

Paperitehtaan lietteenkäsittelyn toiminnan optimointi

UPM Kaipola

Jukka Eloranta

Opinnäytetyö
Toukokuu 2018
Tekniikan ja liikenteen ala
Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Eloranta, Jukka	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2018
	Sivumäärä 34	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Paperitehtaan lietteenkäsittelyn toiminnan optimointi UPM Kaipola		
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Kari Hytönen, Petri Luosma		
Toimeksiantaja(t) UPM Paper ENA		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Kaipolan paperitehtaan lietteenkäsittely kärsii lietteenlaadun vaihteluista. Vaihtelut ovat yleisiä ja lietteen laadun nopea muutos vaikeuttaa prosessin toimintaa. Prosessin hankaluudet näkyvät kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuuden pienenemisenä. Lietteiden kuiva-aineen parantaminen on tärkeää ympäristön, kuin myös tehtaan taloudellisesta näkökulmasta. Lietteiden mahdollisimman tehokas hyödyntäminen myös edistää kiertotaloutta.</p> <p>Tavoitteena oli tunnistaa lietteenkäsittelyn vaikeudet aiheuttavat tilanteet ja määrittää niihin sopivat ajomallit. Tavoitteena oli myös tutkia lietepuristimien filosofiaa ja ajotavan muutosten vaikutusta lietteen kuiva-aineseen. Tutkimukset toteutettiin koeajojen muodossa ja niistä saadut tulokset vahvistettiin ottamalla lietteestä näytteitä kuiva-aineen määrittämiseksi.</p> <p>Koeajot suunniteltiin niin, että ne erosivat ohjausjärjestelmän normaalista toiminnasta. Jokaiseen koeajoon määritettiin yksi tarkasteltava prosessisuure lietteenpuristimesta. Tarkastelun aikana pyrittiin luomaan mahdollisimman laaja määrä vaihtelevia tilanteita, että saataisiin selkeä kuva kunkin prosessisuureen merkityksestä kuiva-ainepitoisuuteen.</p> <p>Tulokset olivat lupaavia. Polymeerin kulutus laski ja kuiva-aineet nousivat aikaisemmalta tasolta. Suurin osa ongelmatilanteista saatiin tunnistettua ja niihin löydettiin ajomallit. Tuloksista kävi ilmi, että lietepuristimen vastapaineen merkitys oli suurin kuiva-ainepitoisuuden nousussa. Lopputulosten avulla pystyttiin myös suunnittelemaan jatkotoimenpiteitä ja ohjausjärjestelmään tehtäviä muutoksia, jotta se kykenisi toimimaan mahdollisimman itsenäisesti.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Liete, kiertotalous, ympäristö, polymeeri		
Muut tiedot		

Author(s) Eloranta Jukka	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2018 Language of publication:
	Number of pages 34	Permission for web publication: x
Title of publication Optimization of the sludge treatment process at a paper mill UPM Kaipola		
Degree programme Degree Programme in Energy Technology		
Supervisor(s) Hytönen, Kari & Luosma, Petri		
Assigned by UPM Paper ENA		
Abstract <p>Sludge treatment process at Kaipola paper mill has suffered from quality changes in the sludge. A Rapid change in the quality of sludge causes difficulties in running the process. Process difficulties have a negative effect on the dry matter of the sludge. Improving dry matter values is important for environment as well as for the factory's economical profitability. The efficient use of sludge improves circular economy.</p> <p>The goal was to identify situations causing difficulties and to define the best driving patterns for the situations. Another objective was to study the operating principle of the sludge press and what effects did the changes in the driving patterns have in the dry matter of the sludge. Studies were executed by running test drives and the results were confirmed by taking dry matter samples from the dried sludge.</p> <p>Test drives were designed so that they were different than the normal behavior of the control system. Each test drive monitored a different process variable in the sludge press. During the test drives varies of different simulations were created, so that it would be clear how each variable affects the dry matter value of the sludge.</p> <p>The results were promising. The consumption of polymer decreased, and dry matter values increased compared to the previous results. Most of the problematic situations were identified and new driving patterns were created. The results showed that counterpressure has the biggest positive impact on the dry matter values of the sludge. The results also help to plan the next step and to define what kind of changes need to be made in the control system so that the process works well independently.</p>		
Keywords/tags (subjects) Sludge, circular economy, environment, polymer		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Määritelmät ja lyhenteet	4
2	Johdanto.....	5
3	Tutkimusote ja käytetyt tutkimusmenetelmät	6
4	Paperitehtaan jätevedenpuhdistusprosessi.....	6
	4.1 Paperiteollisuuden jätevedet	7
	4.2 Jätevedenpuhdistusprosessi	7
	4.2.1 Mekaaninen puhdistus	8
	4.2.2 Selkeytys	8
	4.2.3 Biologinen puhdistus	9
	4.2.4 Aktiivilieteprosessi.....	9
	4.2.5 Lietteenkäsittely	12
5	Kaipolan jätevesien puhdistus.....	13
	5.1 Kaipolan aktiivilieteprosessi	13
	5.2 Kaipolan lietteenkäsittelyprosessi.....	14
	5.2.1 Lietteenkuivaus.....	15
	5.2.2 Kemikaalisekoitin.....	16
	5.2.3 Viirasaostin	17
	5.2.4 Ruuvipuristin.....	18
	5.3 Poltto	20
6	Prosessin optimointi.....	20
	6.1 Näytteet.....	20
	6.2 Seurattavat arvot.....	22
	6.3 Yleinen seuranta.....	23
7	Tulokset	24
	7.1 Koeajot	24
	7.1.1 Momentti.....	24
	7.1.2 Vastapaine	26

	2
7.1.3 Polymeerin määrä.....	27
7.2 Ajomallit	28
7.3 Mekaaniset kehityskohteet.....	30
8 Johtopäätökset ja pohdinta	30
Lähteet.....	33
Liitteet	34

Kuviot

Kuvio 1. Esimerkki gravitaatioiselkeyttimestä	9
Kuvio 2. Esimerkki aktiivilieteprosessin rakenteesta	10
Kuvio 3. Ilmastusaltaan pinta.....	11
Kuvio 4. Biomassan kasvun vaiheet	11
Kuvio 5. Kaipolan jätevesien käsittely.....	14
Kuvio 6. Lietteen koostumus.....	15
Kuvio 7. Valvomon näyttö	16
Kuvio 8. Ruuvi 1 (vas.) ja Ruuvi 3 (oik.)	16
Kuvio 9. Kemikaalisekoitin lietteensyöttölinjassa.....	17
Kuvio 10. Viirasaostimen alku- ja loppupää	18
Kuvio 11. Ruuvipuristimen rakenne.....	19
Kuvio 12. Sihtihäkin sisäpinta.....	19
Kuvio 13. Näytteenottovälineet.....	21
Kuvio 14. Näyte ja kuiva-ainemittari.....	22
Kuvio 15. Momentin suhde kuiva-ainepitoisuuteen (lietepuristin 2).....	25
Kuvio 16. Momentin suhde kuiva-ainepitoisuuteen (lietepuristin 3).....	25
Kuvio 17. Momentin suhde kuiva-ainepitoisuuteen (lietepuristin 1).....	26
Kuvio 18. Vastapaineen suhde kuiva-aineseen (lietepuristin 3).....	26
Kuvio 19. Vastapaineen suhde kuiva-aineseen (lietepuristin 2).....	27
Kuvio 20. Vastapaineen suhde kuiva-aineseen (lietepuristin 1).....	27
Kuvio 21. Polymeerinkulutus.....	29
Kuvio 22. Lietteen kuiva-ainepitoisuudet	30

Taulukot

Taulukko 1. Vertailunäytteet.....	22
Taulukko 2. Optimaaliset ajomallit	29
Taulukko 3. Koeajojen KAP mittaukset	34
Taulukko 4. Lisämittaukset (lietepuristin 2).....	35
Taulukko 5. Lisämittaukset (lietepuristin 3).....	36

1 Määritelmät ja lyhenteet

Alkaliteetti

Veden kyky vastustaa Ph:n muutosta (puskurikyky).

AOX

Adsorbable organic halogen, jäteveden eloperäisiin yhdisteisiin sitoutunut kloorin määrä.

BAT

Best available techniques, paras käyttökelpoinen tekniikka.

BOD

Biological oxygen demand, biologinen hapenkulutus.

COD

Chemical oxygen demand, kemiallinen hapenkulutus. Mittaa orgaanisen aineen aiheuttamaa hapenkulutusta kemiallisessa reaktiossa.

Flokki

Yhteen kasautunut kiintoaine.

Polymeeri

Liuetettava kemiallinen yhdiste, joka edistää flokkantumista.

Rejekti

Erotettu tai hylätty aines.

Viira

Kangas, jonka tarkoitus on erottaa vettä.

2 Johdanto

Jokaisen osakeyhtiön tavoite on tuottaa arvoa osakkeenomistajille. Päätuotteen valmistuksesta syntyvien jätteiden kokonaiskustannukset eivät kuitenkaan koostu täysin suorista käsittelykustannuksista. Jätteidenkäsittelyyn voidaan soveltaa John Elkingtonin ”Kolme päälinjaa” -teoriaa, minkä mukaan lietteen hinta koostuu todellisuudessa pitkällä tähtäimellä ympäristökustannuksista, suorista kustannuksista ja yleisestä mielipiteestä yhtiötä kohtaan. Internetin ja sosiaalisen median mahdollistama nopea uutisten liikkuminen asettavat yhtiöille paineita jatkuvasti parantaa lietteen ympäristöystävällistä käsittelyä. (Lancaster 2010, 29-33.)

UPM käynnisti vuonna 2016 Kaatopaikkajätteen nollataso-hankeen. Hanke tarkoittaa käytännössä tuotannosta syntyvien sivuvirtojen ja jätteiden mahdollisimman tehokasta hyödyntämistä. Kaatopaikkajätteen nollataso on hyvä esimerkki kiertotaloudesta.

Paperitehtaiden jätevesien puhdistuksesta syntyy lietettä, mikä pyritään hyödyntämään niin hyvin kuin mahdollista. UPM kehittää jatkuvasti uusia keinoja hyödyntää lietettä ja on esimerkiksi saanut rahoituksen ympäristöministeriön Ravinteidenkierrätysohjelmasta (Raki2) vuosiksi 2017-2018 (UPM-uutishuone 2016). Yksi lietteen hyödyntämismenetelmä on kuitenkin hyödyntää sitä energiantuotannossa polttamalla.

Opinnäytetyön tavoitteena oli optimoida Kaipolan paperitehtaan lietteenkäsittelyn toiminta. Lietteiden laadun ja määrän vaihtelut aiheuttavat lietteenkäsittelyssä ajettavuusongelmia. Tämä ilmenee esimerkiksi kuiva-ainepitoisuuden pienenemisenä. Opinnäytetyön tehtävänä oli kartoittaa ajettavuusongelmia aiheuttavia ongelmilanteita ja niihin haettiin sopivia ajomalleja. Lisäksi tehtävänä oli tutkia lietepuristimien toimintaperiaatetta ja selvittää kuinka lietepuristimien ohjausjärjestelmän toiminnan muutokset vaikuttavat kuiva-ainepitoisuuteen. Tämän työn tuloksien ja löydösten on tarkoitus tehostaa lietteenkäsittelyn toimintaa.

Toimeksiantajana toimii UPM Paper ENA. Paper ENA on UPM:n liiketoiminta-alue, joka keskittyy aikakausi ja sanomalehtipapereiden sekä hienopapereiden valmistukseen. Paperinvalmistuksessa syntyy jätevesiä ja niistä edelleen puhdistusprosessissa lietettä. Kaipolan paperitehtaan kaikki toiminnot kuuluvat Paper ENA:n alaisuuteen.

