



**SAVONIA**

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# SELLU- JA PAPERITEHTAAN PUH- DISTAMOLIETTEEN KUIVAUKSEN OPTIMOINTI JA FLOKKAUSPOLY- MEERIN ANNOSTELU

TEKIJÄ: Elina Nousiainen

|  |           |                    |      |
|--|-----------|--------------------|------|
| Koulutusala<br>Tekniikan ja liikenteen ala   |           |                    |      |
| Koulutusohjelma<br>Ympäristötekniikan koulutusohjelma  |           |                    |      |
| Työn tekijä(t)<br>Elina Nousiainen   |           |                    |      |
| Työn nimi<br>Sellu- ja paperitehtaan puhdistamolietteen kuivauksen optimointi ja flokkauspolymeerin annostelu  |           |                    |      |
| Päiväys  | 28.4.2015 | Sivumäärä/Liitteet | 66+9 |
| Ohjaaja(t)<br>Senior Technologist Leena Kunnas, Päätoiminen tuntiopettaja Teemu Räsänen  |           |                    |      |
| Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t)<br>UPM Tutkimuskeskus  |           |                    |      |
| Tiivistelmä  |           |                    |      |
| <p>Tämän työn tarkoituksena oli tutkia teollisuuslaitoksen puhdistamolietteen kuivauksen tehostamista ja polymeerin käytön vaikutuksia hyödyntäen samalla on-line-kiintoainemittausta. Tehostamista haluttiin tutkia eri säätötapoja vertaamalla. Työ tehtiin UPM:n tutkimuskeskuksen toimeksiannosta ja toteutettiin Kaukaan puhdistamolla. Työssä perehdyttiin UPM:n Kaukaan jätevedenpuhdistamon lietteen kuivaukseen ja tavoitteena oli saada tiivistetyn lietteen kuiva-ainepitoisuus nousemaan kuivausprosessin aikana. Toisaalta tarkoitus oli saada myös polymeerin käyttö kuivauksessa optimaaliselle tasolle, jotta sen käyttö olisi tarkoituksenmukaista hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi. Samalla oli tarkoitus mahdollisesti saavuttaa säästöjä säätämällä polymeerin määrää kohtuulliseksi. Tavoitteena oli jopa polymeerikustannusten mahdollinen pieneneminen paremman säätötavan avulla. Työssä käytettiin hyväksi aiempia ajoparametreja, kuivaustuloksista tallennettua dataa ja tehtaalteille hankittua TS-mittauslaitetta.</p> <p>Sopivia polymeerin käyttöarvoja etsittiin koeajon avulla, jossa muuttujina oli säätötapa, polymeerin määrä ja lietesuhde. Koeajon tavoitteena oli testata löytyykö polymeerin käytölle parempi säätötapa, jossa kuivatun lietteen kiintoainepitoisuus olisi hyvä ja reaktiveden mukana poistuva kiintoainemäärä alhainen. Työssä päädyttiin tulokseen, jossa polymeerin määrä olisi kuivaustuloksen kannalta ihanteellisinta pitää 3 - 3,5 kg/t. Tällöin kuivaustuloksen pitäisi pysyä yli 30 %:ssa. Koeajossa verrattiin vanhaa virtausperustaista ja uutta massaperustaista polymeerin syöttöä. Tavoitteena, että uusi malli olisi tehokkaampi. Kuivaustulos parani koeajon aikana molemmilla malleilla, mutta koeajon jälkeen uudella säädöllä ohjattu linja on kuivannut lietteen samaan kuivuuteen hieman vähemmällä polymeerimäärällä.</p> <p>Työn aikana huomattiin, että lietteenkuivaus on prosessina hyvin haastava vaihtelevan lietelaadun vuoksi. Optimaalisen polymeerin käyttömäärän määrittäminen on hyvin hankalaa johtuen vaihtelevasta lietelaadusta. Kokonaisuutena voidaan todeta, että koeajoviikolla lietteen kuivauksen lopputulos saatiin yleensä kohtuullisen kuivaksi ja kuivatun kakun kuiva-ainepitoisuuden tulokset paranivat noin 5 %.</p> |           |                    |      |
| Avainsanat<br>liete, kuivaus, optimointi, kiintoainemittaus, säätäminen, polymeeri   |           |                    |      |

|   |               |                  |      |
|---|---------------|------------------|------|
| Field of Study<br>Technology, Communication and Transport   |               |                  |      |
| Degree Programme<br>Degree Programme in Environmental Technology  |               |                  |      |
| Author(s)<br>Elina Nousiainen   |               |                  |      |
| Title of Thesis<br>Pulp and Paper Mill's Sewage Sludge Drying Optimization and Polymer Dosing   |               |                  |      |
| Date  | 28 April 2015 | Pages/Appendices | 66+9 |
| Supervisor(s)<br>Ms. Leena Kunnas, Senior Technologist and Mr. Teemu Räsänen, Lecturer  |               |                  |      |
| Client Organisation /Partners<br>UPM Research Center  |               |                  |      |
| <p>Abstract</p> <p>The first aim of this thesis was to study the drying efficiency of a pulp mill's sewage sludge. The second aim was to study the impact of polymer utilizing the on-line total solids measurement device in the process. The optimization was done by comparing the mass and flow dosing methods. The laboratory tests were carried out in the UPM Research centre at the Kaukas waste water plant. The purpose of the test was to study the drying sludge of UPM's Kaukas waste water treatment plant to get the dry solids content of thickened sludge to rise during the drying process. On the other hand, the purpose was to make the feed of the polymer to an optimum level, so that the use would be appropriate in order to achieve a good result, at the same time taking into account the cost of maintaining a reasonable level. This work utilized previous driving parameters, stored data of the drying results and the new TS measuring device.</p> <p>Most suitable values of polymer feed were searched by a test drives. Variables were the feeding of polymer, quantity of polymer and the ratio of sludge. The aim was to find weather there is a better method to feed the polymer, where the solids of dried sludge would be sufficient keeping the solids of the reject water staying low. The conclusion of the tests was that the ideal amount of polymer feed is 3 – 3.5 kg /t. In this case, the drying result should be more than 30%. In this trial, the old flow-based and the new mass-based polymer feed were compared. The aim was that the new model would be more effective. Drying performance improved during the trial in both models, but after the test drive, the new mass-based line has dried up the sludge to the same drought levell but consuming a smaller amount of polymer.</p> <p>During this work, it was found that the sludge drying process is very challenging because of the varying quality of the sludge. Determination of the optimal use of polymer feed is difficult due to the quality of the sludge. The conclusions of the tests were that the cake's solid content improved by about 5 %.</p> |               |                  |      |
| Keywords<br>Sludge, dewatering, optimization, polymer   |               |                  |      |
|   |               |                  |      |

## ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö on tehty UPM Kymmene Oyj:n Tutkimuskeskuksen toimeksiannosta Kaukaan tehtaiden vedenpuhdistamolla. Haluan kiittää työn ohjaajaa, Leena Kunnasta ja Ympäristöpäällikkö Minna Maunus-Tiihosta mahdollisuudesta tehdä insinöörityöni mielenkiintoisesta aiheesta ja kaikista asiantuntevista neuvoista ja näkökulmista, joita työn tekemisen aikana sain. Työn ohjaajana koulussa on toiminut Teemu Räsänen. Työn ohjaajaa ja tarkastajia haluan kiittää hyvästä palautteesta, jota olen työn tekemisen aikana saanut.

Kuopiossa 28.4.2014

## SISÄLTÖ

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | JOHDANTO .....  | 7  |
| 1.1   | Tausta ja tavoitteet .....                                    | 7  |
| 1.2   | Käsitteet ja määritelmät .....                                | 8  |
| 2     | TOIMEKSIANTAJA UPM .....                                      | 10 |
| 2.1   | Yleistiedot yrityksestä .....                                 | 10 |
| 2.2   | Kaukaan tehtaat, Lappeenranta .....                           | 10 |
| 3     | JÄTEVEDENPUHDISTAMON TOIMINTA TEOLLISUUDESSA .....            | 12 |
| 3.1   | Paperi- ja selluteollisuuden jätevedet .....                  | 12 |
| 3.2   | Aktiivilieteprosessi .....                                    | 13 |
| 3.3   | Aktiivilieteprosessin vaiheet .....                           | 14 |
| 3.3.1 | Esikäsitteily .....   | 14 |
| 3.3.2 | Ilmastus .....  | 15 |
| 3.3.3 | Jälkiselkeytykset .....                                       | 15 |
| 3.3.4 | Lietteet ja lietteenkäsittely .....                           | 15 |
| 3.4   | Lietteen käsittelymenetelmät .....                            | 16 |
| 3.4.1 | Tarkasteltavat menetelmät .....                               | 16 |
| 3.4.2 | Tiivistys .....   | 17 |
| 3.4.3 | Kuivausmenetelmät .....                                       | 21 |
| 3.5   | Lietteen jatkokäyttö ja yhteenveto kuivauksesta .....         | 27 |
| 3.6   | Näytteenotto lietteenkuivausprosessissa .....                 | 28 |
| 3.7   | Kaukaan puhdistusprosessi .....                               | 29 |
| 4     | POLYMEERIT LIETTEEN KUIVAUKSESSA .....                        | 31 |
| 4.1   | Polymeerit .....  | 31 |
| 4.2   | Polymeerien annostelu .....                                   | 32 |
| 4.3   | Polymeerit Kaukaan tehtaalla .....                            | 33 |
| 5     | JATKUVATOIMISEN KIINTOAINEMITTAUKSEN TOIMINTA .....           | 34 |
| 6     | POLYMEERIN SYÖTÖN SÄÄTÄMINEN LIETTEEN KUIVAUKSSA .....        | 36 |
| 6.1   | Säätäminen .....  | 36 |
| 6.2   | Virtausperustainen vs. massaperustainen polymeerisyöttö ..... | 37 |
| 7     | LÄHTÖKOHDAT LIETTEEN KUIVAUKSEN KEHITTÄMISELLE .....          | 38 |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 8   | TEHDASKOEAJOT .....                              | 45 |
| 8.1 | TS-mittauksen testaus.....                       | 45 |
| 8.2 | Yleistä lietteenkuivauskokeista .....            | 46 |
| 8.3 | Kokeiden muuttujat.....                          | 47 |
| 9   | KOEAJON TULOKSET .....                           | 49 |
| 9.1 | Lietteen sakeuden mittaus.....                   | 49 |
| 9.2 | Säätötavan vaikutus kuiva-aineeseen .....        | 50 |
| 9.3 | Polymeerimäärän vaikutus kuiva-aineeseen .....   | 52 |
| 9.4 | Polymeerimäärän vaikutus lietteen sameuteen..... | 55 |
| 9.5 | Koeajon jälkeinen tilanne.....                   | 56 |
| 10  | TULOSTEN ARVIOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....       | 59 |
| 11  | YHTEENVETO.....                                  | 62 |
|     | LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT .....              | 64 |
|     | LIITE 1: KORRELAATIOITA ENNEN KOEAJOJA           |    |
|     | LIITE 2: LIETTEENKÄSITTELYN TULOKSIA 2013 – 2015 |    |
|     | LIITE 3: KOEAJON TULOKSET                        |    |
|     | LIITE 4: LIETTEENKUIVAUKSEN TULOKSET 2015        |    |
|     | LIITE 5: SAMEUSMITTAUKSEN TULOKSET 2015          |    |

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tausta ja tavoitteet

Metsäteollisuudessa kiinnitetään yhä enemmän huomiota ympäristöön, jätteisiin ja ympäröivän veden laatuun. Uusittavat ympäristöluvut tiukkenevat jatkuvasti. Toiminnan ehtoina ovat tiukat raja-arvot eri parametreille, kuten esimerkiksi ravinnepäästöille veteen. Lietteenkäsittely on yksi vedenpuhdistuksen yksikköprosesseista. Vedenpuhdistamon toimiessa aktiivilietelaitosmallilla, tulee laitoksesta jatkuvasti nk. biologista ylijäämälietettä, joka on käsiteltävä tiiviimpään muotoon. Lisäksi puhdistuksen alkuvaiheesta tulee primäärilietettä. Kuten kaikki muutkin paperiteollisuuden prosessit myös veden puhdistus pyritään pitämään mahdollisimman tehokkaana ja sivuvirtoja hyödyntävänä. Puhdistusprosessissa raaka-aineiden hyötykäyttö halutaan pitää mahdollisimman hyvänä lopputuloksen siitä kärsimättä. Paperi- ja selluteollisuuden tuotantoprosessissa syntyvät jätevedet sisältävät paljon ravinteita, kuituja ja happea kuluttavia aineita. Kiintoaine sisältää pääosin puuperäistä ainesta, kuitua ja hieman päällystyspigmenttiä ja täyteainetta. Suurin orgaanisen aineen päästölähde tehtaalla on massanvalmistus. Vedenpuhdistuksessa tämä vetinen kiiintoaine erotetaan vedestä ja johdetaan lietteenkäsittelyyn.

Lietteenkäsittely ja lietteen hävittäminen ovat kallis menoerä yritykselle. Siksi on tärkeää, että lietettä syntyy tilavuudeltaan mahdollisimman vähän. Myös korkea kuiva-ainepitoisuus lopputuloksessa on hyväksi, koska se alentaa lietteen edelleen käsittelystä aiheutuvia kustannuksia. Loppusijoitus kompostoitavaksi kuorijätteen kanssa vie paljon tilaa ja toisaalta taas polttaminen vaatii onnistuakseen tiettyjä ominaisuuksia lietteeltä.

Työn tarkoituksena on tutkia UPM:n Kaukaan jätevedenpuhdistamolla lietteen kuivausta ja saada tiivistetyn lietteen kuivausprosessia tehostettua polymeerin säätötavan muutoksella. Toisaalta tarkoitus on myös saada polymeerin käyttö kuivauksessa optimaaliselle tasolle, jotta sen käyttö olisi tarkoituksenmukaista hyvän lopputuloksen saavuttamiseksi. Samalla huomioidaan kustannusten pitäminen kohtuullisella tasolla. Tavoitteena on jopa polymeerikustannusten pieneneminen. Työssä tullaan käyttämään hyväksi aiempia ajoparametreja, kuivaustuloksista tallennettua dataa ja tehtaalle hankittua TS mittauslaitetta.

Muita lietteen kuivauksen onnistumisen hyötyjä ovat häiriötilanteiden väheneminen kuivauksessa, lietteen kesävarastoinnin helpottuminen, joka tapahtuu ulkotilassa/asfalttikentällä, parantuva lämpöarvo ja kustannusten pieneneminen. Työssä selvitetään samalla Metson kiintoaine (TS) -mittauksen toimivuutta ja hyötyjä polymeerin annostelussa ja lietteenkuivauksessa. Tarkoituksena on saada selville, kannattaako säätötavan muutos ja olisiko laitehankinta kannattava ja voidaanko sen hankintaa suositella muille yksiköille. Mikäli mittaus on toimiva, voitaneen laitehankintaa suositella.

Työn tuloksina saatavat polymeerin säätömäärät ovat hyödynnettävissä puhdistusprosessissa ja otettaneen käyttöön tehtaassa tulosten valmistuttua. Oikean polymeerin määrän merkitys on monelta kannalta hyödyllinen prosessissa. Tärkein tavoite on lietteen kuivauksen tasainen onnistuminen oikealla säätötavalla. Tarkoituksena on kuivata jätevesilietteet mahdollisimman kuivaksi, jotta jatkokäsittely polttaen olisi mahdollista. Muita tavoitteita on taloudellinen näkökulma, johon vaikuttaa kemikaalien oikea käyttömäärä ja kuivatun lietteen jatkokäsittelyn onnistuminen.

## 1.2 Käsitteet ja määritelmät

|                  |   |
|------------------|---|
| Flokkaus         | Flokkaus on erotusprosessin toinen vaihe, jossa veden sisältämät epäpuhtaudet kootaan suuremmiksi hiutaleiksi flokkausaineen avulla. Flokkauksessa käytettävä polymeeri sitoo saostetut hiukkaset toisiinsa, jolloin muodostuu vieläkin suurempia hiutaleita. Suuret hiutaleet poistetaan vedestä sopivalla prosessilla, kuten, selkeytyksellä, flotaatiolla tai suodatuksella. |
| Flokki           | Kiintoainesaostuma  |
| Kakku            | Kuivattu liete  |
| Kiintoaine       | Jätevedessä oleva aines, joka täytyy erottaa puhdistusprosessissa. Sitoo paljon ravinteita, kuten fosforia.   |
| Liete            | Nesteen ja hiukkasten muodostama seos. Hiukkaset muodostuvat kiintoaineesta ja puhdistusprosessissa kiintoainemuotoon saate-<br>tusta aineesta.   |
| Lietteen kuivaus | Lietteenkäsittelyn keskeinen vaihe. Lietteessä on yleensä 95 prosenttia tai yli vettä myös sakeuttamisen jälkeen, ja siksi liete kuivataan tilavuuden pienentämiseksi jatkokäsittelyä tai loppusijoit-<br>tamista varten.   |
| Polymeeri        | Polymeeri muodostuu, kun tietyt yksittäiset molekyylit (monomeerit) kiinnittyvät toisiinsa ketjumaisesti. Polymeerillä on suuri molekyylipaino ja sen rakenne toistuu molekyyliketjun koko pituudella. Jätevedenpuhdistuksessa käytetään polymeereja flokkaukemikaaleina, jolloin ne ovat yleensä pienimolekyylipainoisia, korkeasti varautuneita polyelektrolyyttejä.          |



|                 |   |
|-----------------|---|
| Primääriliete   | Kuituliete. Sisältää yleensä kaikkia puuperäisiä aineita; pitkiä kuituja, ligniiniä, selluloosaa ja kuorimassaa.  |
| Sameus          | Sameus kuvaa veden kirkkautta. Sitä ilmaistaan yksiköllä NTU. Sameudelle ei ole annettu suositusarvoa, mutta sen tulee olla käyttäjien hyväksyttävissä. Sameusmittaus on tärkeä tarkkailtaessa jäteveden tai teollisuudessa käytettävän veden laatua. |
| Sekundääriliete | bioliete, mikrobimassaa ja kuollutta soluainesta, jotka syntyvät veden puhdistuksessa. Liete on peräisin selkeytysaltaasta. Polttoarvo on alhainen. Kuivaus yksin hankalaa, sekoitetaan muuhun sellutehtaan lietteeseen.                              |
| Suspensio       | Kiinteä aine nesteessä  |
| TS-mittaus      | TS total solids, kiintoainemittaus. Lähetin mittaa prosessiaineen läpi lähetettävän mikroaaltosignaalin kulkuaikaa. Mitä enemmän kiintoainetta on, sitä nopeammin signaali kulkee.  |

## 2 TOIMEKSIANTAJA UPM

### 2.1 Yleistiedot yrityksestä

UPM on yksi maailman suurimmista metsäteollisuuden yrityksistä. UPM yhdistää bio- ja metsäteollisuuden toiminnot monipuolisesti. UPM:n liiketoimintarakenne muodostuu kuudesta liike-toiminta-alueesta: UPM Biorefining joka sisältää biopolttoaineet, sellu- ja sahatuotteet, UPM Energy, UPM Raflatac, UPM Paper Asia, UPM Paper ENA (Eurooppa ja Pohjois-Amerikka) ja UPM Plywood. Tuotteita ovat mm.: sellu, paperituotteet, tarrat, vaneri, sahatuotteet, biokemikaalit, biopolttoaineet ja energia. Tuotteet perustuvat pitkälti kuituun, biomassaan ja uusiutuviin raaka-aineisiin. Yrityksen tuotteet ovat kierrätettäviä. Yrityksen liikevaihto oli vuonna 2014 noin 10 miljardia euroa. UPM:n palveluksessa on noin 20 000 henkilöä. Suomessa henkilöstöä on noin 9 000. Yhtiöllä on toimintaa 65 tehtaassa ja tuotantolaitoksia 13 maassa. Tuotteiden tärkeimmät markkina-alueet ovat Eurooppa (67 %), Aasia (15 %) ja Pohjois-Amerikka (11 %). (UPM 2015a.)

### 2.2 Kaukaan tehtaat, Lappeenranta

Kaukaan tehtaat sijaitsevat Saimaan rannalla Lappeenrannassa. Tehdasalueen koko on noin 300 ha. Siihen kuuluu myös aluetta rajaava satama, jonka kautta kuljetetaan puutavaraa, haketta ja sellua. Koko alue muodostaa Kaukaan tehdasintegraatin, jolla tarkoitetaan alueella toimivaa tehdaskokonaisuutta, johon kuuluu sellutehdas, aikakausilehtipaperia valmistava paperitehdas sekä sahatavaran tuotantolaitos. Integraattiin kuuluu myös kaukolämpöä muodostava Kaukaan Voima Oy ja tuotannon jätevesiä käsittelevä vedenpuhdistamo. Biopolttoainetta tuotava biojalostamo on käynnistynyt vuoden 2014 aikana. Lisäksi alueella on UPM:n Pohjois-Euroopan tutkimuskeskus. (UPM 2014b ja UPM 2014c.) Tutkimuskeskus keskittyy pääasiassa kuitujen ja kuituraaka-aineiden, papereiden, päällystykseen ja painatuksen, biopolttoaineiden ja -kemikaalien tutkimiseen sekä asiakastukeen ja teknisiin palveluihin. (UPM 2014a.)

Vuoden 2013 tietojen mukaan tehtaiden tuotantokapasiteetti on 580 000 t päällystettyä aikakauslehtipaperia, 740 000 t havu- ja koivusellua ja 530 000 m<sup>3</sup> mänty- ja kuusisahatavaraa. Tehdasalueella työskentelee 317 henkilöä paperitehtaalla, 167 henkilöä sellutehtaalla, 175 tehdaspalveluissa ja 13 henkilöä yhteisissä toiminnoissa. (UPM 2014c.) Kun mukaan lasketaan vielä Tutkimuskeskuksen henkilökunta ja muut toiminnot saadaan kokonaishenkilömääräksi noin 1 200.

Kaukaalla käytettiin vettä 86 milj. m<sup>3</sup> vuonna 2013. Tästä 48 % oli prosessivettä, joka puhdistettiin biologisella puhdistamolla. Loput vedestä on tiivistevettä, jäähdytysvettä ja muita puhtaita vettä, mitkä voidaan johtaa suoraan käsittelemättä järveen (Maunus-Tiihonen 2015-4-21). Veden kulutus kasvoi edellisestä vuodesta kasvaneen sellun tuotannon johdosta. Toimintaa aio-

taan kuitenkin tehostaa ja vuoden 2014 prosessiveden käytölle asetettiin vähennystavoitteeksi paperitehtaalle 15m<sup>3</sup>/t ja sellutehtaalle 40m<sup>3</sup>/t. Vuonna 2013 lietettä sijoitettiin hyötykäyttöön puhdistusprosessista 8 437 t. Hyötykäytöllä tarkoitetaan tässä polttoa, maanrakennusta ja muuta uusiokäyttöä. Välivarastointiin meni puhdistamolietettä 5 047 t. (Maunus-Tiihonen 2015-4-21; UPM 2014c.)

### 3 JÄTEVEDENPUHDISTAMON TOIMINTA TEOLLISUUDESSA

#### 3.1 Paperi- ja selluteollisuuden jätevedet

Paperin ja sellun valmistukseen tarvitaan paljon vettä. Käyttöä on useissa työvaiheissa, kuten puun esikäsitteily, puiden ja kuitujen kuljettaminen, lämmittäminen ja jäädyttäminen sekä puulastujen, sellun ja paperikoneiden peseminen. Vesi ei kuitenkaan kulu vaan se palautetaan vesistöön puhdistusprosessin jälkeen. Puhdistamot ovat tehokkaita, koska ne puhdistavat yleisesti 98 % kuormituksesta. (Metsäteollisuus ry 2013.) Noin puolet tarvittavasta vedestä käytetään jäädytykseen. Jäädytysvesi kulkee omassa järjestelmässään puhtaana, eikä sitä siten tarvitse puhdistaa käytön jälkeen. Vaikka Suomessa ei ole pulaa vedestä, on vedenkäytön vähentämiseksi asetettu lisätavoitteita. Vähentämällä prosessissa tarvittavaa vettä pienennetään vesijalanjälkeä ja säästetään muun muassa energiaa. Vettä voidaan säästää kierrättämällä sitä tehtaassa siten, että sama vesi käytetään useampaan kertaan. (Metsäteollisuus ry 2013.)

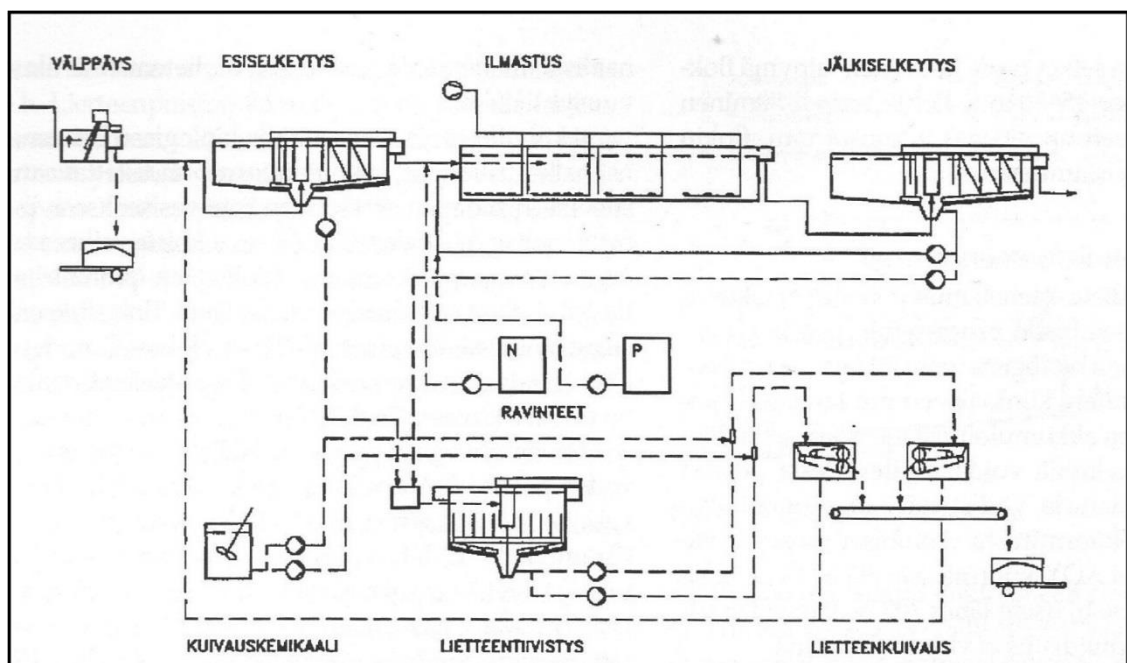
Tehtaan prosessijätevesien määrä riippuu nykyisin selkeästi lopputuotteesta ja tuotantolaitteista. Tuotantoprosessista haihtuu ja rejektien mukana poistuu vettä tyypillisesti 2 - 4 m<sup>3</sup>/t. Modernien kartonki- ja paperitehtaiden jätevesimäärät vaihtelevat tyypillisesti 5 - 15 m<sup>3</sup>/t. Pienimmät määrät tulevat kartonki- ja sanomalehtiteollisuudesta, joissa kiertovesijärjestelmä on yksivaiheinen. Hienopaperi- ja painopaperitehtaiden määrät ovat suuremmat mm. useampivaiheisen kiertovesijärjestelmän takia. Prosessivesikierroltaan täysin suljettuja sellutehtaita ei tällä hetkellä ole toiminnassa, vaikka esimerkiksi valkaisuamatonta massaa tuottava jätevedetön tehdasintegraatti on prosessiteknisesti mahdollinen. (Seppälä, Klemetti, Kortelainen Lyytikäinen, Siitonen ja Sironen 2005, 171 - 172.)

Paperi- ja selluteollisuuden tuotantoprosessissa syntyneet jätevedet sisältävät ravinteita, kuituja ja happea kuluttavia aineita. Kiintoaine sisältää pääosin puuperäistä ainesta, kuitua ja hieman päällystyspigmenttiä ja täyteainetta. Suurin orgaanisen aineen päästölähde tehtaalla on massanvalmistus. (Vesilaitosyhdistys 2011.) Laatuvarjoista Suomessa seurataan pääasiassa kiintoainetta, BOD<sub>7</sub>, COD<sub>Cr</sub>, ravinteita (fosfori ja typpi) ja AOX (Seppälä ym. 2005, 172). Suomessa kaikilla tuotantolaitoksilla tulee olla ympäristöviranomaisen myöntämä lupa toiminnalleen. Tässä luvassa määritellään rajat mm. käytettävälle prosessivedelle ja jätevesien puhtaudelle. Ravinteista merkittävin on fosfori. Sen lähteenä on puun kuori ja mekaaninen massan valmistus. Myös tuotantoprosessin tarvitseman höyryn valmistuksessa käytetään fosforia sisältäviä kemikaaleja. Typpi on peräisin puun ainesosista ja käytetyistä kemikaaleista, mm. kompleksinmuodostaja, retentioaine ja kirkaste lisäävät typen kuormitusta. (Vesilaitosyhdistys 2011.) Jätevesien käsittelyssä vedessä olevat epäpuhtaudet muutetaan sellaiseen muotoon, josta ne voidaan erottaa eri tekniikoilla. Jätevesien puhdistus tapahtuu useissa vaiheissa mekaanisilla ja biologisilla menetelmillä. Biologisen menetelmän on tarkoitus prosessoida orgaaniset yhdisteet lietteeksi bakteerien avulla. Lietteet taas tiivistetään ja kuivataan edelleen tiiviimpään muotoon.

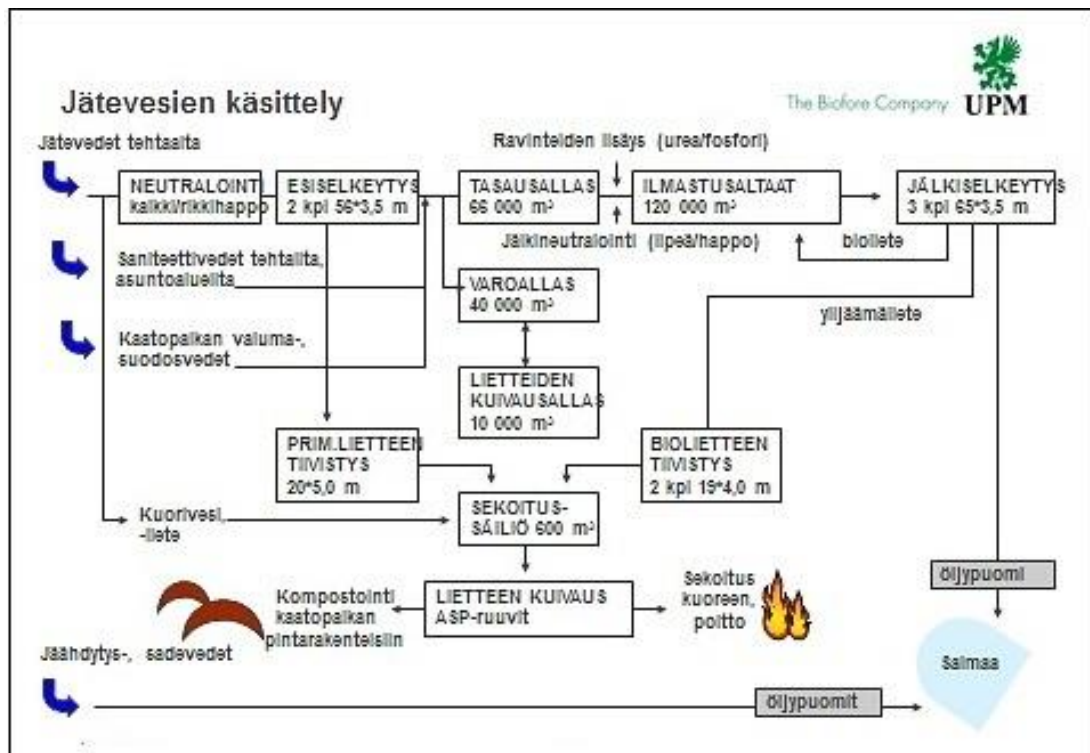
### 3.2 Aktiivilieteprosessi

Aktiivilieteprosessia on käytetty ja sovellettu vuosikymmenien ajan kunnallisessa jätevesien puhdistuksessa. Metsäteollisuuden jätevesien puhdistuksessa aktiivilieteprosessia on alettu käyttämään yleisemmin 1980-luvulta lähtien. (Seppälä ym. 2005, 175 - 176.)

