11.2022 | 12.00 | 0,5 | 4,3 | 10 | 0,769 | 0,37 |
| XD 5200 | 15.11.2022 | 12.00 | 0,5 | 4,3 | 10 | 1,06 | 0,46 |
| XD 5300 | 15.11.2022 | 12.00 | 0,5 | 4,3 | 10 | 0,83 | 0,27 |

Kuten taulukosta ja kuvastakin näkyy, on neutraalin N 100 -polymeerin vesi kaikkein selkeintä, ja myös rautapitoisuus on pienin. Kuitenkin sen flokin koostumus on huonompaa kuin muissa, pienempää ja helpommin rikkoutuvaa, kun taas kationisessa C 492 flokin koostumus on näistä parhain, kiintein ja yhtenäisin.

Viimeisenä testattiin vielä lietteen reagoiminen selkeästi ylimitoitetulla polymeeripitoisuudella, eli 14 mg/l pitoisuudella. Alla kuva (Kuva 21.) lopputuloksesta.



Kuva 22. Liette reagoiminen 14 mg/l polymeeripitoisuuteen parhaimmilla kemikaaleilla.

Edelleen kaikkien näytteiden flokkikerrokset nousevat astian pintaan, eli voidaan vahvasti olettaa, että jokin olosuhteissa on muuttunut toisten, 8.11 tehtyjen tutkimusten jälkeen, mikä aiheuttaa sen, ettei liete enää laskeudu. Flokkikerrosten pintaan noususta huolimatta näistä näytteistä mitattiin sameudet, jotka ovat taulukoituna (Taulukko 7.) alla.

Taulukko 7. Vesien sameudet 14 mg/l polymeeripitoisuudella.

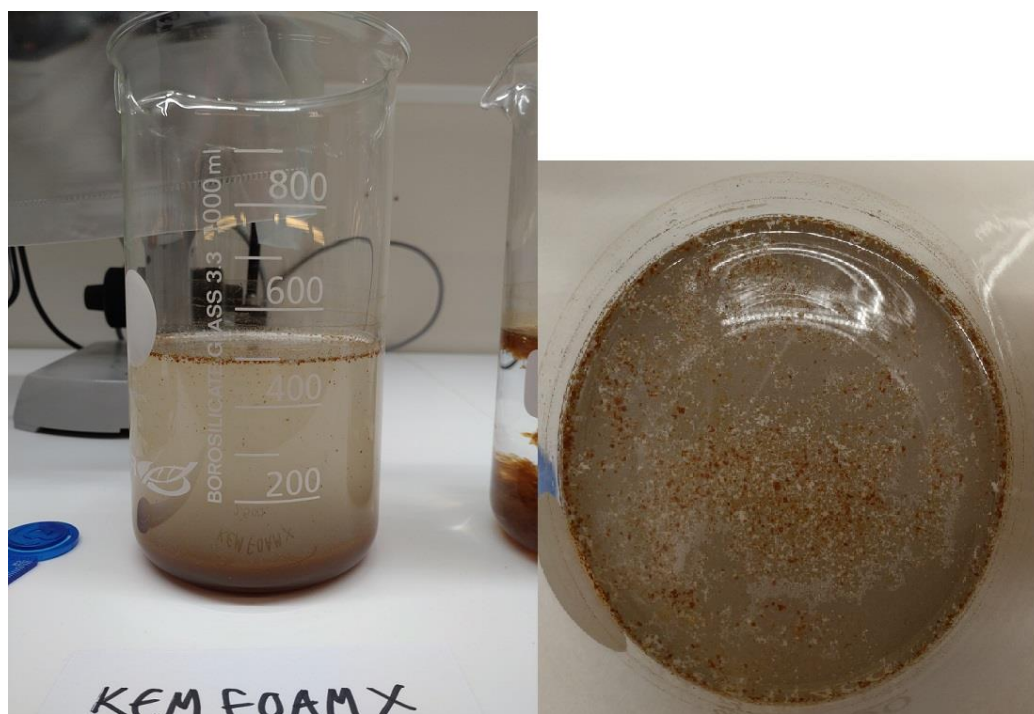
| Näyte | Käsittely | | | | | Tulokset |
|--------------------|------------|-------|----------------|----------------------|----------------------------|------------|
| | Pvm | Klo | Näytemäärä (l) | Veden lämpötila (°C) | Polymeeri pitoisuus (mg/l) | |
| Nollanäyte | | | | | | 15.11.2022 |
| N 100 | 15.11.2022 | 14.00 | 0,5 | 4,3 | 14 | 0,724 |
| Superfloc C492 HMW | 15.11.2022 | 14.00 | 0,5 | 4,3 | 14 | 1,31 |
| Superfloc C494 HMW | 15.11.2022 | 14.00 | 0,5 | 4,3 | 14 | 1,08 |
| XD 5200 | 15.11.2022 | 14.00 | 0,5 | 4,3 | 14 | 1,43 |
| XD 5300 | 15.11.2022 | 14.00 | 0,5 | 4,3 | 14 | 0,679 |