3 Tutkimusote ja käytetyt tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyön tutkimusote oli aineistotriangulaatiota käyttäen osittain kvantitatiivinen eli määrällinen ja osittain kvalitatiivinen eli laadullinen. Kvalitatiiviselle tutkimukselle on tyypillistä, että ilmiöstä ei ole olemassa tarkkaa kuvausta ja siitä halutaan nimenomaan luoda selkeä käsitys. Kvantitatiiviselle tutkimukselle taas on tyypillistä, että ilmiön teoria on tunnettu ja sitä sovelletaan käytäntöön. (Kananen 2017, 32-45.) Ajomallien määrittämiseen erilaisissa ongelmatilanteissa kvalitatiivinen havainnointi soveltuu hyvin. Ajomallien määrittämiseksi on tärkeää havainnoida muuttuvia olosuhteita ja havaita ne prosessimuutokset, joilla on suurin merkitys kokonaisuuden kannalta. Toisaalta ilmiöiden todentamiseen käytetään näytteenottoa, josta saatavat arvot perustuvat jo olemassa olevaan matemaattiseen teoriaan.

Triangulaatio yhdistää usean tutkimusmenetelmän tyypillisiä piirteitä mm. havainnointia ja määrällistä tutkimusta. Tyypillisesti triangulaatiota käytetään, kun luotettavan tuloksen saavuttaminen vain yhdellä menetelmällä on perustellusti epätodennäköistä. (Kananen 2017, 154-155.) Aineistotriangulaation käyttö tässä opinnäytetyössä onkin näin ollen perusteltua. Prosessimuutosten ja lietteenkäsittelylaitteiston ohjausjärjestelmän toimintaperiaatteen määrittäminen havainnoimalla tarvitsee tuekseen myös vahvistuksen teorian oikeellisuudesta näytteenoton muodossa.

4 Paperitehtaan jätevedenpuhdistusprosessi

Teollisuuden jätevedet eroavat yhdyskuntien jätevesistä siten, että ne sisältävät sellaisia kemikaalijäämiä, joita yhdyskunnan jätevesissä ei ole. Teollisuuden jätevesien

laadunvaihtelu on myös suurta ja niiden puhdistus vaatiikin mittavamman puhdistusprosessin. Paperiteollisuudessa jätevesien puhdistukseen käytetään parasta saatavilla olevaa tekniikkaa (BAT). (RIL 124-1, 2003, 30-37.)

4.1 Paperiteollisuuden jätevedet

Paperinvalmistuksessa kriittisesti tärkeät prosessit tarvitsevat vettä. Vettä tarvitaan esimerkiksi paperimassan valmistukseen, jäähdytykseen, lämmitykseen ja eri osaprosessien pesuihin. Paperiteollisuudessa käytetylle vedelle on kuitenkin olennaista, että se ei kulu, vaan se kierrätetään biologisen puhdistamon kautta ja palautetaan vesistöön. Samaa vesilitraa pyritään kierrättämään prosessista toiseen veden kokonaiskulutuksen pienentämiseksi ja näin ollen ympäristöön kohdistuvan vaikutuksen rajoittamiseksi. (Metsäteollisuus ry 2017.) Veden tarve vaihtelee niin prosessikohtaisesti kuin tuotantolinjan mukaan. Iso osa vedestä menee jäähdytykseen ja siitä syntyvä lämmennyt vesi pyritäänkin hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti. Lämmennyt vettä hyödynnetään esimerkiksi lämmönvaihtimien avulla. (Seppälä, Klemetti, Kortelainen, Lyytikäinen, Siitonen, Sironen. 2002, 171-172.)

Paperitehtaan jätevesipäästöt jakautuvat tuotetun paperilaadun mukaan siten, että eniten päästöjä syntyy hienopaperin valmistuksesta n. 20-50 m³/t ja vähiten sanomalehtipaperin valmistuksesta n. 10-20 m³/t. Paperinvalmistusprosessin jätevedet sisältävät prosessissa käytettyjä kemikaaleja ja yhdisteitä. Jäteveden laatua seurataan useimmiten mittaamalla kuinka paljon jätevesi sisältää kiintoainetta ja ravinteita. Mittattavia arvoja ovat kiintoaine, COD-kuorma, BOD-kuorma, fosfori (P), typpi (N) ja AOX-kuorma. (Seppälä ym. 2002, 172.)

4.2 Jätevedenpuhdistusprosessi

jätevedenpuhdistusprosessi jaetaan yleisesti mekaaniseen ja biologiseen puhdistukseen. Mekaanisen puhdistuksen tavoite on erottaa jätevedestä mahdollisimman paljon kiintoainetta (Seppälä ym. 2002, 173). Biologisen puhdistuksen tavoitteena taas

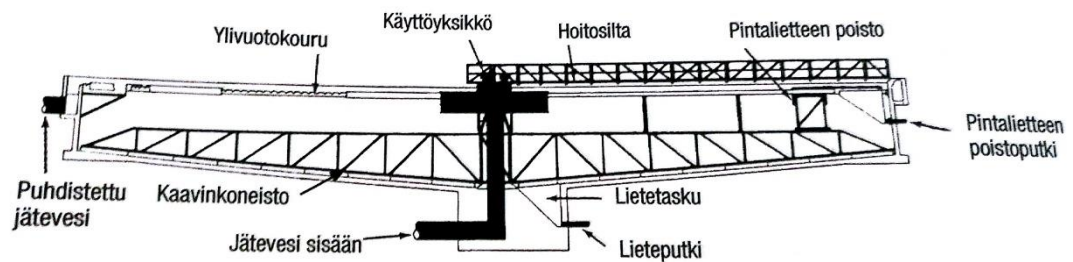
on kemiallisesti puhdistaa jäteveden liuenneita orgaanisia yhdisteitä. Biologisesta puhdistuksen sovellukset jaetaan aerobisiin, anaerobisiin ja niiden yhdistelmiin (Seppälä ym. 2002, 174).

4.2.1 Mekaaninen puhdistus

Mekaanisia puhdistussovelluksia ovat esimerkiksi erilaiset sihdit, suodattimet ja selkeyttimet. Sovellusten käyttö ei rajoitu yhteen vaan yleisesti niitä liitetään sarjaan puhdistustuloksen parantamiseksi (Seppälä ym. 2002, 173). Mekaaniseen puhdistukseen käytetään teollisuudessa myös välppää, jonka tarkoitus on mekaanisesti erottaa isot kiinteät ainekset. Välppän pääasiallinen tarkoitus on kuitenkin tulevien puhdistusprosessien laitteistojen suojaaminen. Välppän avulla pyritään suojaamaan esimerkiksi pumppujen ja ilmastimien toimintaa. Suuret kiintoainepartikkelit voivat aiheuttaa mekaanisia vaurioita puhdistuslaitteistoihin. (RIL 124-2, 2004, 53.)

4.2.2 Selkeytys

Mekaaniseen puhdistukseen kuuluvan selkeytyksen tavoite on poistaa suurin osa jäteveden kiintoaineesta. Se toteutetaan usein laskeuttamalla, vain painovoimaa hyödyntäen tai käyttäen gravitaatioselkeytintä (ks. kuvio 1). Gravitaatioselkeytintä käytetään, mikäli kiintoaineelle on tyypillistä, että osa siitä flokkaantuu altaan pintaan. Laskeutuksessa kiinteät hiukkaset laskeutuvat selkeytysaltaan pohjalle. Hiukkasten tulee olla vettä raskaampia laskeutuksen onnistumiseksi. Laskeutuneet hiukkaset muodostavat pohjaan primäärilietteen, joka poistetaan altaan pohjasta mekaanisesti ja esimerkiksi pumpataan lietteenkäsittelyyn. Laskeutuminen on riippuvainen lietteen viipymääjasta, mutta kaikki liete ei vajoa selkeyttimen pohjaan. Pintaan jäävä liete poistetaan pintalietteen poistoputkia pitkin (ks. kuvio 2.). Paperikoneiden päästöt voivat vaikeuttaa mekaanista lietteenpoistoa. Täyteainepäästö nostaa kiintoainekuormaa ja aiheuttaa suuren momentin mekaaniselle laitteistolle. (RIL 124-2, 2004, 77-78; Seppälä ym. 2002, 173-174.)



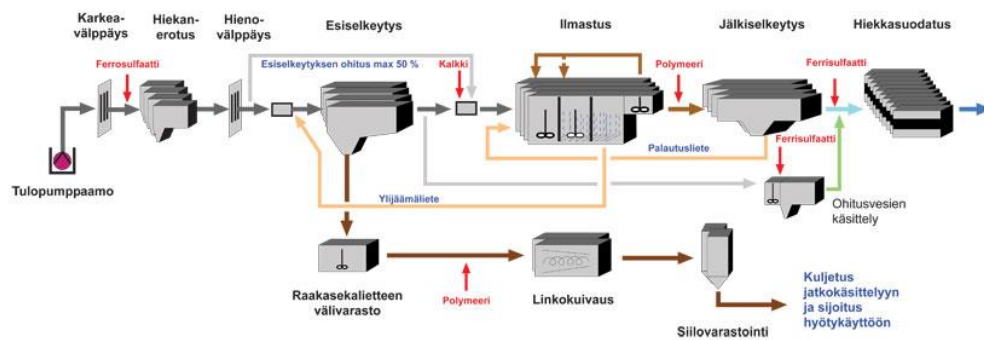
Kuvio 1. Esimerkki gravitaatioiselkeyttimestä

4.2.3 Biologinen puhdistus

Biologisen puhdistuksen sovellukset jaetaan aerobisiin, anaerobisiin ja niiden yhdistelmiin. Aerobiset sovellukset toimivat hapellisissa olosuhteissa, esim. avonaisissa altaissa, kun taas anaerobiset toimivat esimerkiksi suljetuissa reaktoreissa. Kaikille sovelluksille on yhteistä, että niissä hyödynnetään mikrobeja ja bakteereita. Pieneliöt käyttävät ravinnokseen veteen liuenneita yhdisteitä, jotka muodostavat mm. COD- ja BOD-kuorman. Paperiteollisuudelle sopivimmat sovellukset ovat aerobisia, sillä anaerobinen prosessi on herkkä paperiteollisuuden jätevesien sisältämille yhdisteille, mm. kuorimonvesien sisältämille tanniineille ja hartsihapoille. (Seppälä ym. 2002, 175-181.)

4.2.4 Aktiivilieteprosessi

Aktiivilieteprosessi on jätevesien käsittelyprosessi, jossa jätevesi puhdistetaan ensin mekaanisesti ja tämän jälkeen vielä biologisesti. (ks. kuvio 2). Prosessin monivaiheisuudella pyritään vaiheittain poistamaan haitallista ainesta ja näin tasaamaan laitteille aiheutuvaa rasitusta ja kuormaa. (Viikinmäen jätevedenpuhdistamo 2017.) Paperiteollisuudessa aktiivilieteprosessin sovellus on koettu toimivaksi ratkaisuksi. Hyviin puhdistustuloksiin on päästy pitkäilmastuslaitoksilla, koska liete viipyy pitkään ilmastusaltaissa ja näin ollen tarjoaa hyvän häiriönsietokyvyn kuin myös puhdistustehokkuuden. (Seppälä ym. 2002, 176-177.) Puhdistustehokkuudesta kertoo se, että aktiivilieteprosessilla on pystytty poistamaan AOX-kuormasta jopa 65 % (Bajpai 2012, 222).