Aktiivilieteprosessissa mikro-organismit ovat jätevedessä lieteflokkeina. Lieteflokkien ja veden sekaan puhalletaan jatkuvasti suuria määriä ilmaa (ilmastus). Nopean hajoamisen aikaansaamiseksi tarvitaan mikro-organismeja suurina pitoisuuksina. Siksi prosessi perustuu biologisen lietteen, ns. palautuslietteen, sekoittamiseen puhdistettavaan jäteveeseen ja hapen siirtämiseen liete-vesiseokseen ilmastusaltaassa. Palautuslietettä sekoitettaessa orgaaninen aine kerääntyy biolietteen pinnalle ja ilmastuksessa orgaaninen aine hajoaa tehokkaasti. Ilmastuksen jälkeen bioliete erotetaan uudelleen. Pieni osa selkeytetystä biolietteestä, ns. ylijäämäliete, poistetaan lietekierrosta sakeutukseen ja kuivaukseen. Poistettavan lietteen määrä on yksi aktiivilieteprosessin tärkeä ohjausparametri. Muita ajoparametreja ovat lietekuormitus, lieteikä, hapenkulutus ja lieteindeksi. (Seppälä ym. 2005, 175 - 176.) Lietteen sisältämät mikro-organismit kykenevät poistamaan vedestä liukoiset orgaaniset epäpuhtaudet ja absorboimaan kolloidiset hiukkaset. Prosessin tuloksena syntyy hiilidioksidia ja vettä ja uusia soluja (Dahl 2008, 98). Aktiivilieteprosessin periaatekuva on esitetty kokonaisuudessaan kuvassa 1. Tämän jälkeen on esitelty tarkempi kaavio Kaukaan jätevesiprosessista (kuva 2). Tässä kuvassa näkyy myös lietteenkäsittelyyn liittyvät vaiheet.



KUVA 1. Aktiivilieteprosessin periaatekuva (Seppälä ym. 2005, 176)



KUVA 2. Kaukaan jätevesien käsittelyn prosessikaavio (UPM 2011)

### 3.3 Aktiivilieteprosessin vaiheet

#### 3.3.1 Esikäsittely

Jäteveden puhdistus alkaa esikäsittelyllä johon kuuluu mekaaninen erotus eli välppäys, neutralointi ja jäähdytys. Esikäsittelyssä pääasiallinen tarkoitus on saada vesi sellaiseksi, että puhdistusprosessin myöhemmät vaiheet toimivat tehokkaasti ja onnistuneesti. Välppä on metallinen ristikko tai sälekkö, jossa kiintoaineet jäävät laitteeseen ja vesi virtaa ohitse. Välppäys on siis pelkkä mekaaninen toiminto, jolla erotetaan kaikki karkeammat ja suuremmat epäpuhtaudet pois jätevedestä. Erotus on tehtävä siksi, että myöhemmässä vaiheessa ne voivat aiheuttaa vahinkoa ilmastimiin, pumppuihin ja kaapimiin tai heikentää puhdistustulosta. Tässä vaiheesta syntyvää lietettä kutsutaan primäärilietteeksi. (Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 499; Seppälä ym. 2005, 172 - 173.)

Neutraloinnissa veteen lisätään kemikaaleja, paperiteollisuudessa yleensä rikkihappoa tai kalkkia veden pH:n optimoimiseksi. Jäteveden pH:n tavoite on 6,8 ja 8 välillä, koska silloin ilmastuksen mikrobit toimivat parhaiten (Dahl 2008, 99). Kalkkia käytetään happamuuden poistoon ja rikkihappoa ( $H_2SO_4$ ) emäksisen veden neutralointiin. Myös natriumhydroksidia (NaOH) voidaan käyttää kalkin sijasta tai rinnalla pH:n nostoon. Teollisuudessa jätevedenpuhdistamoille voi tulla erittäin kuumia vesijakeita ja silloin voi olla tarpeen jäähdyttää niitä. Mikäli veden lämpötila on yli 37 °C, sitä usein jäähdytetään. Vettä voidaan jäähdyttää mm. putkilämmönvaihtimilla, jäähdytystorneilla tai johtamalla sekaan kylmää raakavettä. (Seppälä ym. 2005, 175.)

### 3.3.2 Ilmastus

Varsinainen biologinen vaihe alkaa ilmastuksessa. Ilmastus on aktiivilietelaitoksessa merkittävässä asemassa, koska biologinen puhdistus tapahtuu siellä. Tässä vaiheessa mikrobit työskentelevät ja tuhoavat saamansa hapen ja ravinteiden avulla jätevedessä olevan biohajoavan materiaalin. Prosessi tarvitsee erityisesti happea ja sopiva happimäärä on noin 2 mg/l. Happea täytyy olla koko ajan riittävästi ilmastusaltaan kaikissa osissa. (Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 517.)

### 3.3.3 Jälkiselkeytyks

Jälkiselkeytyksessä tapahtuu aktiivilieteflokkien laskeutuminen altaan pohjalle, jolloin liete voidaan pumpata ilmastuksen alkuun ja ylijäämäliete kerätä poistoon. Lietettä on poistettava prosessista, koska uutta biomassaa syntyy jatkuvasti ja puhdistamon toiminnan kannalta lietepitoisuus halutaan pitää vakiona. Puhdistunut vesi poistetaan altaista ylivirtaamana ja bioliete ohjataan edelleen lietteenkäsittelyyn. (Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 517 - 518.)

### 3.3.4 Lietteet ja lietteenkäsittely

Jätevedenkäsittelyprosessissa syntyy sivutuotteena lietteitä. Lietteitä on erityyppisiä riippuen missä vaiheessa ne ovat erottuneet. Liete on kuitenkin suspensio eli kiintoaine nesteessä. Sen vesipitoisuus voi olla jopa 97 - 99 % (Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 556 - 557). Neste voi esiintyä lietteessä vapaana tai sitoutuneena. Usein liete on geelimäinen, jolloin veden poistaminen siitä on hankalaa. (Kemira 2003, 171.) Lietetyypit nimetään sen mukaan, mistä vaiheesta prosessia ne on erotettu. Tärkeimmät jakeet ovat primääriliete eli kuitu-/ raakaliete ja sekundääriliete eli bioliete. Primääriliete tulee prosessin alusta ja sisältää siksi yleensä kaikkia puuperäisiä aineita, kuten pitkiä kuituja, ligniiniä, selluloosaa ja kuorimassaa. Sekundääriliete eli bioliete on mikrobimassaa ja kuollutta soluainesta, mitkä syntyvät veden puhdistuksessa. Tämä liete on peräisin selkeytysaltaasta. Lietteen laadun koostumus riippuu näiden lietteiden suhteista. Seoksen suhteiden vaihtelusta seuraa lietteen laadun päivittäistä vaihtelevuutta, mikä voi olla suurta.

Biologinen liete on vesipitoisempaa ja helposti valuvaa, koska sen sidosaineet ovat hajonneet aktiivilieteprosessissa (Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 557). Metsäteollisuuden teknologian kehityksessä ja päälystetyn paperin tuotannon kasvaessa on primäärilietteen määrä vähentynyt ja biolietteen suhteellinen määrä kasvanut sellu- ja paperitehtailla. Tämä on johtanut siihen, että lietteenkuivaus on vaikeutunut ja kuiva-ainepitoisuus laskenut. (Pöyry 2007, 6 - 7.) Mikäli aktiivilieteprosessissa käytetään tyypinpoistoa, vaikuttaa se lieteikään kasvattavasti ja pitkä lieteikä vaikuttaa kuivaukseen tulevan lietteen laatuun. Kasvanut lieteikä lisää partikkelien välisiä vetoimia, mikä johtaa kemiallisen saostuksen vaikeutumiseen. (Kemira 2003, 172.)

Lietteenkäsittelyllä tarkoitetaan toimenpiteitä, joissa muutetaan lietteen laatua ja määrää (Kaupunkiliitto 1980, 75). Käsittelyn tarkoituksena on vähentää kustannuksia jatkokäsittelyssä ja kuljetuksessa. Myös hajuhaitat vähenevät ja varastointi helpottuu. Käsittelymenetelmät valitaan yleensä lietteen laadun ja loppukäytön mukaan. (Kemira 2003, 175.) Lietteiden käsittely etenee lietteiden sekoituksesta tiivistämisen kautta kuivaamiseen. Kuivattu liete voidaan lopuksi käsitellä kompostoimalla, polttamalla tai sijoittamalla kaatopaikalle. Mikäli käsittelyn loppupäässä liete poltetaan, tulisi lietteen kuiva-ainepitoisuuden olla mahdollisimman korkea. Toisaalta kuoren ja energiapuun kuiva-ainepitoisuus on normaalisti 45 - 55 %:n luokkaa. Koska lietteen kuiva-ainepitoisuuden saaminen 40 %:iin tai yli on vaikeaa, on liete yleensä lisäpolttoaine ja pääpolttoaineena voi olla esim. kuori. Optimaalinen kuiva-ainepitoisuus vaihtelee tapauskohtaisesti ja pienehköjä (alle 20 %:n) lietemääriä syötetään teollisuudessa usein muun kiinteän polttoaineen joukkoon 20 - 30 %:n kuiva-ainepitoisuudessa. (Kemira 1991, 59; Pöyry 2007, 30.)

Eri polttotekniikoille on mitoituksen kannalta tärkeää määrittää eri jakeiden väliset seossuhteet. Lietteen osuus eri laitoksilla vaihtelee käytännössä riippuen lietteen laadusta ja muusta poltettavasta materiaalista. Poltettavan lietteen kuiva-ainepitoisuus määrittää sen, paljonko tarvitaan tukipolttoainetta ja kuinka paljon muodostuu savukaasuja. Poltetun lietteen tuhkan yleisin loppusijoitus on kaatopaikka. Joissakin tapauksissa tuhkaa voidaan hyödyntää tiilien valmistuksessa, tienrakennuksen täyteaineena ja sementin valmistuksessa. (Pöyry 2007, 30.)

### 3.4 Lietteen käsittelymenetelmät

#### 3.4.1 Tarkasteltavat menetelmät

Lietteen käsittely koostuu eri yksikköoperaatioista, joita voivat olla sakeutus/ tiivistys, stabilointi, hygienisointi ja kuivaus. Loppukäyttökohteita voivat olla kompostointi, poltto tai täyttömaaksi kaatopaikalle. (Kaupunkiliitto 1980, 75).

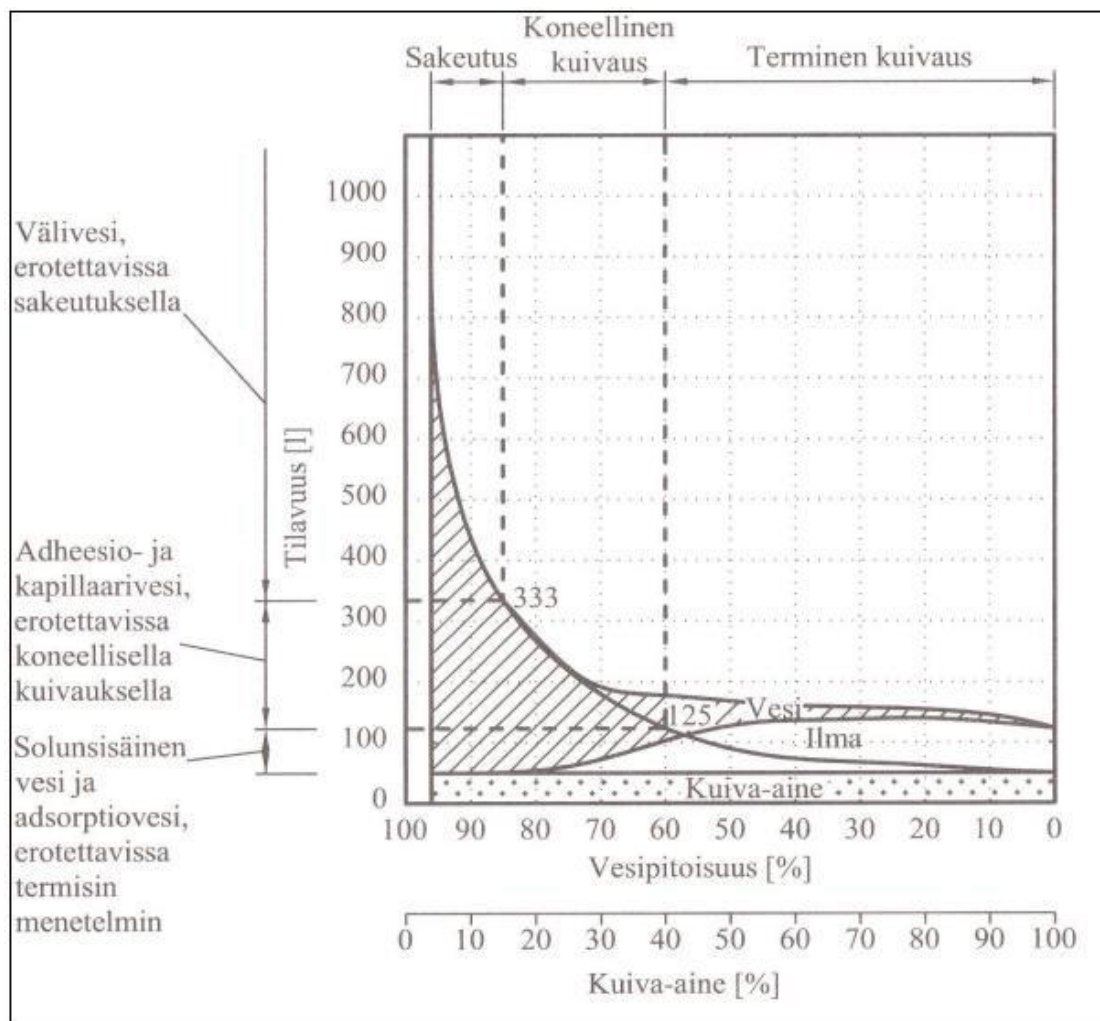
Käsittelyyn tulevat primääriliete ja bioliete voidaan tiivistää joko ensin erikseen tai johtaa samaan säiliöön tiivistymään. Mikäli tiivistys tapahtuu erisäiliöissä, sekoitetaan ne tämän jälkeen sekoitussäiliössä. Sekoittuneet lietteet johdetaan pumpuilla vedenerotukseen. Yleensä lietteeseen lisätään flokkauskemikaaleja (polymeerejä) vedenerotusominaisuuksien parantamiseksi. Sekalietteen sekoitussuhteena käytetään yleisesti 50:50. Tarvittaessa tästä voidaan poiketa esim. tehtaan puhdistamon tilanteen mukaan. (Seppälä ym. 2005, 184 - 186.)



### 3.4.2 Tiivistys

Lietteen käsittely aloitetaan tiivistyksellä, jossa kiintoainesta sisältävälle lietteelle annetaan tilaisuus lajittua painovoiman aikaansaaman laskeutumislilmön perusteella kahdeksi tuotteeksi. Alite sisältää enemmän kiintoainesta ja ylite on suurin piirtein kiintoaineesta vapaata nestettä. Sakea alite erottuu pohjalle, josta se johdetaan edelleen kuivaukseen. (Pihkala 2007, 37.)

Neste vie paljon tilaa ja lisää turhaan energian kulutusta kuljetuksessa kuten pumppauksessa. Lietteenkäsittelyn taloudellisten merkitysten on arvioitu olevan noin 20 - 35 % puhdistamon investointi- ja käyttökustannuksista, riippuen käsittelymenetelmistä ja prosessista (Ojanen 2001, 63). Kuljetuskustannukset ovat suurin menoerä tässä. Lietteen tiivistyksessä on tarkoituksen saada kuiva-ainepitoisuus nousemaan 2 - 3 kertaiseksi lähtötilanteeseen verrattuna. Lietteen tiivistyksessä kuiva-ainepitoisuus nostetaan yleensä 4 - 5 %:iin. Samalla tilavuus pienenee oleellisesti ja vettä poistuu. (Lohiniva, Mäkinen & Sipilä 2001, 38; Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 560.) Kuvassa 3 nähdään, kuinka lietteen tilavuus pienenee lähes kolmasosaan kun vesipitoisuutta alennetaan lietteestä noin 20 %:iin (Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 563).



KUVA 3. Lietteen kuiva-aineen vaikutus tilavuuteen (Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 563)

Tiivistyksessä huomioonotettavia seikkoja ovat mm.

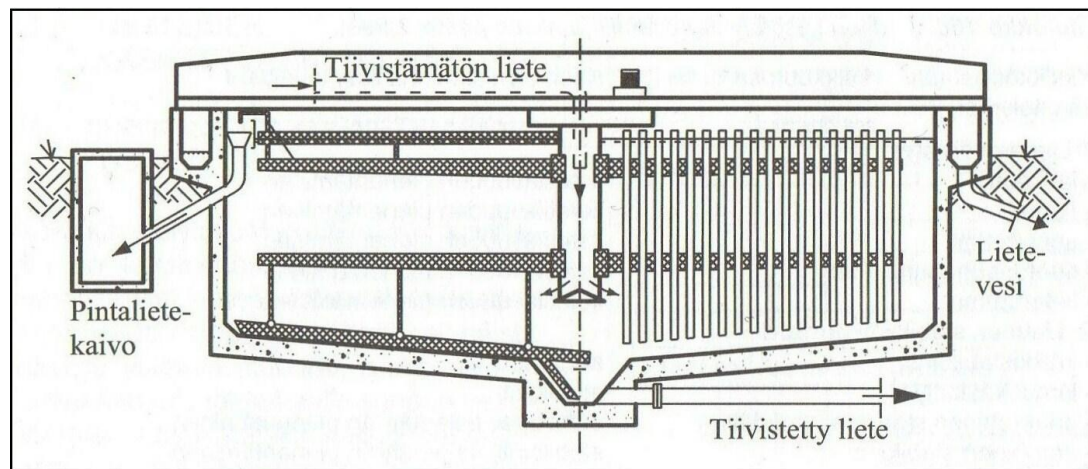
- erilaiset lietetyypit
- tulevan lietteen määrä ja kiintoainepitoisuus
- tilarajoitukset ja laitteisto
- energian kulutus
- ongelmatilanteet.

(Water Environment Federation 2012, 251.)

Seuraavassa selostetaan erilaisten tiivistystapojen pääperiaatteet.

### Laskeutustiivistys

Tiivistykseen tuleva vesi on todella vesipitoista, joten sitä voidaan ensin tiivistää gravitaation avulla tiivistämössä, jonka jälkeen laskeutunut liete pumpataan säiliön pohjalta jatkokäsittelyyn ja erottuva vesi johdetaan takaisin puhdistusprosessin alkuun, kuten kuvassa 4. Lietteiden sa-  
keitin voi olla joko panostiivistämö tai jatkuvatoiminen tiivistämö. Teollisuudessa yleisempi on jatkuvatoiminen malli. (Lohiniva ym. 2001, 38.)



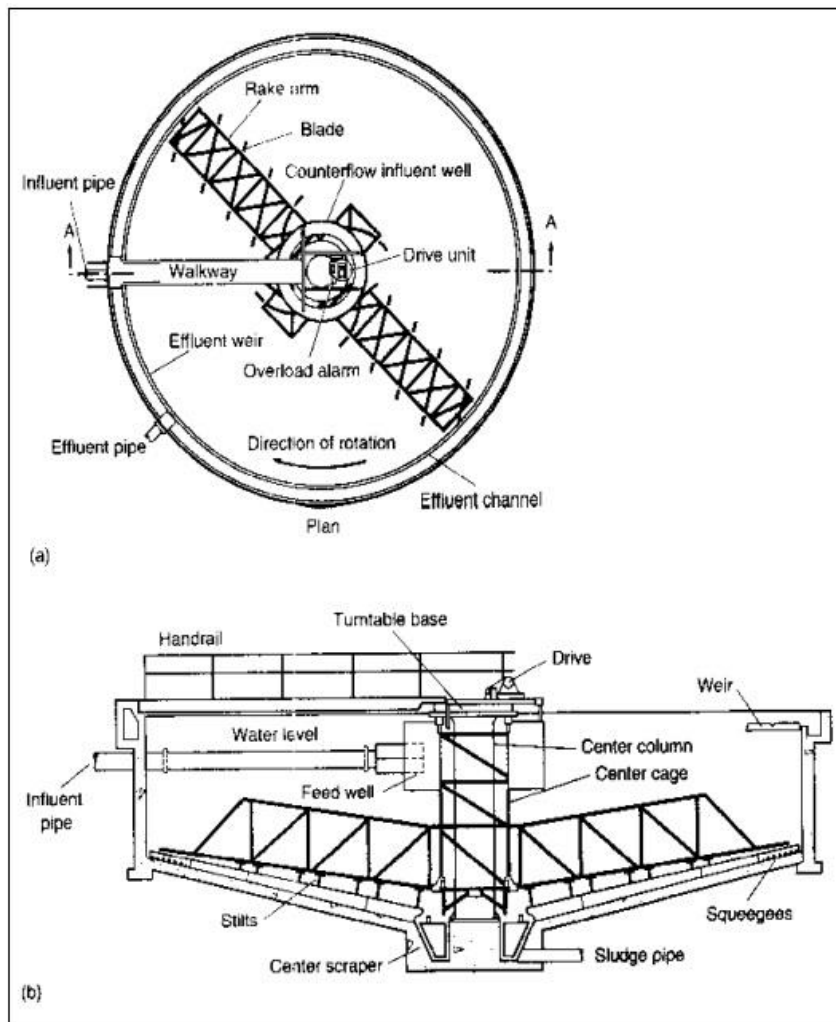
KUVA 4. Laskeutustiivistimen periaatekuva (Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 562)

Laskeutustiivistyksellä voidaan päästä taulukon 1 mukaisiin kuiva-ainepitoisuuksiin. Taulukon arvoista näkyy, että biologinen ylijäämeliete kannatta yhdistää mekaaniseen lietteeseen, jotta lopputulokseksi saadaan korkeampi kuiva-ainepitoisuus. Viipymä laskeutuksessa on yleensä 6 - 12 h (Lohiniva ym. 2001, 38).

TAULUKKO 1. Lietetyyppien kuiva-ainepitoisuudet laskeutustiivistyksen jälkeen (Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 564)

| Lietetyyppi              | Kuiva-ainepitoisuus, % |
|--------------------------|------------------------|
| Mekaaninen liete         | 6 - 10                 |
| Biologinen aktiiviliete  | 2,5 - 3,0              |
| Biologinen suodatinliete | 4 - 8                  |
| Sekaliete                | 5 - 9                  |

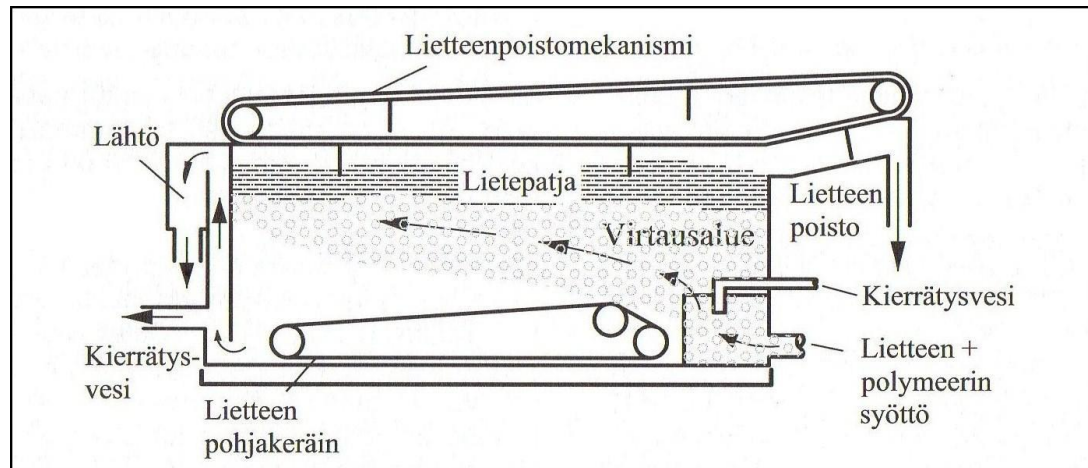
Jatkuvatoimisissa tiivistämissä on hitaasti pyörivä hämmennin. Se auttaa veden erottumista lietteestä ja sen pohjassa olevan laahaimen tehtävä on estää lietettä kiinnittymästä sakeuttimen pohjalle. Hämmennimen optimaalisen toiminnan johdosta jatkuvatoimiset tiivistämöt ovat yleensä pyöreitä altaita. (kuva 5; Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 561 - 562.)



KUVA 5. Tiivistimen periaatekuva, pohja ja leikkaus (Metcalf & Eddy 2014, 1489)

### Flotaatiotiivistys

Flotaatiivistyksessä (kuva 6) tulevaan lietteeseen sekoitetaan kierrätysvettä, johon on liuotettu ilmaa paineen alaisena. Menetelmässä käytetty dispersiovesi johdetaan yleensä 350 - 500 kPa:n paineella flotaatioaltaaseen. Paineen laskiessa ilma vapautuu pieninä kuplina, jotka tarttuvat liettehiukkasiin ja nostavat ne pintaan. Pinnasta ne poistetaan kaapimella lietekouruun. Lietteen vesi poistetaan altaan alaosasta. (Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 564.) Taulukosta 2 voidaan nähdä flotaatiotiivistyksen vaikutukset eri lietetyypeille.



KUVA 6. Flotaatiotiivistimen periaatekuva (Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 564)

TAULUKKO 2. Lietetyyppien kuiva-ainepitoisuuksia flotaatiivistyksessä (Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 566)

| Lietetyyppi   | Tulevan lietteen kiintoainepitoisuus (%) | lähtevän lietteen kiintoainepitoisuus (%) |
|---------------|--|---|
| Primääriliete | 2 - 7                                    | 8 - 10                                    |
| Bioliete      | 0,5 - 1                                  | 2,5 - 7                                   |
| Sekaliete     | 0,6 - 1,3                                | 4,5 - 6,5                                 |

Eri vaiheissa syntyneet lietteet eroavat koostumukseltaan olennaisesti toisistaan. Siksi tiivistyksen jälkeen erilaiset lietetyypit yhdistetään, jotta saadaan aikaan tasalaatuisempaa lietettä. Sekoitus voidaan toteuttaa eri tavoin, putkissa tai erillisissä sekoitusaltaissa. Välivarastoinnilla tarkoituksena on tasoittaa vaihtelua lietteentuotossa ja antaa lietteen kerääntyä kun laitteet eivät ole toiminnassa. (Ojanen 2001, 65.) Tarvittaessa tässä vaiheessa liete voidaan ajaa murskaimen tai repijän läpi, jolloin se hienontuu ja tulee tasaisemmaksi massaksi. Tämä helpottaa lietteen käsittelyä ja flokkien muodostumista.

### 3.4.3 Kuivausmenetelmät

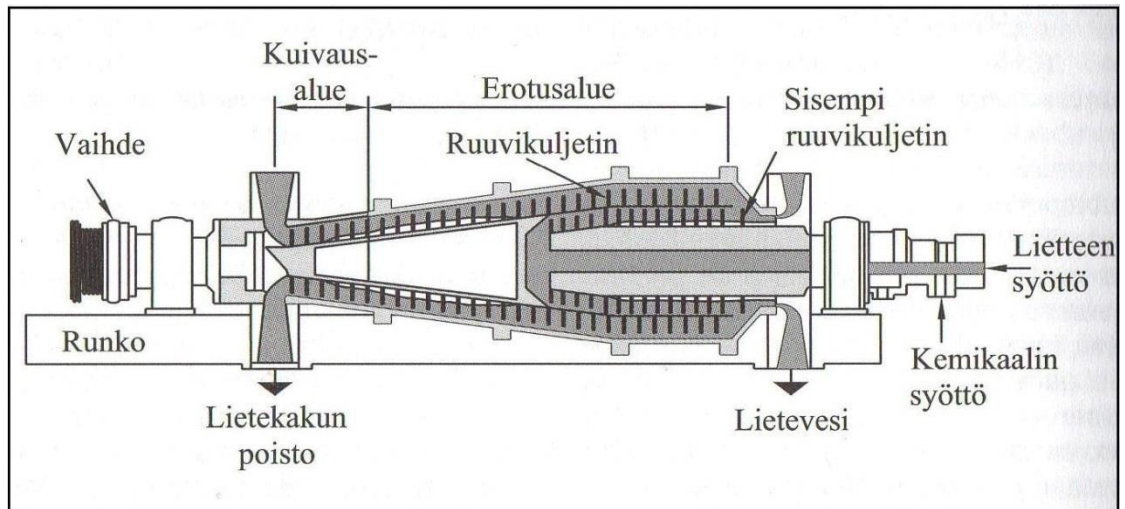
Lietteen kuivaus eroaa tiivistyksestä lopputuloksen perusteella. Tiivistyksessä liete sakenee ja kuiva-ainepitoisuus nousee, mutta edelleen se virtaa kuin neste. Kuivauksessa liete käsitellään sellaiseen muotoon, että se alkaa käyttäytyä kuin kiinteä aine, eikä enää virtaa veden lailla. (Water Environment Federation 2012, 474.)

Yleisimmin käytettyjä menetelmiä lietteenkuivauksessa ovat dekanterilinko, suotonauhapuristin ja ruuvipuristin. Lietteitä käsitellään myös kompostoimalla ja termisesti kuivaamalla. Sopiva käsittelymenetelmä riippuu lietteen loppukäyttötarkoituksesta. Toki menetelmän valintaan vaikuttaa lietteen laatu ja käytettävissä olevat tilat. Kuivauksen jälkeen tapahtuvana loppukäsittelymenetelmänä poltto on yleisin tapa. (Metcalf & Eddy 2003, 1559; Seppälä ym. 2005, 184 - 186.)

Kuivausmenetelmän tehokkuutta tarkastellaan erotusasteen avulla, mikä on kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuuden suhde kuivattavan lietteen kuiva-ainepitoisuuteen. Mekaanisista kuivausmenetelmistä parhaimpaan erotusasteeseen päästään imusuodattimilla, joiden tulos on yli 95 %. Muilla laitteilla erotusaste on noin 90 %:n luokkaa. Myös rejektiveden laatua on hyvä tarkastella kuivausmenetelmän tehokkuutta arvioidessa. (Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 568 - 569.)