Parhaimmat selkeydet olivat kationisessa XD 5300 ja neutraali N 100 -polymeereissä. Kuitenkin edelleen neutraalin N 100 -polymeerin flokin koostumus on heikkolaatuisempaa kuin muissa. Huomattavaa on myös se, että kaikkien muiden näytteiden sameus huononi polymeeripitoisuuden noustessa, paitsi XD 5300 sameus parani.

6.5 Vaahdonestokemikaali

Tutkittavana oli Kemiralta saatu vaahdonestokemikaali KemFoamX 2500. Kemikaalin mukana saatiin ohjeet, miten kemikaalia pitäisi testata, mutta koska kyseiseen tutkimustyyliin ei löytynyt kaikkia välineitä, testattiin kemikaalin syöttämistä suoraan lietteeseen. Myöskään tarkkoja pitoisuuksia ei ollut tiedossa, muuta kuin että kemikaalia tarvitaan hyvin pieni määrä, niin tutkimuksessa lähdettiin vain kokeilemaan jostakin pitoisuudesta.

Ensimmäisten tutkimusten ohessa testattiin lisätä vaahdonestokemikaalia KemFoamX 2500 suoraan lietteen sekaan. Kemikaalia lisättiin 0,5 l lietemäärään 0,1 ml, ja sekoitettiin flokkulaattorilla 3 minuuttia kierrosnopeudella 200 rpm. Alla kuvat (Kuva 22.) lopputuloksesta.



Kuva 23. Vaahdonestoaineen reagointi lietteeseen.

Kuten kuvista näkyy, pelkällä vaahdonestoaineella liete kyllä laskeutui suurimaksi osaksi näyteastian pohjaan, mutta veden sameus meni todella huonoksi. Li-

säksi veden pinnalla näkyi pieniä valkoisia pisteitä. Tästä voidaan päätellä, että kemikaali ei ole kunnolla sekoittunut näytteeseen, ja oletettavasti sen annostelumäärä on liian suuri.

Vaahdonestoainetta testattiin myös lisätä 0,1 ml lietteeseen, jossa oli jo 2,6 mg/l pitoisuudella C 492 -polymeeriä, ja jonka flokkikerros oli noussut astian pintaan. Lopputulos oli sama kuin yllä olevissa kuvissa; vaahdonestoaineen avulla flokki laskeutui kyllä astian pohjalle, mutta veden sameus huononi. Lisäksi polymeerin muodostama kiinteähkö flokki hajosi takaisin hienojakoisemmaksi.

Toisena tutkimuspäivänä testattiin vaahdonestokemikaalin laimentamista, sillä selkeästi 0,1 ml pitoisuus 0,5 l lietteeseen oli liikaa, eikä saatavissa ollut pienempiä pipettejä. Vaahdonestokemikaalia yritettiin laimentaa 100 %:sta 10 %:iin, lisäämällä siihen tilattua vettä. Tämä kuitenkin huomattiin hyvin äkkiä mahdottomaksi, sillä vaahdonestokemikaali reagoi tislattunkin veden kanssa ja sakkautui heti käytökelvottomaksi. Vaahdonestokemikaalin ja tislattun veden yhdistelmä ei sekoittunut kunnolla, vaan koko liuos muuttui valkoiseksi ja epätasalaatuiseksi massaksi, joka on osaksi vettä ja osaksi paksua sakkua, täynnä valkoisia hiutaleita ja päällimmäisenä paksu sakkakerros.