Kuvio 2. Esimerkki aktiivilieteprosessin rakenteesta

Tasausallas ja neutralointi

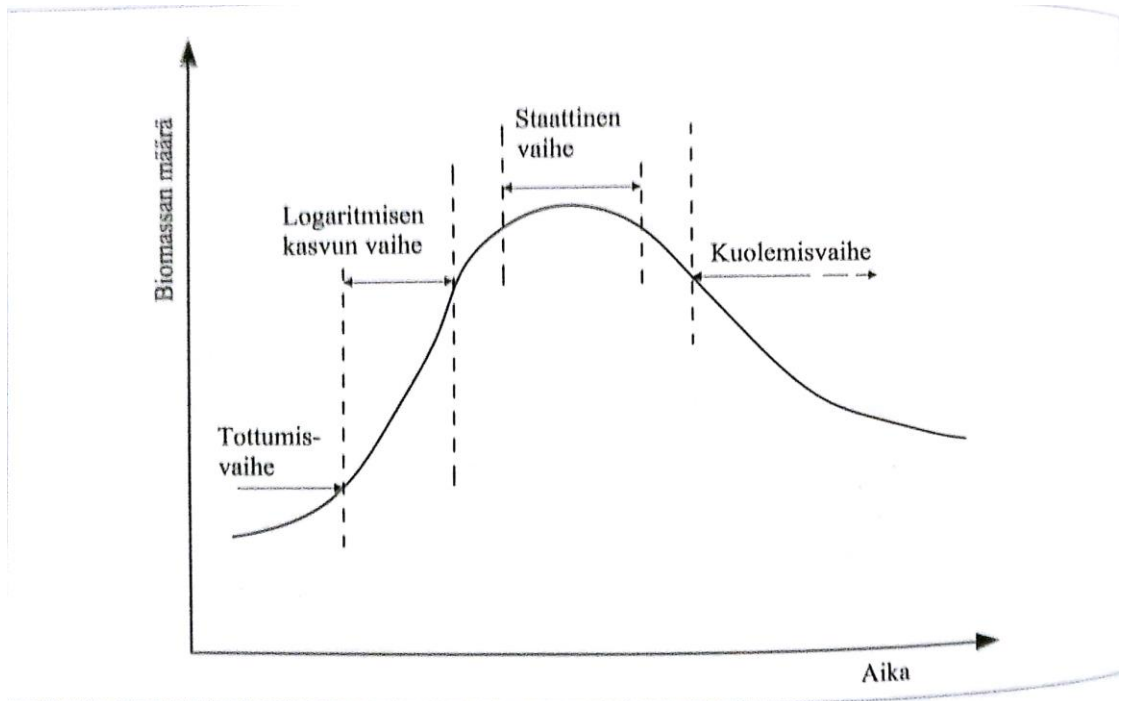
Jäteveden arvot (pH, ravinteet, lämpötila) tasataan tasausaltaassa. Tasausaltaan tehtävä on myös tasata veden syöttöä neutralointialtaaseen, josta se pumpataan ilmastukseen. Neutralointialtaassa veteen lisätään myös prosessia parantavat kemikaalit, esimerkiksi kalkki ja urea. Kemikaalien tehtävä on lisätä veden alkaliteettia ja säätää pH-arvoa. (Ilmastus 2016.) Veden pH-arvon säätö oikealle tasolle on tärkeää ilmastusaltaiden biologisen puhdistuksen onnistumiseksi (RIL 124-2, 2004, 144).

Ilmastus

Biologinen puhdistus tapahtuu ilmastusaltaassa hyödyntämällä luonnollisia mikro-
beja ja bakteereja. Pieneliöiden tehtävä on imeä itseensä veteen liuenneita ravin-
teita. Prosessin kannalta on olennaista altaaseen pumpattava ilma (ks.kuvio 3). Il-
mansyötön tarkoitus on liuottaa veteen happea, jota aktiivilieteprosessi vaatii toimi-
akseen. (Turun puhdistamo Oy 2016.) Ilmastusaltaisiin lisätään myös pieneliöiden ra-
vinnoksi epäorgaanisia aineita mm. typpeä ja fosforia. Huono ravinnetasapaino on te-
ollisuudessa tyypillinen ilmiö toisin, kuin yhdyskuntien jätevesissä. Ero johtuu teolli-
suusprosessien käyttämisestä kemikaaleista ja niiden pitoisuuksista prosessipäästöissä.
Pieneliöiden organismien energiansaanti perustuu hengitysketjuun ja organismit tar-
vitsevat happea (O₂) elektronin vastaanottajaksi. Biomassa kasvaa niin pitkään, kun-
nes jokin ravinne loppuu ja muodostaa näin ollen kasvua rajoittavan tekijän. Ilmiötä
kutsutaan staattiseksi vaiheeksi (ks. kuvio 4). (RIL 124-2, 2004, 169-174.)



Kuvio 3. Ilmastusaltaan pinta.



Kuvio 4. Biomassan kasvun vaiheet

Jälkiselkeyty

Jälkiselkeytinaltaan tavoite on laskeuttaa biomassa altaan pohjalle lietetaskuun, josta se palautetaan ilmastusaltaaseen puhdistustuloksen parantamiseksi. Pumpatessa lietettä sakeuttimelle siihen lisätään ferrisulfaattia typenpoiston edistämiseksi. Ferrisulfaatin lisääminen myös edistää kiinteän biomassan eli lietteen muodostumista (Ilmastus 2016). Prosessissa muodostuu myös ylijäämälietettä, joka ohjataan bio-

lietesakeuttimen kautta lietteenkäsittelyyn. Ylijäämäliete eli ns. bioliete yhdistyy selkeytysprosessissa laskeutettuun primäärilietteeseen matkalla lietteenkäsittelyyn (Jokilaakson esittelymateriaali 2010).

4.2.5 Lietteenkäsittely

Paperiteollisuudessa liete koostuu useimmiten selkeytyksestä tulevasta primäärilietteestä ja sakeuttimelta tulevasta biolietteestä. Primääriliete sisältää enemmän kiintoaineita mm. kuituja. Biolietteen vedenerotusominaisuudet ovat huonot, ja sen vuoksi on tärkeää, että prosessiin on valittu sopivat kemikaalit vedenerotusominaisuuksien parantamiseksi. Parempi flokkaantuminen parantaa vedenerottumista ja se toteutetaan käyttämällä esimerkiksi polymeerejä. Lietteenkäsittelyssä lietteeseen yhdistetään myös paperitehtaalta tulevat prosessivedet, jotka sisältävät prosessista erotettuja aineksia eli rejektejä. (Seppälä ym. 2002, 184.)

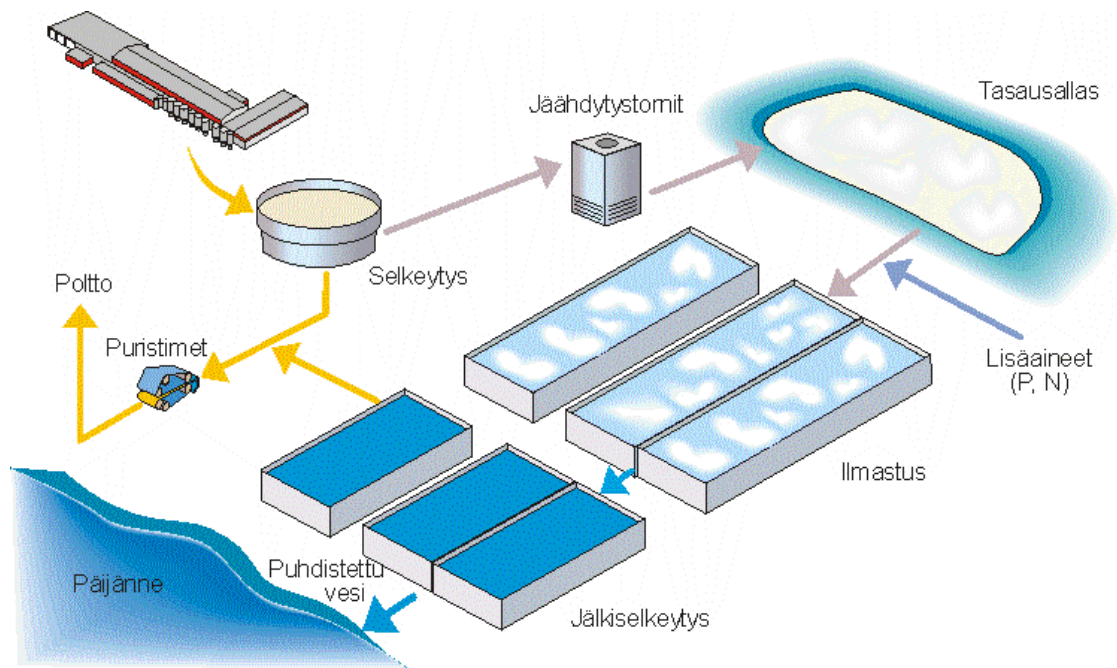
Lietteenkäsittelyprosessin helpottamiseksi bioliete on toisinaan erotettu primäärilietteestä ja rejekteistä. Erotuksella on pyritty hyödyntämään heikosti kuivattavaksi soveltuva bioliete esimerkiksi maanrakennuksessa tai maanviljelyssä. Tämä on mahdollista, koska bioliete ei enää sisällä haitallisia yhdisteitä yhtä paljon kuin primääriliete. (Bajpai 2012, 350-351.) Ympäristön kannalta paperinvalmistuksen jätevesistä syntyvä liete on tärkeää hyödyntää. Lietteen hyötykäyttö maanrakennuksessa ei kuitenkaan ole ympäristön kannalta optimaalisin vaihtoehto, joten useimmiten liete poltetaan (Oral, Sikula, Puchyr, Hajny, Stehlik, Bebar. 2005, 509-515). Palamisominaisuuksien parantamiseksi lietteen kuiva-ainepitoisuuden (%) tulee olla mahdollisimman korkea. Liete pumpataan tyypillisesti vedenerotuslaitteistoon ja siitä kuivaukseen. Kuivauksesta on olemassa useita sovelluksia, mutta paperiteollisuudessa tyypillisimmät vaihtoehdot ovat joko suotonauhapuristin tai ruuvipuristin (Seppälä ym. 2002, 184-185).

5 Kaipolan jätevesien puhdistus

5.1 Kaipolan aktiivilieteprosessi

Kaipolassa jätevedet puhdistetaan hyödyntämällä aktiivilieteprosessia (ks. kuvio 5). Jätevesi pumpataan tehtaalta väljän kautta esiselkeyttimelle, jossa jätevedestä poistetaan suurin osa kiintoaineesta, mm. täyteaineet ja puukuidut. Esiselkeyttimen pohjaan laskeutunut liete ns. primääriliete pumpataan lietteenkäsittelyyn lietteenvarastosäiliöön. Vesi jatkaa matkaansa jäähdytystornien kautta tasausaltaaseen. Veden lämpötilan säätö on tärkeää, että biologisen puhdistusprosessin onnistumiseksi. Tasausaltaassa tasataan veden syöttö ilmastusaltaaseen, veden Ph ja ravinteet. Ilmastusaltaassa veteen liuotetaan happea pohjailmastimien avulla. Kompessorit tuottavat ilman, joka puhalletaan tasaisesti suuttimien kautta.

Ilmastusaltaassa pieneliöt syövät veteen liuennutta happea syövää orgaanista aineesta (COD/BOD) ja muodostavat biomassaa. Pieneliöt vaativat tarpeeksi lisäravinteita typpeä, fosforia ja happea reaktion toteutumiseksi. Ilmastusaltaassa syntynyt biomassa ja puhdistettu vesi erotetaan laskeuttamalla biomassa altaan pohjaan, josta suurin osa lietteestä palautetaan ilmastusprosessiin. Ylimääräinen liete pumpataan biolietesakeuttimelle, jossa liete sakeutetaan ja pumpataan lietteenkäsittelyyn lietteenvarastosäiliöön.