#### Linko

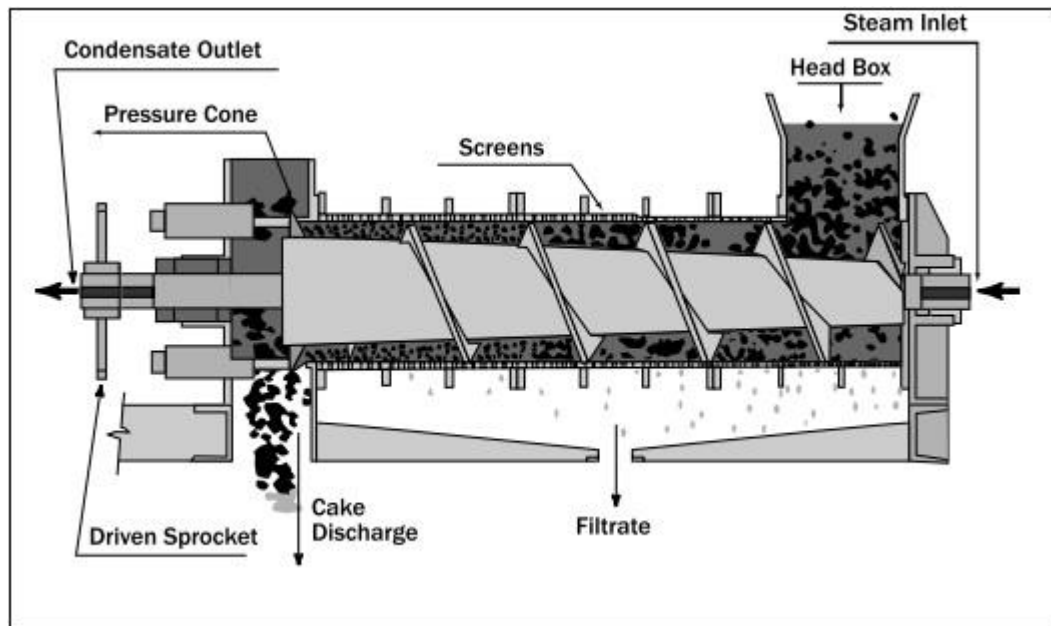
Tiivistyksen jälkeen sakeutettu liete johdetaan mekaaniseen kuivaukseen. Laitteena voi olla mm. sentrifuugi eli linko. Linkouksessa kiintoaine erotetaan nesteestä keskipakoisvoiman avulla. Laitteessa on rummun sisällä hieman eri nopeudella pyörivä ruuvikuljetin, joka siirtää kuivatun lietteen pois rummun päästä, kuten kuva 7 näyttää. Linkoamalla voidaan poistaa vettä lietteistä ilman kemikaaleja, mutta kiintoainepitoisuutta ja nesteseoksen laatua voidaan huomattavasti parantaa polymeerin avulla. Käytännössä aina suuressa mittakaavassa käytetään kemikaaleja. Linkoamalla kuivatun lietteen kakun kuiva-ainepitoisuus vaihteli 10 - 35 %:n välillä, vuonna 1991 tehdyssä selvityksessä (Ojanen 2001, 65 - 67). Linko soveltuu hyvin epäorgaanisten lietteiden käsittelyyn. Laitteen energiankulutus on melko korkea, joten suuressa mittakaavassa siitä saatavat hyödyt voivat jäädä vähäisiksi. (Seppälä ym. 2005, 184.)



KUVA 7. Lingon periaatekuva (Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 568)

### Ruuvipuristin

Ruuvipuristin (kuva 8) on hyvin yleinen vedenerotusmenetelmä suomalaisilla metsäteollisuuslaitoksilla. Varsinkin viime vuosina se on yleistynyt metsäteollisuuslietteiden käsittelymenetelmänä (Seppälä ym. 2005, 185). Ruuvipuristimen sisällä on kartiomainen ruuvi, jonka kartiomaisuus kasvaa lietteen kulkusuunnassa. Kartiomainen ruuvi kuljettaa lietettä puristimen läpi kuivaten sitä samalla. Kuivaus tapahtuu siten, että puristusvoima poistaa vettä rei'itetyn vaipan läpi. Vesi poistuu rejektivetenä. Samalla ruuvipuristimeen ohjataan höyryä 3 - 4 bar:n paineella. Tämä höyry helpottaa veden poistumista ruuvista laskemalla veden viskositeettiä ja parantamalla siten poistumisominaisuuksia lietteestä. Höyryn käytöllä voidaan saavuttaa noin 5 % -yksikön nousu kuiva-ainepitoisuudessa. Lisäksi se voi vähentää ruuvin ja lietteen välistä kitkaa. (Ojanen 2001, 68.) Ruuvin pyörimisnopeus on pieni 0,02 - 3 kierrosta/min. Lietteen viipymä puristimessa vaihtelee 15 - 30 minuutin välillä (Seppälä ym. 2005, 185). Ruuvipuristimella saavutettava kuiva-ainepitoisuus vaihtelee noin 20 - 30 %:n välillä riippuen lietetyypistä (taulukko 3). Joissain tapauksissa kuivaus voidaan toteuttaa ilman kemikaaleja, mutta yleensä se ei ole mahdollista. Halutun kuivuuden aikaansaamiseksi tarvitaan jonkin verran polymeeriä. (Turovskiy ja Mathai 2006, 130.)



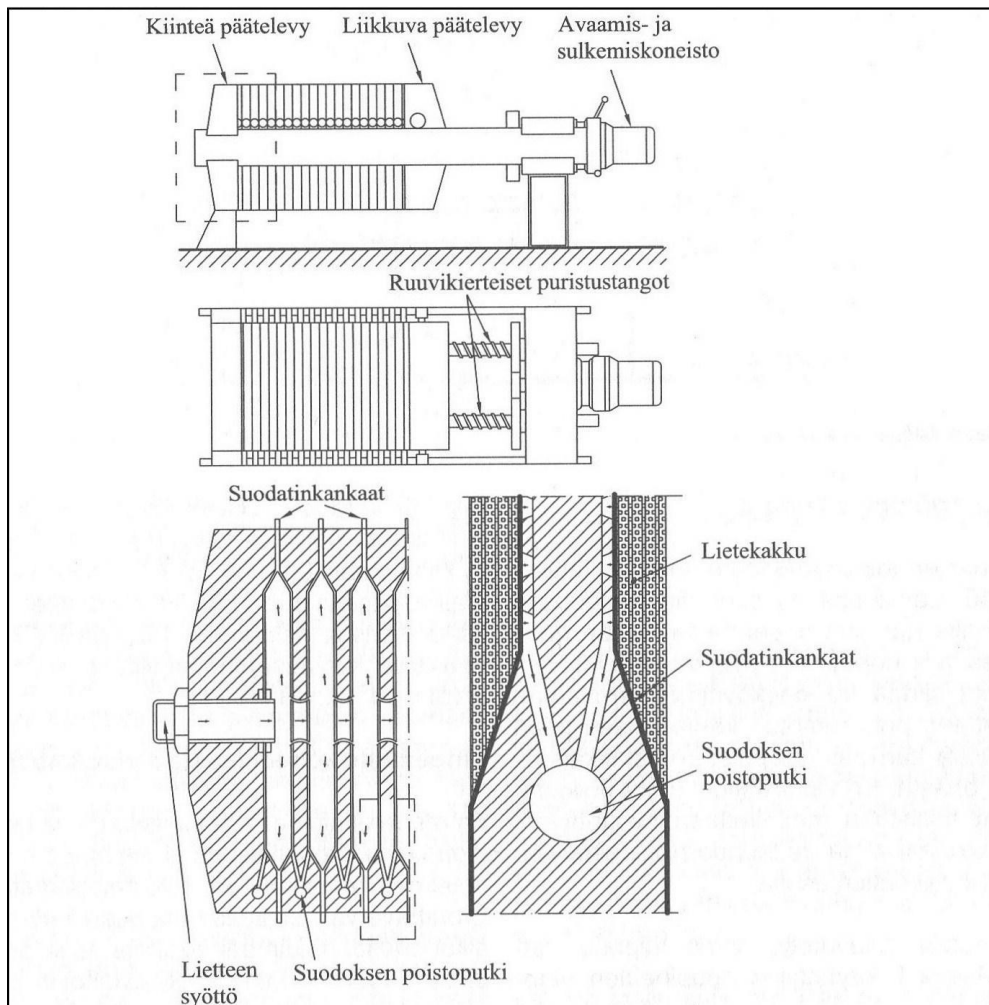
KUVA 8. Ruuvipuristimen periaatekuva (Turovskiy ja Mathai 2006, 130)

TAULUKKO 3. Kartioruuvipuristimen vedenpoisto tehokkuus  
(Seppälä ym. 2005, 185)

| Lietetyyppi            | Lietekakun kuiva-aine (%) |
|------------------------|---------------------------|
| Kuitu 100 %            | 55                        |
| Primääri/ Bio 50/ 50 % | 40                        |
| Primääri/ Bio 70/ 30 % | 45                        |
| Primääri/ Bio 30/ 70 % | 35                        |
| Bio 100 %              | 20                        |

#### Suotonauhapuristin

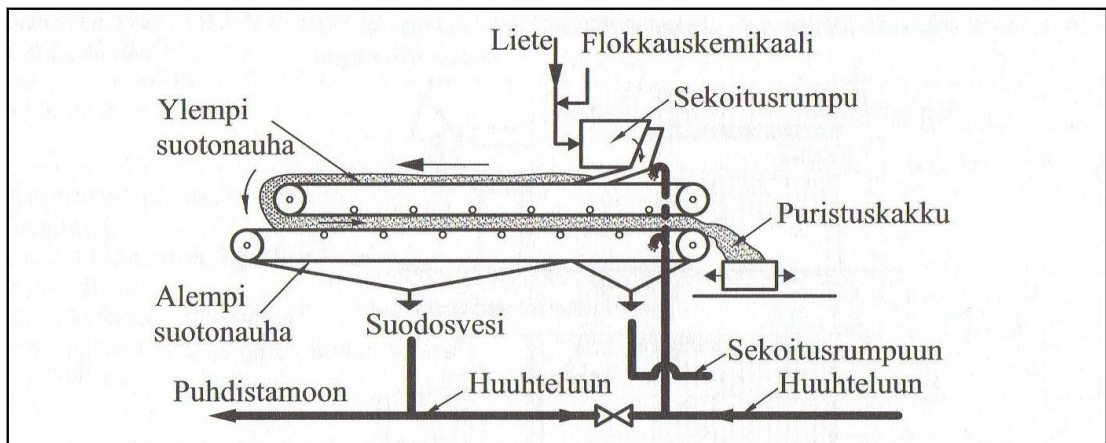
Suotonauhapuristimia on kahta tyyppiä, panostoimisia kammiopuristimia ja jatkuvia viirapuristimia. Kammiopuristimissa periaatteena on, että lietettä pumpataan viirapintojen rajoittamiin kammioiden, joista lietevesi poistuu pumppauksen aiheuttaman paineen ja puristuksen voimasta viirojen läpi (kuva 9). Kammioiden täytyttyä puristin avataan ja kuivunut liete poistetaan. (Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 567.)



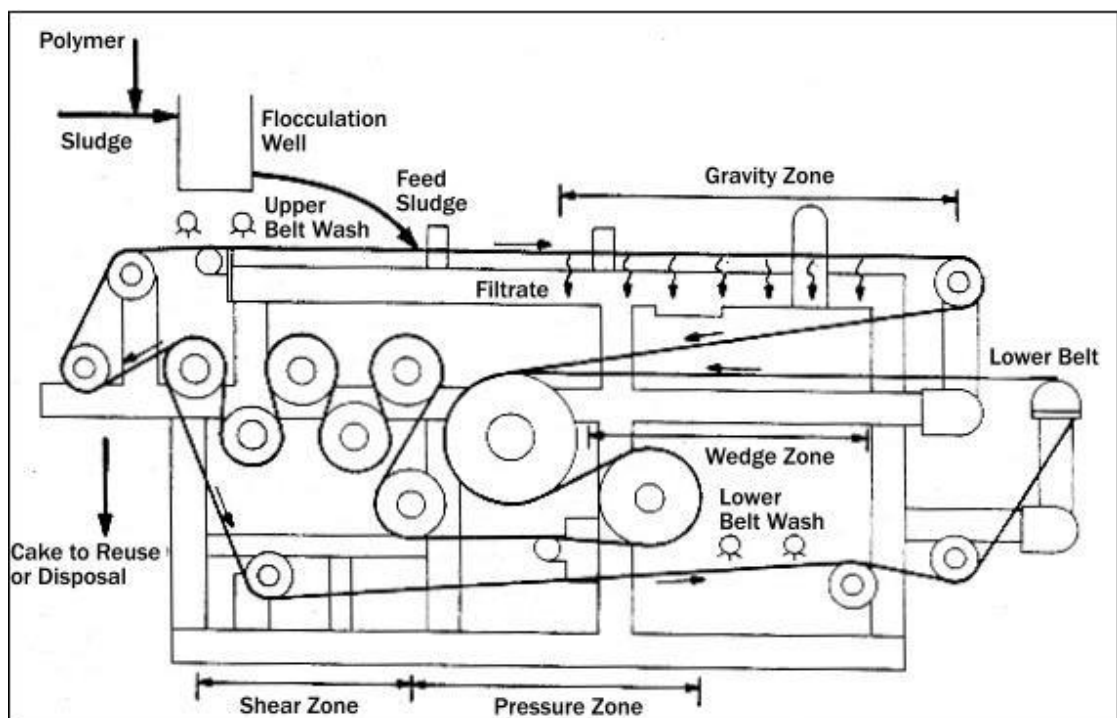
KUVA 9. Kammipuristimen periaatekuva (Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 567)

Viirapuristimissa suurin osa kunnostettavan lietteen vapaasta vedestä poistetaan valuttamalla (kuvat 10 ja 11). Viirapuristimessa on nk. matalapaine- ja korkeapainevaihe. Liette johdetaan kahden liikkuvan pinnan rajoittamaan väliin, joka supistuu liikesuunnassa. Liikesuunta on tavallisesti vaakasuora. Alussa matalapainevaiheessa lietettä puristetaan viirojen välissä. Tämän jälkeen viirat ajetaan korkeapainevaiheessa useiden telojen läpi, jolloin puristus ja leikkausvoimat lisäävät poistuvan veden määrää. (Ojanen 2001, 67; Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 567.)





KUVA 10. Viirapuristimen periaatekuva (Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 568)



KUVA 11. Viirapuristimen periaatekuva 2 (Turovskiy ja Mathai 2006, 111)

Myös viirapuristimen toimintaa voidaan tehostaa erilaisilla kemikaaleilla mm. polymeereillä ja polyalumiinikloridilla. Viirapuristimella saavutettu kuiva-ainepitoisuuden keskiarvo oli 34 %, vuonna 1998 Rantalan tekemän selvityksen mukaan (Ojanen 2001, 67) vaihteluvälin ollessa 20 - 40 %. Tulokseen vaikuttavat kuitenkin monet tekijät mm. lietteen ominaisuudet (taulukko 4), laitteessa käytettävät paineet, viiran huokoisuus, laitteen nopeussäädöt ja leveys. (Ojanen 2001, 67.)

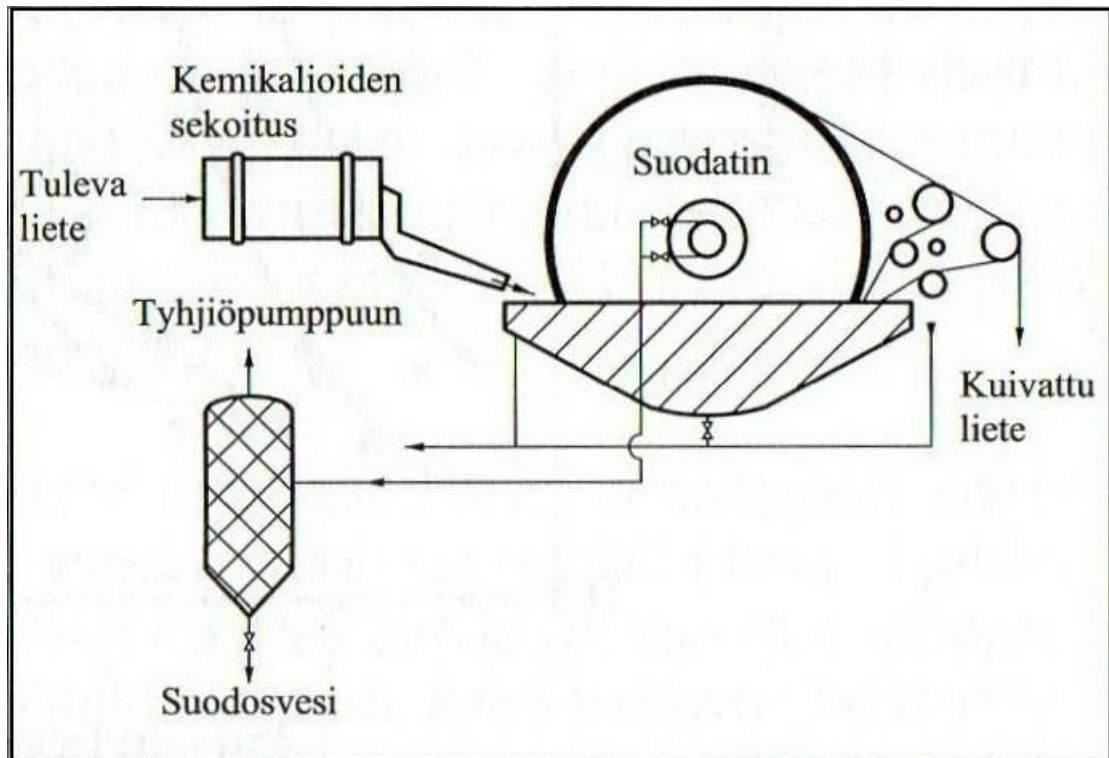
TAULUKKO 4. Viirapuristimen vedenpoistotehokkuus (Tchobanoglous, Burton 1991, 866)

| <b>Lietetyyppi</b>    | <b>Lietteen sakeus (%)</b> | <b>Lietekakun kuiva-ainepitoisuus (%)</b> |
|-----------------------|----------------------------|---|
| Primääriliete         | 3 - 7                      | 28 - 44                                   |
| Bioliete              | 1 - 4                      | 12 - 20                                   |
| Primääri- ja bioliete | 3 - 6                      | 20 - 35                                   |

#### Muut menetelmät

Termistä menetelmää voidaan käyttää silloin kun halutaan lietteelle korkeampia kiintoainepitoisuuksia kuin aiemmin mainituilla erotusmenetelmillä voidaan saada. Lietteen kosteuspitoisuus voidaan saada alennettua jopa 10 %:iin tai alle. Termistä menetelmää käytetään monesti muiden kuivausmenetelmien jälkeen, jotta toimenpide olisi mahdollisimman tehokas. Termisellä menetelmällä voidaan estää myös biologisen toiminnan jatkuminen, mikä on tärkeää, jos lietettä halutaan käyttää lannoitteeksi. Termisissä menetelmissä voidaan käyttää joko suoria tai epäsuoria kuivaimia. (Ojanen 2001, 68.)

Imusuodatuksessa suodatinviiralla peitetty rumpu pyörii osittain upotettuna kuivattavaa lietettä sisältävässä altaassa (kuva 12) Rummun vaipan imulaatikoihin yhdistetyn tyhjiöpumpun imu vedetään altaasta lietteen 10 - 15 mm paksuna mattona viiran päälle ja imee lietteestä siitä vapautuvan veden rummun pyöriessä. Rummun vastakkaisella puolella kuivunut liete irrotetaan viirasta. Imusuodattimen kuivausteho on noin 25 - 30 kg kiintoainetta suodattimen neliometriä kohti/tunti. Kuivatun lietteen kiintoainepitoisuudeksi voidaan saada 20 - 30 %. (Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 566.)



KUVA 12. Imusuodatuksen periaatekuva (RIL 124-2 2004, 566)

### 3.5 Lietteen jatkokäyttö ja yhteenveto kuivauksesta

Kuivattu liete johdetaan yleensä varastointiin tai suoraan jatkokäyttöön. Monissa tehtaissa kuivattu liete poltetaan kuorikattiloissa tai monipolttoainekattiloissa. Lietteen energiataloudellinen poltto riippuu kuitenkin lietteen vesipitoisuudesta. (Seppälä ym. 2005, 185 - 186.) Poltto on käytännöllinen vaihtoehto siksi, että monesti polttolaitos on lähellä lietteenkäsittelylaitosta (kuljetuskustannukset) ja poltosta saatava energia voidaan käyttää heti hyväksi tuotantoprosesseissa. Lisäksi siinä lietteen tilavuus vähenee huomattavasti ja mahdolliset patogeenit ja myrkylliset aineet tuhoutuvat. Lietettä voidaan käyttää periaatteessa myös lannoitteena maataloudessa ja metsissä sekä maisemointi- ja viherrakentamistarkoitukseen. Tämän voi kuitenkin estää eri aineiden suuret pitoisuudet mm. raskasmetallit. (Ojanen 2001, 72 - 73; Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 579.)

Kuivauksen lopputuloksena on aina kuivattu kakku ja siitä erottunut rejektivesi. Kuivauksen onnistumista arvioidaan näytteenotolla, jossa mitataan kakun kuivuutta ja poistuvan rejektiveden kiintoainepitoisuutta. Kuivauksen onnistumista mitataan kakun kiintoainepitoisuudella; mitä vähemmän siinä on kosteutta, sitä paremmin on kuivaus onnistunut. Kuivauksen onnistumista arvioidaan myös poistuvan rejektiveden perusteella. Koska se palaa kuivauksen jälkeen prosessin alkuun, on sen kiintoainepitoisuuden oltava mahdollisimman alhainen. Näin se ei turhaan rasita prosessia kiintoaineella uudestaan. Lopputulos on paras silloin, kun liete on kuivaa ja rejektivesi sisältää mahdollisimman vähän kiintoainetta. Kuivauksen onnistumiseen vaikuttaa myös liete-tyyppi. Biologinen liete on monesti hankalasti kuivattavissa, koska vesi on siinä sitoutunut solu-

rakenteisiin. Primäärilietteen kuivaus taas onnistuu yleensä ongelmitta ja karkearakenteisena vesi erottuu helposti.

### 3.6 Näytteenotto lietteenkuivausprosessissa

Näytteenotto on tärkeä osa teollisuusprosessia, koska sillä pystytään osoittamaan prosessin toimivuus ja toiminnan tehokkuus. Näytteet analysoidaan laboratoriossa ja saaduilla analyysituloksilla voidaan osoittaa muun muassa ympäristöluvan ehtojen täyttyminen. Lietteenkuivauksessa näytteenotolla ja niistä tehtävillä kokeilla varmistetaan kuivauksen onnistuminen ja saadaan tietoa lietteen laadusta ja sen sisältämän kiintoaineen määrästä. Samalla pystytään arvioimaan, mikä määrä kiintoainetta pääsee takaisin kiertoon rejektiveden mukana. Näytteillä selvitetään mm. lietteen sakeutta ennen prosessia, lietesuhdetta (primääri/bio), rejektiveden laatua, lietteen tuhkapitoisuutta ja lietekakun kuivuutta prosessin jälkeen.

Lietteessä oleva kiintoaine on aines, joka täytyy erottaa puhdistusprosessissa vedestä ja lietteen kuivauksessa lietteeseen sitoutuneesta vedestä. Kiintoaines sitoo paljon ravinteita, kuten fosforia. Siksi sitä ei voida päästää veden mukana vesistöön. Lietteen kuivauksen perusperiaate on erottaa kiintoaines vedestä. Siksi sen määrää ja erottumista tarkkaillaan tässä prosessissa. Lietteessä oleva kiintoaineen laatu vaikuttaa valittuun kemikaaliin ja määrä vaikuttaa käytettävän kemikaalin määrään.

Eri parametreille täytyy valita oikeat näytteenottotyypit ja -tiheydet. Osa mittauksista voidaan toteuttaa online-mittauksina ja osa säännöllisenä näytteenottona, jolloin analyysi tai mittaus toteutetaan laboratoriossa. Online-mittaus antaa tulokset heti, mittaus on siis jatkuvatoiminen. Mittauksessa kaikki tai osa mitattavasta suureesta johdetaan mittauspisteeseen, mittalaitteen anturille. Tulosten epävarmuus on huomioitava, koska se on yleensä suurempi kuin vastaavissa laboratoriokokeissa. Epäloogiset tulokset voivat johtua mm. anturin likaantumisen tai vioittumisesta. Online-mittaus vaatii kalibroinnin ennen mittausten aloittamista. Kalibrointi tapahtuu ottamalla näyte ja kirjaamalla sen tiedot (lukema ja kellonaika) ja viemällä näyte analysoitavaksi laboratorioon. Laboratoriotuloksia ja mittarin tuloksia verrataan ja lasketaan korrelaatiokerroin. Parhaimpana tulosta pidetään silloin kun suoran kulmakerroin on 1. Hyvä määrä kalibrointipisteitä on 2 - 9 kpl (Filippenkov 2012, 28). Näytteenotossa mitattavasta suureesta otetaan näyte manuaalisesti, joka myöhemmin tutkitaan laboratoriossa. Myös laboratoriossa käytetyt laitteet on kalibroitava säännöllisesti. Laboratorioanalyysin etuja ovat tarkkuus ja luotettavuus. Tosin se vaatii mittaajan ja soveltuvat laitteet. Ongelmia voivat aiheuttaa virheet näytteen säilytyksessä ja kuljetuksessa, mittauksen viivästyminen ja tulosten tuleminen viiveellä. Mikäli suure muuttuu hitaasti eikä muutos ole arvoltaan suuri, ei ongelmaa pitäisi olla.

### 3.7 Kaukaan puhdistusprosessi

Kaukaan tehtaiden puhdistamo on otettu käyttöön 1992. Puhdistamo toimii pääpiirteissään samoin kuin aiemmin kuvattu aktiivilieteprosessi. Päävaiheet ovat välppäys, esiselkeytys, neutralointi, jäähdytys, tasaus- ja varoallas, ilmastusallas, jälkiselkeytys sekä lietteenkäsittely (kuva 13). Laitos toimii tehtaiden ja sahan kanssa tehdasalueella. Vuosittainen vedenkulutus on integroitu n. 86 milj. m<sup>3</sup>, joten vuorokaudessa vettä kuluu n. 239 000 m<sup>3</sup>. Prosessijätevesiä tulee Kaukaan sellutehtaalta keskimäärin noin 3 900 m<sup>3</sup>/h eli 95 000 m<sup>3</sup>/vrk, nämä sellutehtaan vedet muodostavat puhdistamolle tulevasta vesistä 72 %. 21 % vesistä tulee paperitehtaan prosesseista, kuutiolina tämä on noin 1 520 m<sup>3</sup>/h. (Taskinen 2011, 28 - 31; UPM 2014c.) Merkittävimmän kuorman puhdistamolle tuovat siis sellu- ja paperitehtaan vedet. Muut 7 % puhdistamolle tulevasta vesistä on teollisuusalueen saniteettivesiä ja lietteenkäsittelyn, kaatopaikan ja biovoimalaitoksen polttoainekentän suodosvesiä sekä kuorivesiä. (Taskinen 2011, 31.)



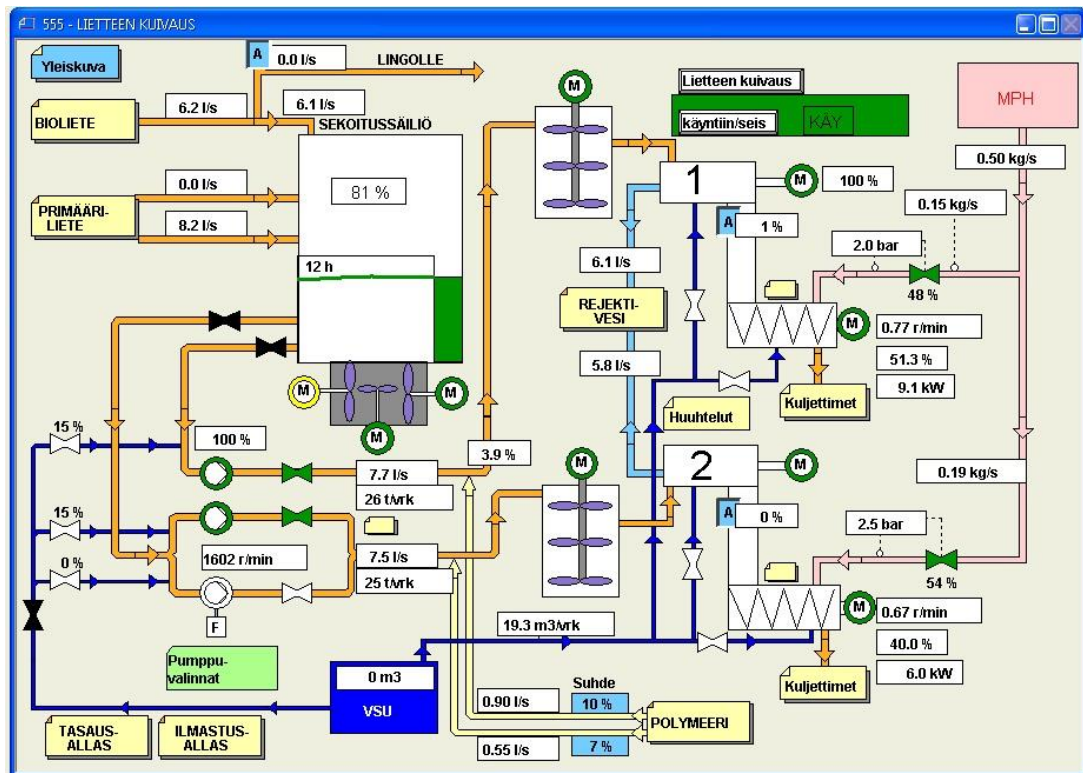
KUVA 13. Kaukaan puhdistamo (UPM 2013)

Kaukaan puhdistusprosessi on pitkäilmastusprosessi, joka on kokemusten perusteella todettu hyväksi varsinkin sellu- ja paperiteollisuuden jätevesien käsittelyssä. Tässä prosessityypissä lieteikä on korkea ja lietekuorma ja lieteindeksi ovat alhaiset. Näin syntyvä liete on pitkälle mineralisoitunutta ja sen määrä on vähäinen verrattuna korkeakuormitteiseen aktiivilieteprosessiin. (Taskinen 2011, 32.)

Puhdistusprosessin alussa esiselkeyttimille tuleva vesi neutraloidaan kalkin tai rikkihapon avulla. Esiselkeytyksestä vesi johdetaan tasausaltaalle, jossa tehdään virtaaman- ja laaduntasaus. Tasausaltaalta vesi pumpataan ilmastusaltaalle. Ilmastuksen yhteydessä jätevedeen voidaan lisätä fosforia, mikäli siihen on tarvetta. Ilmastusaltaan jälkeen vesi johdetaan jälkiselkeytykseen, jossa jätevedestä erotetaan liete. Lietteestä ylijäämän osuus johdetaan pois prosessista tiivistämöön ja siitä lietteen kuivaukseen. Puhdistamon ylijäämälietteen mitoitussarvo on noin 22 - 24

t/d. Jälkiselkeytyksestä puhdistettu jätevesi ohjataan purkuojan kautta Saimaaseen. (UPM Kymmene Oyj 2000, 2; Vesanto 2014.)

Lietteen käsittelyssä on omat tiivistimet sekä primääri- että biolietteelle (kuva 14). Tiivistyksen jälkeen lietteet sekoitetaan sekoitussäiliössä, josta ne pumpataan kahta linjaa pitkin kuivaukseen. Ennen ruuvipuristimia on flokkaussäiliöt, joissa lietteeseen sekoitetaan polymeeriliuosta. Lietteen kuivauksen ruuvipuristimet on otettu käyttöön 90-luvun alussa. Kuivauksen jälkeen liete menee Kaukaalla polttoon Kaukaan Voimalle, missä siitä saadaan energiaa tehtaan ja kaukungin tarpeisiin. (Vesanto 2014.)