Neljänsien tutkimusten yhteydessä testattiin vaahdonestokemikaalia vielä kerran. Sitä lisättiin pipetillä parhaimman sameuden omaavaan 0,5 l näytteeseen, jossa oli 10 mg/l pitoisuudella neutraalia N 100 -polymeeriä. Vaahdonestokemikaalia lisättiin kertakäyttöisellä pipetillä ensin yksi pisara, ja sekoitettiin näytettä flokkulaattorilla 3 minuuttia kierrosnopeudella 200 rpm. Tällä ei ollut minkäänlaista vaikutusta näytteeseen, pinnalla ollut flokkikerros ei laskeutunut, eikä sameudessa ollut huomattavaa muutosta. Samaan näytteeseen testattiin lisätä vielä toinen pisara vaahdonestokemikaalia, ja sekoittaa se uudestaan samalla tavalla kuin aikaisempi. Alla kuva (Kuva 23.) lopputuloksesta.



Kuva 24. Vaahdonestoaineen reagointi N 100 -polymeerin kanssa.

Kuten kuvasta voidaan nähdä, ei pinnalla oleva flokkikerros edelleenkään laskeutunut pohjalle, mutta veden sameus huononi huomattavasti. Lietteen seassa oli myös edelleen havaittavissa pieniä ilmakuplia, jotka eivät olleet hajonneet vaahdonestoaineesta huolimatta.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tämän tutkimuksen tutkimusongelmana oli selvittää voiko Pilvilammen vesilaitoksen flotaatioselkeytyksessä syntyviä flotaatiolietteitä jatkokäsittellä vesilaitoksella laskeuttamalla. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, onko lietteiden laskeuttaminen ylipäätään mahdollista käytännössä, voisiko jostakin kemikaalista olla apua laskeuttamisessa, mikä kemikaali olisi paras ja mikä sen annostusmäärä olisi. Lisäksi tehtävänä oli selvittää, onko flotaatiolietteiden jatkokäsittelyä, ja erityisesti laskeuttamista, käytössä jossakin Suomen suurimmista vesilaitoksista. Nämä kysymykset auttoivat tutkimusten rajaamisessa, ja näiden kautta tutkimukselle voitiin asettaa selkeät tavoitteet. Tutkimus toteutettiin taustatutkimuksena ja tiedonkeruuna Suomen suurimmilta vesilaitoksilta, sekä laboratoriotutkimuksena Pilvilammen vesilaitoksella.

7.1 Päätelmät

Suomen suurimmilla pintavesilaitoksilla ei yhdelläkään ole käytössä laskeuttamista flotaatiolietteiden jatkokäsittelynä, vaan lietteet johdetaan jätevedenpuhdistamoille. Kuitenkin Turussa on käytössä tekopohjavedelle esikäsittelylaitos, jonka lietteet laskeutetaan lamelliselkeyttimien avulla ja tiivistetään käyttäen linkoja. Samoin Lappavesi Oy:llä on käytössä esikäsittely pohjavedelle, jossa flotaation avulla poistetaan orgaanista ainesta. Flotaation lietteet kuivataan lingolla, jossa käytetään apuaineena kationista polymeeriä. Sekä Turun että Lappavesi Oy:n kuivatut flotaatiolietteet käytetään maanrakennuskäyttöön.

