

Joni Kaasalainen (1705017 BISA 17SP)

# Suotonauhapuristimen nippipaineiden automatisointi viiran likaisuuden perus- teella

Opinnäytetyö

Biotuotetekniikka

2020



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	<i>Bachelor of Engineering</i>
Tekijä/Tekijät	Joni Kaasalainen
Työn nimi	Suotonauhapuristimen nippipaineiden automatisointi viiran likaisuuden perusteella
Toimeksiantaja	Aquaflow Oy
Vuosi	2020
Sivut	38, liitteitä 0
Työn ohjaaja(t)	Ritva Käyhkö, Otso Seppälä

## TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö on tehty Aquaflow Oy:lle projektina, jossa tutkittiin mahdollisuutta automatisoida erään itäsuomalaisen sellutehtaan lietteenkäsittelyn suotonauhapuristimen nippipaineita viiran likaisuuden mukaan.

Projektille oli tarvetta, koska suotonauhapuristimet ovat vielä pitkälti manuaalisesti ajettavia ja koneiden kapasiteetista jää paljon käyttämättä.

Tässä työssä tutkittiin kesän ja syksyn 2020 aikana osa-alueita, joilla on merkittävä vaikutus suotonauhapuristimen ajettavuuteen ja lietteiden puristukseen. Kokeellisessa työssä tutkittiin viiran likaisuutta tunnistavaa kamera-anturia, valoverhoa viiran pussitukselle ja optista anturia suodoksen laadun mittaukselle. Työssä tutkittiin myös lietteen laadun mittauksia ja kirjallisessa osiossa tarkasteltiin jo olemassa olevia ratkaisuja.

Työllä oli tarkoitus hakea parempia ajoparametreja koneen paremman ajettavuuden ja kapasiteetin nostamisen saavuttamiseksi.

Työstä saatiin arvokkaita tuloksia suotonauhapuristimen ajettavuuden kannalta ja myös tarpeellista tietoa jatkokehityskohteille.

**Asiasanat:** Suotonauhapuristin, lietteenkäsittely, selluteollisuus

Degree	<i>Bachelor of Engineering</i>
Author (authors)	Joni Kaasalainen
Thesis title	Automating nipple pressures using Af-belt pressing according to the wire dirtiness
Commissioned by	Aquaflow Oy
Time	December 2020
Pages	38 pages, 0 pages of appendices
Supervisor	Ritva Käyhkö, Otso Seppälä

## ABSTRACT

This research was conducted as a project for a Finnish company called Aquaflow. The aim of this research was to study the possibility of automating nipple pressures in AF-belt pressing according to the wire dirtiness in pulp mills during sludge processing.

The need for the research was recognized as AF-belt pressing is still largely manually driven but a lot of unused capacity is seen in the process.

This research was conducted during the spring and summer seasons of 2020. The research focused on areas which have a significant part in performance and sludge pressing. The methods used included inserting camera sensors to identify wire dirt, inserting a light curtain for wire bagging and inserting an optical sensor to filtrate quality measurement. In this case study, sludge quality measurements were performed and the literature review concentrated on existing solutions.

The aim of this project was to find more compatible parameters for better machine performance and to increase capacity.

This research resulted in valuable information in terms of AF-belt press running as well as necessary information for further development.

**Keywords:** AF-belt press, sludge dewatering, pulp industry

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	JÄTEVESIEN TYYPILLINEN PUHDISTUSPROSESSI .....	6
2.1	Menetelmät .....	6
2.2	Aktiivilietelaitos .....	7
3	LIETTEIDEN SYNTYMINEN JA KOOSTUMUS .....	8
3.1	Primääriliete .....	9
3.2	Biolietteen muodostuminen .....	9
3.3	Kemiallisen lietteen muodostuminen .....	10
4	LIETTEIDEN KÄSITTELY .....	11
4.1	Tiivistämö .....	11
4.2	Viirasaostin .....	12
4.3	Suotonauhapuristin .....	13
4.4	Ruuvipuristin .....	14
4.5	Dekanterilinko .....	15
4.6	Terminen kuivaus .....	16
5	LIETTEIDEN ENERGIAHYÖTYKÄYTTÖ .....	18
5.1	Lietteen polttaminen .....	19
5.2	Biolietteen polttaminen soodakattilassa .....	20
5.3	Polton vaikutukset .....	21
5.4	Jätevesien lietteiden kaasutus .....	22
5.5	Biokaasu energiantuotannossa .....	22
5.6	Lietteiden muut hyötykäyttövaihtoehdot .....	23
6	SUOTONAUHAPURISTIMEN PARAMETRIEN MITTAAMINEN .....	23
6.1	Mittausmenetelmät .....	24
7	TUTKIMUSMENETELMÄT .....	25
7.1	Tutkimuksessa käytetyt mittausmenetelmät .....	30
8	TULOKSET .....	31
9	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	35
	LÄHTEET .....	37