Kuvio 5. Kaipolan jätevesien käsittely

5.2 Kaipolan lietteenkäsittelyprosessi

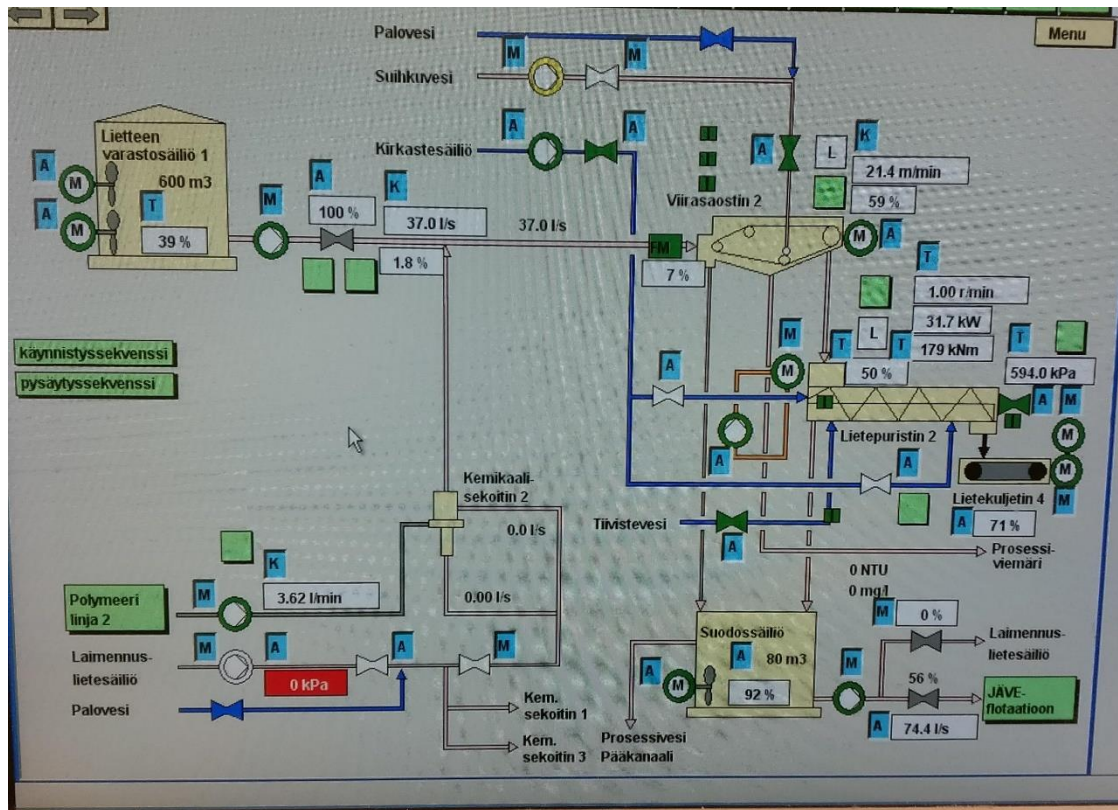
Kaipolan paperitehtaalla on kolme paperikonetta, kaksi hiertämöä ja siistaamo. Paperikoneiden ja hiertämöiden rejektit ajetaan siistaamon vaahtherejektin kanssa omia linjojaan pitkin lietteenkäsittelyyn. Paperikoneiden ja hiertämöiden rejektit ajetaan kaarisihtien läpi, mutta siistaamolla vaahdotusprosessissa syntyvä vaahtherejekt ei mene läpi kaarisihdeistä ja siksi se pumpataan suoraan lietteenkäsittelyyn. Pieni määrä vaahtherejektistä on ajettu laimennusnesteinä polymeerin joukossa viirasaostimelle. Lietteet ajetaan Kaipolassa varastosäiliöön esiselkeyttimeltä (primääriliete) ja biolietesakeuttimelta (bioliete). Rejektit ja lietteet sekoitetaan samassa varastosäiliössä lietteenkäsittelyn ajettavuuden parantamiseksi (ks. kuvio 6). Prosessia ajetaan Alcont-ohjausjärjestelmällä ja siihen on liitetty sumea logiikka.



Kuvio 6. Lietteen koostumus

5.2.1 Lietteenkuivaus

Lietteenkuivaus tapahtuu kolmella linjalla siten, että liete pumpataan varastosäiliöstä viirasaostimelle ja siitä liete putoaa painovoiman avulla suppilon kautta ruuvipuristimeen (ks. kuvio 7). Ennen viirasaostinta lietteeseen lisätään kemikaalisekoittimen kautta polymeeri, joka parantaa lietteen vedenerotusominaisuuksia. Linjat ovat muuten identtiset, paitsi että ensimmäisen linjan ruuvipuristin on fyysisesti erilainen (ks. kuvio 8). Tosin puristimen toimintaperiaate on sama. Puristettu liete putoaa kuljettimelle, joka edelleen kuljettaa kuivatun lietteen kuorikuljettimelle, jossa se sekoittuu kuoren joukkoon. Kuoren ja lietteen sekoite jatkaa matkaansa voimalaitoksen varastosiiloon, josta se otetaan polttoon.



Kuvio 7. Valvomon näyttö



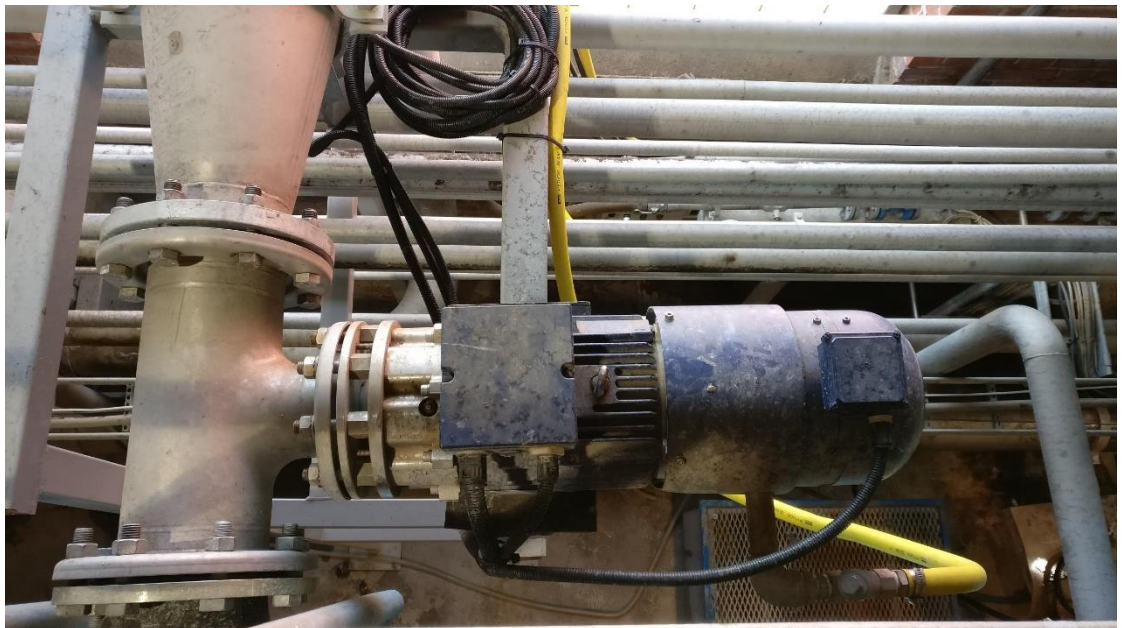
Kuvio 8. Ruuvi 1 (vas.) ja Ruuvi 3 (oik.)

5.2.2 Kemikaalisekoitin

Työn aikana tehtaalle otettiin koeajoon uudet kemikaalisekoittimet, joiden kierrosnopeutta oli mahdollista säätää ohjausjärjestelmästä. Kemikaalisekoittimen tehtävä on sekoittaa lietteeseen polymeeri, jonka avulla liete flokkaantuu ja näin siitä saadaan paremmin erotettua vesi viirasaostimella. Lietteiden määrää säädetään valvomon Alcont-ohjausjärjestelmällä. Normaalisti kierrosnopeus (%) määräytyy automaattisesti lietteen massavirran (l/s) ja sakeuden (%) mukaan. Sakeusmittauksen toimintahäiriöiden vuoksi kierrosnopeutta säädettiin käsin ohjausjärjestelmässä, sen mukaan miltä

liete näytti viirasaostimella. Oikeaa kierrosnopeutta haettaessa havaittiin, että liian kova kierrosnopeus aiheuttaa lietteeseen virtauksen, joka hajottaa flokkia sen muodostumisen edistämisen sijaan.

Polymeerin syötön määrä saadaan halutun ruuvipuristimen momentin ja lietteen syöttövirtauksen mukaan. Työn aikana havaittiin, että vanhojen kemikaalisekoittimien läpi on samanaikaisesti epähuomiossa ajettu vaahtorejektia injektionesteenä. Vaahtorejektin vaikutus oli nähtävissä viirasaostimien viiroissa lähes välittömästi linjan sulkemisen jälkeen. Viirat kirkastuivat saostimilla ja niistä katosi eräänlainen limapinta. Voidaan olettaa, että viirat läpäisivät vettä paremmin, kun vaahtorejektia ajetaan toista linjaa pitkin. Mikäli uusi laitteisto jää pysyvästi tehtaalle, saadaan prosessista vapautettua yksi säiliö linjamuutoksen ansiosta.



Kuvio 9. Kemikaalisekoitin lietteensyöttölinjassa

5.2.3 Viirasaostin

Viirasaostimen tehtävä on erottaa mahdollisimman paljon vettä flokkaantuneesta lietteestä painovoiman ja jakotolppien avulla. Tolpat aiheuttavat lietteen jakaantumi-

sen viiralla erillisiksi vanoiksi (ks. kuvio 8) ja luodun puristuksen avulla lietteestä irtoaa vettä viiran läpi prosessiviemäriin. Saostunut liete jatkaa matkaansa viiraa pitkin syöttösuppiloon. Mekaaniset elementit ovat tärkeitä viirasaostusprosessin tehokkuuden kannalta. Mekaanisia elementtejä ovat mm. viira, jakotolpat ja kaavarit. Tulokseen vaikuttavia elementtejä ovat myös viirannopeus ja tulevan lietteen määrä. Opinnäytetyön aikana pohdittiin myös lietteen lämpötilan vaikutusta veden viskositeettiin. Tästä ei kuitenkaan ehditty kerätä dataa, jolla vaikutus olisi voitu todentaa.



Kuvio 10. Viirasaostimen alku- ja loppupää

5.2.4 Ruuvipuristin

Ruuvipuristimen tehtävä on puristaa syöttösuppilosta tuleva liete kuivaksi. Ruuvi puristaa lietettä lavoilla sihtihäkkiä vasten (ks. kuvio 11). Sihdin läpi irronnut vesi johdetaan ruuvipedin pohjassa olevaan suppiloon ja siitä suodossäiliöön. Ruuvien pyöriessä jatkuvasti sihtihäkki ja lavat kuluvat. mekaaniset vauriot havaitaan suodosten näytteistä kiintoainepitoisuuden nousuna. Työn aikana havaittiin kiintoainepitoisuuden epätyypillistä nousua ja kyseiseen ruuviin teetettiin huolto. Huollossa havaittiin, että sihtihäkki on vaurioitunut (ks. kuvio 12) ja näin ollen kiintoainetta on päässyt suodosten sekaan. Suodos pumpataan jätevesiflotaatioon, josta se jatkaa matkaansa takaisin lietteen varastosäiliöön.