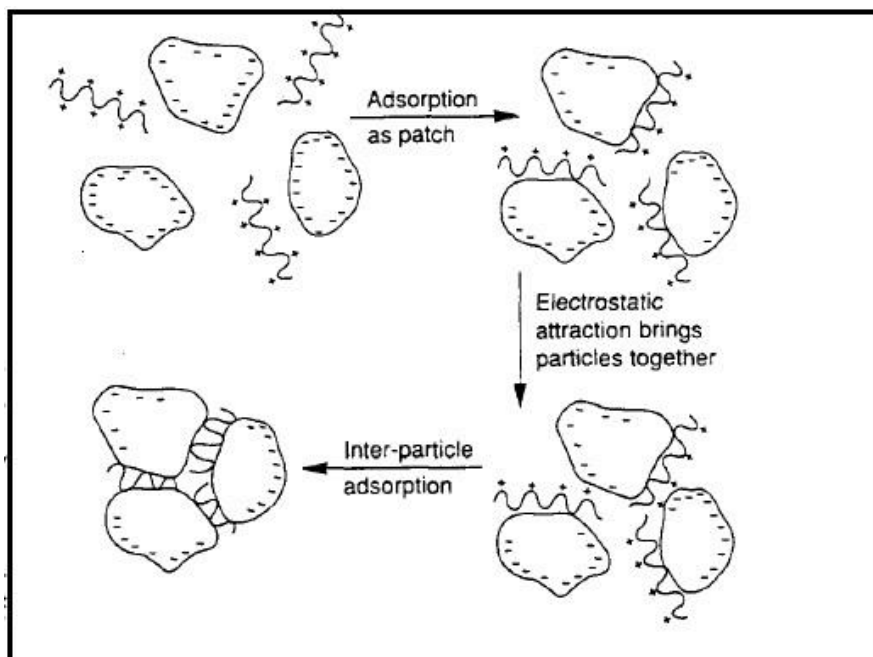
KUVA 14. Lietteenkäsittelyn prosessikuva

## 4 POLYMEERIT LIETTEEN KUIVAUKSESSA

### 4.1 Polymeerit

Polymeerit ovat kemikaaleja, joita käytetään teollisuudessa moniin tarkoituksiin. Lietteiden käsittelyssä niitä käytetään kuivausprosessia tehostamaan. Polymeerejä voidaan luokitella varauksen mukaan: kationiset, nonioniset ja anioniset. Kaikkia näitä tyyppisiä on vielä useita eri valmisteita. Se mikä polymeeri milloinkin on tehokkain, selviää kokeellisesti. Yksittäisistä tekijöistä tärkein on lietteen laatu. (Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 578.)

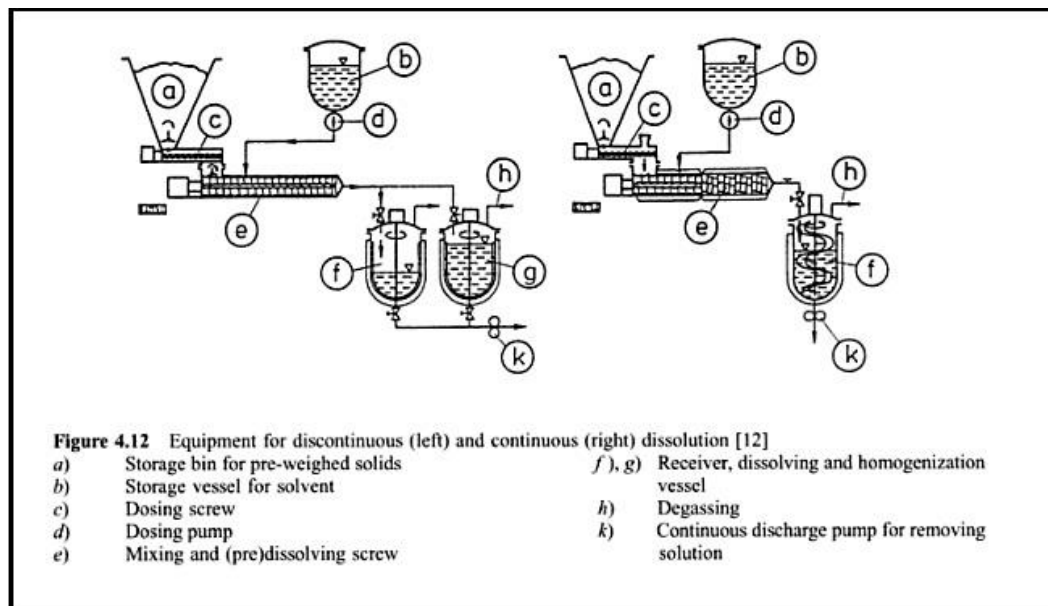
Jätevedenpuhdistuksessa käytetyt polymeerit ovat yleensä pienimolekyyllipainoisia ja korkeasti varautuneita polyelektrolyyttejä, jotka ovat yleensä kationisia. (Janhunen 2007, 19.) Niillä pyritään saostamaan kiintoaineita ja lietettä. Tästä seuraa, että liete ja vesi reagoivat siten, että vesi erottuu paremmin lietteestä kuivauksen aikana. Erottuminen tapahtuu, kun polymeerin avulla hiukkaset saadaan kerääntymään ja tarttumaan toisiinsa suuremmiksi flokeiksi, jotka taas erottuvat paremmin vedestä (kuva 15). Polymeerin lisäys siis alentaa vedessä olevien hiukkasten varausta ja vähentää vastustavia voimia.



KUVA 15. Flokin muodostuminen (Norman & Seddon 1991, 216)

Polymeerien valmistajat yleensä pitävät valmistamiensa tuotteiden rakennekaavat omana tietonaan, ns. knowhow-tietona, joten tarkkaa kemiallista rakennetta ei loppukäyttäjällä yleensä tiedä. Usein valmistaja ilmoittaa tuoteselostuksessa nimen, varauksen, partikkelikoon, värin ja viskositeetin. Polymeerien valmistus on keskittynyt muutamalle suurelle alan osaajalle. Polymeerit toimitetaan yleensä jauheina tehtaille. Syitä tähän ovat logistiikka, säilyvyys ja oikean sekoitus-suhteen valitseminen. Tehtaalla polymeeri voidaan valmistaa erilaisissa laitteistoissa sopivan

vahvuisiksi seoksiksi (kuva 16). Lietteen sekaan ne lisätään yleensä nestemäisessä muodossa.



KUVA 16. Polymeerien panostoiminen ja jatkuvatoiminen sekoituslaitteisto (Foune 1999, 237)

Sekoituksessa on tavoitteena saada kiinteästä aineesta ja nesteestä homogeeninen liuos. Polymeerin sekoituslaitteisto voi olla malliltaan jatkuvatoiminen tai panostyyppinen. Laitteen ollessa jatkuvatoiminen viipymäaika sekoittimessa on lyhyt ja jauhe kulkee sekoittimen läpi. Panostoisissa annosteltavaa ainetta liuotetaan veteen haluttu määrä ja aineen viipymäaika on optimoitu tasaisen liuoksen saamiseksi. Laitteistot ovat aina automatisoituja. (Paul, Atiemo-Obeng & Kresta 2004). Sekoitus tapahtuu säiliöissä mekaanisesti erilaisten lapojen avulla. Jatkuvatoimisissa laitteissa voidaan käyttää vain yhtä säiliötä, mutta panostoisissa on yleensä oltava erikseen sekoitus- ja varastointisäiliöt.

## 4.2 Polymeerien annostelu

Polymeerin annosteluun vaikuttavia tekijöitä ovat: lietetyyppi, pH, kiintoainepitoisuus, alkalisuus ja lietteen kuivausmenetelmä. Mekaanisen ja biologisen lietteen käsittelyssä kationiset polymeerit antavat parhaan tuloksen ja kemialliselle lietteelle anioniset polymeerit ovat sopivimpia. Useimmiten annostelu vaihtelee keskimäärin 1 - 7 kg (kuiva) /t TS (taulukko 5). Lietteiden tyypillä on suuri vaikutus tarvittavaan annostelumäärään. (Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 578.) Sopivan syöttömäärän selvittämiseksi on olemassa erilaisia laboratorio-kokeita, mutta parhaiten oikean määrän saa kuitenkin selvitettyä täyden mittakaavan koeajossa. Theseuksissa julkaistussa opinnäytetyössä "Pättin jätevedenpuhdistamon selkeytyksen tehostaminen" (Harju 2010, 19) mainitaan, että testattaessa polymeerejä laboratorio-oloissa tulisi lietteen olla tuoretta ja tilanteen vastata muutenkin olosuhteita, joissa polymeeri lisätään oikeassa käyttökohteessa.



Liian vähäinen polymeerin käyttö johtaa kiintoaineen poistumiseen rejektiveden mukana laitoksen alkuun rasittaen turhaan sitä. Myös liian suuri syöttö on haitaksi, koska silloin rejektivesi voi alkaa vaahtoamaan. Vaahtoaminen aiheuttaa ongelmia kuljetushihnoille ja lietesiihloön. Pahimmillaan se voi ajaa lingon kokonaan alas tai estää veden suotautumisen ruuvilla. Yleisesti voidaan todeta, että mitä vaikeammin liete on kuivattavissa, sitä enemmän kemikaalia tarvitaan (Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 578).

TAULUKKO 5. Polymeerimääriä erilaisille kuivausmenetelmille (Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 578)

| Lietetyyppi             | kg polymeeriä /t TS |            |             |
|-------------------------|---------------------|------------|-------------|
|                         | Imusuodatin         | Suotonauha | Sentrifuugi |
| Raakalietete            | 1 - 5               | 1 - 4      | 0,5 - 2,5   |
| Aktiiviliete            | 7,5 - 15            | 4 - 10     | 5 - 8       |
| Raakaliete+aktiiviliete | 5 - 10              | 2 - 8      | 2 - 5       |

Polymeerin annostelussa on tärkeää, että annostelu on tasaista ja sekoitus on hyvä. Syöttöliuoksen tulisi olla laimeaa, pitoisuudeltaan n. 0,1 %. Polymeerit liukenevat hitaasti ja ennen käyttöä liuoksen tulisi kypsyä 2 - 3 h tai valmistajan suositteleman ajan. (Vesihuolto II: RIL 124-2-2004, 579.) Hyvällä sekoituksella varmistetaan, kemikaalin optimaalinen toiminta. Polymeeri voidaan syöttää lietteen sekaan nk. saattoveden kanssa, minkä avulla voidaan alentaa liuoksen viskositeettiä. Saattovetenä voidaan käyttää kovalla paineella syötettyä vettä tai paineella purkautuvaa höyryä. Sekoituksen täytyy kestää riittävän pitkään ja sen tulee olla voimakasta. Syöttöpaikan valinnalla voidaan myös vaikuttaa sekoittuvuuteen.

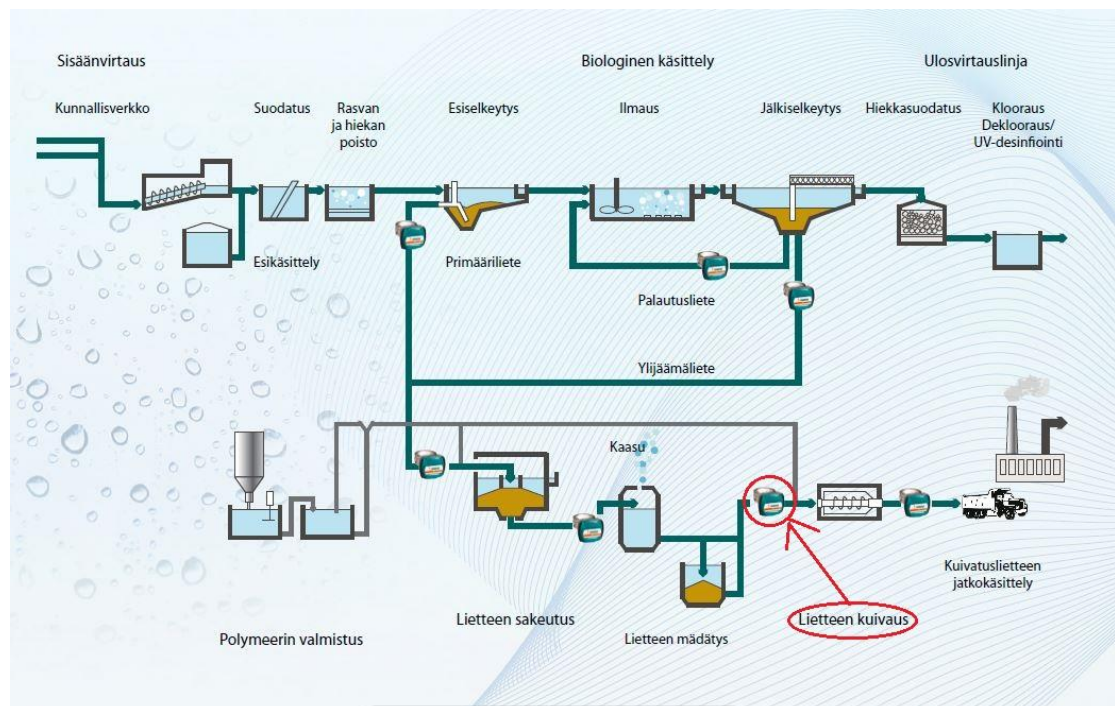
#### 4.3 Polymeerit Kaukaan tehtaalla

Tässä opinnäytetyössä käytettiin koeajossa sitä polymeeriä, joka Kaukaan tehtaalla on yleensä käytössä. Polymeerin valmistajaa tai kauppanimeä ei kuitenkaan tässä yhteydessä mainita, koska se kuuluu liikesalaisuuksiin.

Lietteen kuivauksessa oleva polymeerin liuotuslaitteisto on automaattinen panostoiminen laitteisto, joka sopii jauhemaisen polymeerin liuotukseen. Laitteistossa on liuotussäiliö ja kaksi varastointisäiliötä. Lisäksi systeemiin kuuluu polymeerin varastointisiilo, jauheen syötin, sekoitusyksikkö, siirtopumput, pinnankorkeusmittarit ja ohjauksyksikkö. Polymeeri annostellaan suursäikeistä siiloön, josta kuljetin siirtää säädettyjen ohjausarvojen mukaan sitä sekoitettavaksi veteen.

## 5 JATKUVATOIMISEN KIINTOAINEMITTAUKSEN TOIMINTA

Metso TS-kiintoainemittaus perustuu mikroaaltotekniikkaan, joka antaa luotettavan kuiva-aine tiedon liete-prosessista ja mahdollistaa paremman prosessin hallinnan. Tarkka ja huoltovapaa mittausperiaate mahdollistaa lietteen kiintoainepitoisuuden optimoinnin lietteen kuivauksessa. Metso TS mittaa saapuvan lietteen kiintoainepitoisuutta. Sitä nostamalla pyritään parantamaan kuivauksen hyötysuhdetta. Sakeutusta tehostetaan polymeerillä. Sitä ennen pitää tietää kuinka paljon kiintoainetta putkistossa liikkuu. Aiemmin tieto saatiin hitailla laboratoriomittauksilla. Mit-tarilla tehtävä jatkuva mittaus mahdollistaa polymeerin annostelun muutokset aina tarpeen vaa-tiessa esimerkiksi lietteen muuttuessa sakeammaksi. (Metso 2011b, 2.) Kuvasa 17 näkyy miten TS-mittauksia voidaan sijoittaa vedenpuhdistamolle. Kaukaalla mittauspiste on lietteenkuivaus, joka on merkitty kuvaan punaisella.



KUVA 17. TS-mittauksen sijoittamisvaihtoehtoja, Kaukaalla käytetty paikka merkitty punaisella (muokattu lähteestä Metso 2011b)

Kiintoainemittalaitteen lähetin (kuva 18) mittaa prosessiaineen läpi lähetettävän mikroaaltosignaalin etenemisnopeutta. Mitä enemmän kiintoainetta on sitä nopeammin signaali kulkee. Kulku-aika riippuu mitattavan aineen permittiivisyydestä, joka on orgaanisilla aineilla käytännössä vakio. Veden permittiivisyys eroaa orgaanisesta aineesta huomattavasti, joten erotuksesta voidaan laskea kiintoainepitoisuus. (Metso 2011b, 4.) Vedessä mikroaallot etenevät huomattavasti hitaammin kuin jäteaineessa. Metso TS mittaa kokonaiskiintoainepitoisuutta, joka tarkoittaa että, laite havaitsee paitsi nesteessä olevan kuiva-aineen, myös siihen liunneen kiintoaineen. Mittausmenetelmän etuja ovat väliaineriippumattomuus, epäherkkyys virtausnopeudelle ja yksipistekalibrointi. (Metso 2011a, 7.)



KUVA 18. Metson TS-mittaus, keskusyksikkö ja TS-anturiyksikkö (Metso 2011b)

### **TS-mittauksen edut verrattuna muihin kiintoainemittauksiin**

- nopea ja helppo käyttöönotto- yksipistekalibrointi
- ei liikkuvia osia, käytännössä huoltovapaa
- ei tukkeentumisriskiä
- pienet epäpuhtaudet antennien pinnassa eivät vaikuta merkittävästi mittaustulokseen
- vähentää laboratorioanalyysien määrää.

### **Metso TS-mittauksen tekniset tiedot**

- mittausalue: 0...35 TS %
- herkkyys: 0.001 TS %
- toistettavuus: 0.01 TS %
- paineluokka: PN16 / PN100
- putkikoot DN50,100,150,200,250,300
- huoltovapaa ja luotettava mittaus

(Metso 2011b, 5.)

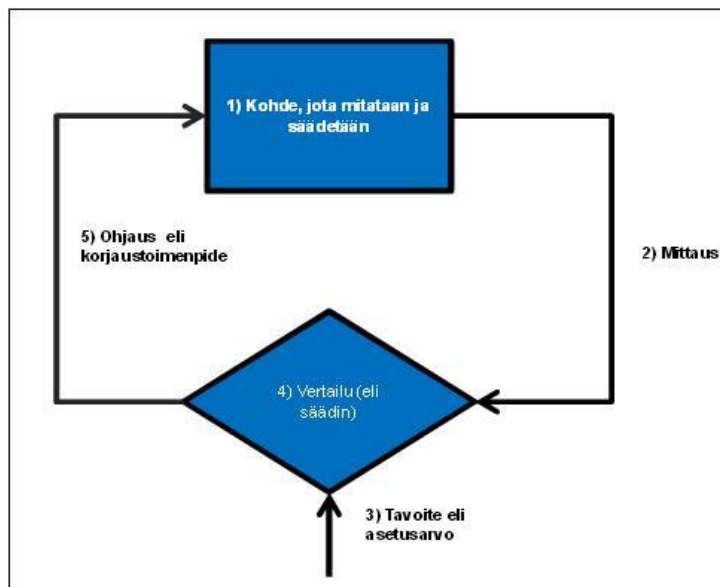
Vesitalous-lehdessä (3/2006) julkaistussa Harisen artikkelissa esitellään kuivaukseen tulevan lietteen kiintoainemittauksella saatavia säästöjä. Harinen kirjoittaa, että työskennellessä ilman mittausta polymeerin syöttö tapahtuisi arvioidun lietteen keskimääräisen sakeuden perusteella. Metso TS-mittalaitteet antavat mahdollisuuden polymeeriliuoksen oikeanlaiseen syöttöön, silloin kun kuivattavan lietteen kiintoainepitoisuus on tiedossa. Tässä voidaan saada säästöjä energiankäytöstä sekä huoltotoimenpiteistä, kun koneiden turhaa kuormitusta saadaan vähennettyä.

## 6 POLYMEERIN SYÖTÖN SÄÄTÄMINEN LIETTEEN KUIVAUKSESSA

### 6.1 Säätäminen

Automaation tarkoituksena on ohjata toimintaa prosessissa niin, että se olisi mahdollisimman taloudellista, turvallista ja ympäristöystävällistä ja että tuotteiden laatu olisi korkeatasoinen. Tämän lisäksi prosessiautomaation tulee antaa riittävästi tietoa prosessin toiminnasta ja tilasta prosessia valvovalle henkilöstölle. (Pihkala 2004, 9.)

Säätämällä tarkoitetaan yleensä automaattista korjaavaa ohjaustoimintaa. Säätöpiiri koostuu osista joita ovat mitattava kohde, mittaus, asetusarvo, vertailu ja ohjaus (kuva 19). Nämä osat toistuvat jokaisessa säätöpiirissä, jotta se olisi toimiva. Hyvä säätöpiiri reagoi nopeasti muutoksiin ja muutoksissa ylimenot ovat pieniä. Säädön tarkoituksena on poistaa häiriö, eli mittaus pidetään halutussa asetusarvossa. Normaalisti häiriöt ovat syöttö- tai kuormitushäiriöitä, mutta kaikki tapahtumat, jotka eroavat asetusarvosta luokitellaan häiriöiksi. Niinpä asetusarvon muutokin on häiriö. (Frondelius 2006.)



KUVA 19. Säätöpiiri (Räsänen 2010)

Kaikki teolliset prosessit tarvitsevat säätöä ja ohjausta vähintään jonkin verran. Säätö voi olla eri tapahtumissa erilaista. Se voi olla prosessin käyttäjän tekemiä manuaalisia korjaustoimenpiteitä tai se voi olla automaattista säätimen tekemää säätöä. Ohjauksen tarkoituksena on, että järjestelmälle lähetetään ennalta määrätty ohjaussignaali siten, että tiedossa ei ole prosessin todellista arvoa. Automaattinen säätö tarkoittaa sitä, että ohjaussignaali perustuu prosessimitauksesta saatuun informaatioon. (Hietanen 2009.)

Minkään olemassa olevan prosessin säätäminen ei ole mahdollista suorittaaan tarkemmin kuin miten sen tilaa pystytään mittaamaan. Tämän takia mahdollisimman tarkka mittaaminen on

olennaista prosessinhallinnassa. (Aumala 2006, 23; 157.) Säädettyä suuretta mitataan (olovero) ja mittausviesti kytketään takaisin säätimelle, missä sitä vertaillaan käyttäjän tai jonkin muun säätimen ilmoittamaan asetusarvoon. Säädin laskee eroosuureen perusteella tarvittavan ohjauksen prosessin toimilaitteelle. Todellisissa järjestelmissä esiintyy yleensä myös häiriöitä esim. mittauskohinaa ja kuormitushäiriöitä. (Hietanen 2009.)

Nykyään säätötekniikan tehtävät hoidetaan usein keskitetysti prosessinohjausjärjestelmän avulla. Haluttaessa automaatiojärjestelmä hoitaa itsenäisesti sille annetut tehtävät ja pitää käyttökäytön ajantasalla prosessitapahtumista eri keinoin. Toimintatapoja voivat olla hälytykset, ilmoitukset ja/tai raportit. Automaatiojärjestelmän tehtäviin kuuluu kerätä ja käsitellä prosessista sekä toimilaitteilta saadut erilaiset mittaus- ja tilatiedot, valvoa ja ohjata prosessia, hoitaa luku- ja kirjoitukset, sekvenssiohjaukset sekä reseptiohjaukset. Järjestelmän tehtäviin kuuluu myös kerätä datahistoriaa ja näyttää sitä erilaisilla trendinäytöillä, toimia valvomotilan laitteiden tukena ja hoitaa raportointia. (Hietanen 2009.)

## 6.2 Virtausperustainen vs. massaperustainen polymeerisyöttö

Virtausperustaisessa polymeerisyötössä kemikaalin annostelu perustuu pumpattaviin tilavuusmääriin (l/min), kun taas massaperustaisessa syötössä polymeeriä annostellaan tulevan kiintoainemassan mukaisesti (kg/t). Massaperustaisessa polymeerisyötössä kiintoaineen määrä lasketaan lietteen sakeuden (%) perusteella. Tämän menetelmän tulisi parantaa kuivaustulosta, koska jälkimmäisessä tavassa polymeeriä syötetään juuri se määrä mikä tarvitaan kuivaamaan parhaiten kyseessä oleva määrä lietettä. Lisäksi massaperustaisessa annostelussa kemikaalin annostelu tasaantuu, eikä syöttömäärissä ole niin suuria ääriarvoja kuin virtausperustaisessa.

Molemmissa polymeerin syöttötavoissa tulisi ottaa huomioon tulevan lietteen laatu ja koostumus, koska primäärivoittoisen lietteen kuivaukseen riittää hieman pienempi määrä polymeeriä kuin biolietepitoisemman kuivaukseen.

## 7 LÄHTÖKOHDAT LIETTEEN KUIVAUKSEN KEHITTÄMISELLE

Opinnäytetyön lähtökohtana oli olemassa olevan kuivaustilanteen parantaminen. Kuivaustulos on aiempina vuosina ollut kohtuullinen, mutta tilannetta haluttiin parantaa. Parempi kuivaustulos helpottaa aina lietteen väliaikaissijoitusta, mikäli sitä ei pystytä polttamaan. Myös lietteen poltto on helpommin toteutettavissa, kun liete on mahdollisimman kuivaa. Kosteaa liete jää helposti kiinni kuljettimiin ja aiheuttaa tukkeumia linjoilla polttoon mennessä. Tämä taas pysäyttää prosessin.

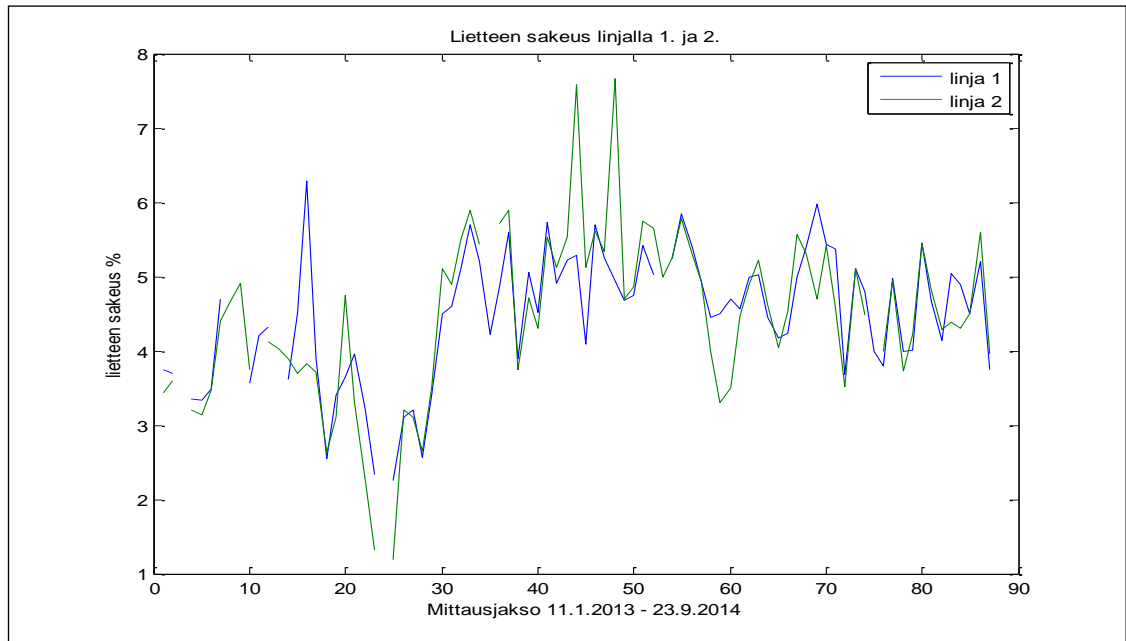
Opinnäytetyön kokeita suunniteltaessa tutkittavana aineistona käytettiin vertailutietona lietteenkuivauksen vuoden 2013 ja 2014 tuloksia. Tämä materiaali on yrityksen omaa tietoa, eikä sitä kokonaisuudessaan esitetä. Arvot on laskettu tallennetusta datasta, joka sisältää mittauksia ja laboratorioanalyysien tuloksia. Aiempien vuosien tuloksissa on otettu huomioon koko vuoden aikana kerätyt tulokset. Vuoden 2015 luvut perustuvat tammi- ja helmikuun mittaustuloksiin. Mittauksia on tehty keskimäärin 4 - 5 kertaa kuukaudessa. Taulukosta 6 näkyy lietteen sakeuden ja kuivatun lietteen keskiarvot, vaihteluvälit (minimi-maksimi) ja tulosten keskihajonta.

TAULUKKO 6. Lietteekuivauksen taso edeltävinä vuosina

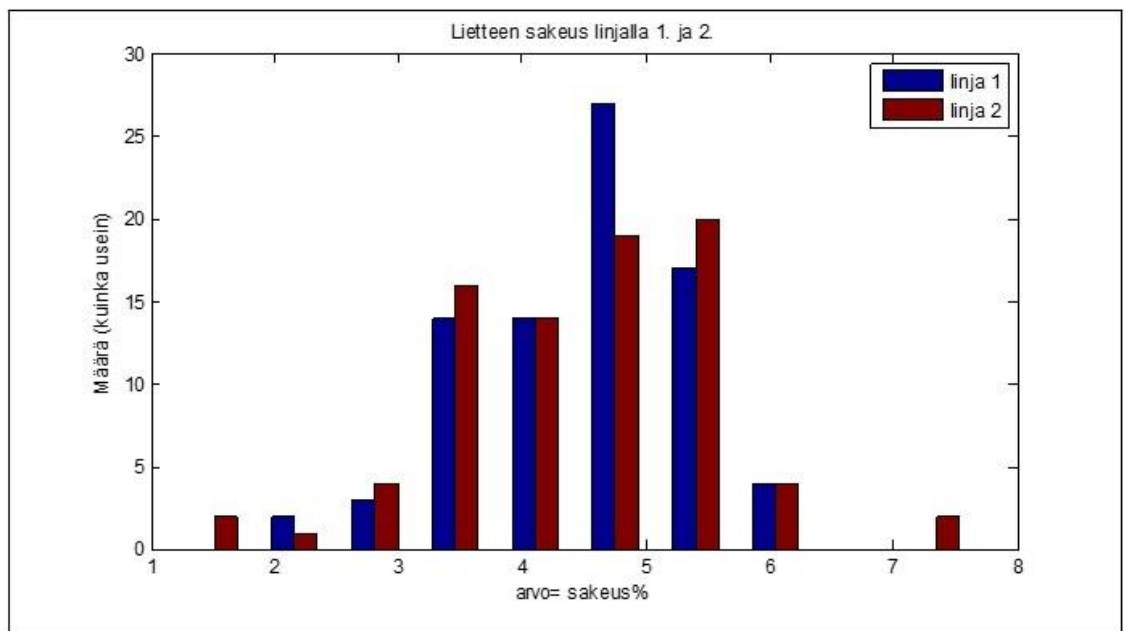
|                     | Lietteen sakeus %, linja 1. | Ruuvi 1, kuivattu % | Lietteen sakeus %, linja 2. | Ruuvi 2, kuivattu % |
|---------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|
| <b>Keskiarvo</b>    |                             |                     |                             |                     |
| 2013                | 4,3                         | 28                  | 4,4                         | 27                  |
| 2014                | 4,7                         | 27                  | 4,5                         | 25                  |
| 2015, ennen koeajoa | 4,2                         | 27                  | 4,0                         | 25                  |
| <b>Minimi</b>       | Lietteen sakeus %, linja 1. | Ruuvi 1, kuivattu % | Lietteen sakeus %, linja 2  | Ruuvi 2, kuivattu % |
| 2013                | 2,3                         | 15                  | 1,2                         | 13                  |
| 2014                | 3,2                         | 17                  | 3,3                         | 10                  |
| 2015, ennen koeajoa | 2,8                         | 17                  | 3,1                         | 17                  |
| <b>Maksimi</b>      | Lietteen sakeus %, linja 1. | Ruuvi 1, kuivattu % | Lietteen sakeus %, linja 2  | Ruuvi 2, kuivattu % |
| 2013                | 6,3                         | 42                  | 7,7                         | 47                  |
| 2014                | 6,7                         | 46                  | 5,6                         | 37                  |
| 2015, ennen koeajoa | 4,8                         | 43                  | 4,7                         | 35                  |
| <b>Keskihajonta</b> | Lietteen sakeus %, linja 1. | Ruuvi 1, kuivattu % | Lietteen sakeus %, linja 2  | Ruuvi 2, kuivattu % |
| 2013                | 1,0                         | 6                   | 1,3                         | 7                   |
| 2014                | 0,7                         | 6                   | 0,7                         | 6                   |
| 2015, ennen koeajoa | 0,6                         | 8                   | 0,4                         | 5                   |

Kaiken kaikkiaan lietteen sakeuden keskiarvo (%) on pysynyt melko tasaisena eri vuosina. Minimiarvoissa on ollut jonkin verran vaihtelua. Maksimiarvo näyttäisi laskevan vuoden 2015 aikana, jos alkuvuoden taso säilyy. Kuvassa 20 sakeudesta on esitetty aikasarja vuosilta 2013 -

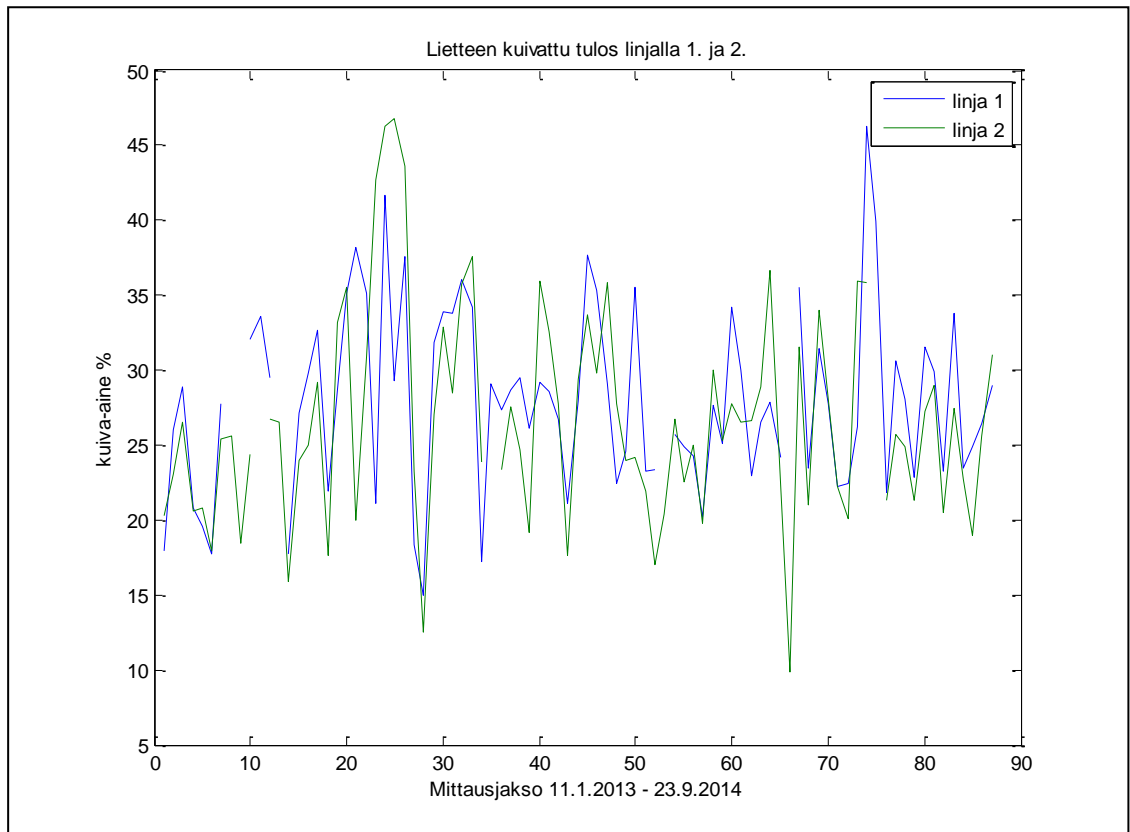
2014. Linjat toimivat melko tasaisesti verrattuna toisiinsa, koska kovin suuria eroja sakeudessa ei ole 1. ja 2. linjan välillä. Useimmiten sakeus on ollut 1. linjalla 4,5 % ja 2. linjalla 5,5 % (kuva 21). Pääosin kuivaustulos on ollut samaa tasoa molemmilla linjoilla, jostaikin vaihteluita lukuun ottamatta (kuva 22).