## 1 JOHDANTO

Työn tavoite on kehittää suotonauhapuristimen (AF-belt) nippipaineiden automaatisointia viiran likaisuusmittausta hyödyntäen. Viiran likaisuutta mitattiin täyden mittakaavan laitteella IFM Electronic Oy:n valmistamalla optisella kamera-anturilla. Nippipaineita on tarkoitus ohjata myös viiran pussituksen ja suodoksen sameuden perusteella. Käsitellyn lietteen kuiva-ainepitoisuus saadaan pysymään tasaisemmin korkeammalla ja laitteen kapasiteettia nostettua.

Vielä nykyisin sellu- ja paperitehtaiden jätevedenpuhdistamoilla, joilla on suotonauhapuristin (AF-Belt) käytössä, ajetaan lietettä manuaalisesti tietyillä hyviksi ja varmoiksi todetuilla asetuksilla, jotka käyvät jokaiseen ajotilanteeseen. Ainoastaan polymeerin syöttö hoidetaan suotonauhapuristimella automaattiohjauksella. Manuaalinen ajotapa johtaa huonompaan kuiva-ainepitoisuuteen ja kemikaaleja kuluu tarpeettoman paljon. Monella puhdistamolla ei ole erityistä valvomoa, vaan operointi hoidetaan keskusvalvomosta tai voimalaitoksen valvomosta. Tarkoitus on pitää häiriöt minimissä ja ns. turhat käynnit vähissä.

Lietteen laadun muuttuessa voi tulla ongelmia, jos laitteen asetukset on säädetty parempilaatuiselle lietteelle. Esimerkiksi lietteen kuitupitoisuus voi laskea, tuhkapitoisuus nousta tai pH muuttua, jolloin kemikaalit eivät välttämättä toimi halutusti. Myös lietteen syöttömäärän nostaminen voi tuoda ongelmia. Todettuja ongelmia ovat viiran likaantuminen, suodoksen laadun laskeminen, ja lietteen karkaaminen viiran välistä suodokseen.

Tutkimustyön koeajoissa eräällä itäsuomalaisella sellutehtaalla testattiin jokaista osa-aluetta todellisissa ajotilanteissa, jotka olivat viiranlikaisuus, viiran pussitus ja suodoksen sameusmittaus. Lisäksi testattiin ongelmatilanteita, joita tehtaalla käydessä voi tapahtua. Koeajoissa suoritettiin runsaasti laboratoriotestejä lietteen laadusta. Lisäksi sellutehtaalla jätevedenpuhdistamon työntekijöitä haastateltiin koneen ajettavuuskokemuksista.

Tämän työn kirjallisessa osuudessa tarkastellaan lietteiden syntymistä, koostumusta, käsittelyä ja niiden hyödyntämistä. Lisäksi tarkastellaan jo olemassa olevaa automaatiotekniikkaa lietteiden käsittelyyn.