Puristuksen voimaa kuvataan momentilla (kNm). Puristukseen vaikuttaa myös ruuvien nopeus (rpm) ja loppupäässä oleva levy eli vastapaine (kPa). Vastapainelevyn tehtävä on painaa purkautuvaa lietettä ja näin auttaa puristusprosessia lietteen kuiva-ainepitoisuuden (%) nostamiseksi. Voimakas vastapaine ja korkea ruuviennopeus nostavat

ruuvimomenttia. Ruuvimomenttia nostaa myös lietteen koostumus syöttösuppilossa ja tähän vaikuttaa syötetyn polymeerin määrä. Polymeeri vaikuttaa vain tiettyyn pisteeseen asti kuinka kuivaa liete on viirasaostimelta pudotessa syöttösuppiloon. Liika polymeeri limoittaa viiran saostimella ja heikentää näin ollen vedenerotusta.



Kuvio 11. Ruuvipuristimen rakenne.



Kuvio 12. Sihtihäkin sisäpinta.

5.3 Poltto

Liete poltetaan paperitehtaan omalla voimalaitoksella leijupetikattilassa. Ennen polttoa liete sekoitetaan tehtaan puunkuorimolta tulevan kuoren sekaan. Liete-kuori seos syötetään kattilaan yhdessä muun polttoaineen kanssa. Vaikkakin lietteen lämpöarvo on heikko, se tarjoaa polttoprosessin ohjaukseen liikkumavaraa. Lietteen kanssa voidaan ajaa yhdessä tarvittaessa korkeamman lämpöarvon omaavia polttoaineita. Korkeamman lämpöarvon omaavat polttoaineet, kuten esimerkiksi kanto, nostavat helposti kattilan lämpötilan liian korkeaksi prosessin kannalta. Liette toimii matalan lämpöarvonsa ansiosta prosessissa ns. jarruna. Juurikin matalan lämpöarvonsa vuoksi lietteen mahdollisimman hyvä kuivaaminen on tärkeää, että mahdollisimman suuri osa lietteen potentiaalista pystytään hyödyntämään. Esimerkiksi primääriletteen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa on n. 2,3 MJ/kg ja sen tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa on n. 17 MJ/kg.

6 Prosessin optimointi

Lietteenpuristuksen optimoinnin tavoitteena oli tutkia prosessisuureiden vaikutusta lietteen kuiva-aineeseen ja määrittää optimaaliset ajotavat lietteenvaihtelun mukaan. Vaikutusta tutkittiin puristetusta lietteestä otettujen näytteiden avulla, sekä sen hetkistä ajodataa analysoimalla. Optimoinnilla pyrittiin myös keräämään pohjatietoa, jonka perusteella voidaan tehdä muutoksia lietteenkäsittelyn automatisoinnin kehittämiseksi. Tämä tarkoittaa käytännössä ohjausjärjestelmän sumean logiikan uudelleenviritystä ja logiikkaan tehtäviä rakenteellisia muutoksia.

6.1 Näytteet

Näytteenotto toteutettiin ottamalla näytteitä (ks. kuvio 14) tarkoitukseen valmistetulla kauhalla näytteenottoaukosta (ks. kuvio 13). Näytteillä pyrittiin seuraamaan

tehtyjen muutosten vaikutusta kuiva-aineeseen. Näyte otettiin aina halutussa ajotilanteessa.



Kuvio 13. Näytteenottovälineet.

Näytteet analysoitiin käsikäyttöisellä kuiva-ainemittarilla (ks. kuvio 14). Mittarin tulosten oikeellisuus määritettiin ottamalla vertailunäytteitä eli, ns. tuplanäyte joista toinen analysoitiin kuvion 14 mittarilla ja toinen tehtaassa laboratoriossa normaalin käytännön mukaisesti. Tämän jälkeen tuloksia verrattiin keskenään ja saadun virheen perusteella haettiin oikeat mittausarvot. Mittausarvoja ovat kosteuden minimi poistoprosentti (d) ja kuivaus lämpötila (T). Vertailunäyte otettiin aina, kun prosessimiehet ottivat omat näytteensä normaalin aikataulun mukaisesti iltavuorossa. Prosessimiesten näytteet analysoitiin tehtaassa laboratoriossa ja niiden tulokset syötettiin tehtaassa tietojärjestelmään. Vertailunäytteiden pohjalta havaittiin, että käsimittarilla analysoidut näytteet olivat kuiva-ainepitoisuudelta n. 2 % liian korkeat verrattuna laboratorion mittauksiin. Saatujen tulosten perusteella (ks. taulukko 1) voitiin arvioida, että vähentämällä mittarin tuloksesta 2 % saatiin todellinen arvo.

Taulukko 1. Vertailunäytteet

Mittausarvot	Oma	Lab	Virhe
d=0,5 T=130	61,91	56	5,91
d=0,4 T=105	58,65	53,5	5,15
d=0,3 T=105	58,7	56,9	1,8
d=0,3 T=105	58,9	56,6	2,3
Keskiarvo virhe	2,05		



Kuvio 14. Näyte ja kuiva-ainemittari.

6.2 Seurattavat arvot

Otetuilla näytteillä seurattiin kuiva-ainepitoisuutta ja samalla ohjausjärjestelmästä kirjattiin ylös prosessisuureita.

Seuratut arvot:

- Ruuvipuristimen kierrosnopeus (rpm)
- Momentti (kNm)
- Vastapaine (kPa)
- Suppilon pinta (%)
- Polymeerin määrä (l/min)
- Polymeerisuhde (%)
- Kemikaalisekoittimen kierrosnopeus (%)

Prosessisuureiden kirjauksen tavoitteena oli seurata suureiden muutosten vaikutusta kuiva-ainepitoisuuteen. Näin pystyttiin määrittämään millä arvoilla oli eniten vaikutusta kuiva-ainepitoisuuteen. Oli olennaista seurata myös lietteen laadullisia muutoksia. Laatu oli tarkoitus seurata sakeusmittauksen avulla, mutta laitteistoa ei saatu tämän opinnäytetyön aikana toimimaan luotettavasti. Päädyttiin monitoroimaan lietteen laatua visuaalisesti viirasaostimien kameroiden avulla sekä paperikoneiden, hiertämöiden ja siistaamon käyntitietojen avulla. Työtä tehdessä havaittiin, että lietteen laatua pystyttiin seuraamaan myös polymeerisuhteen mukaan. Voitiin todeta, että sen säännöllisen käyttäytymisen vuoksi polymeerisuhde oli lietteenlaadulle tärkeempi mittari suhteessa visuaaliseen havainnointiin.

6.3 Yleinen seuranta

Optimointiin kuului olennaisena osana prosessinkulun yleinen seuraaminen ja tietokone ajomuodon (T) toiminnan arviointi. Ajomuotoa arvioitiin siitä näkökulmasta, kuinka se itsenäisesti todellisuudessa toimii. Prosessin itsenäisen toiminnan tulisi olla mahdollisimman hyvällä tasolla, koska prosessimiehet tekevät vain aamu- ja iltavuoroa. Havainnointia pyrittiin hyödyntämään myös laitteiston mekaanisen toiminnan seuraamiseen ja mahdollisten korjaustarpeiden paikallistamiseen.

7 Tulokset

7.1 Koeajot

Koeajojen tavoitteena oli määrittää millä arvoilla päästiin parhaisiin tuloksiin. Eli miten saatiin korkein kuiva-aineprosentti.

7.1.1 Momentti

Ruuvipuristimen momentti muodostuu seuraavasti.

T = Laskettu momentti (kNm)

P = Lietepuristimen teho (kW)

n = Lietepuristimen kierrosnopeus (rpm)

0,85 = Momentin korjauskerroin

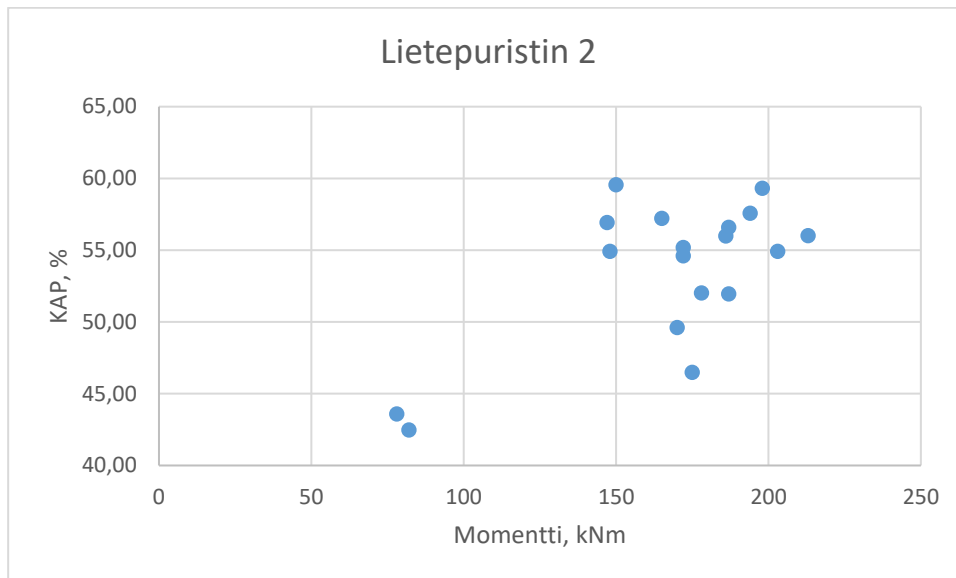
9,55 = Tuloksen muutoskerroin (N -> kNm)

$$T = \frac{(P \times 9,55)}{n} \times 0,85$$

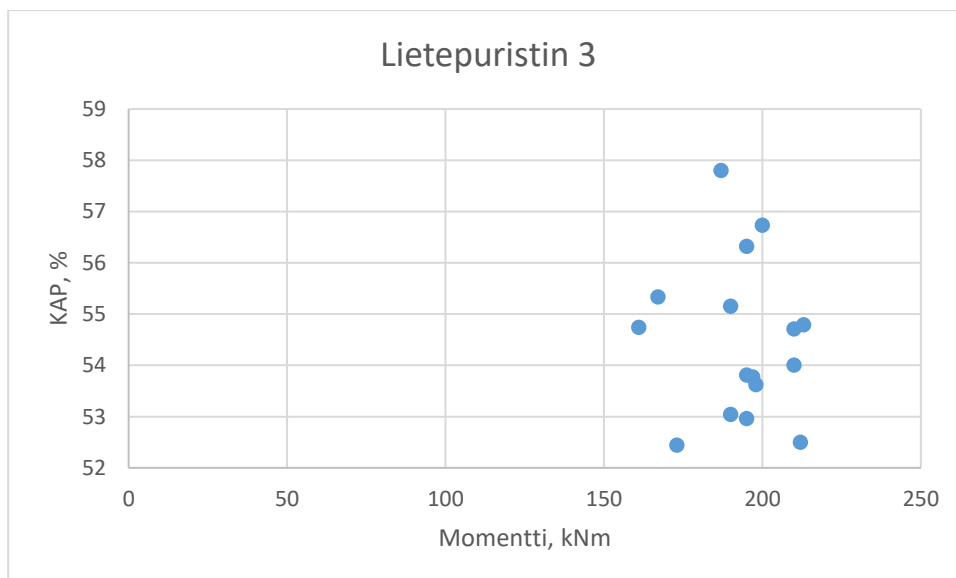
Momentin muodostumiseen vaikuttavat myös lietteen koostumus ja vastapaineen määrä.