Varsinaisen laboratoriotutkimuksen tulokset olivat hyvin moninaiset, eikä niissä ollut selkeää logiikkaa. Ensimmäisillä tutkimuskerroilla polymeerit toimivat lietteen kanssa juuri niin kuin oli toivottu ja näytteiden lietteet laskeutuivat astian pohjalle, mutta sen jälkeen tulokset olivat ei-toivottuja. Tutkimuksen lopputuloksena onkin se, että teoriassa flotaatiolietteen laskeuttaminen on mahdollista, mutta käytännössä tällaisen optimitilanteen saavuttaminen jatkuvasti prosessissa

on mahdotonta. Tästä syystä laskeutukseen tarvittavien laskeutusaltaiden mitoitamista ei ole tässä tutkimuksessa tehty. Sekä vesilaitoksen prosessissa, että tutkittavassa lietteessä itsessään on niin monta vaihtuvaa muuttujaa, että varmaa syytä tutkimuksissa tapahtuneeseen polymeerien reagoinnin muutokseen ei voida sanoa. Alla kuitenkin jaoteltuna muutamia asioita mikä on saattanut aiheuttaa muutoksia tuloksiin.

Ensinnäkin tutkittavana olleen lietteen koostumusta ei ole ikinä tarkemmin selvitetty, joten ei voida tietää mitä se pitää sisällään, ja onko kenties siinä tapahtunut jokin muutos tutkimusten aikana. Kuiva-ainepitoisuudet mitattiin useampaankin kertaan, eikä niiden vaihtelussa ollut merkittävää muutosta, kuiva-ainepitoisuuksien pysyessä välillä 0,095 %–0,12 %. Tavoitteena oli tutkia flotaatiolietteestä orgaaninen kokonaishiili TOC, sekä kaliumpermanganaattipitoisuus, mutta koska liettä ei saatu laskeutumaan loppututkimuksissa, jäivät nämä tutkimatta.

Toinen asia mikä on saattanut vaikuttaa tutkimusten tuloksiin, on olosuhteiden muuttuminen. Tutkimusten aikana ei huomattu mitään normaalista poikkeavaa vedentuotantoprosessissa, vaan esimerkiksi saostuskemikaalin syöttömäärä pysyi koko ajan vakiona, samoin kuin pH-arvot olivat sallituissa rajoissa valvomon mitausten mukaan. Kolmansien tutkimusten kohdalle prosessiin oli tehty muutoksia, jotka saattoivat vaikuttaa sen päivän toisiin tutkimuksiin, mutta todennäköisyys tälle on varsin pieni, ja sitä onkin pohdittu aikaisemmin tarkemmin kohdan 6.3 loppupuolella.

Laitokselle sisään otettavat vesimäärät vaihtelivat 660–800 m³/h välillä, ja veden lämpötila 4,1–5,0 °C välillä. Veden lämpötilan muutokset vaikuttavat lietteessä olevien mikroilmakuplien syntyyn ja pysyvyyteen, sillä lietteen lämpötilan noustessa ilmakuplat laajenevat ja nostavat lietteen helpommin veden pintaan. Veden lämpötilamuutokset ovat olleet tutkimusaikana kuitenkin pieniä verrattuna siihen, että veden lämpötila on kesäisin yli 20 °C, joka tarkoittaa sitä, että oletettavasti lietteen laskeuttaminen kesäaikaan olisi vielä haastavampaa kuin nyt.

Kolmantena kohtana tutkimustuloksiin on saattanut vaikuttaa tutkimushetkellä tehdyt valinnat ja päätökset, kuten polymeerien laimentaminen, sekä sekoitusaika ja sekoituksen kierrosnopeus. Polymeerien laimentamisessa oli hetkittäin ongelmia, eikä ne meinanneet sekoittua tislattuun veteen kunnolla. Varsinkin jääkaappikylmiä polymeerejä oli miltei mahdoton saada sekoittumaan veteen, ja tästä syystä niiden oli annettava lämmetä kunnolla huoneen lämpöön ennen laimentamista. Parhaiten sekoittuivat neutraali N 100 ja kationiset C 491, C 492 ja C 494. Varsinkin pitkäketjuisten kationisien polymeerien laimentamisessa sai olla tarkkana, sillä niiden rakenne-ero lyhyempiketjuisiin oli selkeä pipetoinnissa, eivätkä ketjut meinanneet katketa halutusta kohdasta. Nämä laimentamisongelmat ovat saattaneet vaikuttaa lopputuloksiin niin, ettei polymeeri olekaan laimentunut haluttuun 0,1 % pitoisuuteen, vaan lietteeseen lisätyn polymeerin pitoisuus onkin ollut korkeampi, tai matalampi, riippuen siitä millaista liuosta on saanut pipetoi-tua. Kuitenkin laimennusongelman huomattuani kiinnitin erityistä huomiota lai-mennoksiin, ja yritin parhaani mukaan saada lietteisiin sekoitettua selkeästi hyvin laimentunutta liuosta.