## **2 JÄTEVESIEN TYYPILLINEN PUHDISTUSPROSESSI**

Sellu- ja paperitehtaiden syntyvät jätevedet ovat usein laadultaan sellaisia, ettei niiden ympäristöön tai vesistöön johtaminen sellaisenaan ole sallittua. Tämänkaltaiset jätevedet sisältävät ympäristölle haitallisia ja mahdollisesti eliöille myrkyllisiä yhdisteitä, joten vedet on käsiteltävä paikan päällä jätevedenpuhdistamossa tai johdettava muualle käsiteltäväksi. Mikäli jätevedet käsitellään tehdasalueella, siitä syntyy kustannuksia ja vastaavasti, jos jätevedet johdetaan muualle käsiteltäväksi, puhdistuslaitosten veloittamat maksut aiheuttavat merkittäviä kustannuksia teollisuuslaitoksille. Metsäteollisuuden jäteveden puhdistuksesta muodostuu erilaisia lietejakeita, joiden laadut ja määrät vaihtelevat tehtaan mukaan. (Koivuniemi 2016, 7.)

Kaikki lietejakeet sisältävät runsaasti vettä. Niiden käsittely on haastavaa ja kuluttaa paljon energiaa. Lietteenkäsittelyn toimivuuteen vaikuttaa lietteen ominaisuudet. Lietteen saaminen hyötykäyttöön riippuu pitkälti veden erottelukyvyn ja stabiloinnin onnistumisesta. Tavallisimmin sellutehtaiden lietteet poltetaan kuorikattilassa. Lupaehtojen täytyessä lietettä voidaan käyttää myös maanrakennuksessa ja lannoituskäytössä. (Knowpulp 2020.)

### **2.1 Menetelmät**

Yleisesti jätevesien käsittely sellu- ja paperitehtailla koostuu mekaanisesta vaiheesta, biologisesta vaiheesta ja kemiallisesta vaiheesta. Eri vaiheiden sisältämät prosessit vaihtelevat tehtaan ja tilanteen vaatimien tarpeiden mukaan.

Tyypillisesti jätevesien puhdistuslaitokset ovat aktiivilietelaitoksia, joissa periaatteena on kierrättää jätevedet mekaanisen esiselkeytysvaiheen kautta biologisen ilmastukseen, jossa mikrobit syövät orgaanista ainesta suotuisissa olosuhteissa ja käyttävät biomassan ravinteita aineenvaihdunnassa. Ilmastusal-

taasta jätevesi pumpataan jälkiselkeyttimeen, jossa vedestä poistetaan ilmastuvaiheessa syntynyt bioliete. Tarvittaessa on mahdollisuus vielä kemialliseen käsittelyyn (tertiäärivaihe), jolla päästään tiukentuneiden lupaehtojen täyttymiseen. (Knowpulp 2020.)

## 2.2 Aktiivilietelaitos

Aktiivilieteprosessilla päästään tyypillisesti biologisen hapen kulutuksen (Biological Oxygen Demand, BOD) osalta yli 90 %:n, kemiallisen hapen kulutuksen (Chemical Oxygen Demand, COD) osalta vähintään 75 % ja fosforin osalta 20–70 %:n reduktioon. Jäteveden väri ei yleensä vähene aktiivilietekäsittelyssä, mutta joskus on mahdollista päästä 20–50 % reduktioon.

Jäteveden puhdistus alkaa esiselkeytyksellä (kuva 1). Kiinteät partikkelit kasaantuvat altaan pohjalle, mitä kutsutaan primäärilietteeksi. Liete pumpataan kuitulietetiivistimelle. Ylijuoksuna selkeytetty vesi johdetaan jäädytystornin kautta tasausaltaaseen. Tasausaltaan tehtävänä on pitää jäteveden laatu ja määrä tasaisena.

Jätevesi neutraloidaan ennen ilmastusaltaalle siirtymistä, sekä lisätään ravinteet. Neutraloinnissa veden pH säädetään tasolle 6–8 yleensä joko kalkilla tai rikkihapolla riippuen tulevan veden pH:sta. Lisäksi veteen lisätään ravinteiksi fosforia ja typpeä, joka on tyypillisesti fosforihappoa ja ureaa.