Koeajossa seurattiin momentin määrän vaikutusta kuiva-aineeseen ja pyrittiin määrittämään optimaalinen arvo, jolla päästiin parhaaseen tulokseen. Optimaalista arvoa haettaessa tuli ottaa huomioon myös prosessin sujuvuus, eli ottaa huomioon ruuvin mekaaninen toiminta ja kestävyys.

Tuloksista (ks. liite 1) kävi ilmi, että momentti yksinään ei vaikuta suuresti kuiva-ainepitoisuuteen. Kuiva-ainepitoisuuden tavoite arvo on yli 52,5 % ja tähän arvoon päästään, kun momentti on n. 150 kNm (ks. kuvio 15).

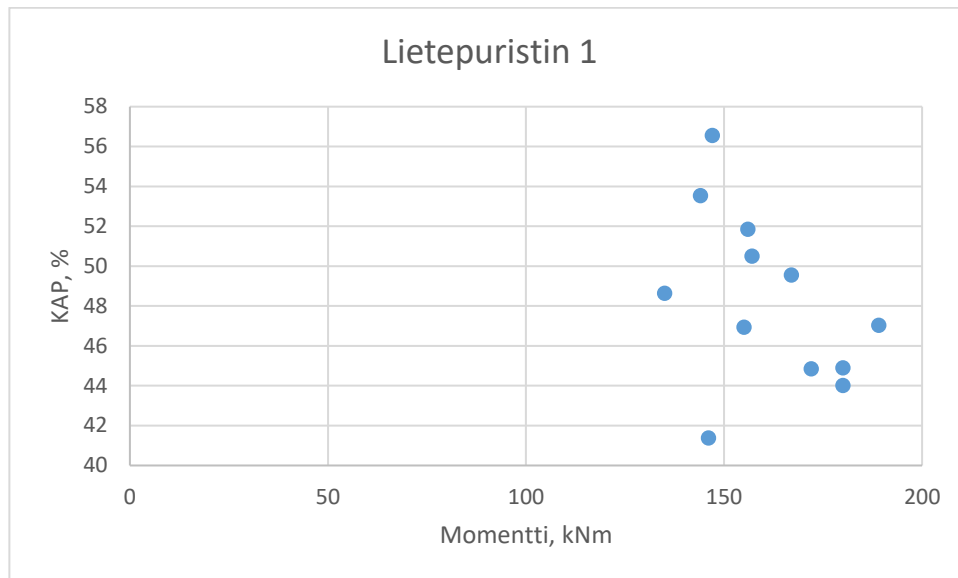


Kuvio 15. Momentin suhde kuiva-ainepitoisuuteen (lietepuristin 2)



Kuvio 16. Momentin suhde kuiva-ainepitoisuuteen (lietepuristin 3)

Koeajossa havaittiin, että lietepuristin yksi käyttäytyy momentin suhteen poikkeavasti, kun kuviota 17 verrataan kuvioihin 15 ja 16. Lietepuristin yhden lietteiden kuiva-ainepitoisuudet ylittivät 52,5 % kuiva-ainepitoisuuden, vaikka momentti oli alle 150 kNm. Tosin tulosten jälkeen prosessia tarkastelemalla havaittiin, että lietepuristin yhdellä oli monia eroavaisuuksia verrattuna ruuveihin kaksi ja kolme, mm. vastapaineen käyttäytyminen. Havaittiin, että ruuvi yksi alkaa avaamaan vastapainetta, kun momentti saavuttaa arvon 150 kNm (ks. liite 1).



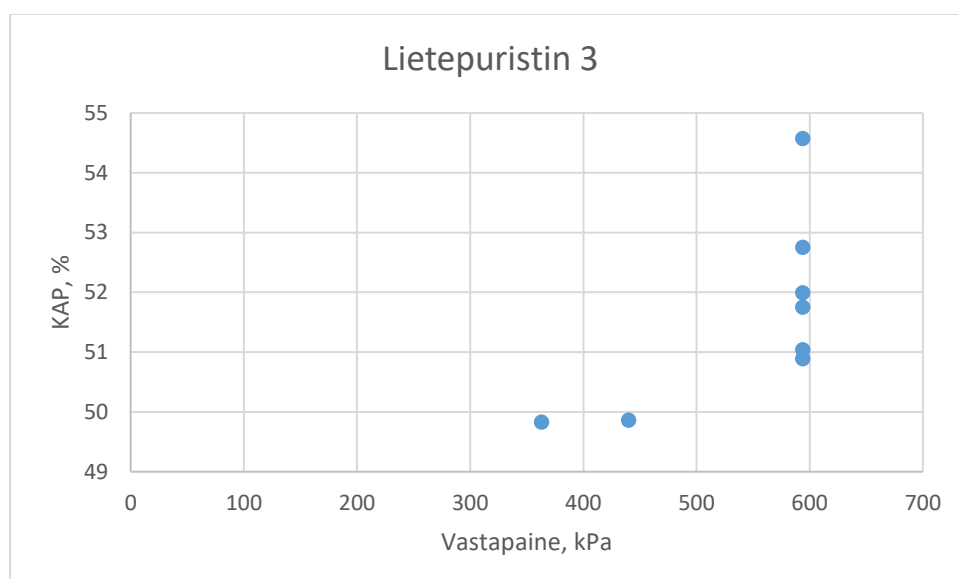
Kuvio 17. Momentin suhde kuiva-ainepitoisuuteen (lietepuristin 1)

7.1.2 Vastapaine

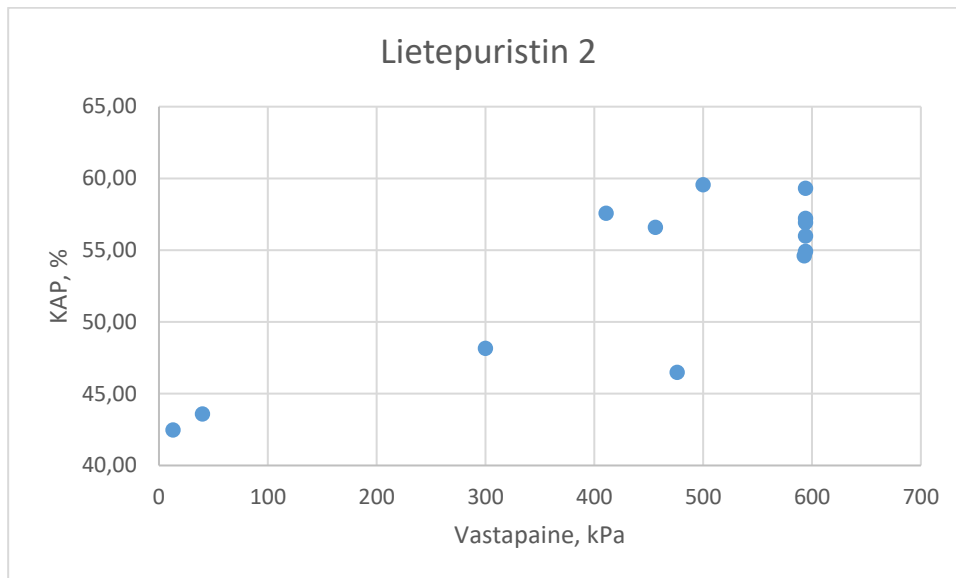
Vastapaineen tehtävä on seurata lietepuristimen momentin muodostamista. Vastapainelevy avautuu, kun momentti ylittää halutun arvon ja vastaavasti sulkeutuu, kun puristin ei saavuta haluttua momenttia. Vastapainelevyn sulkeutuminen helpottaa ruuvien momentin muodostamista. Koeajossa pyrittiin määrittämään vastapaineen vaikutusta kuiva-ainepitoisuuteen.

Tuloksista kävi ilmi, että vastapaineen kasvaessa myös kuiva-aineprosentti kasvaa.

Tulos käy ilmi kuvioissa 18 ja 19.

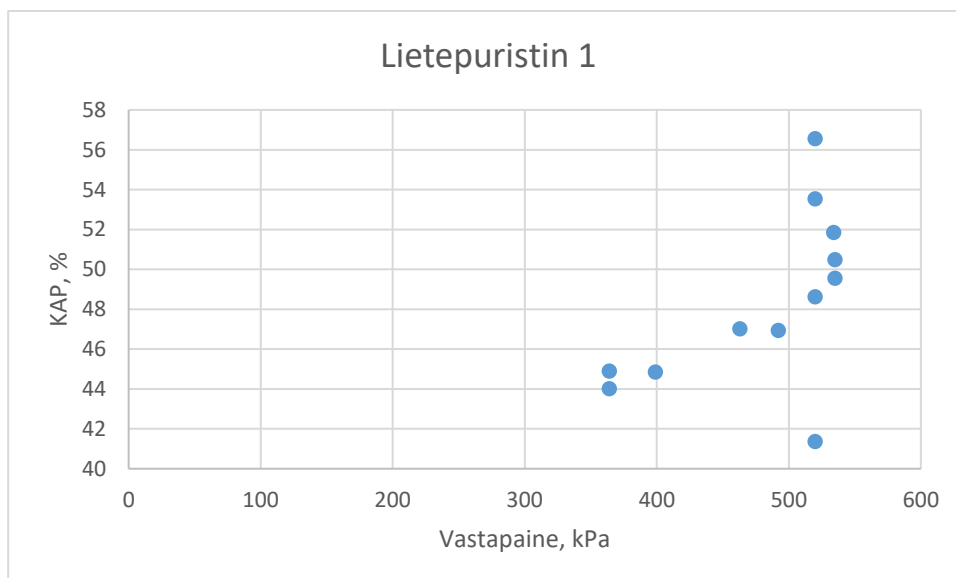


Kuvio 18. Vastapaineen suhde kuiva-ainepitoisuuteen (lietepuristin 3)



Kuvio 19. Vastapaineen suhde kuiva-aineeseen (lietepuristin 2)

Tuloksista (ks. kuvio 20) käy ilmi, että lietepuristin yksi eroaa puristimista kaksi ja kolme. Parhaisiin tuloksiin päästään, kun vastapaine on n. 520 kPa.



Kuvio 20. Vastapaineen suhde kuiva-aineeseen (lietepuristin 1)

7.1.3 Polymeerin määrä

Polymeerin tarkoitus on tiivistää lietteen koostumusta. Koeajon tarkoitus oli tutkia polymeerin määrän suhdetta kuiva-aineeseen. Koeajossa ei saatu selkeää kuvaa polymeerin suorasta vaikutuksesta kuiva-aineeseen (ks. liite 1). Hajonta oli liian suurta selkeän kuvan saamiseksi. Koeajossa havaittiin visuaalisesti, että polymeerin määrällä

on suora suhde lietteen laatuun. Polymeerin kulutus on suurin, kun PK kuusi ja hiertämöt pumppaavat vähän rejektiä lietteenkäsittelyyn.

7.2 Ajomallit

Koeajojen aikana pystyttiin tunnistamaan ongelmia aiheuttavia poikkeustilanteita sekä sopivat ajomallit näihin tilanteisiin.

Ongelmatilanteet:

- Paperikoneiden katkot/seisokit
- Hiertämöiden seisokit
- Siistaamon seisokit
- Päästöt esiselkeyttimelle

Vaikutukset:

- Lietteen koostumuksen muutos
- Polymeerin vaikutuksen heikkeneminen
- Puristinruuvien tukkeutuminen

Ratkaisut:

- Polymeerin syöttövirtauksen muutos
- Vastapaineen aukeamisen säätö
- Ajettavien ruuvien valikointi
- Lietteen syöttövirtauksen säätö

Koeajojen aikana havaittiin, että puristimet kaksi ja kolme puristavat lietteen huomattavasti kuivemmaksi. Puristin yksi toimii paremmin lietteellä mihin polymeeri toimii heikosti.