Viimeisenä tutkimuspäivänä pohdittiin myös polymeeriliuosten kestävyyttä, kun flotaatioliete käyttäytyi eri tavalla kuin aikaisemmin, vaikka käytettiin samoja ke-mikaaleja samoilla pitoisuuksilla. Kemikaalitoimittajan Kemiran edustajan mu-kaan⁵³ kuitenkin polymeerinäytteet säilyvät käyttökelpoisina ainakin kolmen kuu-kauden ajan, joten tämä ei voi olla syy tulosten muuttumiseen.

Kemiran vesikäsi kirjassa⁵⁴ on annettu ohjeet siitä, kuinka polymeerejä tulisi tes-tata. Siellä annetut sekoitusajat ja kierrosnopeudet kuitenkin poikkeavat suuresti siitä, mitä näissä tutkimuksissa käytettiin. Tämä johtuu siitä, että tutkimuksissa ha-luttiin päästä lähemmäs todellista tilannetta ja sitä, miten kemikaalien syöttö ja

⁵³ Kähkönen, E. 2022.

⁵⁴ Kemira. 2020.

sekoitus olisi mahdollisesti prosessissa toteutettu. Tutkimuksissa myös testattiin useamman kerran pidempiä sekoitusaikoja, ja siitä koettiin olevan vain haittaa flokin koostumuksen kannalta. Näin ollen en koe, että tutkimuksissa käytetyt sekoitusajat ja -nopeudet olisivat olleet syynä tulosten muutoksiin.

Vaahdonestokemikaalien tutkimukset koen hieman epäonnistuneiksi, sillä niiden osalta ei saatu esille kemikaalin koko potentiaalia. Testimäärät olivat koko tutkimusten ajan oletettavasti liian suuria, tai ainakaan kemikaalin sekoittuminen lietenäytteisiin ei toiminut toivotulla tavalla. Syynä saattaa olla liian suuren annostuksen lisäksi myös kokonaan vääränlainen testaustapa, väärä lämpötila tai vääränlaiset sekoitusajat tai -nopeudet. Vaahdonestoaineen osalta tutkimuksia olisi voinut vielä jatkaa pidemmälle.

Vaikka kokonaistutkimuksen lopputulokset eivät olleet sitä mitä toivottiin, saatiin tutkimuksesta kuitenkin kerättyä paljon tärkeää tietoa. Flotaatiolietteen laskeuttaminen ei ole käytännössä toimiva ratkaisu, mutta tutkimusten avulla saatiin selville Pilvilammen vesilaitoksen flotaatiolietettä parhaiten flokkaavia polymeerejä, sekä niiden annostusmääriä. Tutkimuksissa saatiin myös eroteltua polymeerejä toisistaan eri perusteilla; neutraali N 100-polymeeri antoi selkeästi kirkkaimman sameuden ja pienimmän rautapitoisuuden, mutta sen muodostaman flokin koostumus oli huonompaa kuin monessa kationisen polymeerin liuoksessa. Kationisen XD 5300 -polymeerin rautapitoisuus näytteessä oli yhtä hyvä kuin neutraalin N 100-polymeerin, sekä flokin koostumus oli parempi, mutta sameus taas oli huonompi kuin N 100-, C 492- ja C 494 -polymeereillä.