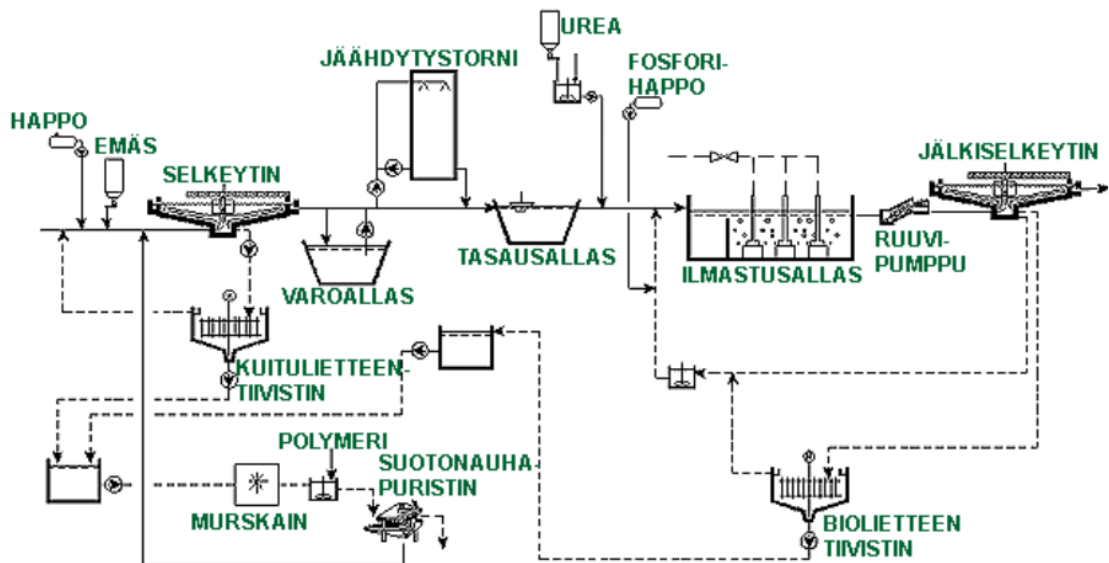
Ilmastusaltaassa jätevesi ja jälkiselkeyttimen palautusliete sekoitetaan ja annetaan reagoida keskenään ennen varsinaista ilmastuksen alkua.

Ilmastusaltaassa tapahtuu varsinainen jäteveden biologinen käsittely, jossa mikro-organismit käyttävät ravinteinaan niille sopivissa olosuhteissa puusta veteen liuennutta orgaanista ainesta muodostaen lietettä. Aktiivilietekäsittely vaatii tasaisesti happea koko altaaseen, josta huolehditaan ilmastuksella. Ilmastus pyritään säätämään erittäin tarkkaan, koska se kuluttaa paljon energiaa.

Seuraavaksi liete-vesiseos johdetaan ilmastusaltaasta esim. ruuvipumpun avulla jälkiselkeytykseen, missä bioliete laskeutetaan ja suurimmaksi osaksi

palautetaan ilmastukseen pumpaamalla. Solumassasta syntynyt ylijäämäliete poistetaan prosessista pumpaamalla biolietetiivistimelle. Ylijäämälietteen poisto on prosessin varsinainen säätökohta. Puhdistettu vesi johdetaan ylijuuksuna näytteenoton jälkeen vesistöön tai jatkopuhdistukseen. Usein tehdas ei perusprosessilla saavuta asetettuja tiukentuneita lupaehtoja, jolloin voidaan tehtaan jätevedet käsitellä mahdollisella tertiäärivaiheella, mikä perustuu jätevesien kemialliseen puhdistukseen ja suunnitellaan jäteveden koostumuksen ja puhdistustarpeen mukaan.

Tertiäärikäsittelyssä pyritään poistamaan kiintoainejäämiä sekä ravinteita ja orgaanista ainesta sekä tarvittaessa viruksia ja mikro-organismeja. Jäteveden desinfiointi on useissa maissa pakollista. Jälkikäsittely voi olla flotaatio tai esimerkiksi suodatus. Lietteen käsittelyssä syntyvät rejektivedet palautetaan jätevesiprosessin kiertoon takaisin. (Knowpulp 2020.)



Kuva 1. Kuva aktiivilietelaitoksen prosessista (Knowpulp 2020)

### 3 LIETTEIDEN SYNTYMINEN JA KOOSTUMUS

Metsäteollisuuden jätevesienpuhdistamoilla syntyy useita lietejakeita. Esikäsitelyvaiheessa syntyy kuitupitoista ja helpommin käsiteltävää lietettä, jota kutsutaan primäärilietteeksi. Biologisessa jätevesien puhdistuksessa syntyy biolietettä. Mahdollisessa tertiäärivaiheessa syntyy vielä kemiallista lietettä.