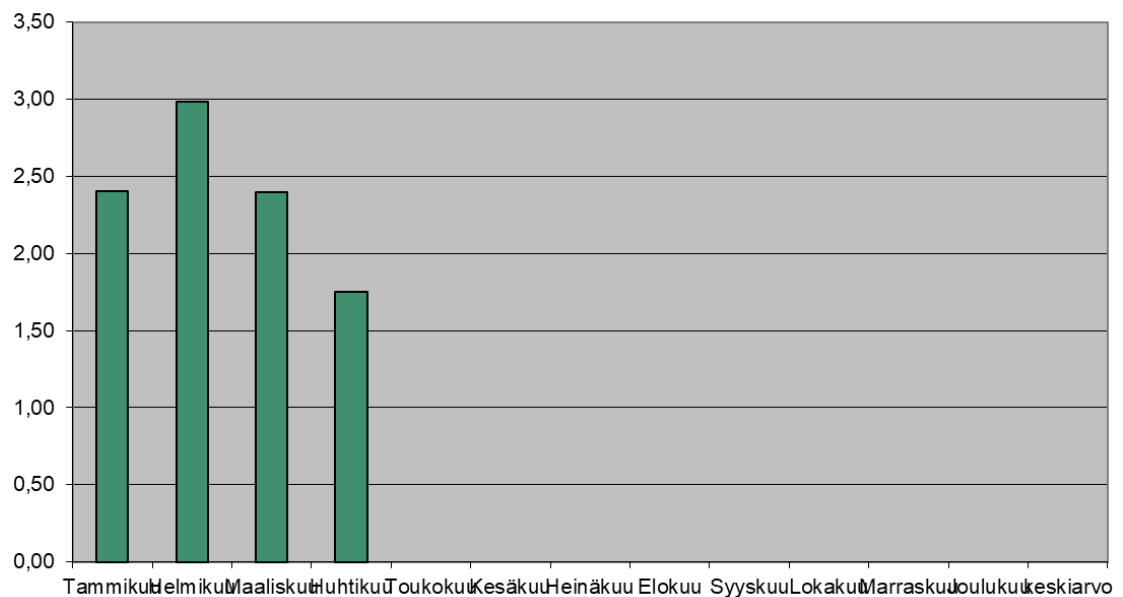
Puristimien maksimi syöttövirtaukseksi pystyttiin myös määrittämään n. 55 l/s. Tätä suurempi virtaus vaikeuttaa puristinten toimintaa sekä laskee kuiva-ainepitoisuutta. Maksimivirtauksen selvittämisen ansiosta voitiin todeta, että lietteen kokonaisvirtauksen ollessa alle 110 l/s prosessia kannattaa ajaa vain puristimilla kaksi ja kolme. Prosessin ajaminen vain kahdella puristimella nostaa prosessin hyötysuhdetta. Lietteessä haastavaa eli primääri ja biolietepitoista kannattaa prosessia ajaa siten, että puristimella yksi on suurin syöttövirtaus. Haastavassa ajotilanteessa korostuu prosessin käynnin turvaaminen. Käynti turvataan siten, että mahdollisimman korkea kuiva-ainepitoisuus ei ole enää prioriteetti. Käyntiä edistetään esimerkiksi säätämällä vastapaine avautumaan normaalia helpommin.

Taulukko 2. Optimaaliset ajomallit

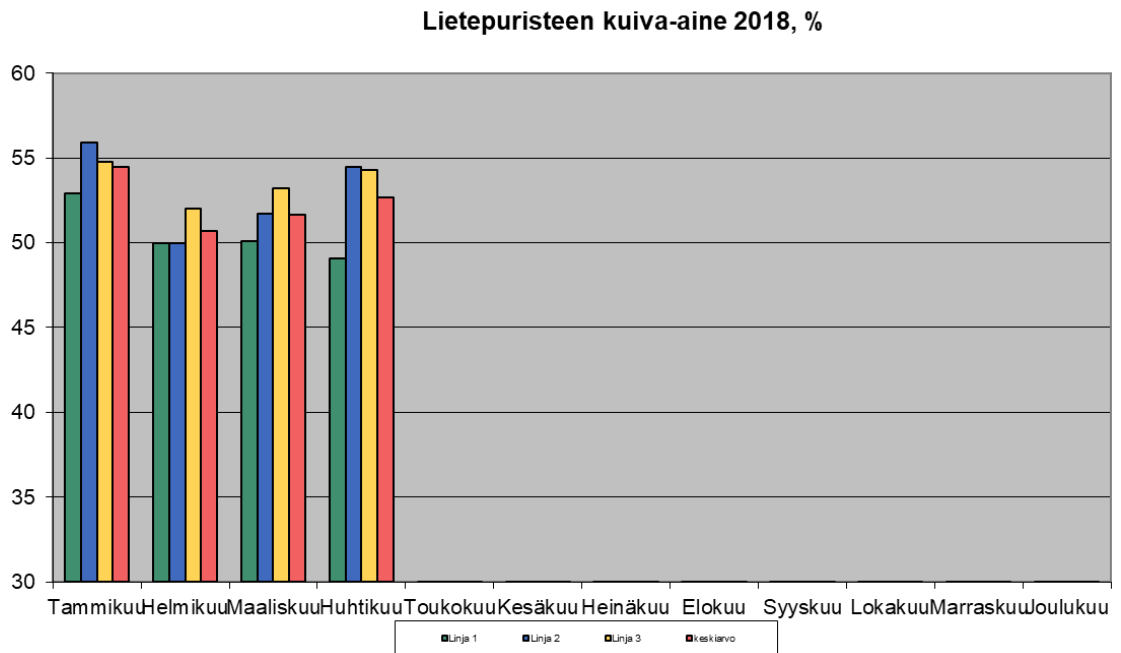
Puristin	Ruuvinopeus (rpm)	Momentti (kNm)	Vastapaine (kPa)	MAX Virtaus (l/s)
1	< 70 %	150	520	55
2	< 0,80	210	594	55
3	< 0,80	210	594	55

Koeajojen aikana pystyttiin määrittämään myös kuiva-aineen kannalta optimaaliset ajomallit (ks. taulukko 2). Ajomallit on määritetty siten, että saadaan mahdollisimman hyvät kuiva-aineet kuitenkin heikentämättä prosessin kulkua. Ajomallia alettiin käyttää maaliskuun lopulla ja kuten kuvioiden 21 ja 22 tuloksista käy ilmi tulokset ovat lupaavia. Ajomallit ovat kuitenkin vain osa lopputulosta. Tuloksiin vaikuttaa myös selvästi helmikuussa käyttöön otetut uudet kemikaalisekoittimet. Nämä vaikuttavat olennaisesti polymeerinkulutukseen (ks. kuvio 21).

Polymeerinkulutus kg/t 2018



Kuvio 21. Polymeerinkulutus



Kuvio 22. Liettteen kuiva-ainepitoisuudet

7.3 Mekaaniset kehityskohteet

Mekaanisilla elementeillä, kuten kaavareilla ja jakotolpilla on suuri vaikutus kuivausprosessiin. Esimerkiksi viirasaostimen kaavareiden vaurioituessa kaikki liete ei mene syöttösuppilon, vaan se jatkaa matkaansa suodossäiliöön. Ohi menevä liete puhdistetaan näin ollen kahteen kertaan. Tämä taas laskee prosessin tehokkuutta. Jakotolppien vaurioituessa lietteestä ei erotu viirasaostimella vettä yhtä tehokkaasti, kuin ehjien jakotolppien kanssa. Tällöin lietteeseen on syötettävä enemmän polymeeriä lietteen tiivistämiseksi.

8 Johtopäätökset ja pohdinta

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tunnistaa lietteenkäsittelyä haittaavat ongelmatilanteet sekä löytää niihin sopivat ajomallit. Lisäksi tavoitteena oli tutkia ruuvipuristimen toimintaperiaatetta, eli kuinka ruuvipuristimen ajotavan muutokset vaikuttavat lietteen kuiva-ainepitoisuuteen. Toiveena oli myös etsiä mahdollisuuksia parantaa prosessin kulkua.

Otettujen näytteiden ja koeajojen perusteella saatiin tulokseksi lietteen kuiva-ainepitoisuuden kannalta optimaalinen ajotapa. Samalla havaittiin, että tehdyt muutokset vähentävät myös polymeerin kulutusta. Tuloksena saatiin myös ongelmatilanteisiin ratkaisumalleja, joita voidaan käyttää lietteenkäsittelyn jatkokehityksessä.

Saadut tulokset perustuivat suurilta osin ajosuureiden muutoksiin, joiden vaikutus vahvistettiin ottamalla näytteitä puristetun lietteen kuiva-ainepitoisuudesta. Lietteiden laadun nopean vaihtelun vuoksi näytteidenoton järjestelmällisyys oli vaikeaa. Ei voitu olla täysin varmoja, että perättäisten näytteiden sakeus oli täysin sama, mutta tämä pystyttiin kuitenkin arvioimaan polymeerisuhteen perusteella. Lisäksi sakeusmittarin toimintahäiriöiden vuoksi oli vaikea määrittää mikä oli lietteen todellinen koostumus. Tämä tarkoitti käytännössä sitä, että ongelmatilanteiden vaikutusta lietteeseen tuli arvioida suurilta osin visuaalisesti seuraamalla viirasaostimen kameraa. Ongelmatilanteita ei pystynyt lavastamaan, joten tilanteita piti odottaa kärsivällisesti ja tilanteen sattuessa tehdä muutoksia ja ottaa näytteitä niin paljon kuin kerkeää. Joitain ongelmatilanteita sattuu todella harvoin, joten vähemmän esiintyneistä saatiin kerättyä vähemmän dataa.

Saatujen tulosten analysoinnilla päästiin haluttuun lopputulokseen. Pystyttiin määrittämään ruuvipuristimen toimintaperiaate sekä ajotapojen muutosten vaikutukset kuiva-aineeseen. Tavoitteisiin päästiin myös siltä osin, että pystyttiin tunnistamaan ongelmatilanteita ja niihin löydettiin ratkaisumalleja. Tosin ongelmatilanteisiin ei kyetty löytämään yksittäisiä ongelmakohtaisia ajomalleja vaan lähinnä yleisiä toimia, joilla prosessinkulku kyetään turvaamaan.

Ajomallit tarjoavat lisäarvoa myös siltä osin, että niillä kyettiin kuiva-ainepitoisuuden noston ohella myös vähentämään polymeerin kulutusta. Voidaankin turvallisesti todeta, että ruuvipuristimen toimintaperiaate pysyy samana polymeerin vaihtamisesta huolimatta ja näin ollen myös kuiva-aineen muodostumisen periaate pysyy samana. Polymeerin tarkoitus on luoda edellytykset toimivalle puristusprosessille ja polymeerin vaihto vaikuttaa vain sen toimivuuteen suhteessa lietteen laadunmuutoksiin.

Saatujen tulosten perusteella prosessissa on kehittämisen varaa. Ohjausjärjestelmän tulisi reagoida lietteen laadunvaihteluihin säätämällä polymeerin määrä nopeammin. Ohjausjärjestelmän logiikkaa pitäisi myös virittää, että vastapaine ei aukeaisi liian helposti. Tämä on erittäin olennaista linjalla yksi, jossa vastapaine avautuu momentin saavuttaessa 150 kNm. Saatujen tulosten avulla määritetyillä muutoksilla pystyttäisiin tekemään prosessista joustavampi laskematta lietteen kuiva-ainepitoisuutta. Ohjausjärjestelmän virityksissä ja muutoksissa tulee kuitenkin ottaa huomioon, että ovatko nykyisen kemikaalitoimittajan laitteisto ja polymeeri jäämässä tehtaalle koeajon päättymisen jälkeen. Muutokset tulisikin toteuttaa vasta siinä vaiheessa, kun päätös on tehty. Eri toimittajien laitteilla on varmasti joitakin eroja, jotka voivat vaikuttaa muutosten toimivuuteen.