KUVA 20. Lietteen sakeus (%) ennen kokeita



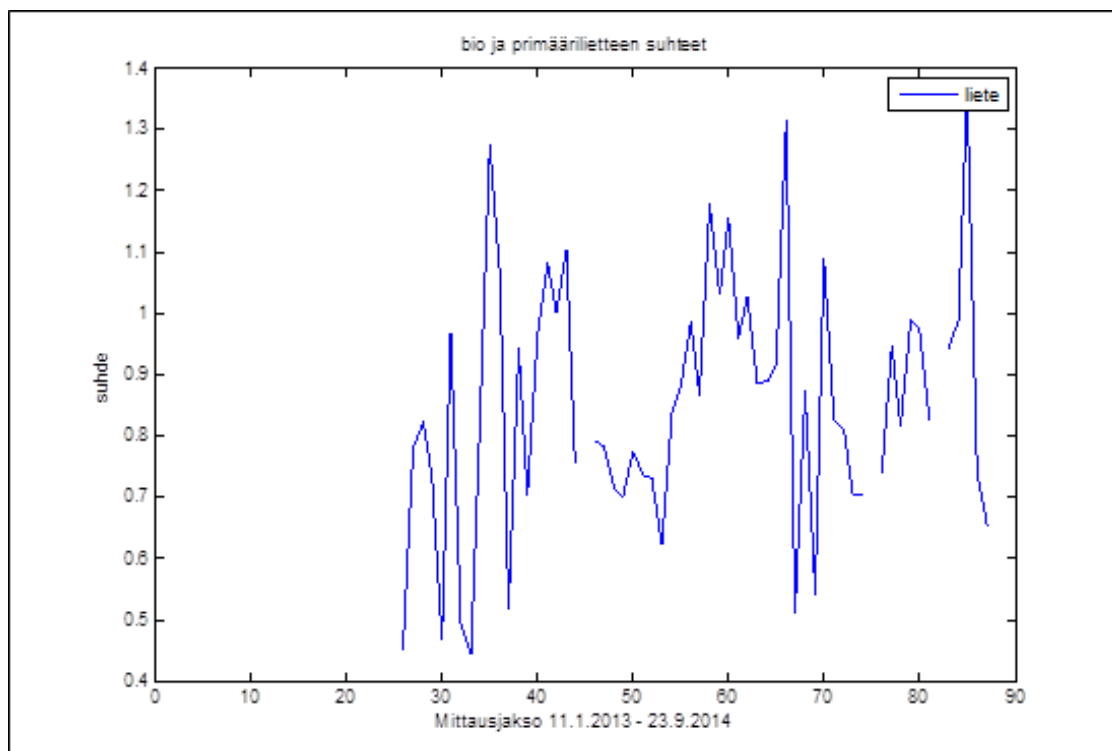
KUVA 21. Sakeuden jakaumat ennen kokeita



KUVA 22. Lietteen kuivaustulos linjoilla 1. ja 2. ennen koeajoja

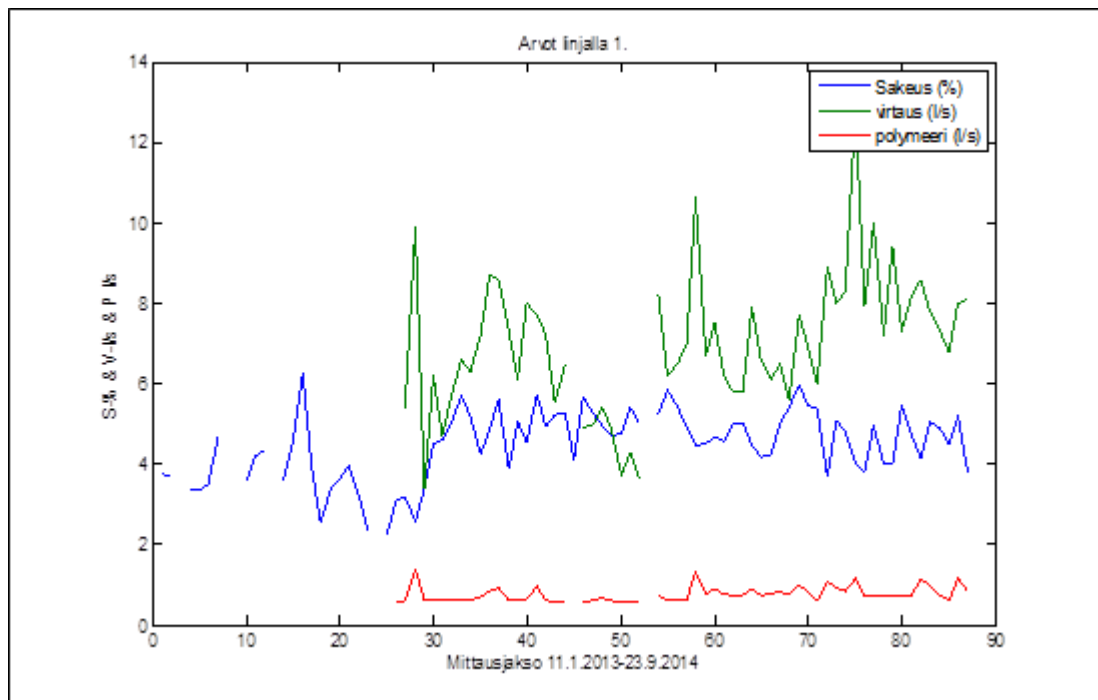
Koko vuoden kuivaustulos on ollut laitoksella keskimäärin noin 25 - 28 % ennen kokeiden aloittamista. Heikoimmillaan tulos on ollut 10 % ja parhaimmillaan 47 % (taulukko 6). Nämä tiedot edustavat kuivaustuloksessa aivan äärituloksia, koska 10 %:n kuivaustulos ei juuri kuivata lietettä. Seoslietteen suhde on pyritty pitämään yleensä lähellä 50/50 säätöä. Tehtaan tilanteesta riippuen osuudet ovat voineet vaihdella (kuva 23).





KUVA 23. Seoslietteen lietesuhteet, arvon ollessa 1 molempia lietteitä on yhtä paljon ja alle 1 primääriä on enemmän.

Aiemmin, ennen kokeita lietteen kuivaukseen käytettyä polymeeriä on annosteltu lietteen virtaussuhteen mukaan. Kuvasta 24 näkyy miten polymeerin virtaus on reagoanut lietteen virtauksen muutoksiin. Virtaukseen tullessa piikkejä, ei polymeerin virtaus ole aina seurannut sitä yhtä voimakkaasti tai samassa rytmissä. Lähtökohtana kokeille on testata eri säätötapojen vaikutusta kuivaukseen. Ennen kokeiden aloittamista säätöä muutetaan siten, että polymeeriä voidaan annostella massaperustaisesti. Tämä massaperustainen säätötapa toteutetaan kuivauksen 1. linjalla. Virtaussuhteen mukaan annosteltuna polymeerimäärät ovat olleet Taulukon 7 mukaiset muutettuna kg/t kuiva-ainetta kohti. Vuonna 2014 polymeeriä on annosteltu 1,3 - 5,2 (1. ruuvi) ja 1,1 - 5,3 (2. ruuvi) kg/t riippuen tarkasteltavasta ruuvista. Keskimäärin polymeeriä on käytetty lietteen kuivauksessa 2,9 kg/t.



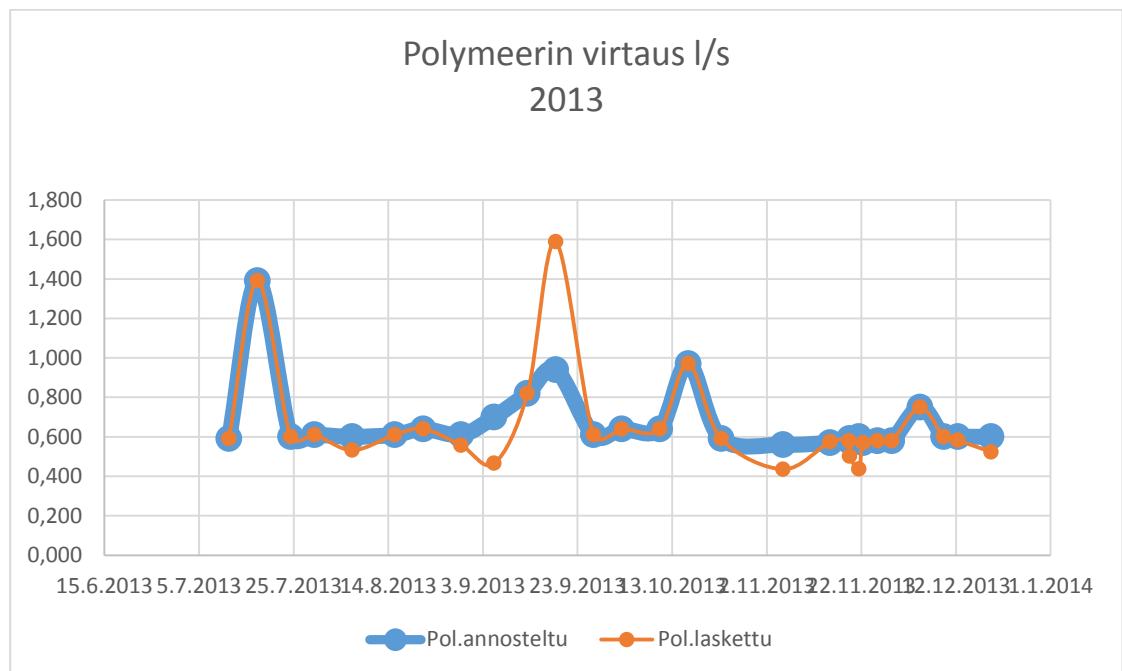
KUVA 24. Virtaamatietoja 1. linjalta ennen koeajoa

TAULUKKO 7. Lietteekuivaukseen annostellut polymeerimäärät edeltävinä vuosina

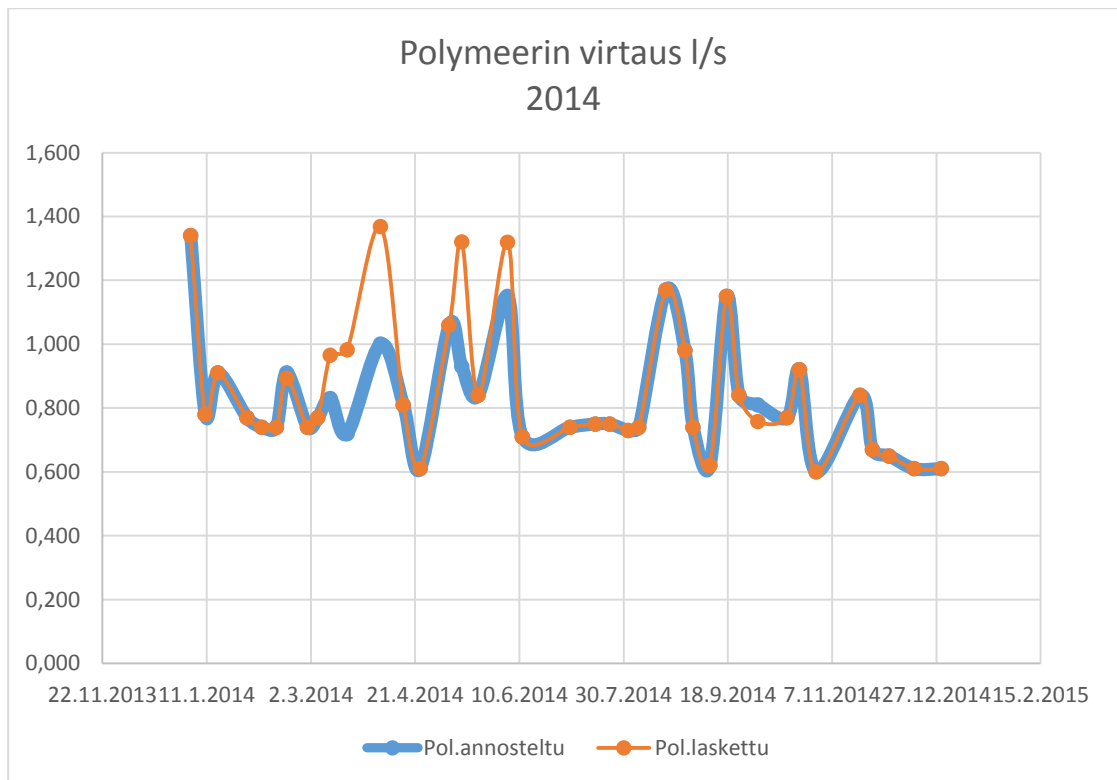
|                     | Lietteen sakeus %, linja 1. | Lietteen sakeus %, linja 2. | Polymeeri annos ruuvi 1. kg/t | Polymeeri annos ruuvi 2. kg/t |
|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>Keskiarvot</b>   |                             |                             |                               |                               |
| 2013                | 4,3                         | 4,4                         | 2,6                           | 2,3                           |
| 2014                | 4,7                         | 4,5                         | 2,7                           | 3,0                           |
| 2015, ennen koeajoa | 4,2                         | 4,0                         | 3,3                           | 3,6                           |
| <b>Minimi</b>       | Lietteen sakeus %, linja 1. | Lietteen sakeus %, linja 2. | Polymeeri annos ruuvi 1. kg/t | Polymeeri annos ruuvi 2. kg/t |
| 2013                | 2,3                         | 1,2                         | 1,5                           | 1,1                           |
| 2014                | 3,2                         | 3,3                         | 1,3                           | 1,8                           |
| 2015, ennen koeajoa | 2,8                         | 3,1                         | 2,4                           | 2,6                           |
| <b>maksimi</b>      | Lietteen sakeus %, linja 1. | Lietteen sakeus %, linja 2. | Polymeeri annos ruuvi 1. kg/t | Polymeeri annos ruuvi 2. kg/t |
| 2013                | 6,3                         | 7,7                         | 5,2                           | 4,8                           |
| 2014                | 6,7                         | 5,6                         | 4,6                           | 5,3                           |
| 2015, ennen koeajoa | 4,8                         | 4,7                         | 4,5                           | 5,2                           |
| <b>Keskihajonta</b> | Lietteen sakeus %, linja 1. | Lietteen sakeus %, linja 2. | Polymeeri annos ruuvi 1. kg/t | Polymeeri annos ruuvi 2. kg/t |
| 2013                | 1,0                         | 1,3                         | 0,9                           | 0,7                           |
| 2014                | 0,7                         | 0,7                         | 0,7                           | 0,7                           |
| 2015, ennen koeajoa | 0,6                         | 0,4                         | 0,6                           | 0,8                           |

Lietteekuivauksesta oli tallennettu dataa Excel-tiedostoon, tämä dataa pystyttiin siirtämään Matlab- ohjelmaan ja tarkastelmaan tietoja siellä. Aiemmasta tilanteesta tallennettua dataa tar-

kastellessa siitä ei löytynyt mitään yksittäistä seikkaa tai korrelaatiota, joiden perusteella lietteen kuivaustulos olisi havaittu saatavan erityisen hyvin onnistuneeksi aiempina vuosina. Datasta tarkasteltiin sakeuden ja polymeerimäärän korrelaatiota, sakeuden ja kuivauksen lopputuloksen korrelaatiota ja polymeerin käytön ja kuivaustuloksen korrelaatiota. Ainoa löydetty selvä korrelaatio oli virtauksen ja polymeerin korreloiminen. Tarkastellut Korrelaatiot ovat liitteessä 1. Datasta tarkasteltiin myös polymeerin virtausmääriä ennen koeajon aloitusta ja tehtiin laskentaa miten annostelua olisi voinut toteuttaa massaperustaisesti. Kuvioista 1 ja 2 näkyy kuinka käytetty polymeerin määrää olisi voinut olla suurempi tai pienempi joillakin ajanjaksoilla. Datasta laskettiin lietteen sakeuden ja virtaamien perusteella, mikä polymeerin määrä olisi ollut massaperustaisella annostelulla. Virtausmäärään perustuva annostelu ei aina muuttunut riittävästi, koska se reagoi vain virtausmäärään, ei lietteen sakeuden muutoksiin. Kuivaustulos olisi voinut olla näissä mittauspisteissä parempi, jos säädön korjaus olisi ollut nopeampi tai suurempi. Tämä olisi massaperustaisella säädöllä ollut toteutettavissa.



KUVIO 1. Polymeerin virtaus (l/s) ruuvilla 1. vuonna 2013



KUVIO 2. Polymeerin virtaus (l/s) ruuvilla 1. vuonna 2014

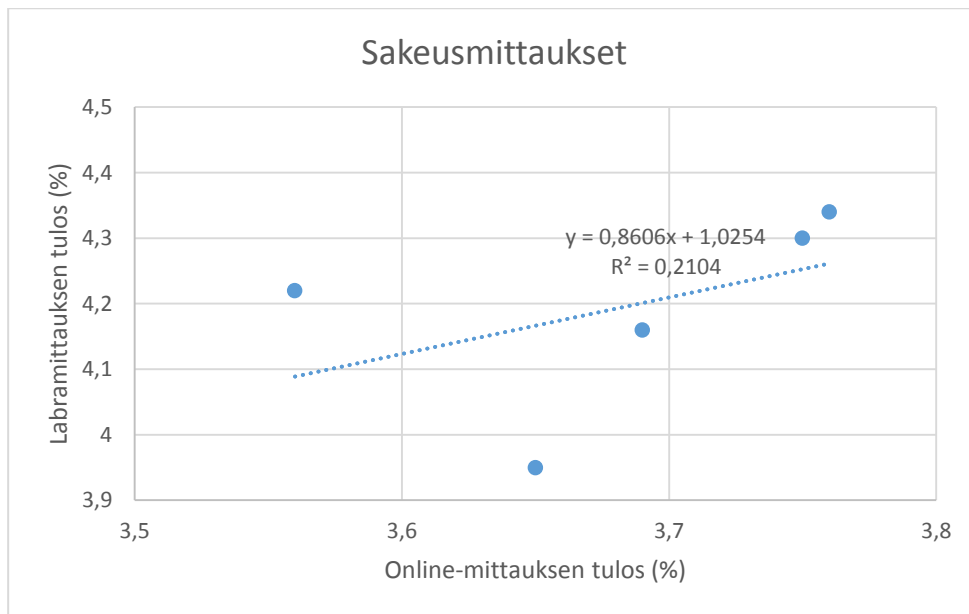
## 8 TEHDASKOEAJOT

### 8.1 TS-mittauksen testaus

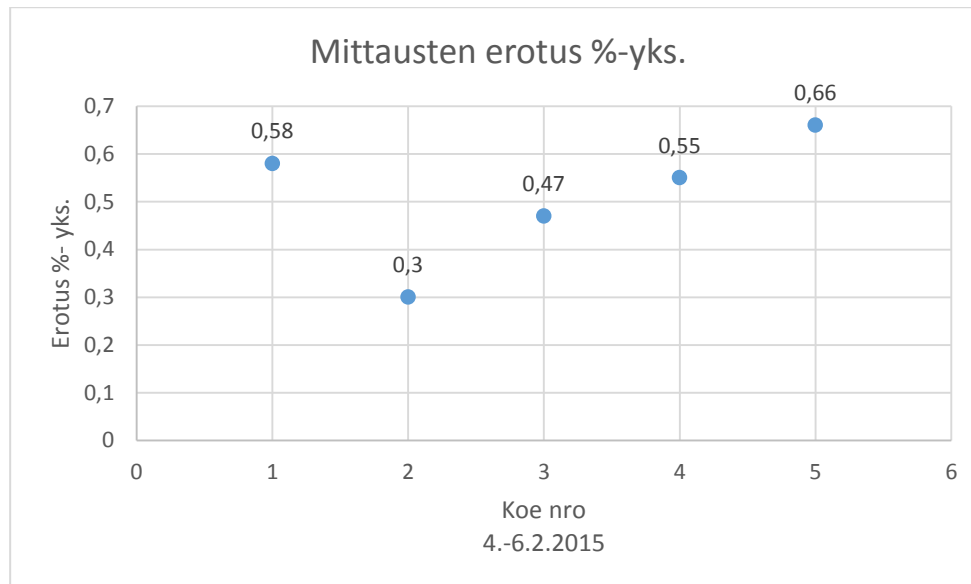
Opinnäytetyöhön liittyvät kokeet aloitettiin testaamalla laitteistoon asennettua Metson TS-mittausta (kuva 24). TS-mittaus on sijoitettu sekoitussäiliöstä 1. ruuville tulevaan putkilinjaan. Nämä TS-mittauksen testaukset tehtiin 4 - 6.2.2015 UPM:n Tutkimuskeskuksen laboratoriossa. Testeissä otettiin lietenäytteitä kuivauslinjasta ennen flokkausta. Näistä näytteistä mitattiin lietteen sakeusprosentti Tutkimuskeskuksen laboratoriossa ja sitä verrattiin arvoon, joka näkyi online-mittauksessa. Laboratoriossa sakeutta mitattiin yrityksen oman massan sakeus-työohjeen mukaisesti. Tämä menetelmä perustuu ISO 4119:1995(E) standardiin muutamien poikkeuksin. Mittauksia tehtiin viidesti. Mittaustulokset näkyvät kuviosta 3. Laboratoriomittauksissa havaittiin online-mittauksen olevan kunnossa. Laitteen lukeman ja laboratoriomittauksen välillä oli 0,51 % -yksikön erotus (kuvio 4). Tämä on sallitun rajoissa. Tämän perusteella laite todettiin luotettavaksi mittaamaan lietteen sakeuspitoisuutta.



KUVA 25. Metson TS-mittaus Kaukaalla (Elina Nousiainen 2015-3-13)



KUVIO 3. Sakeusmittausten tulokset



KUVIO 4. Online mittauksen ja Laboratoriomittaustulosten erotus

## 8.2 Yleistä lietteenkuivauskokeista

Varsinaisessa koeajossa ensisijainen tarkoitus oli verrata erilaisten säätötapojen toimivuutta ja keskinäistä paremmuutta. Koeajosarja tehtaalla sisälsi lietteenkuivausta eri polymeerimäärillä, jotta nähtäisiin toimiiko säätö ja jotta optimaalinen polymeerin käyttömäärä löytyisi. Koeajot suoritettiin tehdasmittakaavassa UPM:n Kaukaan puhdistamolla 9. - 13.3.2015. Uuden säätötavan testaukset suoritettiin lietteen kuivauksen 1. linjalla. Toisella (2. linjalla) kuivausta ajettiin entiseen tapaan, joten tätä voi käyttää vertailutietona tulosten analysointiin. Ennen kokeita ei tehty mitään erityisiä toimenpiteitä lietteen kuivauksessa, vaan toiminta oli pyritty pitämään mahdollisimman normaalina. Polymeerimäärän muutokset tulevat näkyviin hieman viiveellä, jo-

ten aina näytteenoton jälkeen tehtiin muutokset annosteluun. Näin seuraavaan koepisteeseen jäi riittävästi muutosaikaa, koska kaikki muutokset eivät näy välittömästi säädön muututtua. Kokeissa käytettiin polymeeriä, joka on normaalisti käytössä tehtaalla.

### 8.3 Kokeiden muuttujat

Säätötapojen vertailun lisäksi koeajojen tarkasteltavaksi muuttujiksi valittiin polymeerin määrä ja lietesuhde. Koetta suunniteltaessa päädyttiin siihen, että polymeerin syötön askel olisi +/- 0,5 kg/ t, joissain tapauksissa +/-1 kg/ t. Tällöin askel olisi riittävän suuri, jotta muutos tulisi esille, mutta ei kuitenkaan liian suuri jolloin prosessi voisi häiriintyä. Alla olevassa taulukossa 8 on koeajon muuttujien suunnitellut arvot polymeerin, lietesuhteen ja näytteenottoaikojen suhteen.

TAULUKKO 8. Koesarjan muuttujien suunnitellut arvot

| PVM          | näytteenotto | Polymeerin määrä                        |           | lietesuhde |
|--------------|--------------|---|-----------|------------|
| 5-6.3.2015   | 9.00         | käytössä oleva lähtötaso                | 3,0       | 0,8        |
| ma 9.3.2015  | 8.15         | käytössä oleva lähtötaso -0,5 kg/t      | 2,5       | 0,8        |
| ma 9.3.2015  | 15.00        | -0,5 kg/t edelliseen                    | 2,0       | 0,8        |
| ti 10.3.2015 | 8.15         | +2,0 kg/t edelliseen                    | 4,0       | 0,8        |
| ti 10.3.2015 | 15.00        | +0,5kg/t edelliseen                     | 4,5       | 0,8        |
| ke 11.3.2015 | 8.15         | -1,0 kg/t edelliseen                    | 3,5       | 0,8        |
| ke 11.3.2015 | 15.00        | -1,0 kg/t edelliseen                    | 2,5       | 0,8        |
| to 12.3.2015 | 8.15         | +0,5 edelliseen                         | 3,0       | 0,9        |
| to 12.3.2015 | 15.00        | + tai -0,5 edelliseen                   | 3,5 / 2,5 | 1,00       |
| pe 13.3.2015 | 8.15         | päätetään aiempien tulosten perusteella |           |            |
| pe 13.3.2015 | 14.00        | päätetään aiempien tulosten perusteella |           |            |

Suunnitellut arvot eivät täysin toteutuneet lietesuhteen testauksen, osalta vaan alussa suhdelu-ku oli 1,0 eli primäärilietteen ja biolietteen määrän suhde oli 50 % 50 % ja tehta-  
an tilanteesta johtuen primäärilietettä ajettiin loppuviikosta enemmän kuin biolietettä (taulukko 9). Suhdelu-  
vun ollessa 0,8 oli primääriä 55 %.

TAULUKKO 9. Kokeissa toteutuneet muuttujien arvot

| <b>pvm</b>   | <b>näytteenotto</b> | <b>polymeeri-määrä (kg/ t)</b> | <b>lietesuhde</b> |
|--------------|---------------------|--------------------------------|-------------------|
| ma 9.3.2015  | 7.40                | 2,5                            | 1,0               |
| ma 9.3.2015  | 14.00               | 2,0                            | 1,0               |
| ti 10.3.2015 | 8.15                | 4,0                            | 1,0               |
| ti 10.3.2015 | 14.00               | 4,5                            | 1,0               |
| ke 11.3.2015 | 8.35                | 3,5                            | 0,9               |
| ke 11.3.2015 | 14.00               | 2,5                            | 0,9               |
| to 12.3.2015 | 8.20                | 3,5                            | 0,8               |
| to 12.3.2015 | 14.45               | 3,0                            | 0,8               |
| pe 13.3.2015 | 8.40                | 2,5                            | 0,8               |
| pe 13.3.2015 | 12.45               | 3,0                            | 0,8               |

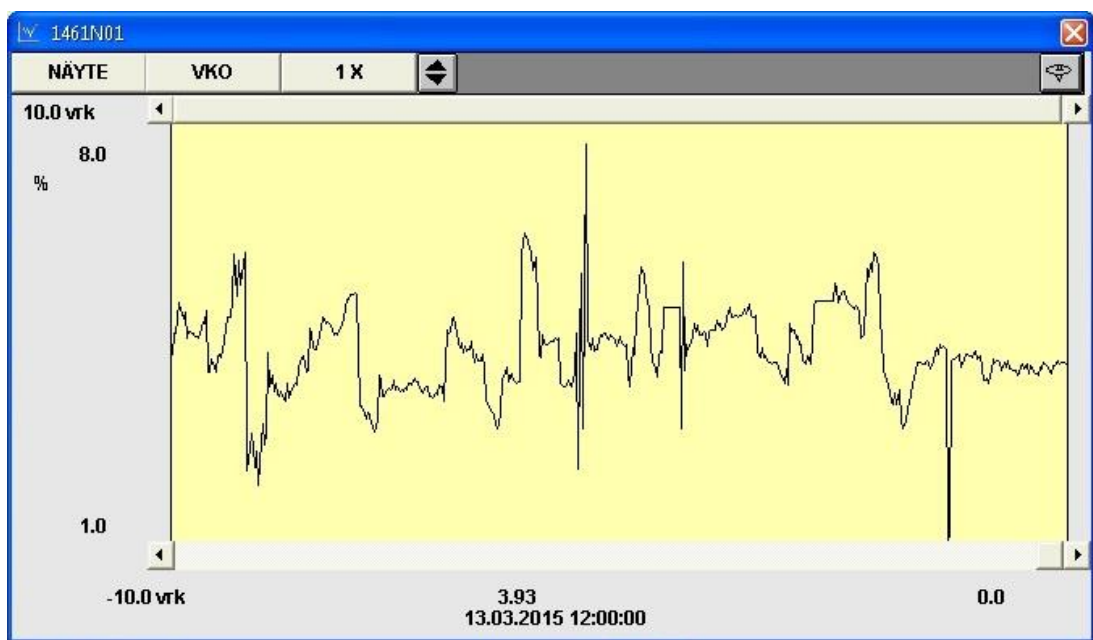
Osan mittauksista (9.3. 11.3. ja 13.3. aamujen mittaukset) suoritti laboratorio, jossa normaalistikin tehdään lietteen kuivauksen analyysit. Loput mittaukset suoritti opinnäytetyön tekijä Elina Nousiainen. Koeajoista otetut näytteet analysoitiin tutkimuskeskuksen laboratoriossa.