7.2 Jatkotutkimukset

Varsinkin viimeisenä mainitut tiedot ovat tärkeitä jatkotutkimusten kannalta, sillä niiden avulla voidaan pohtia mikä polymeerin ominaisuus on tärkeämpää: hyvä sameus ja pieni rautapitoisuus, vai hyvä, kestävä flokki. Näitä tietoja voidaan hyödyntää suunnitellessa tulevaisuutta ja mahdollisia jatkotutkimuksia. Tutkimuksen tietojen perusteella esimerkiksi lietteiden kiintoaineksen erottelu lingon avulla

voisi olla toimiva ratkaisu, sillä liete saadaan polymeerien avulla flokkaamaan hyvin. Linko voisi olla hyvä myös siltä kannalta, että oletettavasti polymeerien pitoisuudet eivät tarvitsisi olla niin korkeita kuin laskeuttamisessa, sillä polymeerit flokkasivat lietettä hyvin jo pienemmilläkin testatuilla annostuksilla, ja näiden pienempien polymeeripitoisuuksien kautta saataisiin myös rahallista säästöä. Linkoaminen voisikin olla hyvä seuraava tutkimuskohde flotaatiolieteteille.

Toinen mahdollinen jatkotutkimuskohde voisi olla Turun pohjaveden esikäsitteilylaitoksella käytössä oleva lamelliselkeytys, ja sen tyyllisen ratkaisun suunnittelu myös Pilvilammen vesilaitokselle. Samalla voisi laskea ja arvioida lamelliselkeytyksen ja lingon käytön eroja, sekä toimivuudeltaan, että kustannuksiltaan.

Kolmantena tutkimuskohtana voisi olla kohdan 4 loppupuolella mainittujen Yr-keshögskolan Novia:lla tehtyjen tutkimusten uusiminen Pilvilammen vesilaitoksen flotaatiolietteiden käytöstä mädätyksessä. Mielenkiintoista olisi tietää miten paljon tuloksiin vaikuttaisi, jos tutkimuksissa käytettäisiinkin polymeerin avulla tiivistettyä kiintoainesta, ja olisiko flotaatiolietteet tämän jälleen soveltuvia biokaasuntuotannon raaka-aineeksi.

Neljäntenä tutkimuskohtana nostaisin vielä vaahdonestokemikaalit, sillä niiden osalta tutkimukset jäivät vajavaisiksi, ja uskoisin, että niistä voisi olla kuitenkin potentiaalista apua jatkokäsittelyssä. Vaikka tämän opinnäytetyön tutkimusten tulokset eivät olleet sitä mitä toivottiin, saatiin tämän avulla kuitenkin paljon lisätietoa flotaatiolietteiden mahdollisesta jatkokäsittelystä, Pilvilammen vesilaitokselle soveltuvista kemikaaleista, sekä yleisesti Suomen suurimpien vesilaitosten tilanteesta koskien flotaatiolietteiden jatkokäsittelyä.

LÄHTEET

A 1352/2015. 2015. Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista. Viitattu 20.9.2022. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2015/20151352>. Valtion säädöstietopankki Finlex, ajantasainen lainsäädäntö.

Garret, P.R. 2014. The science of defoaming: theory, experiment and applications. Viitattu 2.12.2022. CRC Press.

Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY. Vesi ja viemärit. Vedenpuhdistusprosessi lyhyesti. Viitattu 20.9.2022. <https://www.hsy.fi/vesi-ja-viemarit/vedenpuhdistusprosessi/>

Helsingin seudun ympäristöpalvelut HSY. Vesi ja viemärit. Viitattu 5.9.2022. <https://www.hsy.fi/vesi-ja-viemarit/>

Helsinginseutu. 2019. Vesi- ja jätehuolto. Vesihuolto. Viitattu 18.9.2022. <https://www.helsinginseutu.fi/hs/selkosivut-fi/vesi-ja-jatehuolto/vesihuolto/>

Huoltovarmuusorganisaatio. 2020. Kemiallisen saostuksen huoltovarmuuden parantaminen Suomen vesihuollossa. Viitattu 20.9.2022. https://www.vvy.fi/site/assets/files/3226/kemiallisen_saostuksen_huoltovarmuuden_parantaminen.pdf