### 3.1 Primääriliete

Kuituliete eli primääriliete on tyypillisesti massojen ja paperin valmistuksessa rejekteinä ja valkaisun jälkeen peräisin olevaa kuitua ja täyteainetta. Liete erotellaan jätevedestä jätevesipuhdistamon esiselkeytyksessä, jossa vettä raskaammat kiintoainehiukkaset laskeutetaan esiselkeyttimen pohjalle. Erottunut kiintoaines pumpataan raakalietteenä lietteenkäsittelyyn tiivistämölle. Riippuen tapauksesta tämän tiivistykseen menevän primäärilietteen kuiva-ainepitoisuus on noin 0,5–3 %. Primääriliete sisältää yleensä kaikkia puuperäisiä aineita, kuten pitkiä kuituja, ligniiniä, selluloosaa, hemiselluloosaa ja kuorimassaa. Näiden lisäksi mukana voi myös olla prosessikemikaaleja, kuten täyteaineita ja päällystyspastaa. (Miettinen 2007, 18.)

### 3.2 Biolietteen muodostuminen

Biolietettä syntyy sekundäärisessä vaiheessa jätevedenpuhdistuksessa ilmastusaltaassa ja jälkiselkeyttimessä, kun ylimääräinen biomassa erotetaan jätevedestä. Ilmastusaltaassa jäteveden mikrobit hajottavat vedessä olevat liuenneet orgaaniset aineet käytännössä hiilidioksidiksi ja vedeksi. Mikrobikanta hajottaa vedessä olevia epäpuhtauksia vähentämällä biologista ja kemiallista hapen kulutusta (BOD ja COD). Biologisessa puhdistusvaiheessa on huolehdittava hyvin tarkasti, ettei ilmastettuun altaaseen pääse liian emäksistä tai hapan jätevettä ja että mikrobeille on riittävästi ravinteita tarjolla sekä riittävän hajotustoiminnan että mikrobikannan säilyttämiselle. Kemikaaleille säädetään (kalkki tai rikkihappo) tuleva vesi optimaaliselle pH alueelle, joka on noin 7,0–7,5. Biomassa tarvitsee kasvaakseen ravinteita (typpi ja fosfori), jotka se sitoo itseensä jätevedestä. Typpi lisätään joukkoon ureana ja fosfori fosforihappona. Näin biologisella jätevesien puhdistuksella erotetaan puhdistettavasta virtauksesta ylijäämävaihteita (typpi ja fosfori) ja pyritään poimimaan ja yhdistämään huonosti laskeutuvia kiintoainehiukkasia toisiinsa bioflokiksi. Teollisuuslaitosten jäteveden puhdistamoilla biologisella vaiheella pyritään poistamaan tai vähintään vähentämään orgaanisten ja epäorgaanisten yhdisteiden konsentraatiota vedessä. (Miettinen 2008, 18-19.)

Muodostuneen biolietteen määrään vaikuttaa oleellisesti käytössä oleva tekniikka. Aktiivilietelaitoksissa syntyvän biolietteen määrään vaikuttaa hyvin oleellisesti, onko kyseessä anaerobinen vai aerobinen käsittely. Anaerobisessa käsittelyssä vain noin 10 % jäteveden orgaanisesta aineesta muodostaa lietettä, kun taas vastaavasti aerobisessa käsittelyssä päästään noin 40 %. Aktiivilieteprosessissa mikrobikanta eli aktiivilietemassa kasvaa suhteessa poistettuun jäteveden biohajoavaan orgaaniseen kuormitukseen (mitataan biologisena hapen kulutuksena eli BOD-kiloina) eri tavoilla riippuen laitoksesta. Syntynyt aktiiviliete laskeutetaan jälkiselkeyttimessä ja palautetaan suurimaksi osaksi takaisin ilmastukseen. Prosessin aikana syntyy ylijäämälietettä, joka ohjataan tiivistykseen ja tämän kuiva-ainepitoisuus on yleensä noin 0,5–1,5 %. (Miettinen 2008, 18-19.)