## 9 KOEAJON TULOKSET

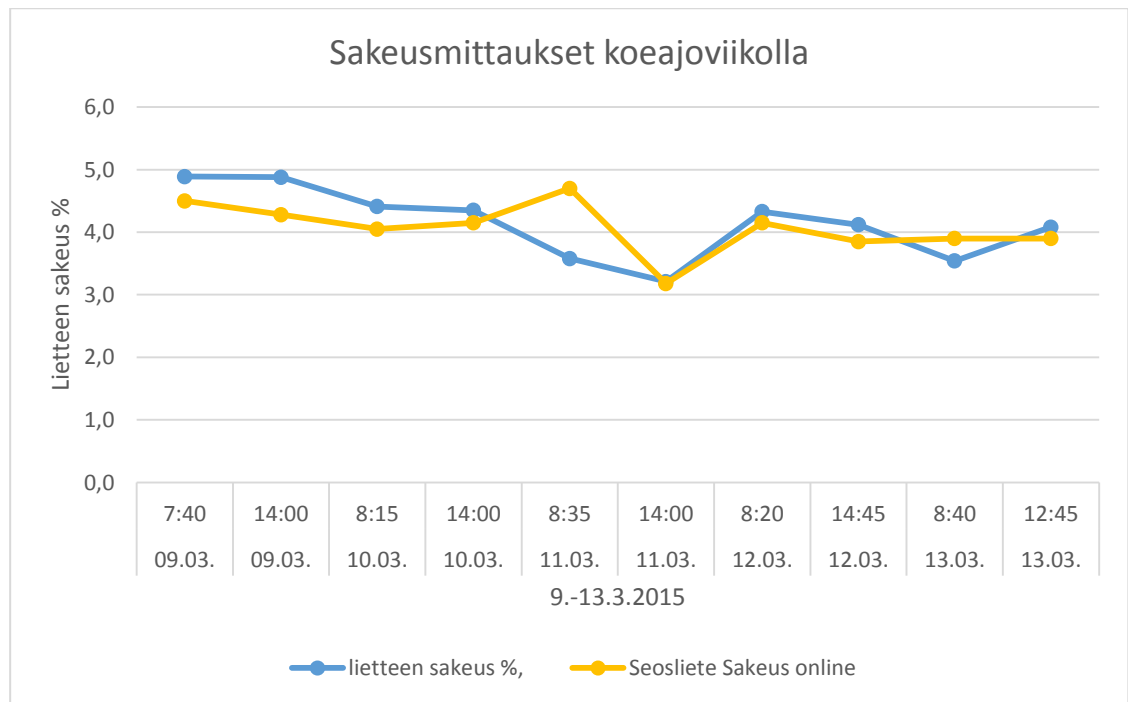
### 9.1 Lietteen sakeuden mittaus

Kuvan 26 kuvaajassa näkyy tulevan sekalietteen sakeuden online-mittaustulokset. Sakeusmittaus tapahtui 1. linjalla ennen flokkausta. Tuloksissa näkyy jonkin verran vaihtelua. Tämän käyrän aikasarja on koeajoviikolta ja edeltävältä viikolta (3. - 13.3.2015). Ajanjakson aikana on tapahtunut muutama suurempi vaihtelu ylä- ja ala-arvoissa. Tämän lisäksi on ollut pienempää vaihtelua ja sakeuden taso on vaihdellut sykleittäin. Tämä johtunee lietetyypin muutoksista tulevassa lietteessä. Pääsääntöisesti lietteen sakeuden taso on ollut online-mittauksen mukaan 3,5 – 4,0 %.



KUVA 26. Lietteen sakeus koeajoviikolla online-mittauksen mukaan

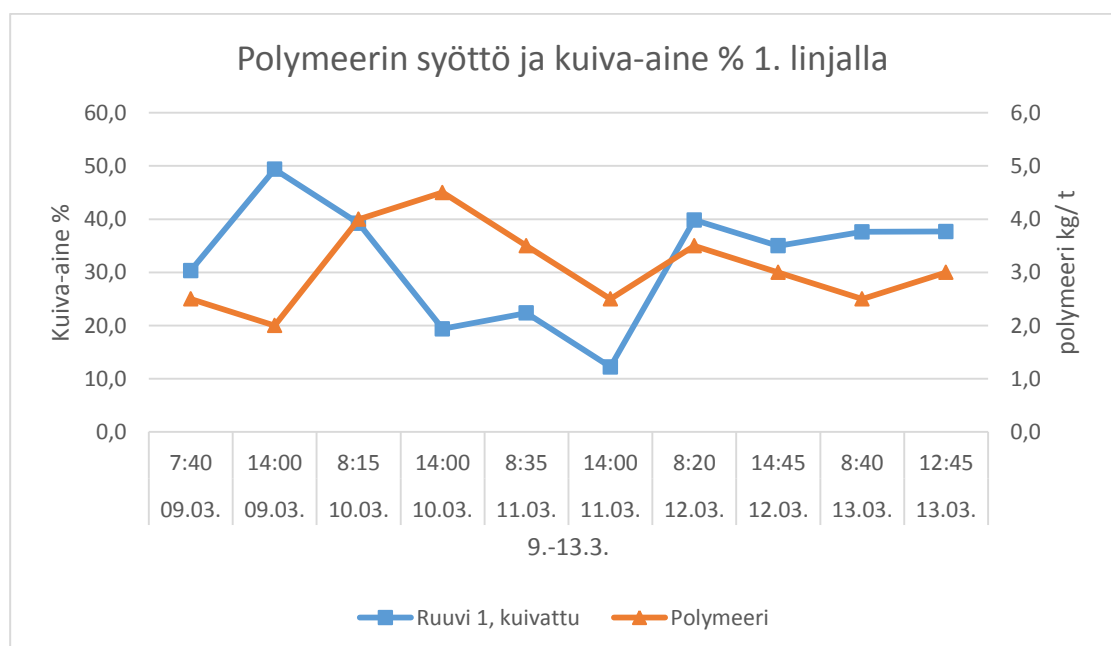
Online-mittauksesta ja laboratoriomittauksien tuloksista tehdyt sakeuden käyrät (kuvio 5) näyttävät, että molemmat mittaukset antavat melko lailla saman tuloksen. Mittausten arvot erosivat toisistaan keskimäärin 0,07 % vaihteluvälin ollessa 0,03 – 1,12 % -yksikköä. Koko koeajon ajanjaksona oli vain yksi mittauspiste (11.3. klo 8.35), jossa tulokset erosivat hieman enemmän toisistaan. Erotuksen ollessa 1,12 %.



KUVIO 5. Sakeusmittausten tulokset koeajoviikolla

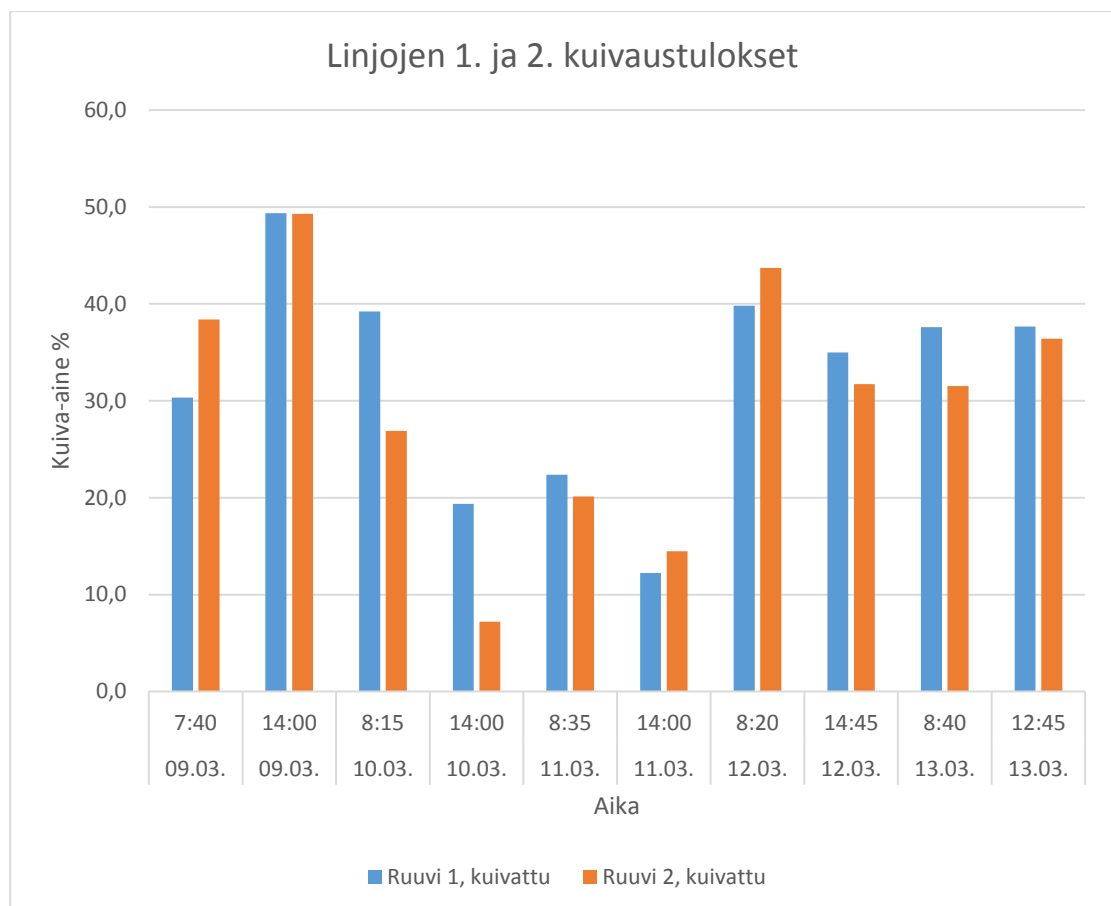
## 9.2 Säättötavan vaikutus kuiva-aineeseen

Tutkittaessa säättötavan vaikutusta kuiva-aineeseen huomattiin, että polymerin syöttömäärällä on selvästi merkitystä kuivauksen lopputulokseen. Varsinkin kolmantena päivänä kuivaustulos ei ollut halutun tasoinen, mutta loppuviikosta säätö näytti toimivan hyvinkin (kuvio 6). Massaperustainen säätäminen siis toimi, koska kuiva-aineen määrään tuli samansuuntaisia muutoksia. Uuden massaperusteisen säädön rakentaminen oli siis onnistunut.



KUVIO 6. Virtausperustainen polymerin syöttö ja kuivaustulos 1. linjalla

Säätötapoja keskenään vertailtaessa näkyy, että kuivaustulos oli parempi yli puolessa näytteitä 1. linjalla kuin 2. linjalla. Linjaa 1. ohjattiin massaperustaisesti. Ero vaihteli todella pienestä melko suureen, vaihteluvälin ollessa 0,1 - 12,3 % -yksikköä. Kuviosta 7 näkyy millaisia kuivaustuloksia linjoilla saavutettiin koeajoviikon aikana. Ensimmäisenä päivänä (9.3.) saavutettiin viikon paras kuiva-ainepitoisuus (mittaus 2.), vaikka polymeerin syöttö oli vähäisintä koeajolinjalla 1 (kuvio 6). Jotain kuitenkin tapahtui tämän jälkeen, koska sen jälkeen kuivaustulos lähti huomattavaan laskuun ja seuraava nousu tapahtui vasta 11.3. aamulla. Kokeiden alkaessa lietteen sakeus (%) oli suurimmillaan tasolla 4,9 %, jonka jälkeen se laski ja tasoittui loppuajaksi 3,5 - 4,3 %:iin (kuvio 5). Huonoin kuivaustulos tapahtui kokeen keskivaiheilla, jolloin liete tuli 2. ruuvista ulos lähes yhtä märkänä kuin mennessään sinne. Tällä ruuvilla ei kuitenkaan ajettu koe-sarjoja. Kuivaustulokset tasoittuivat huomattavasti loppuviikosta, jolloin molempien ruuvien kuivaustulos oli samaa tasoa. Linjalla 1. saatiin kuitenkin viimeisissä koepisteissä noin 1,5 - 6 % parempi tulos. Kuivaustulokset olivat koeviikon aikana keskimäärin 30 - 32 % (taulukko 10). Taulukosta näkyy myös, että keskiarvotulokset olivat molemmilla ruuveilla paremmat kuin aiempiin vuosiin perustuvat vertailuarvot.

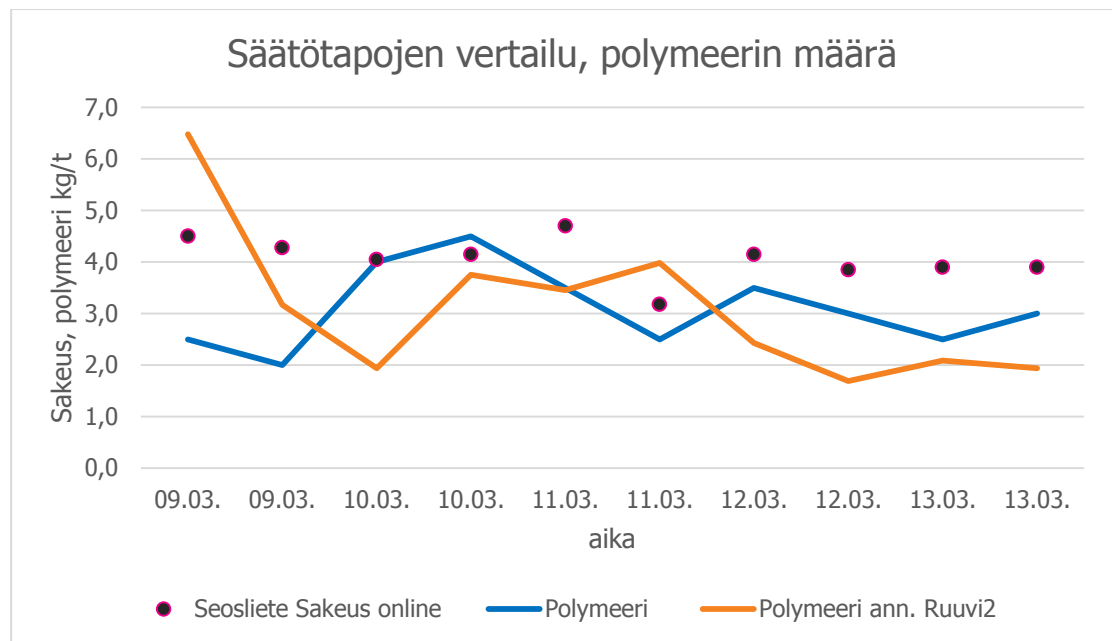


KUVIO 7. Linjojen 1. ja 2. kuiva-ainepitoisuus lietekakussa

TAULUKKO 10. Lietteen kuivauksen keskiarvot

| keskiarvot                  | lietteen sakeus %, linja 1. | Ruuvi 1, kuivattu % | lietteen sakeus %, linja 2. | Ruuvi 2, kuivattu % |
|-----------------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|
| 2013                        | 4,3                         | 28                  | 4,4                         | 27                  |
| 2014                        | 4,7                         | 27                  | 4,5                         | 25                  |
| 2015, ennen koeajoa         | 4,2                         | 27                  | 4,0                         | 25                  |
| <b>2015, koeajon aikana</b> | <b>4,1</b>                  | <b>32</b>           | <b>4,2</b>                  | <b>30</b>           |

Eri säätötapojen annostelemat polymeerimäärät ovat esitetty kuviossa 8. Kuviosta näkyy myös lietteen sakeus näissä koepisteissä. Voidaan huomata, että 1. linjalle määritellyt askeleet seuraavat jonkin verran lietteen sakeutta, mikä on ollut eduksi varsinkin loppuviikon kuivaustuloksessa. Polymeerimääristä nähdään myös, että massaperustaisesti annosteltu määrä on ollut tasaisempi ja suurempi viimeisissä koepisteissä. Näissä koepisteissä massaperustaista annostelua toteutettiin kuitenkin ennalta määritellysti eikä tasaisella optimimäärällä. Tämä on voinut edesauttaa tulosta.

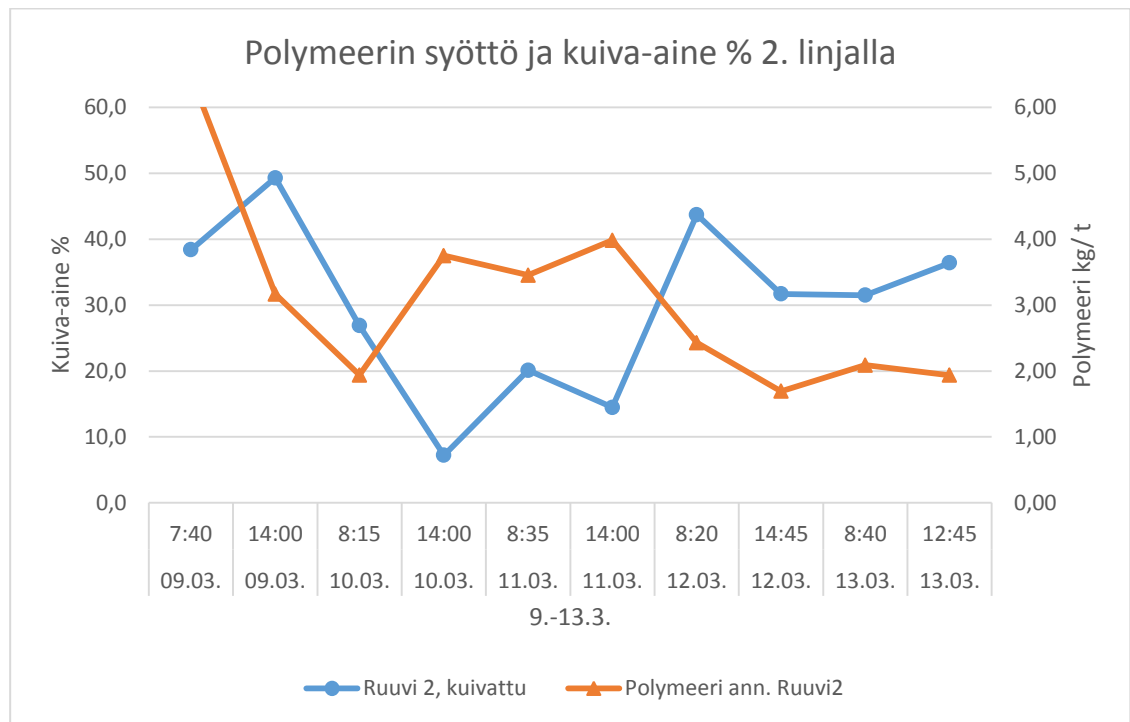


KUVIO 8. Eri säätötavoilla annosteltu polymeerin määrä

### 9.3 Polymeerimäärän vaikutus kuiva-aineeseen

Koeviikosta saadut tulokset polymeerin käytön suhteen osoittivat, että lietekakun kuiva-ainepitoisuudessa oli suuriakin vaihteluita koeviikon aikana. Polymeeriä annosteltiin 1. linjalla kokeisiin 2,0 - 4,5 kg/t (kuvio 6). Alkuviikon aikana kuivaustulos ja polymeerin käyttö eivät antaneet aina yhtenäisiä tuloksia. Keskiviikon jälkeen kuivaustulos oli kaiken kaikkiaan tasaisempi, ollen jokaisessa mittauksessa vähintään 31 % (kuvio 7). Linjalla 2. polymeeriä annosteltiin edelleen virtausperustaisesti. Tämän linjan kuivaustulostulos verrattuna polymeerin käyttöön näkyy

kuviosta 9. Siinä käytetty polymeerimäärä on muutettu laskennan avulla vastaamaan kg/t. Annostelun ollessa 1,7 – 5,2 kg/t. Virtaamaperustaisesti tapahtunut polymeerin annostelu vaihteli enemmän kuin massaperustaisesti annosteltu määrä.

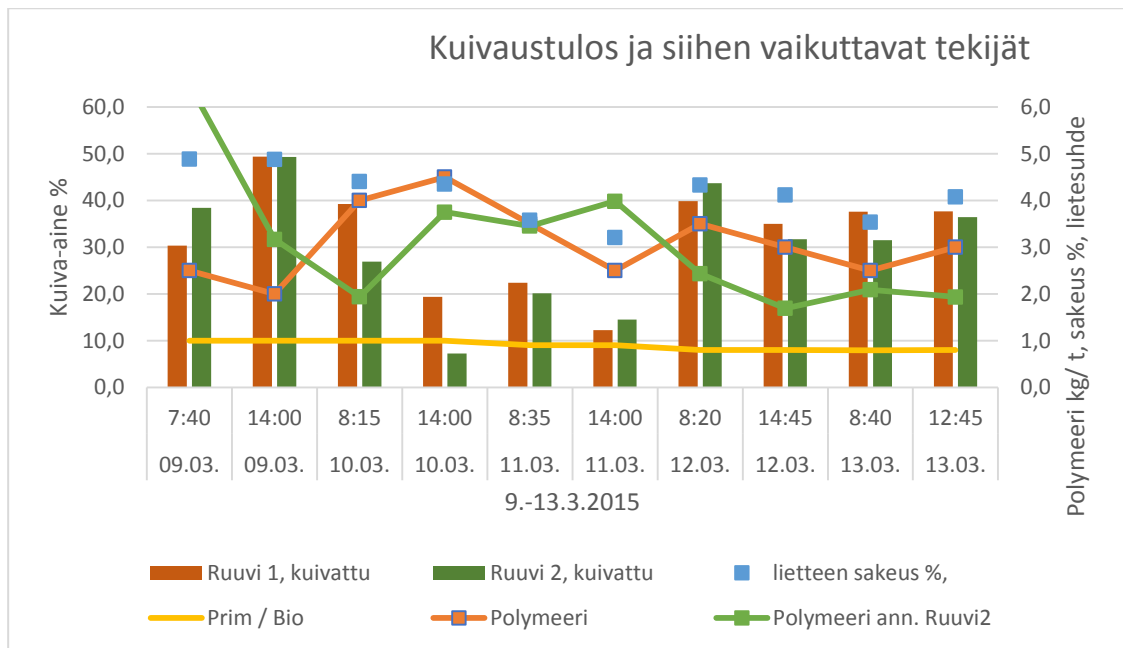


KUVIO 9. Massaperustainen polymeerin syöttö ja kuivaustulos 2. linjalla

Koeajon kaikkien tulosten minimi- ja maksimiarvot ja keskihajonnat löytyvät liitteestä 2.

Kuviossa 10 on esitetty molempien ruuvien kuivaustuloksien lisäksi kokeissa ollut lietesuhde, käytetyt polymeerimäärät ja lietteen sakeus. Kuivaustulos ylsi kaikissa muissa koepisteissä paitsi 10.3. iltapäivällä ja keskiviikon molemmissa koepisteissä haluttuun n. 30 %:n tasoon. Liete ei tullut kovinkaan kuivaksi siitä huolimatta, että polymeeriä annosteltiin tässä koepisteessä 3,5 - 4,5 kg/t. Lähes kaikissa kokeissa tulos oli kuivempi sillä ruuvilla, jolle oli annosteltu enemmän polymeeriä. Korkeimmat kuivaustulokset tulivat myös niillä pisteillä, joissa liete oli tiivistyksen jälkeen sakeinta. Tasaisimmat kuivaustulokset ruuvien suhteen tulivat, kun lietesuhde oli 0,8, eli primäärilietettä oli seoksessa enemmän. Linjalla 1. ajettiin kaksi polymeerimäärää useamman kerran: 2,5 kg/t kolmesti ja 3 kg/t kahdesti, jolloin 2,5 kg/t annos antoi jokaisella kerralla erilaisen kuivaustuloksen ja 3 kg/t jälkimmäisellä kerralla paremman tuloksen (kuvio 6). Muuta syytä kuin lietteenlaadun vaihtelu ei tähän löytynyt.

KUVIO 10 löytyy isompana liitteestä 3.



KUVIO 10. Kuivaustulos ja siihen vaikuttavat tekijät

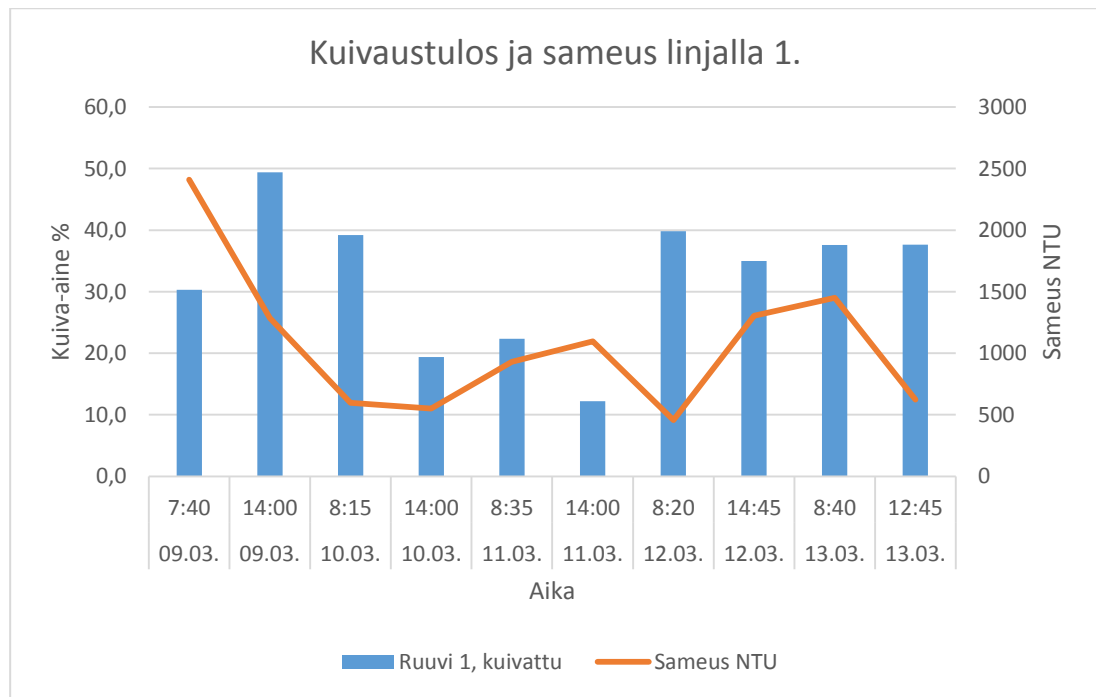
kuvassa 27 on valokuvattuna lietenäytteitä koepisteistä. Näytteet on säilötty tiiviisti pussissa, jotta lisäkuivumista ei tapahtuisi haihtumisesta. Ylärivissä on 1. ruuvin ja alarivissä on 2. ruuvin näytteitä. Näytteiden kuivuudessa on havaittavissa selviä eroja myös silmämääräisesti. Mitä harmaampi ja kovemman oloinen näyte, sitä kuivempi oli lopputulos. Vasemmassa reunassa olevat alkuviikon kuivat lietteet erottuvat selvästi 10.3. iltapäivän todella löysästä ja vetisestä näytteestä, joka on väritään kosteudesta johtuen mustempaa.



KUVA 27. Koeajon kuivattuja lietteitä aikajärjestyksessä, ylärivissä 1. ruuvi ja alarivissä 2. ruuvi (Elina Nousiainen 2015-3-13)

#### 9.4 Polymeerimäärän vaikutus lietteen sameuteen

Toinen tärkeä parametri kuivaustuloksen lisäksi on sameus, jonka tulokset koeajoviikolta ovat kuviossa 11. Sameutta (NTU) mitattiin kuivauksesta poistuvasta rejektivedestä. Mittaus tapahtui HACH 2100AN IS sameusmittarilla. Sameusmittauksen tulos laskettiin kolmen eri mittauksen keskiarvosta. Koeajon keskiarvotulos (taulukko 11) on selvästi alhaisempi kuin aiempien vuosien vastaava tulos. Koeajoviikon tuloksissa on kuitenkin suurta vaihtelua alkuviikon n. 2 500 loppuviikon n. 600 arvoon. Ennen koeajoa rejektiveden sameus on vuonna 2015 vaihdellut 611 - 3 060 NTU:n välillä. Koeajoviikolla sameuden tulokset olivat hyvin maltilliset. Kaikki tulokset lukuun ottamatta ensimmäistä jäivät alle 1 700 arvoon, eli ne alittivat aiempien vuosien keskiarvotulokset.



KUVIO 11. kuivaustulos ja sameus 1. linjalla

TAULUKKO 11. Sameusmittauksen tulokset

| keskiarvot                  | Sameus NTU     |
|-----------------------------|----------------|
|                             | R 1 suodosvesi |
| 2013                        | 1737           |
| 2014                        | 2321           |
| 2015, ennen koeajoa         | 1883           |
| <b>2015, koeajon aikana</b> | <b>1071</b>    |

## 9.5 Koeajon jälkeinen tilanne

Koeajon jälkeen päädyttiin säätämään polymeerin annostelu siten, että 1. linjalle menee mas-saperustaisesti 3,0 kg/t ja 2. linjalle virtausperustaisesti 3,5 kg/t. Nämä automaatioon säädetyt luvut eroavat hieman laskennallisista luvuista, jotka näkyvät datassa. Tilannekatsaus uudesta mallista tehtiin noin 5 viikkoa koeajon päättymisen jälkeen. Tulokset (taulukko 12) osoittavat, että kakun kuivaustulos oli 26 - 27 %. Se on alhaisempi kuin koeajoviikolla saatu tulos ja nou-dattelee alkuvuoden ja edeltävien vuosien tuloksia. Toisaalta lietteen sakeuskin on ollut keski-määrin alhaisempi, mutta tasaisempi. Alhaisin kuivaustulos on ollut 6 %, joka on tullut molem-milla linjoilla yhtä aikaa. Syy ei ole tiedossa, mutta jokin ongelma laitoksella on ilmeisesti ollut. Ilman tätä tulosta kuivauksen minimitulo on ollut 22 - 24 %, mikä huomattavasti korkeampi kuin aiemmin. Kuukausi on kuitenkin lyhyt aika tässä tapauksessa ja yksikin poikkeustilanne muuttaa tuloksia huomattavasti. Näytteenotto on laitoksen käyntiin nähden melko harvaa ja näyte kertoo vain sen hetkisestä tuloksesta. Paras kuivaustulos 1. linjalla koeajon jälkeen on ol-lut 47 % ja 2. linjalla 46 %. Polymeeriä menee laskennallisesti 2,7 - 3,3 kg/t, mikä on hieman alhaisempi määrä kuin koeajonaikana tai sitä ennen. Minimi annostelumäärä on noussut, mutta



maksimi määrä laskenut. Graafinen kuvio kuivauksen tuloksista alkuvuodesta 2015 löytyy liitteestä 4. Tästä kuviosta näkyy myös koeajon jälkeisen tilanteen tulokset.