Hämeenlinnan Seudun Vesi Oy, HS-Vesi. Vesi ja vesihuolto. Veden hankinta ja käsittely. Viitattu 19.9.2022. <https://hsvesi.fi/vesi-ja-vesihuolto/vedenhankinta-ja-kasittely/>

Joensuun Vesi. Veden käsittely. Viitattu 19.9.2022. <https://www.joensuunvesi.fi/veden-kasittely#ots0>

Joensuun Vesi. Veden tuotanto. Viitattu 19.9.2022. <https://www.joensuunvesi.fi/vedentuotanto>

Jukarainen, K. 2022. Alva. Puhelinhaastattelu. 2.11.2022.

Kemira. 2020. About water treatment. Handbook. Viitattu 14.10.2022. <http://pages.kemira.com/rs/784-UGU-140/images/kemira-water-handbook-about-water-treatment-2020.pdf>

Kemira. Products. Defoamers. Viitattu 4.12.2022. <https://www.kemira.com/products/defoamers/>

Kettunen, R. 2022. Taustatutkimusta opinnäytetyöhön. Tampereen Vesi. Email riitta.kettunen@tampere.fi. 12.10.2022.

Konttila, S. 2022. Käyttöinsinööri, Lappavesi Oy. Taustatutkimusta opinnäytetyöhön. Email sakari.konttila@lappavesi.fi 6.10.2022.

Kuntaliitto. 2022. Kaupunkien ja kuntien lukumäärät ja väestötiedot. Suomen suurimmat kaupungit. Viitattu 5.9.2022. <https://www.kuntaliitto.fi/tietotuotteet-ja-palvelut/kaupunkien-ja-kuntien-lukumaarat-ja-vaestotiedot>

Kuopion Vesi. Kuopion Vesi. Viitattu 19.9.2022. <https://www.kuopionvesi.fi/kuopion-vesi/>

Kuopion vesi. Tietoa vedestä. Vedenlaatu. Viitattu 19.9.2022. <https://www.kuopionvesi.fi/tietoa-vedesta/veden-laatu/>

Kouvolan Vesi. Tietoa vedestä. Veden hankinta. Viitattu 19.9.2022. <https://kouvolanvesi.fi/veden-hankinta/>

Kähkönen, E. 2022. Account manager. Kemira. Ajatuksia flotaatiolietteen käsitteystä. E-mail eelis.kahkonen@kemira.com. 25.11.2022.

Lahti Aqua. Meidän vetemme. Veden kiertokulku. Viitattu 19.9.2022. <https://lahtiaqua.fi/meidan-vetemme/>

Lahtinen, J. 2022. Käyttöpäällikkö. Vedentuotanto ja puhdistus. Oulun Vesi. Taustatutkimusta opinnäytetyöhön. Email jarmo.lahtinen@ouka.fi. 29.9.2022.

Lappeenrannan Energia Oy. Kotitaloudet. Vesi. Puhdas vesi. Viitattu 19.9.2022. <https://www.lappeenrannanenergia.fi/kotaloudet/vesi/puhdas-vesi>

Opetushallitus. a. Laboratorioanalyysit. Ympäristöanalyysit. Veden sameuden nefelometrinen määrittäminen. Viitattu 19.10.2022. <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/ymparistoanalyysit-veden-sameuden-nefelometrinen-maaritys.html>

Opetushallitus. b. Laboratorioanalyysit. Ympäristöanalyysit. Veden kemiallisen hapen kulutuksen, COD_{Mn}-arvon eli kaliumpermanganaattiluvun, KMnO₄-luvun, määrittäminen. Viitattu 7.12.2022. <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/ymparistoanalyysit-veden-kemiallinen-hapen-kulutus.html>

Oravainen, R. 1999. Vesistötulosten tulkinta -opasvihkonen. Viitattu 7.12.2022. Kokemäenjoen vesistön vesiensuojeluyhdistys ry, KVVY. <https://kvvy.fi/wp-content/uploads/2015/10/opasvihkonen.pdf>

Oulun Vesi. Oululaisten vesi. Vedenpuhdistus ja laatu. Viitattu 19.9.2022. <https://www.oulunvesi.fi/veden-laatu>

Pori. 2022. Asuminen ja ympäristö. Porin Vesi. Tietoa Porin vedestä. Porin veden julkaisut. Porin Vesi, liikelaitos vuosikertomus 2021. Viitattu 19.9.2022.