On myös olennaista selvittää prosessimiehille ruuvipuristimen ajomuutosten vaikutus lietteen kuiva-ainepitoisuuteen, että myös he voivat arvioida prosessin toimintaa kriittisemmin. He ovat kuitenkin todellisuudessa ne henkilöt, jotka viettävät eniten aikaa prosessin parissa. Vietetyn ajan ansiosta he voivat tehdä lisää havaintoja, joiden avulla prosessia voidaan edelleen kehittää. Prosessimiehet osaavat kuitenkin tarjota sellaisia käytännön näkökulmia, joita ei itse välttämättä tulisi ajatelleeksi.

Lähteet

Bajpai, P. 2012. *Biotechnology for Pulp and Paper Processing*. New York: Springer Science + Business Media.

Viikinmäen jätevedenpuhdistamo. 2017. Helsingin seudun ympäristöpalvelut. Viitattu 22.4.2018 saatavissa: <https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/vesihuolto/jatevedenpuhdistus/Viikinmaki/Sivut/default.aspx>

Jokilaakson esittelymateriaali. 2010. UPM:n sisäinen esitysmateriaali. Viitattu 22.4.2018.

Kaipolan vedenpuhdistus. 2007. UPM:n sisäinen esitysmateriaali Viitattu 22.4.2018.

Kananen, J. 2017. Laadullinen tutkimus pro graduna ja opinnäytetyönä. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja.

Lancaster, M. 2010. *Green Chemistry An Introductory Text*. 2. Cambridge: The Royal Society of Chemistry.

Vesi on metsäteollisuudelle elintärkeää. 2017. Metsäteollisuus ry. Verkkoaineisto. Viitattu 10.4.2018.

<https://www.metsateollisuus.fi/edunvalvonta/ymparisto-ja-vastuullisuus/tehtaiden-ymparistoasiat/vesi-metsateollisuudelle-elintarkeaa/>

Oral, J., Sikula, J., Puchyr, R., Hajny, Z., Stehlik, P., & Bebar, L. 2005. Processing of waste from pulp and paper plant. *Journal of Cleaner Production*, 13, 5, 509-515. Verkkojulkaisu. Viitattu 22.4.2018. https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/processing-of-waste-from-pulp-and-paper-plant-K4x39lgYS0?impressionId=5adca6ba185fd&i_medium=mydeepdyve&i_campaign=read-Later&i_source=readLater

UPM ja Yara kehittävät yhteistyössä kierrätyslannoitetta. 2016. UPM-uutishuone. Viitattu 22.4.2018.

<http://www.upm.fi/UPM/Uutishuone/uutiset/Pages/UPM-ja-Yara-kehittavat-yhteistyossa-kierratyslannoitetta--001-Thu-10-Nov-2016-10-03.aspx>

RIL 124-1. 2003. *Vesihuolto I*. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.

RIL 124-2. 2004. *Vesihuolto II*. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.

Seppälä, M (toim.), Klemetti, U., Kortelainen, V-A., Lyytikäinen, J., Siitonen, H. & Siironen, R. 2002. *Paperimassan valmistus*. 2-1. Saarijärvi: Gummerus.

Ilmastus. 2016. Turun seudun puhdistamo Oy. Viitattu 22.4.2018. <https://www.tu-runseudunpuhdistamo.fi/ilmastus>

Liitteet

Liite 1. Lietepuristimien kuiva-ainepitoisuusmittaukset (KAP) koeajoissa, sekä seuratut arvot.

Taulukko 3. Koeajojen KAP mittaukset

Ruuvinopeus (rpm)	Momentti (kNm)	Vastapaine (kPa)	Suppilon pinta (%)	Polymeeri (l/min)	Polymeerisuhde (%)	FM (%)	KAP 1	KAP 2	KAP 3
0,79	195	594	56	4,95	0,22	10			56,32
0,77	190	594	50	5,8	0,25	10			53,04
0,79	195	594	51	5,62	0,25	12			53,81
0,72	190	594	47	5,62	0,25	10			55,15
0,73	172	594	50	6,63	0,3			55,18	
0,76	178	594	50	5,32	0,25	11		52,01	
0,73	187	594	49	5,42	0,25	11		51,94	
0,79	212	518	52	4,36	0,2	10			52,5
0,67	210	594	50	4,29	0,22	10			54,71
0,75	173	594	49	4,8	0,25	10			52,44
0,72	197	594	49	5,9	0,3	11			53,77
0,94	198	594	47	5,9	0,28	12			53,62
0,87	213	594	49	5,94	0,28	12			54,79
0,77	167	594	47	7,26	0,4	9			55,33
0,74	161	594	47	5,16	0,27	9			54,74
0,67	187	594	49	6,03	0,33	9			57,8
0,85	195	594	49	6,22	0,28	11			52,96
0,9	210	594	49	8,39	0,35	12			54
0,79	200	594	50	6,11	0,28	0			56,73
0,75	203	594	50	6,6	0,28	9		54,92	
0,76	213	594	50	5,96	0,26	0		56,01	
68 %	144	520	16	5,42	0,25	9	53,53		
72 %	157	535	16	5,51	0,25	9	50,49		
77 %	156	534	15	5,61	0,25	9	51,85		
76 %	167	535	15	6,34	0,28	9	49,55		
0,95	209	594	54	4,23	0,2	8			46,93
87 %	146	520	17	6,11	0,23	8	41,37		
86 %	155	492	17	6,15	0,23	8	46,93		
1,14	210	439	51	3,48	0,15	7			55,29
1,19	187	594	50	3,41	0,16	7			56,74
76 %	180	364	60	3,76	0,18	5	44,89		
76 %	189	463	60	3,89	0,18	5	47,02		
86 %	180	364	47	4,2	0,2	5	44,01		
93 %	172	399	27	4,23	0,2	5	44,85		
0,82	176	594	51	2,94	0,16	7			52,16
0,9	201	594	53	3,81	0,16	7			54,37
0,97	181	594	48	3,38	0,16	7		47,87	
0,9	205	594	51	5,66	0,3	7			56,4
1,43	165	594	57	5,78	0,25	7			53,54
1,89	141	594	53	9,73	0,35	7			53,96
2,09	127	594	51	13,34	0,45	7			53,43
1,89	115	594	47	17,92	0,6	7		54,31	
92 %	135	520	64	7,3	0,3	7	48,63		
56 %	147	520	64	7,36	0,35	7	56,55		

Liite 2. Lietepuristin kahden lisämittaukset, joissa on myös seurattu lietteen koostumusta. Koostumusta on seurattu varastosäiliön tulovirtausten avulla.

Taulukko 4. Lisämittaukset (lietepuristin 2)

lietteet/yht. (l/s)	rejektit (l/s)	esiselkeytin (l/s)	bioliete (l/s)	ruuvinopeus (rpm)	suppilon pinta %	momentti (kNm)	vastapaine (kpa)	syöttövirtaus (l/s)	polymeerisunde %	polymeeri (l/min)	KAP %
125,3	82,8	28,13	14,37	1,22	51	172	593	41,73	0,45	11,50	54,60
146,0	106,22	22,96	16,82	1,42	51	147	594	58,05	0,50	17,55	56,91
136,4	93,78	27,94	14,68	2,19	74	82	12,81	61,34	0,65	24,21	42,47
169,5	126,74	27,63	15,13	2,19	74	78	40	62,93	0,65	24,45	43,57
133,5	89,88	29,66	13,96	1,14	50	165	594	41,75	0,33	8,24	57,20
134,7	89,9	30,79	14,01	1,52	54	150	500	41,25	0,33	8,19	59,56
119,8	75,91	29,88	14,01	1,57	59	148	594	38,97	0,33	8,00	54,92
96,97	47,78	35,18	14,01	0,74	53	175	476	29,52	0,45	8,56	46,47
90,47	41,46	35,02	13,99	0,71	50	170	594	28,82	0,45	7,70	49,60
98,97	50,02	35,00	13,95	0,58	48	189	320	28,75	0,45	7,75	87,04
94,22	47,88	32,25	14,09	0,65	56	193	300	30,12	0,35	4,51	48,16
138,2	97,31	26,9	13,99	0,80	51	186	594	40,41	0,3	7,24	55,99
140,7	99,94	26,77	13,99	0,85	50	198	594	40,99	0,35	8,83	59,31
148,9	100,9	33,99	14,01	0,84	48	194	411	41,43	0,35	8,65	57,56
138,1	97,49	26,61	14,00	0,89	51	187	456	41,74	0,35	8,75	56,59

Liite 3. Lietepuristin kolmen lisämittaukset, joissa on seurattu lietteen koostumusta. Koostumusta on seurattu varastosäiliön tulovirtausten avulla.

Taulukko 5. Lisämittaukset (lietepuristin 3)

lietteet yht. (l/s)	rejektit (l/s)	esiselkeytin (l/s)	bioliete (l/s)	ruuvinopeus (rpm)	suppilon pinta %	momentti (kNm)	vastapaine (kpa)	syöttövirtaus (l/s)	polymeerisuhde %	polymeeri (l/min)	KAP
165,4	116,8	32,47	16,10	0,86	50	170	210		0,30	7,68	48,51
124,2	76,4	31,86	15,97	1,10	55	169	330		0,30	7,71	48,68
141,1	93,5	31,63	15,99	1,17	52	158	397		0,30	7,67	52,19
170,2	122,5	31,68	16,03	0,98	48	161	363		0,40	8,80	49,83
164,5	116,7	31,87	15,97	0,90	49	174	360		0,35	9,60	45,99
169,0	121,0	31,99	16,01	1,08	56	175	594		0,25	7,00	53,48
134,9	94,7	25,02	15,22	0,94	48	165	594		0,45	10,65	50,22
132,5	93,5	23,86	15,17	0,90	48	177	381		0,40	10,17	53,63
133,0	92,3	24,77	15,98	0,86	49	195	594		0,40	9,80	51,99
135,3	95,3	23,99	16,00	0,80	49	197	594		0,40	9,50	50,89
146,0	97,2	32,80	16,00	0,80	50	196	594		0,40	9,70	51,75
130,4	90,3	24,18	15,97	0,77	51	188	594		0,40	10,00	52,75
150,6	105,3	28,52	16,80	0,92	53	184	440		0,40	10,02	49,86
144,0	98,9	28,37	16,78	1,15	52	167	594		0,40	10,85	51,04
144,6	99,3	28,53	16,81	1,39	53	164	594		0,40	12,91	54,57
180,2	125,2	34,04	20,94	1,53	54	136	594		0,35	8,37	53,19
141,0	85,2	34,82	20,96	1,47	48	143	594		0,45	10,91	49,41
140,8	85,9	33,91	21,01	1,71	53	137	594		0,45	10,09	52,35
133,9	79,0	33,92	21,01	1,61	47	148	594		0,45	10,41	50,06
156,5	101,9	33,64	20,98	1,56	46	150	594		0,30	11,05	50,26
134,3	86,9	29,89	17,50	1,00	51	167	594		0,30	6,27	50,92
133,0	85,7	29,81	17,49	1,18	55	155	594		0,30	5,91	51,81
125,2	78,9	28,79	17,50	1,26	55	144	594		0,35	6,81	52,93