Jälkiselkeytin toimii samalla periaatteella kuin muutkin selkeytinaltaat. Virtauksen annetaan rauhoittua ja kiintoaineen annetaan laskeutua altaan pohjalle, josta liete pumpataan tiivistämöön.

Biologisessa vaiheessa muodostunutta mikrobimassaa ja kuollutta soluainesta kutsutaan yleisesti biolietteeksi. Tähän biolietteeseen on adsorboitunut myös puusta peräisin olevia uuteaineita ja suurimolekyylisiä yhdisteitä, kuten ligniiniä ja kuituja. Biolietteestä voi olla ligniiniä 30-70 %, loppuosuus on yleisesti valkuaisaineita, rasvoja ja hiilihydraatteja. (Miettinen 2007, 18-19.)

### **3.3 Kemiallisen lietteen muodostuminen**

Kemiallisen puhdistuksen tarkoitus on pienentää vesistön kemiallisesti hajoavan orgaanisen aineksen (COD) määrää ja erityisesti ravinnekuormitusta. Lisäksi saadaan vielä poistettua kiintoainejäämiä. Kemiallisen vedenpuhdistuksen periaatteena on, että puhdistettavaan veteen lisätään kemikaalia, jolla kiintoaines saadaan flokattua ja liuenneet aineet, kuten liuennut fosfori ja hitaasti hajoava eloperäinen aines (COD), saostettua kiinteäksi flokiksi altaan pinnalle.

Yleensä kemikaali annostellaan flokkausaltaisiin omilla pumpuilla. Flokkausaltaista vesi johdetaan flotaatioselkeytykseen, joissa syntynyt kiintoaines poistetaan kaavareiden avulla. Yleisesti pH-optimalue on 5,5–6 luokkaa. pH:n sää-

täminen tehdään tarpeen mukaan rikkihappoannostelulla tai kalkilla ennen saostuskemikaalin syöttöä. Flotaatioselkeytyksessä välttämätön dispersiovesi paineistetaan paineilman avulla ja syötetään flotaatiolinjaan dispersiovesisuuttimien kautta. Polymeeri sitoo saostuneet flokit ja kiintoainepartikkelit. Muodostuva liete kohoaa pinnalle, josta se kaavitaan flotaatilietesäiliöön lietteenkäsittelyyn pumpattavaksi. (Miettinen 2007, 19.)

## **4 LIETTEIDEN KÄSITTELY**

Jätevesilietteiden käsittelyä varten on kehitetty eri menetelmiä. Metsäteollisuuslaitoksilla eniten käytettyjä käsittelytapoja ovat mekaaniset vedenerotustekniikat, kuten viirasaostin eli esivedenerotin, suotonauhapuristin, ruuvipuristin ja linko. Metsäteollisuudessa nykyisin hieman vähemmän käytetään aumakompostointia ja mädätystä. Korkeampaan kuiva-ainepitoisuuteen tähtäämiseen voidaan käyttää termistä kuivausmenetelmää.

Käsittelymenetelmän valinta riippuu tavoitellusta hyötykäyttötavasta. Kuiva-ainepitoisuutta on nostettava polttoa varten, mihin on tähän asti yleensä riittänyt mekaaninen vedenpoisto. Tulevaisuudessa riittävän kuiva-ainepitoisuuden saavuttamiseksi on todennäköisesti sovellettava edellä mainittuja vaihtoehtoisia käsittelytapoja. Muita hyötykäyttötapoja valittaessa on hyvä tarkastella myös erilaisia stabilointivaihtoehtoja.

Lietteenkäsittelyvaihtoehtoja tulee tarkastella myös energiankulutuksen kannalta, sillä lietteenkäsittely voi muodostaa merkittävän osan jätevedenpuhdistamon energiankäytöstä. Energiantarve riippuu valitusta käsittelymenetelmästä, sekä myös käsittelyn aikana muodostuvan lämmön hyödyntämisestä. Lietteenkäsittely on myös taloudellisesti merkityksellistä. Sen osuuden arvioidaan olevan noin 20–35 % puhdistamon investointi- ja käyttökustannuksista, riippuen prosessista ja mitä käsittelymenetelmää käytetään. (Ojanen 2001, 17.)