<https://www.pori.fi/asuminen-ja-ymparisto/porin-vesi/tietoa-porin-vedesta/porin-veden-julkaisut>

Poutanen, H. 2022. Tuotantoinsinööri, vedenpuhdistusosasta. HSY. Taustatutkimusta opinnäytetyöhön. Email heikki.poutanen@hsy.fi. 14.10.2022

Puurunen, O. 2022. Tuotantopäällikkö. Turun Seudun Vesi Oy. Taustatutkimusta opinnäytetyöhön. E-mail osmo.puurunen@turunseudunvesi.fi. 1.11.2022.

Stevenson, P. 2012. Foam Engineering: Fundamentals and Applications. 7-25. Viitattu 4.12.2022. Wiley-Blackwell, A John Wiley & Sons, Ltd., Publication.

Tampereen Vesi. Vedenhankinta ja käsittely. Viitattu 18.9.2022. <https://www.tampereenvesi.fi/tampereen-vesi/veden-hankinta-ja-kasittely/>

Tapiainen, T. 2022. Laitospäällikkö. Porin Vesi. Taustatutkimusta opinnäytetyöhön. Email teppo.tapiainen@pori.fi 23.9.2022.

Turun Seudun Vesi Oy. Viitattu 19.9.2022. <https://www.turunseudunvesi.fi/>

Työterveyslaitos. Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet -turvallisuusohjeet (OVA-ohjeet). Natriumhypokloriitti. Viitattu 20.9.2022. <https://www.ttl.fi/ova/nathyklo.html>

Vaasan Vesi. 2019. Pilvilammen vesilaitos. Prosessikaavio. Viitattu 20.9.2022. <https://www.vaasanvesi.fi/prosessikaavio>

Vaasan Vesi. 2021. Pilvilammen vesilaitos. Viitattu 20.9.2022. <https://www.vaasanvesi.fi/pilvilammen-vesilaitos>

Vaasan Vesi. 2022 a. Vaasan Vesi. Viitattu 20.9.2022. <https://www.vaasanvesi.fi/vaasan-vesi>

Vaasan Vesi. 2022 b. Avainluvut. Puhdasvesi. Verkostoon pumpattu puhdasvesi. Viitattu 20.9.2022. <https://www.vaasanvesi.fi/avainluvut>

Vaasan Vesi. 2022 c. Hallinto ja tekniset palvelut. Viitattu 20.9.2022. <https://www.vaasanvesi.fi/hallinto-tekniset-palvelut>

Vesala, M. 2022. Käyttöpäällikkö. Pättin jätevedenpuhdistamo. Vaasan Vesi. Taustatutkimusta opinnäytetyöhön. Email milla.vesala@vaasa.fi 14.10.2022.

Vesilaitosyhdistys VVY. 2020. Ohjeen ja julkaisut. Kemiallisen saostuksen huoltovarmuuden parantaminen Suomen vesihuollossa. Viitattu 10.10.2022. <https://www.vvy.fi/ohjeet-ja-julkaisut/vesihuoltopooli/kemiallisen-saostuksen-huoltovarmuuden-parantaminen/>

Vesilaitosyhdistys VVY. 2022. Vesilaitosyhdistyksen jäsenistö. Varsinaisten jäsenten listaus. Viitattu 5.9.2022: <https://www.vvy.fi/vesihuolto/vesilaitosyhdistyksen-jasenisto/#osio-1-1509534726-7634-1>

Willfors, A., Åkerback, N. & Öling-Wärnå, V. 2022. Biochemical methane potential of Vaasa Vesi samples. NOVA University of Applied Sciences. Viitattu 20.9.2022.