TAULUKKO 12. Vuoden 2015 tulokset

|                       | Lietteen sakeus %, linja 1. | Lietteen sakeus %, linja 2. | Polymeeri annos Ruuvi 1. * kg/t | Polymeeri annos Ruuvi 2. * kg/t | Ruuvi 1, kuivattu % | Ruuvi 2, kuivattu % |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------|
| <b>keskiarvot</b>     |                             |                             |                                 |                                 |                     |                     |
| ennen koeajoa         | 4,2                         | 4,0                         | 3,3                             | 3,6                             | 27                  | 25                  |
| <b>koeajon aikana</b> | <b>4,1</b>                  | <b>4,2</b>                  | <b>3,0</b>                      | <b>3,1</b>                      | <b>32</b>           | <b>30</b>           |
| koeajon jälkeen       | 4,2                         | 3,6                         | 2,7                             | 3,3                             | 26                  | 27                  |
| <b>minimi</b>         |                             |                             |                                 |                                 |                     |                     |
| ennen koeajoa         | 2,8                         | 3,1                         | 2,4                             | 2,6                             | 17                  | 17                  |
| <b>koeajon aikana</b> | <b>3,2</b>                  | <b>3,2</b>                  | <b>2,0</b>                      | <b>1,7</b>                      | <b>12</b>           | <b>7</b>            |
| koeajon jälkeen       | 2,8                         | 3,1                         | 2,6                             | 2,8                             | 6                   | 6                   |
| <b>maksimi</b>        |                             |                             |                                 |                                 |                     |                     |
| ennen koeajoa         | 4,8                         | 4,7                         | 4,5                             | 5,2                             | 43                  | 35                  |
| <b>koeajon aikana</b> | <b>4,9</b>                  | <b>4,9</b>                  | <b>5,2</b>                      | <b>6,5</b>                      | <b>49</b>           | <b>49</b>           |
| koeajon jälkeen       | 4,4                         | 4,1                         | 2,9                             | 4,1                             | 47                  | 46                  |
| <b>keskihajonta</b>   |                             |                             |                                 |                                 |                     |                     |
| ennen koeajoa         | 0,6                         | 0,4                         | 0,6                             | 0,8                             | 8                   | 5                   |
| <b>koeajon aikana</b> | <b>0,5</b>                  | <b>0,5</b>                  | <b>1,0</b>                      | <b>1,4</b>                      | <b>11</b>           | <b>12</b>           |
| koeajon jälkeen       | 0,6                         | 0,4                         | 0,1                             | 0,5                             | 13                  | 13                  |

Sameuden suhteen tilanne on, että keskiarvo tulos on noussut koeajojen jälkeen (taulukko 13). Tämä tulos on korkeampi kuin alkuvuoden, mutta samaa tasoa kuin edeltävien vuosien tulokset. Samoin miniarvo ja maksimi arvot ovat nousseet. Eri linjojen välillä samuden arvot vaihtelevat suuresti samaanaikaankin mitattuina. Sameuden tulokset vuodelta 2015 löytyvät liitteestä 5.

TAULUKKO 13. Vuoden 2015 sameuden tulokset

|                             | Sameus NTU<br>R 1 suodosvesi |
|-----------------------------|------------------------------|
| <b>keskiarvot</b>           |                              |
| 2015, ennen koeajoa         | 1883                         |
| <b>2015, koeajon aikana</b> | <b>1071</b>                  |
| 2015, koeajon jälkeen       | 2067                         |
| <b>minimi</b>               | Sameus NTU<br>R 1 suodosvesi |
| 2015, ennen koeajoa         | 611                          |
| <b>2015, koeajon aikana</b> | <b>456</b>                   |
| 2015, koeajon jälkeen       | 1340                         |

|                             | Sameus NTU<br>R 1 suodosvesi |
|-----------------------------|------------------------------|
| <b>maksimi</b>              |                              |
| 2015, ennen koeajoa         | 2525                         |
| <b>2015, koeajon aikana</b> | <b>2410</b>                  |
| 2015, koeajon jälkeen       | 3130                         |
| <b>keskihajonta</b>         | Sameus NTU<br>R 1 suodosvesi |
| 2015, ennen koeajoa         | 595                          |
| <b>2015, koeajon aikana</b> | <b>560</b>                   |
| 2015, koeajon jälkeen       | 842                          |

## 10 TULOSTEN ARVIOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET

### Säätötapojen arviointi

Massaperustaisesti ohjatulla 1. linjalla saatiin koeajoissa useammin parempi kuivaustulos kuin 2. linjalla, jossa säädönohjaus tapahtui virtaamaperustaisesti. Näiden koepisteiden perusteella voisi päätellä massaperustaisen säädön olevan parempi tapa, vaikka paremmuus ei ollut jokaisella kerralla kovin suuri. Kuivaustulokseen vaikutti kuitenkin myös annosteltu polymeerimäärä eikä vain säätötapa. Kuivaustulokset olivat koeviikon aikana keskimäärin 30 - 32 %. Koeajovii-kolla siis molempien linjojen kuivaustulos parani 5 %. Kuivaustuloksen keskiarvosta on yksin vaikea vetää johtopäätöstä onko uusi säätötapa perempi verrattuna entiseen malliin, varsinkin kun parannusta tapahtui molemmilla linjoilla. Myös yhden viikon aikana tapahtuneet kokeet ovat hyvin lyhyt jakso laitoksessa, joka toimii 24/7 vuoden jokaisena päivänä. Koeajon jälkeinen tilanne laitoksella näyttää hyvin tasaiselta. Kuivausulos on samaa luokkaa nyt huhtikuussa kuin aiemminkin, mutta tulokseen on päästy hieman vähemmällä polymeerimäärällä. Säätötapojen vertailun tuloksen luotettavuutta olisi hyvä vahvistaa vielä lisäkokeilla tai seurannalla, joissa massaperustaiselle säädölle olisi määritelty yksi optimaalinen polymeerimäärä, jolla linjaa ohjattaisiin ja verrattaisiin virtausperustaiseen pidemmällä jaksolla. Tällä hetkellä näyttää, että massaperustainen säätö ei ole antanut koejakson jälkeen kovin paljon parempaa tulosta, annostelu on kuitenkin tasoittunut massaperustaisella syöttötavalla.

### Polymeerin määrä

Kokeiden perusteella sopivalta polymeerimäärältä vaikuttaisi 2,5 - 3,0 kg/t. Tällä annostelumäärällä ruuvi 1. antoi kohtuullisen hyvätuloksen, kuiva-aineen pysyessä kakussa yli 30 %:n. Lopuviikosta polymeerin käyttömäärät ja kuivaustulos noudattivat samoja nousuja ja laskuja, eikä mitään erityisiä piikkejä tuloksissa näkynyt, joten voisi olettaa, että näitä tuloksia voisi pitää luotettavina. Mikäli halutaan varmistua siitä, että kuivaustulos pysyy yli 30 %, kannattaneekin polymeeriä käyttää 3,0 - 3,5 kg/t. Edellisenä vuonna polymeeriä oli käytetty keskimäärin 2,9 kg/t, joten parempi kuivaustulos tarvitsee enemmän polymeeriä. Koeajon jälkeisen viiden viikon tarkastelujakson perusteella näyttää kuitenkin ettei 3,0 kg/t ehkä riitä, jos tulos halutaan pitää kuivempana. Polymeerin valmistajan suositus käytettävästä polymeerimäärästä on kuitenkin 4 - 5 kg/t lietteelle, jossa seoksen suhteet ovat 50 % / 50 %. Tämä suhde on laitoksella yleensä käytössä, vaihtelun ollessa pientä. Primäärilietettä on yleensä 47 - 59 %. Polymeerin valmistajan korkeampi optimimäärä johtunee siitä, että valmistaja asettaa suodosveden puhtaustulokselle suuremman painoarvon. Tulosten perusteella voidaan sanoa, että polymeerisyötön määrällä on vaikutusta kuivakakun kuiva-ainepitoisuuteen.

### Sameus

Kuivauksen onnistumista arvioitiin myös sameuden kautta, koska rejektivesi palautuu suoraan puhdistusprosessin alkuun, joten paras hyöty lietteen kuivauksesta saadaan silloin, kun palautuva vesi on mahdollisimman puhdasta. Sameusmittausten tulokset olivat melko vaihtelevia,

mutta kaikki arvot jäivät koeajoviikolla alle aiempien tulosten. Siksi sameuden tulosta voidaan pitää kaikilla polymeerimäärillä hyvänä. Tosin tulokset ovat vaihdelleet suuresti koeajon jälkeen. Molempien linjojen keskiarvotuloksen noustua jonkin verran. Linjalla 1. keskiarvo on ollut koeajon jälkeen n. 2 000 NTU. Myös samaanaikaan otetuilla näytteillä on ollut tuloksen vaihtelua. Jatkokäsittelyä ajatellen mahdollisimman kuiva lietekakku on hyödyllisin, mutta puhdistamon kannalta edullista on, että myös rejektivesi sisältää vain vähän kiintoainetta. Mikä näyttäisi nyt toteutuvan.

Keskiarvojen perusteella lietteen kuivauksen lopputulos parani koeajossa molemmilla ruuveilla 5 % verrattuna edelliseen vuoteen ja tämän vuoden alkukuukausien tuloksiin. Lietteiden sakeus oli kuitenkin samaa luokkaa tai jopa alle kuin aiempina vuosina, koska edellisenä vuonna liete oli ollut keskimäärin erityisen kuivaa. Tätä saatua kakun kuiva-ainepitoisuuden tulosta voidaan pitää kohtuullisen hyvänä. Kuiva-aineen ollessa 30 % tai yli on sen polttaminen aina tehokkaampaa kuin kosteamman lietteen. Myös polttoon kuljettaminen helpottuu, kun riskit kostean lietteen tukkimista linjoista vähenevät kuivemman massan myötä. Välisijoituksen asfalttikenttään pitäisi olla helpompaa, koska kuivemman lietteen tilavuus on pienempi ja kasaaminen helpottuu.

Uusi massaperustainen säätötapa saatiin koeajon aikana toimimaan. Säätätapojen paremmuus ei kuitenkaan erottunut selvästi lyhyehkön koejaksona aikana. Massaperustaista säätötapaa voidaan kuitenkin pitää kohtuullisen hyvänä, koska se näyttäisi tasoittavan lietteenkuivauksessa polymeerin annostelua.

Koeajon alussa liete oli ajoittain todella sakeaa, mikä hankaloitti sen etenemistä lietteenkäsittelyn putkilinjoissa. Tämän johdosta lietteen sekaan jouduttiin lisäämään vettä sekoitussäiliön ja flokkaussäiliön välillä. Normaalisissa tilanteissa tämä tapa ei ole käytössä, mutta voisi olla hyvä tarkastella jatkossa lisää tämän vedenlisäyksen vaikutuksia lietteenkuivaukseen. Samalla voisi miettiä tulisiko pumppujen olla tehokkaammat, jotta tältä veden lisäykseltä vältyttäisiin. Kaikki lisätty vesi päättyy kuitenkin puhdistusprosessin alkuun ja kuormittaa siten laitosta omalta osaltaan. Toisaalta myös sekoitussäiliön kunto olisi hyvä tarkistaa ja varmistaa ovatko kaikki sekoittajat (3 kpl) ja niiden lavat täysin toimintakuntoisia. Tämäkin voi osaltaan vaikuttaa lietteen sakeuteen ja sen vaihteluihin, jos pohjaan pääsee laskeutumaan raskaampia aineksia ja sekoittimet eivät jaksa tasoittaa lietettä riittävästi.

Koeajojen alkaessa oli tehtaalla pysäytetty yksi kone lopullisesti edeltävänä viikonloppuna ja sen loput massat ja pesuvedet olivat voineet aiheuttaa muutoksia lietteen laadussa. Tämä saattoikin olla yksi syy miksi alkuvuodesta liete oli sakeampaa ja karheampaa kuin normaalisti. Ympäristöpäällikön mukaan koko alkuvuosi 2015 on ollut erityisen haastavaa aikaa puhdistamalla ja lietteenkäsittelyssä, koska kovin pitkiä ns. normaaleja jaksoja ei ole ollut. Toisen koepäivän ilta-päivänä tapahtunut 2. ruuvien tuloksen romahtaminen voinee johtua myös ruuvien vaipan tukkeu-

tumisesta, jolloin vesi ei ole päässyt poistumaan ruuvista. Tukkeutumisen syinä voisi olla polymeeri tai kuidut.

Kokonaisuutena koeajot onnistuivat teknisesti hyvin ja kaikki säädöt onnistuivat halutulla tavalla. Tarvitut näytteet saatiin otettua aikataulun puitteissa. Ainoastaan sameusnäytteen kohdalla mietitytti oikea näytteenottotapa, koska rejektivesiputkessa oli ajoittain paljon hiekkaa veden mukana.

Koeajon jälkeen 1. linjaa ohjataan massaperustaisesti ja 2. linjaa käytetään vanhalla ohjausmallilla eli virtausperustaisesti, joten polymeeriä menee keskimäärin 0,5 kg/t enemmän kuin 1. linjalle ja kuivaustulos on vain 1 %:n verran parempi. Johtopäätöksenä tässä voisi pitää, että uusi massaperustainen malli olisi parempi, koska vähemmällä polymeerin syötöllä päästään lähes samaan tulokseen.

## 11 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä oli tarkoitus selvittää Kaukaan vedenpuhdistamon lietteen kuivaukseen liittyviä seikkoja, jotka mahdollisesti parantaisivat kuivaustulosta ja vähentäisivät tai kohdistaisivat polymeerin käytön oikeaan hetkeen. Käytännön kokeet ja laboratoriomittaukset suoritettiin Kaukaan vedenpuhdistamolla ja UPM:n Tutkimuskeskuksella. Työssä oli tarkoituksena hyödyntää puhdistamolle hankittua online-mittausta. Tavoitteena oli saada mahdollisimman korkea kuiva-ainepitoisuus lietekakkuun ja toisaalta taas saada rejektiveden kiintoainepitoisuus pysymään alhaisena.

Lietteen kuivaus on monivaiheinen kokonaisuus ja prosessin jokaisen vaiheen hallitseminen on monimutkaista. Tuloksia voidaan arvioida ainakin kakun kuivuuden ja jatkokäsittelyn kannalta ja toisaalta myös puhdistamolle palautuvan rejektiveden kannalta. Mahdollisimman kuivana välisijoitukseen varastoitava liete on helpommin käsiteltävissä ja vie vähemmän tilaa, polttoon mennessä kuljetus on helpompaa ja polttaminen tehokkaampaa ja toisaalta taas mahdollisimman kirkas rejektivesi sisältää vähemmän puhdistamoa rasittavaa kiintoainetta. Kaikkien tekijöiden saaminen optimaaliselle tasolle yhtä aikaa on mahdotonta, joten tilanteeseen täytyy hyväksyä tietyn tasoinen kompromissi.

Lietteenkuivaukseen toi haasteita kuivattavan lietteen laadullinen vaihtelevuus. Koeajon aikana havaittiin, että aina kuivaustulokseen ei saada haluttua tasoa lopputulokseksi. Syyt tähän eivät olleet aina selviä tai johtuneet ainakaan laitteiden toimimattomuudesta tai polymeerin syötöstä. Tällöin huono kuivaustulos voinee johtua lietteen laadusta ja sen vaihteluista, koska bioliete voi olla laadultaan todella vaikeasti kuivattavissa. Kokonaisuutena voidaan todeta, että koeajoviikolla lietteen kuivauksen lopputulos oli enimmäkseen kuivaa ja kuivatun kakun kuiva-ainepitoisuuden tulokset paranivat noin 5 %. Tämä on jo hyvä suunta kuivaustuloksen osalta, varsinkin kun tehtaalla on alkuvuoden aikana ollut paljon erityistilanteita, eikä varsinaista normaalia ajotilannetta ole juurikaan ollut.

Polymeerin käyttöä uudella massaperustaisella annostelutavalla tulisi testata rauhassa useamman kuukauden ajan, jotta tulosten luotettavuus paranisi ja nähtäisiin onko tulokset toistettavissa eli saavutetaanko sama kuivuustaso samalla polymeerimäärällä eri kerroilla. Yksi uuden massaperustaisen säätötavan hyödyistä voisi olla pienempi hajonta tuloksissa. Tuloksena ei välttämättä olisi absoluuttisesti korkeampi kuiva-ainepitoisuus vaan tasaisempi toiminta kuivauksessa, koska virtausperustainen säätö annostelee joissain tilanteissa enemmän tai vähemmän polymeeriä kuin onnistunut tulos edellyttäisi.

Toiminnan vakiinnuttua olisi mahdollista säätää 2. linja myös toimimaan massaperustaisella annostelulla. Polymeerin optimaalisinta käyttömäärää on vielä mietittävä ja varmaan jatkossa on tarpeen tehdä lisää testauksia, mikä olisi paras määrä (kg/t) käytettäväksi. Tällä hetkellä 3 - 3,5

kg/t lienee paras annostelu. Vaikka laitoksen nykyinen polymeeri toimii hyvin kaikilla lietesuh-teilla, voitaisiin kuivausprosessin toimivuutta mahdollisesti testata myös muilla vaihtoehtoisilla polymeereillä. Näissä testeissä voisi tutkia erilaisten polymeerin vaikutusta kuivaustulokseen, kun liete on primäärivoittoista. Lisäksi voisi tehdä vertailuja poistaako jokin muu polymeeri vet-tä tehokkaammin kuin nykyinen, jos käyttömäärä on alhainen, esim. 2,0- 2,5 kg/t.

Tosin laitoksen lietteen laadun vaihtelut ovat nopeita ja joskus lyhytaikaisia, joten eri polymeerikään ei välttämättä paranna tulosta. Polymeerin ohella kuivauksessa voisi harkita käyttää mui-ta kemikaaleja polymeerin lisänä, esimerkiksi ferrisulfaattia tai polyalumiinikloridia, jotka tehos-tavat veden poistumista. Lisäksi voisi miettiä, olisiko tarpeen investoida myös muihin mittauk-siin, kuten rejektiveden jatkuvatoimiseen mittaukseen. Tästä esimerkkinä mainittakoon Metson Low Solids- mittari. Tällä mittauksella voitaisiin mitata rejektiveden kiintoainepitoisuuksia ja saataisiin selkeä kokonaiskuva lietteenkäsittelyn onnistumisesta.

Tässä työssä ei perehdytty optimoinnista mahdollisesti tuleviin euromääräisiin säästöihin eikä myöskään tehty aiemmasta tilanteesta kustannuslaskentaa, joten jonkinlaisia säästöarvioita olisi perusteltua tehdä tulevaisuudessa. Tosin säästöarviot on hyvä tehdä pidempiaikaisina tutki-muksina, jotta kausivaihtelut tulevat esille. Mahdollisessa kustannuslaskennassa huomio kan-nattaa kiinnittää kakun kuiva-ainepitoisuudesta tuleviin hyötyihin ja polymeerin hankinnasta tu-leviin säästöihin, koska rejektiveden kustannussäästöt voivat olla vain noin murto-osan luokkaa tästä kokonaisuudesta.

## LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

AUMALA, Olli 2006. Mittaustekniikan perusteet. Otatieto. Helsinki: Hakapaino Oy.

DAHL, Olli 2008. Papermaking science and technology. Book 19, Environmental management and control. 2. painos. Jyväskylä: Gummerrus Kirjapaino Oy.

FILIPPENKOV, Igor 2012. Yhdyskuntalietteen linkouksen ja polymeroinnin optimointi Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Kemiantekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [Viitattu 2015-2-15.] Saatavissa: [http://www.theseus.fi/xmlui/bitstream/handle/10024/38389/Filippenkov\\_Igor.pdf?sequence=1](http://www.theseus.fi/xmlui/bitstream/handle/10024/38389/Filippenkov_Igor.pdf?sequence=1)

FOURNÉ, Franz 1999. Synthetic fibers: machines and equipment, manufacture, properties / handbook for plant engineering. Munich: Hanser.

FRONDELIUS, Leila 2006. Kemiantekniikan verkkomateriaali, prosessinohjaus. [Verkkomateriaali]. Kemiantekniikan virtuaalikoulu [Viitattu 2015-2-27.] Saatavissa: [http://moodle.keuda.fi/kansiot/KAO-LF/SAATO/HYVA\\_SAATO2/index2.htm](http://moodle.keuda.fi/kansiot/KAO-LF/SAATO/HYVA_SAATO2/index2.htm)

HARINEN, Antti 2006. Mikroaaltotekniikkaan perustuva kiintoaineen mittaus lietteenkäsittelyssä. Vesitalous 3/2006. s.16 - 21. [verkkajulkaisu]. [viitattu 2015-3-10] Saatavissa: <http://www.vesitalous.fi/wp-content/uploads/2010/02/3-2006.pdf>

HARJU, Jokke 2010. Pättin jätevedenpuhdistamon selkeytyksen tehostaminen. Vaasan Ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [Viitattu 2015-2-27.] Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/23179/Harju\\_Jokke.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/23179/Harju_Jokke.pdf?sequence=1)

HIETANEN, Tero 2009. Automaatiotekniikka 1, TL121105. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. [Viitattu 2015-2-27.] Saatavissa: [http://www.tekniikka.oamk.fi/~terohi/auto1\\_s2009u.htm](http://www.tekniikka.oamk.fi/~terohi/auto1_s2009u.htm)

JANHUNEN, Maarit 2007. Kemimekaanisen puhdistamon toimintaan vaikuttavien tekijöiden hallinta. Jyväskylän yliopisto. Kemian laitos [viitattu 2015-1-13] Saatavissa: [https://jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/1873/URN\\_NBN\\_fi\\_jyu-200803031215.pdf?sequence=1](https://jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/1873/URN_NBN_fi_jyu-200803031215.pdf?sequence=1)

KAUPUNKILIITTO 1980. Jätevedenpuhdistamoiden suunnittelu. Kaupunkiliiton julkaisu B 87. Helsinki: Kirjapaino Oy Nova.

KEMIRA 1991. Vedenkäsittelyn käsikirja.

KEMIRA, Kemwater 2003. About water treatment. Helsingborg.

LOHINIVA, Elina, MÄKINEN, Tuula ja SIPIÄ Kai 2001. Lietteiden käsittely; uudet ja käytössä olevat tekniikat. Espoo: Otamedia Oy.

MAUNUS-TIIHONEN, Minna 2015-4-21. Kysymyksiä insinööriyöhön [sähköpostiviesti]. Vastannottaja Elina Nousiainen. [Tulostettu 2015-4-21.] Saatavissa: Kuopio: Elina Nousiaisen kokoomat.

METCALF & EDDY 2003. Wastewater engineering: Treatment and Reuse. 4. Ed. New York: McGraw-Hill Education.



METCALF & EDDY 2014. Wastewater engineering: Treatment and Resource Recovery. Vol 2. 5. Ed. New York: McGraw-Hill Education.

METSO 2011a. Metso Total Solids Transmitter. Asennus-, käyttö- ja huolto-ohje OUL00489 V2.0 FI. Kajaani.

METSO 2011b. Metso Total Solids Transmitter. Luotettava jätevesien hallinta [verkkojulkaisu]. [viitattu 2014-11-12]. Saatavissa:

[http://valveproducts.metso.com/cct/products/Metso\\_TS/Brochures/B6303.2-FI%20Metso%20TS.pdf](http://valveproducts.metso.com/cct/products/Metso_TS/Brochures/B6303.2-FI%20Metso%20TS.pdf)

METSÄTEOLLISUUS ry 2013. Vesi on metsäteollisuudelle elintärkeää. [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-1-13] Saatavissa:

<http://www.metsateollisuus.fi/painopisteet/ymparisto/tehtaiden-ymparistoasiat/Vesi-on-metsateollisuudelle-elintarkeaa--90.html> Polku: [www.metsateollisuus.fi](http://www.metsateollisuus.fi). Painopisteet. Ympäristö. Tehtaiden ympäristöasiat.

NORMAN, Peter I., Seddon, Roy 1991. Pollution control in the textile industry – the chemical auxiliary manufacturer's role. [verkkoaineisto]. [viitattu 2015-3-10] Saatavissa:

<http://infohouse.p2ric.org/ref/11/10217.pdf>

NOUSIAINEN, Elina 2015-3-13. [Digitaaliset kuvat]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset koelmat.

OJANEN, Pekka 2001. Metsäteollisuuslaitosten jätevedenpuhdistuksen vaihtoehdot sekä niiden toimintaan ja energiankulutukseen vaikuttavat tekijät. Lappeenranta: Aalef Oy.

PAUL Edward L., ATIEMO-OBENG Victor A. & KRESTA Suzanne M. 2004. Handbook of industrial mixing: science and practice. Wiley-Interscience.

PIHKALA, Juhani 2004. Prosessisuureiden mittaustekniikka. Opetushallitus. Helsinki: Hakapaino Oy.

PIHKALA, Juhani 2007. Prosessitekniikan yksikköprosessit. 3.-2 tarkistettu painos. Opetushallitus. Helsinki: Hakapaino Oy.

PÖYRY ENVIRONMENT Oy 2007. Lietteenkäsittelyn nykytila Suomessa ja käsittelymenetelmien kilpailukyky – selvitys. [verkkójulkaisu]. [viitattu 2015-1-15] Saatavissa:

<http://www.sitra.fi/NR/rdonlyres/BFCEC181-4AD7-4B1A-B7B6-27045F8280FC/0/Lietteenk%C3%A4sittely.pdf>

RÄSÄNEN, Teemu 2010. EYH0221-Instrumentointitekniikka, säätö ja sen viritys. Luentomoniste. Savonia-ammattikorkeakoulu

SEPPÄLÄ, Markku (toim.), KLEMETTI, Ursula, KORTELAINEN, Veli-Antti, LYTTIKÄINEN, Jorma, SIITONEN, Heikki ja SIRONEN, Raimo 2005. Paperimassan valmistus. 2-3. painos. Saarijärvi: Gummerrus Kirjapaino Oy.

TASKINEN, Eero 2011. Metsäteollisuuden aktiivilieteprosessin energiataloudellinen ohjaaminen. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Diplomityö.

TCHOBANOGLOUS, George, BURTON, Franklin L. 1991. Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse. 3. Ed. New York: McGraw-Hill.

TUROVSKIY, Izrail S. ja MATHAI, P.K. 2006. Wastewater sludge processing. Hoboken: John Wiley.

UPM 2013. Tervetuloa Kaukaalle! [verkkajulkaisu]. [viitattu 2015-04-09] Saatavissa:

[http://frantic.s3.amazonaws.com/smy/2014/10/PMA35\\_TeuvoSolismaa.pdf](http://frantic.s3.amazonaws.com/smy/2014/10/PMA35_TeuvoSolismaa.pdf)

UPM 2014a. UPM:n tutkimus- ja kehitystyö [verkkajulkaisu]. [viitattu 2014-10-06]. Saatavissa: [http://www.upm.com/FI/MEDIA/Pressikansiot/Liiketoiminta/Tutkimus-ja-kehitys/Documents/UPM\\_RD\\_brochure\\_update\\_2011\\_fi.pdf](http://www.upm.com/FI/MEDIA/Pressikansiot/Liiketoiminta/Tutkimus-ja-kehitys/Documents/UPM_RD_brochure_update_2011_fi.pdf)

UPM 2014b. [verkkoinaisto]. [viitattu 2014-10-09] Saatavissa:

<http://www.upm.com/FI/UPM/Liiketoiminnot/Sellu/Suomi/Kaukas/Pages/default.aspx> Polku: [www.upm.fi](http://www.upm.fi). Upm. Liiketoiminnot. Sellu. Suomi. Kaukas.

UPM 2014c. Ympäristöselonteko 2013. Ympäristönsuojelun kehitys 2013 [verkkajulkaisu]. [viitattu 2014-10-09] Saatavissa: [http://www.upm.com/EN/RESPONSIBILITY/Principles-and-Performance/reports/Documents/EMAS2013/Kaukas\\_EMAS\\_2013\\_fi.pdf](http://www.upm.com/EN/RESPONSIBILITY/Principles-and-Performance/reports/Documents/EMAS2013/Kaukas_EMAS_2013_fi.pdf)

UPM 2015a. upm. Vuosikertomus 2014[verkkajulkaisu]. [viitattu 2015-04-06] Saatavissa: <http://user-fudicvo.cld.bz/UPM-vuosikertomus-2014#24-25/z>

UPM 2015b. [verkkoinaisto]. [viitattu 2015-04-07] Saatavissa:

<http://www.upm.com/FI/UPM/Liiketoiminnot/Sellu/Suomi/Pages/default.aspx> Polku: [www.upm.fi](http://www.upm.fi). Upm. Liiketoiminnot. Sellu. Suomi.

UPM Kymmene Oyj 2000. Kaukaan puhdistamo: Biopuhdistamoprojektin 2. vaiheen prosessiselostus ja päämitoitus.

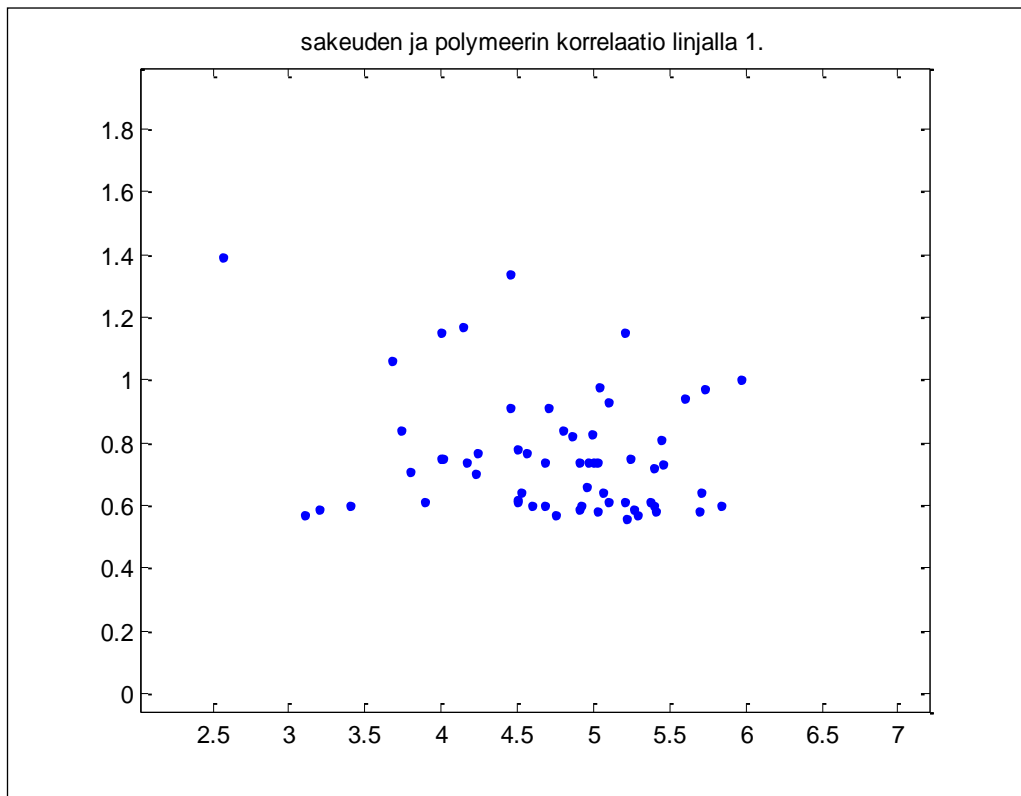
VESANTO, Matti 2014-9-30. Supervisor, Effluent Treatment and Waste Management Pulp Mill. [haastattelu.] Lappeenranta, Kaukas.

VESIHUOLTO II: RIL 124-2-2004. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

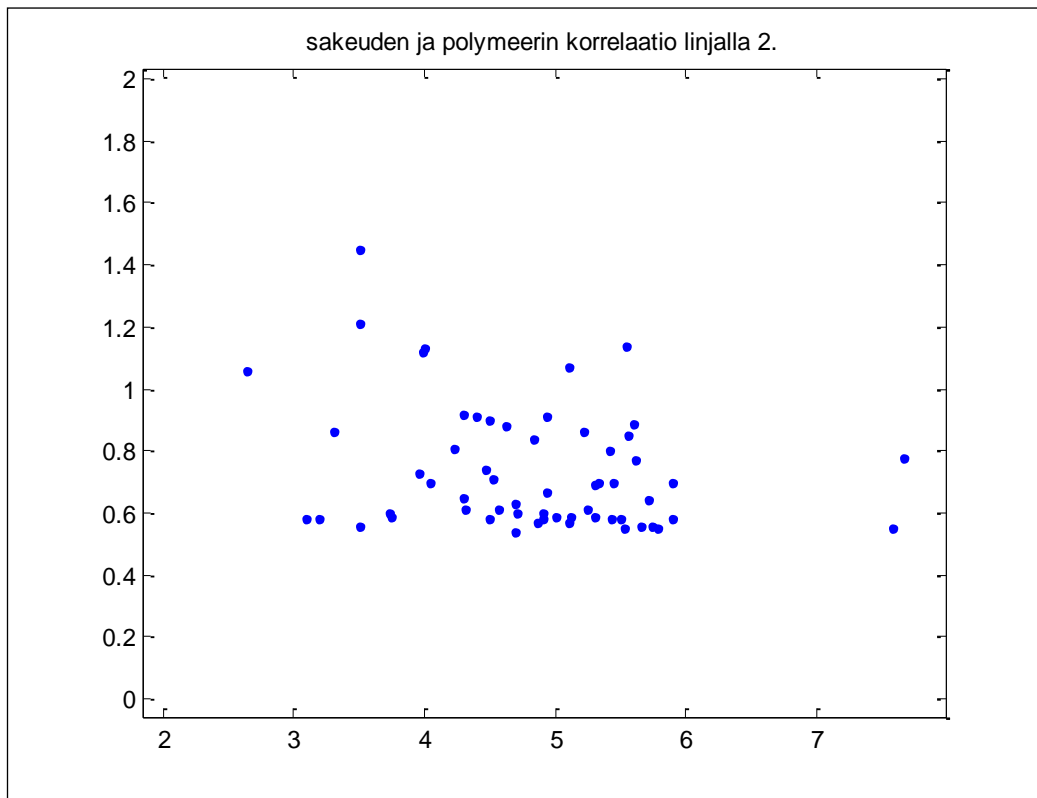
VESILAITOSYHDISTYS 2011. Teollisuusjätevesiopas-asumajätevesistä poikkeavien jätevesien johtaminen viemäriin. Vesilaitosyhdistyksen julkaisusarja nro 50. 2. painos. Helsinki.

WATER ENVIRONMENT FEDERATION 2012. Solids process design and management. Water environment federation. New York: McGraw-Hill.

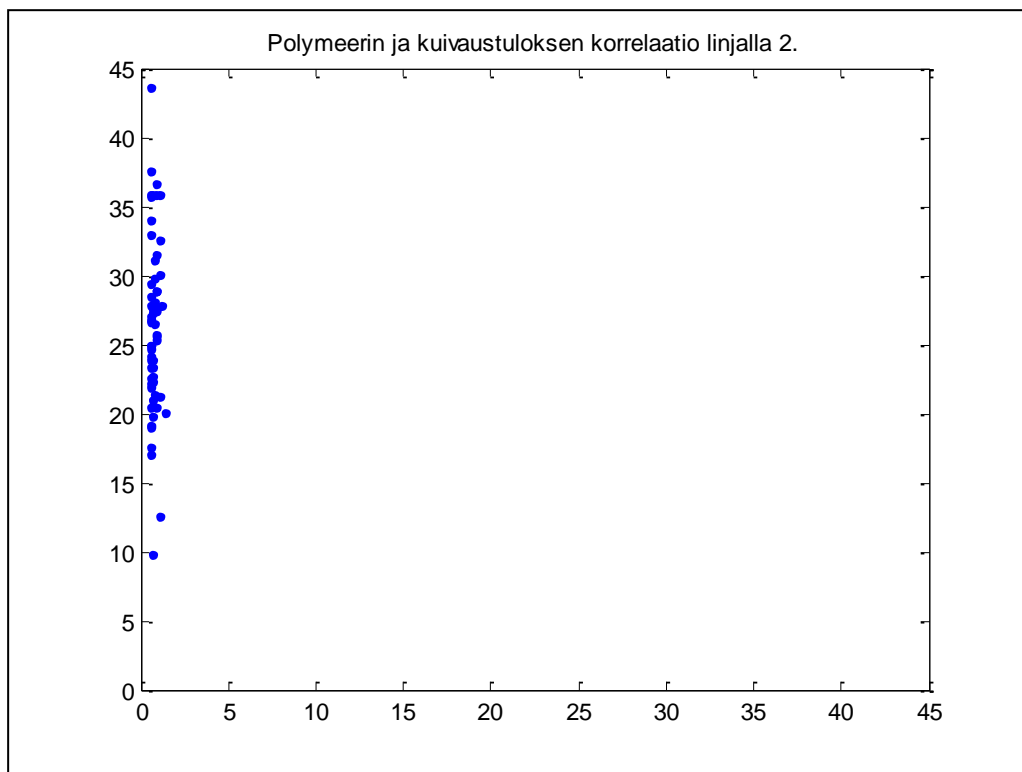
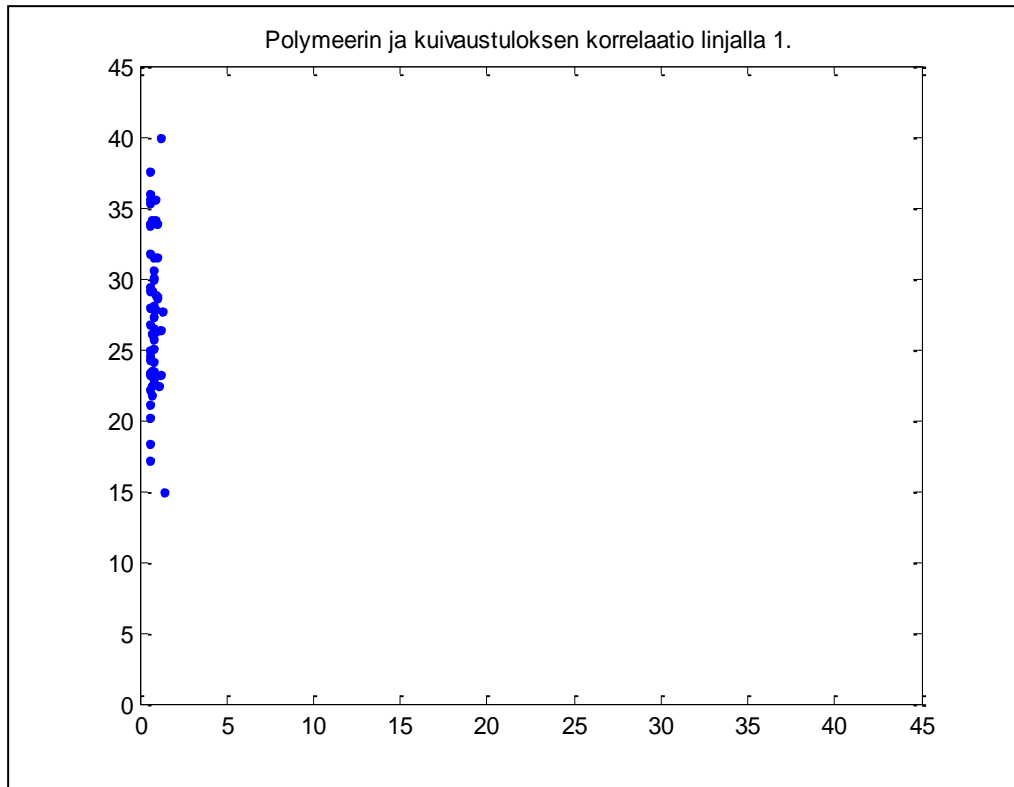
# LIITE 1: KORRELAATIOITA ENNEN KOEAJOJA

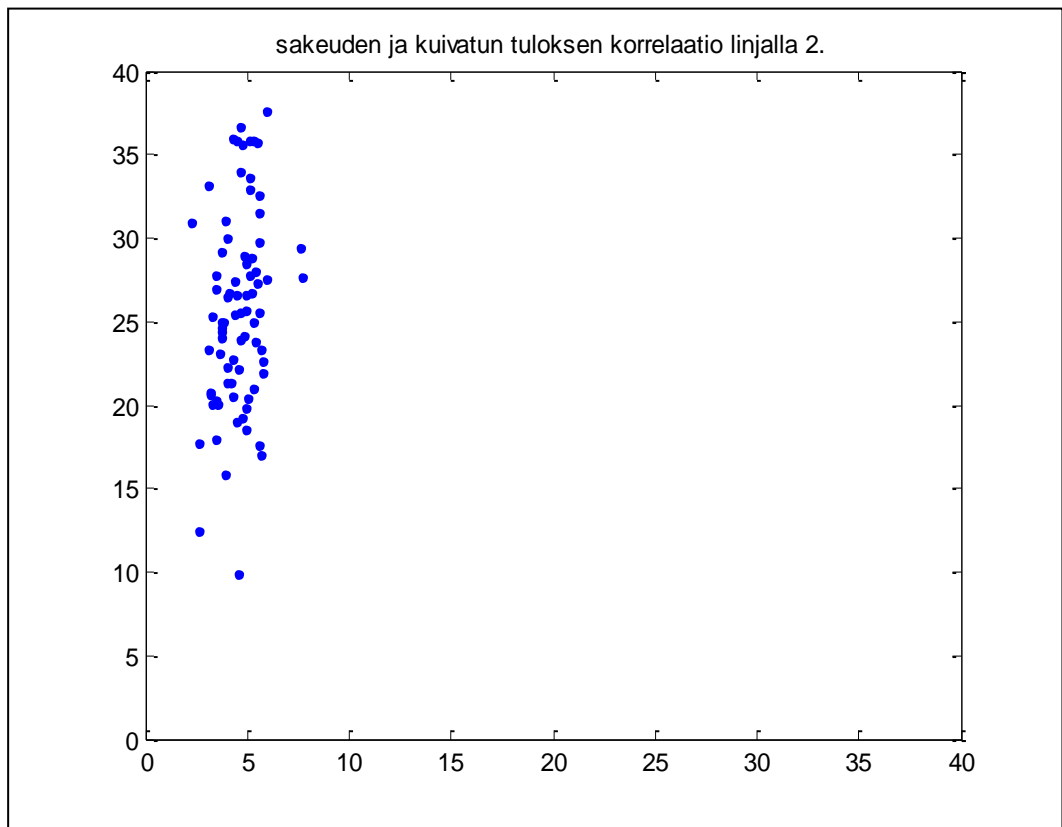
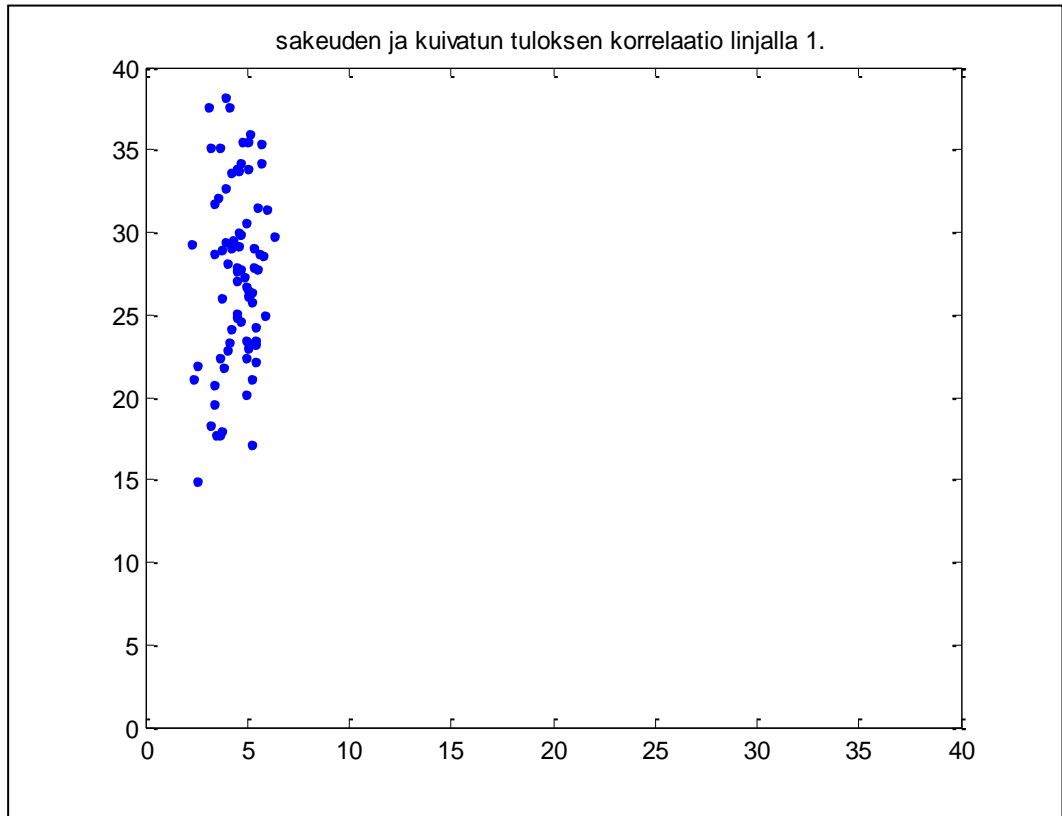


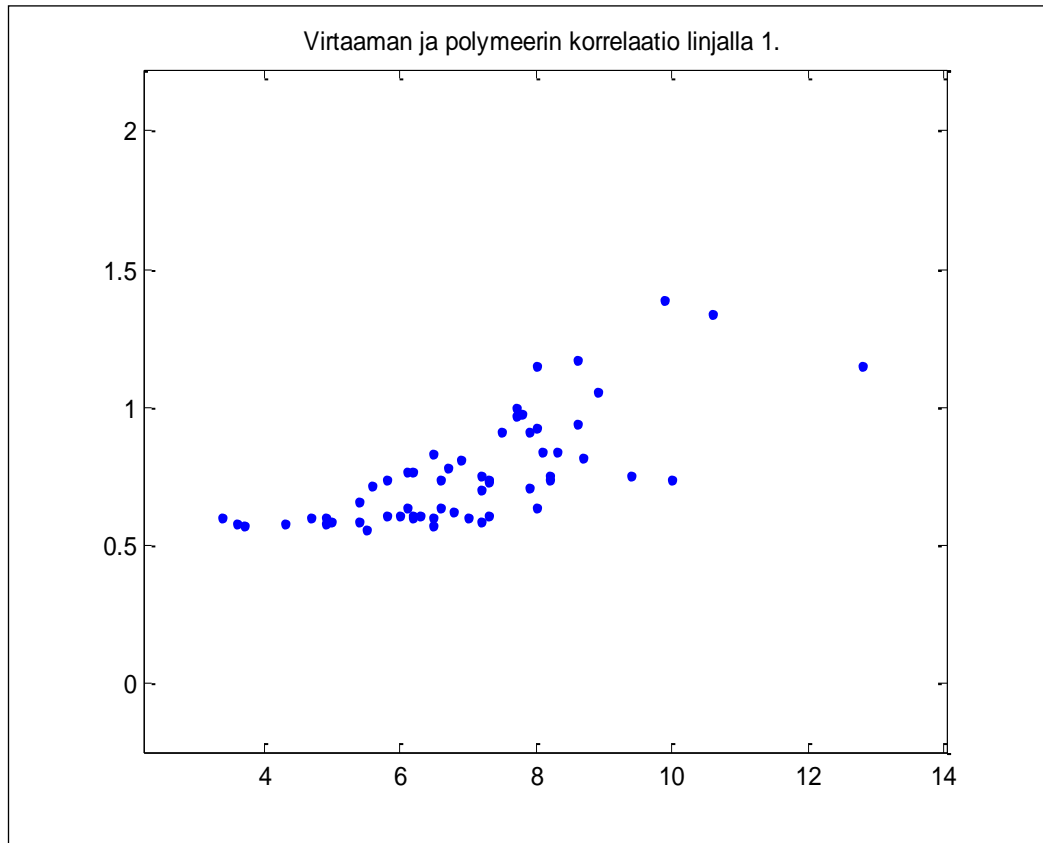
Korrelaatiokerroin -0.2879



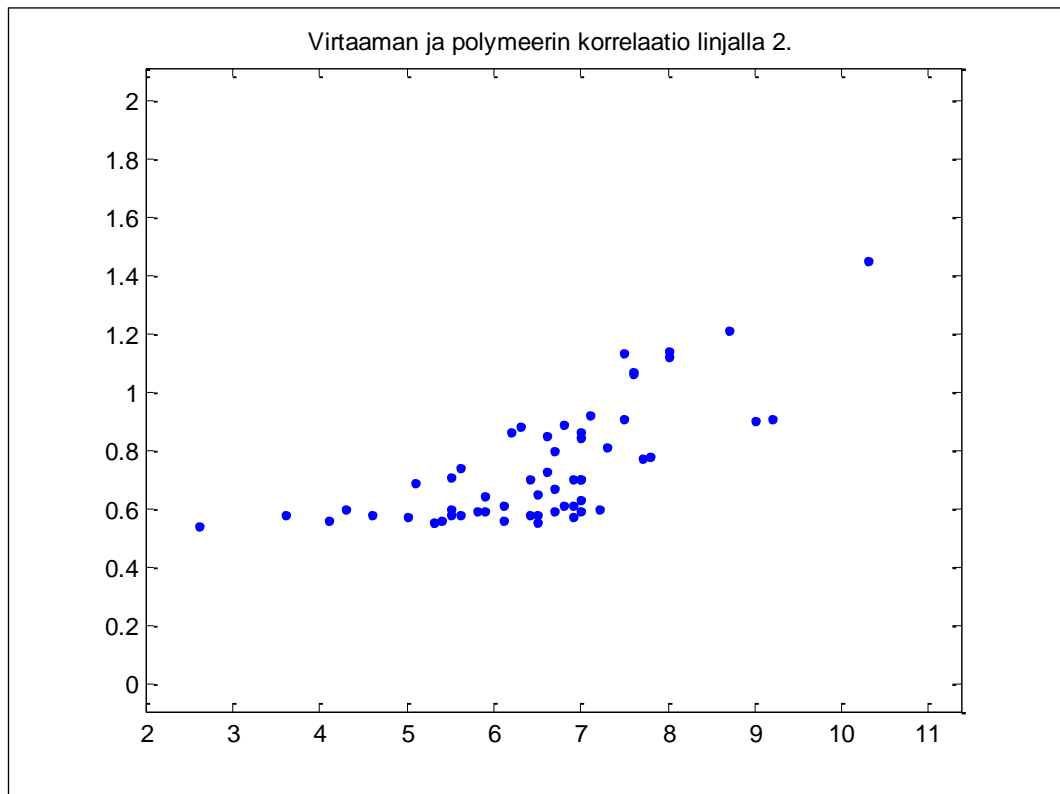
Korrelaatiokerroin -0.2172







Korrelaatiokerroin 0.7309



Korrelaatiokerroin 0.7228

LIITE 2: LIETTEENKÄSITTELYN TULOKSIA 2013 – 2015

|                             | lietteen sakeus<br>%,<br>linja 1. | Ruuvi 1, kuivattu<br>% | lietteen sakeus<br>%,<br>linja 2. | Ruuvi 2, kuivattu<br>% |
|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| <b>keskiarvot</b>           |                                   |                        |                                   |                        |
| 2013                        | 4,3                               | 28                     | 4,4                               | 27                     |
| 2014                        | 4,7                               | 27                     | 4,5                               | 25                     |
| 2015, ennen koeajoa         | 4,2                               | 27                     | 4,0                               | 25                     |
| <b>2015, koeajon aikana</b> | <b>4,1</b>                        | <b>32</b>              | <b>4,2</b>                        | <b>30</b>              |
| 2015, koeajon jälkeen       | 4,0                               | 26                     | 3,5                               | 27                     |

|                             | lietteen sakeus<br>%,<br>linja 1. | Ruuvi 1, kuivattu<br>% | lietteen sakeus<br>%,<br>linja 2 | Ruuvi kuivattu<br>% |
|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------|
| <b>minimi</b>               |                                   |                        |                                  |                     |
| 2013                        | 2,3                               | 15                     | 1,2                              | 13                  |
| 2014                        | 3,2                               | 17                     | 3,3                              | 10                  |
| 2015, ennen koeajoa         | 2,8                               | 17                     | 3,1                              | 17                  |
| <b>2015, koeajon aikana</b> | <b>3,2</b>                        | <b>12</b>              | <b>3,2</b>                       | <b>7</b>            |
| 2015, koeajon jälkeen       | 3,7                               | 22                     | 3,1                              | 24                  |

|                             | lietteen sakeus<br>%,<br>linja 1. | Ruuvi 1, kuivattu<br>% | lietteen sakeus<br>%,<br>linja 2 | Ruuvi 2, kuivattu<br>% |
|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------|----------------------------------|------------------------|
| <b>maksimi</b>              |                                   |                        |                                  |                        |
| 2013                        | 6,3                               | 42                     | 7,7                              | 47                     |
| 2014                        | 6,7                               | 46                     | 5,6                              | 37                     |
| 2015, ennen koeajoa         | 4,8                               | 43                     | 4,7                              | 35                     |
| <b>2015, koeajon aikana</b> | <b>4,9</b>                        | <b>49</b>              | <b>4,9</b>                       | <b>49</b>              |
| 2015, koeajon jälkeen       | 4,4                               | 28                     | 3,9                              | 31                     |

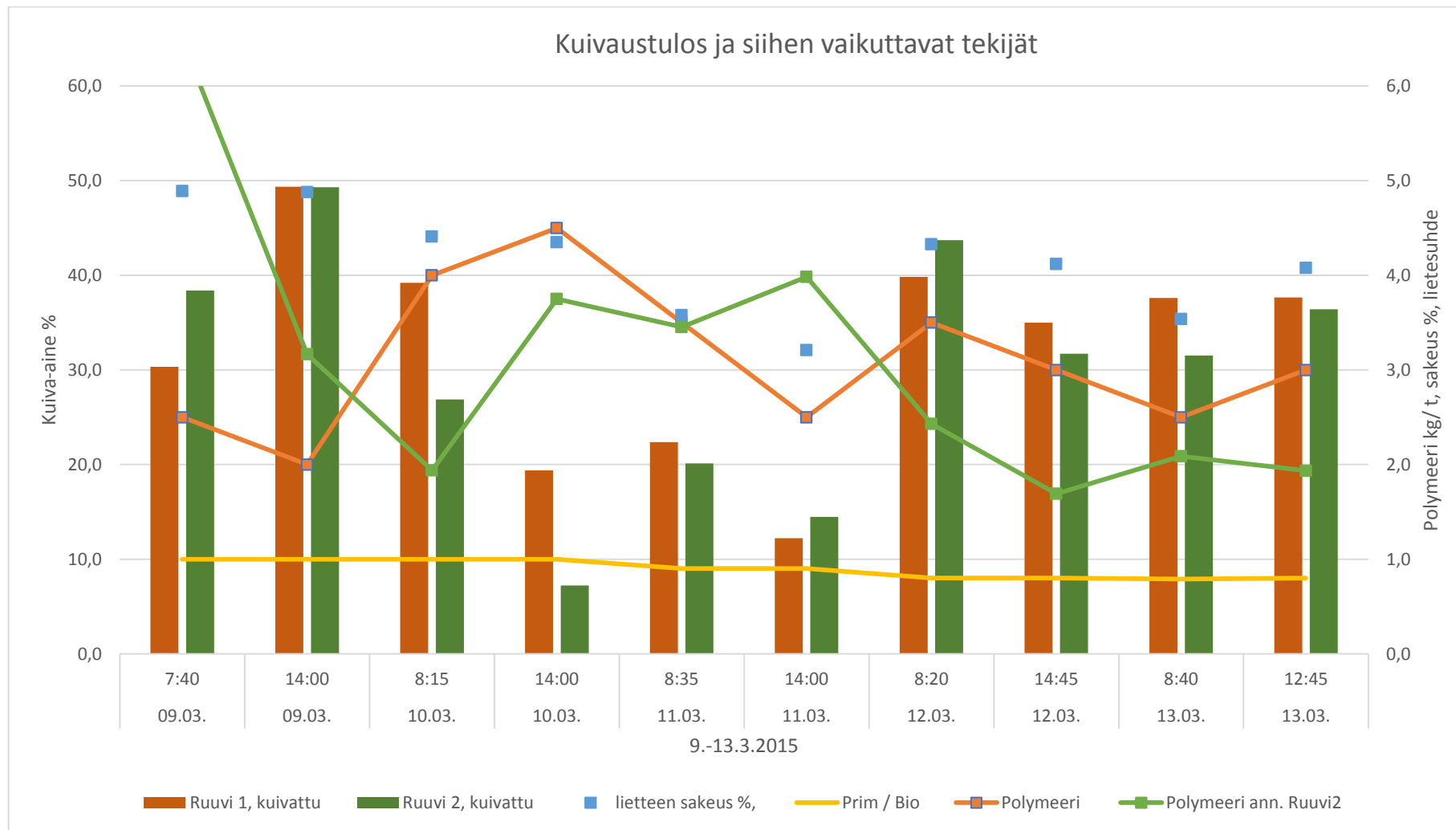
|                             | lietteen sakeus<br>%,<br>linja 1. | Ruuvi 1, kuivattu<br>% | lietteen sakeus<br>%,<br>linja 2 | Ruuvi 2, kuivattu<br>% |
|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------|----------------------------------|------------------------|
| <b>keskihajonta</b>         |                                   |                        |                                  |                        |
| 2013                        | 1,0                               | 6                      | 1,3                              | 7                      |
| 2014                        | 0,7                               | 6                      | 0,7                              | 6                      |
| 2015, ennen koeajoa         | 0,6                               | 8                      | 0,4                              | 5                      |
| <b>2015, koeajon aikana</b> | <b>0,5</b>                        | <b>11</b>              | <b>0,5</b>                       | <b>12</b>              |
| 2015, koeajon jälkeen       | <b>0,3</b>                        | 3                      | 0,3                              | 3                      |

|                             | Lietteen sakeus<br>%,<br>linja 1. | Lietteen sakeus<br>%,<br>linja 2. | Polymeeri<br>Ruuvi 1 kg/t | Polymeeri<br>Ruuvi 2 kg/t | Polymeeri annos<br>Ruuvi 1. *<br>kg/t | Polymeeri annos<br>Ruuvi 2. *<br>kg/t | Sameus NTU<br>R 1 suodosvesi |
|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|
| <b>keskiarvot</b>           |                                   |                                   |                           |                           |                                       |                                       |                              |
| 2013                        | 4,3                               | 4,4                               |                           |                           | 2,6                                   | 2,3                                   | 1737                         |
| 2014                        | 4,7                               | 4,5                               |                           |                           | 2,7                                   | 3,0                                   | 2321                         |
| 2015, ennen koeajoa         | 4,2                               | 4,0                               |                           |                           | 3,3                                   | 3,6                                   | 1883                         |
| <b>2015, koeajon aikana</b> | <b>4,1</b>                        | <b>4,2</b>                        | <b>3,1</b>                | <b>3,5</b>                | <b>3,0</b>                            | <b>3,1</b>                            | <b>1071</b>                  |
| 2015, koeajon jälkeen       | 4,0                               | 3,5                               | 3,0                       | 3,5                       | 2,7                                   | 3,2                                   | 1077                         |
| <b>minimi</b>               |                                   |                                   |                           |                           |                                       |                                       |                              |
| 2013                        | 2,3                               | 1,2                               |                           |                           | 1,5                                   | 1,1                                   | 187                          |
| 2014                        | 3,2                               | 3,3                               |                           |                           | 1,3                                   | 1,8                                   | 798                          |
| 2015, ennen koeajoa         | 2,8                               | 3,1                               |                           |                           | 2,4                                   | 2,6                                   | 611                          |
| <b>2015, koeajon aikana</b> | <b>3,2</b>                        | <b>3,2</b>                        | <b>2,0</b>                | <b>3,5</b>                | <b>2,0</b>                            | <b>1,7</b>                            | <b>456</b>                   |
| 2015, koeajon jälkeen       | 3,7                               | 3,1                               | 3,0                       | 3,5                       | 2,6                                   | <b>2,8</b>                            | 1370                         |
| <b>maksimi</b>              |                                   |                                   |                           |                           |                                       |                                       |                              |
| 2013                        | 6,3                               | 7,7                               |                           |                           | 5,2                                   | 4,8                                   | 4990                         |
| 2014                        | 6,7                               | 5,6                               |                           |                           | 4,6                                   | 5,3                                   | 8730                         |
| 2015, ennen koeajoa         | 4,8                               | 4,7                               |                           |                           | 4,5                                   | 5,2                                   | 2525                         |
| <b>2015, koeajon aikana</b> | <b>4,9</b>                        | <b>4,9</b>                        | <b>4,5</b>                | <b>3,5</b>                | <b>5,2</b>                            | <b>6,5</b>                            | <b>2410</b>                  |
| 2015, koeajon jälkeen       | 4,4                               | 3,9                               | 3,0                       | 3,5                       | 2,8                                   | 3,9                                   | 3130                         |
| <b>keskihajonta</b>         |                                   |                                   |                           |                           |                                       |                                       |                              |
| 2013                        | 1,0                               | 1,3                               |                           |                           | 0,9                                   | 0,7                                   | 800                          |
| 2014                        | 0,7                               | 0,7                               |                           |                           | 0,7                                   | 0,7                                   | 1390                         |
| 2015, ennen koeajoa         | 0,6                               | 0,4                               |                           |                           | 0,6                                   | 0,8                                   | 595                          |
| <b>2015, koeajon aikana</b> | <b>0,5</b>                        | <b>0,5</b>                        | <b>0,73</b>               | <b>0,00</b>               | <b>1,0</b>                            | <b>1,4</b>                            | <b>560</b>                   |
| 2015, koeajon jälkeen       | 0,3                               | 0,3                               | 0,0                       | 0,0                       | 0,1                                   | 0,5                                   | 816                          |

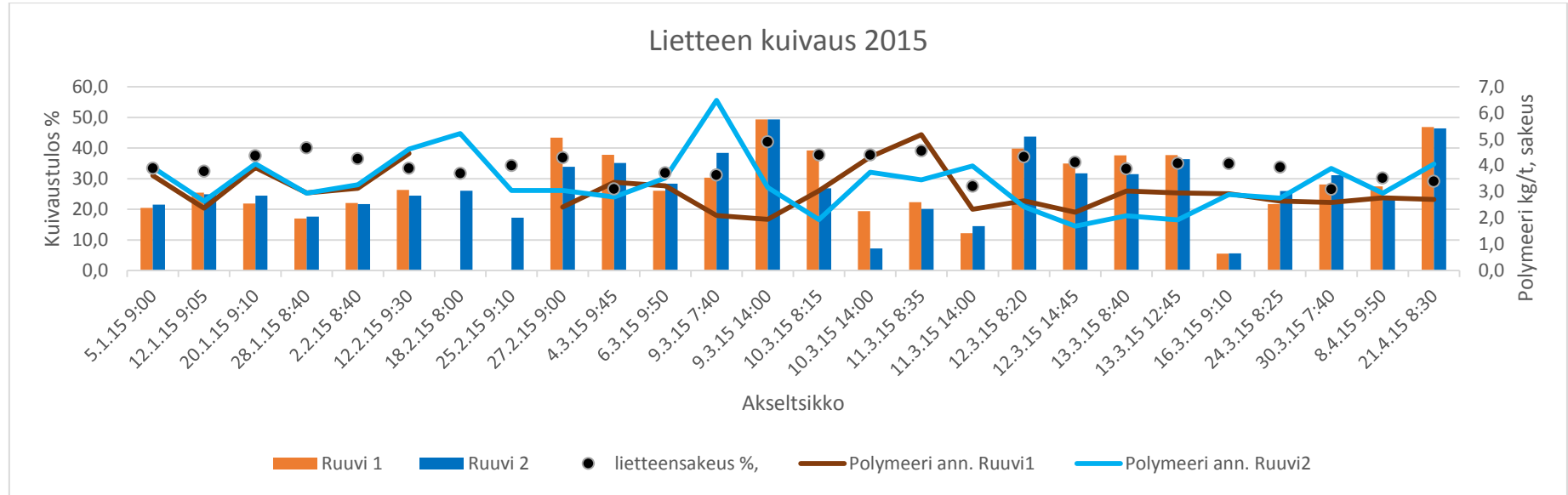
\*tässä taulukossa ilmoitetut polymeeri annos ruuvi 1. tai 2. kg/ t on otettu datasta, eli ne on muunnettu virtaamasta massaperustaiseksi kaavalla



LIITE 3: KOEAJON TULOKSET



LIITE 4: LIETTEENKUIVAUKSEN TULOKSET 2015



LIITE 5: SAMEUSMITTAUKSEN TULOKSET 2015