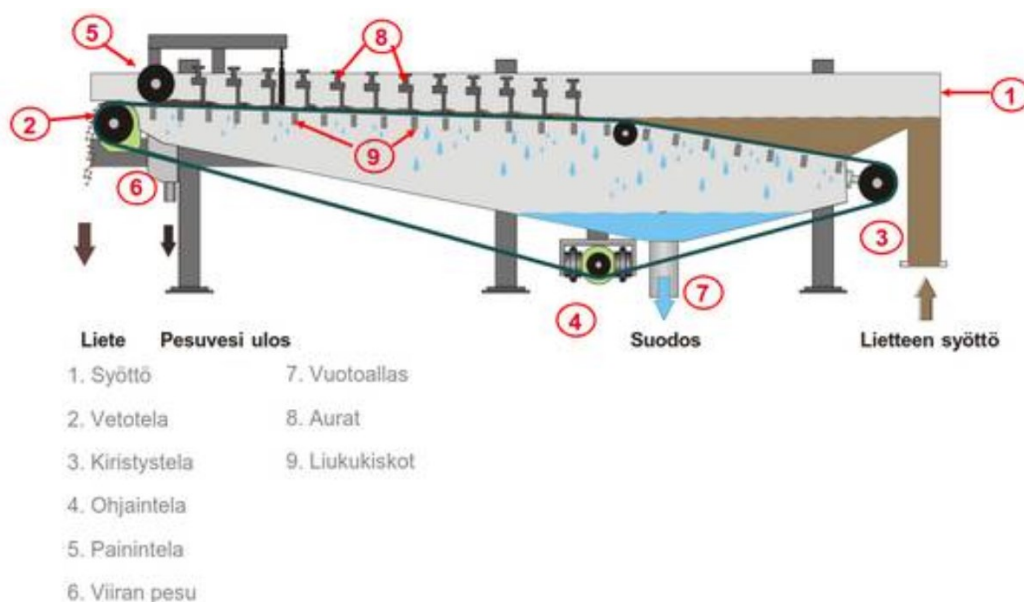
### **4.1 Tiivistämö**

Tiivistämö on myös omanlainen selkeytysallas. Esiselkeyttimestä ja jälkiselkeyttimestä syntyvät lietteet pumpataan tiivistämöön. Syntyneet lietteet pumpataan keskiön kautta tiivistysaltaaseen sisään. Liete alkaa vajota hiljalleen kohti

säiliön pohjaa ja tarpeen tullen kirkaste ylijuoksetetaan takaisin esiselkeyttimen syöttöön. Tiivistämöön pumpataan myös jälkiselkeyttimessä erotettava biologinen liete. Myös kemiallinen liete syötetään sekalietteen joukkoon sekalietteen syöttöpumpun jälkeen, ennen flokkulaattoria. Sekaliete pumpataan flokkulaattorin sekoituksen kautta lietteenkäsittelyyn. (Miettinen 2007, 40.)

## 4.2 Viirasaostin

Viirasaostin, jonka periaate näkyy kuvassa 2, toimii esivedenerottimena ennen suotonauhapuristinta, ruuvipuristinta tai linkoa. Flokkulaattorissa sekoitettu sekaliete johdetaan viirasaostimelle. Viirasaostin koostuu kaltevasta osasta ja vaakatasossa olevasta osasta. Kaltevan osan alussa liete levittäytyy kankaaisen viiran päälle. Huokoinen viira laskee suodoksen lävitseen. Viirasaostimella vedenpoisto on hyvin riippuvainen viiran pyörimisnopeudesta. Mitä hitaammalla vauhdilla viira pyörii, sitä enemmän vapaata kapilaarivettä saadaan lietteestä pois. Vaakatasossa oleva valutusosa on toiminnallisesti samankaltainen kaltevan osan kanssa. Polymeerin toimivuutta lietteissä on helppo tarkkailla viirasaostimen vedenpoiston kautta. (Miettinen 2007, 40.)

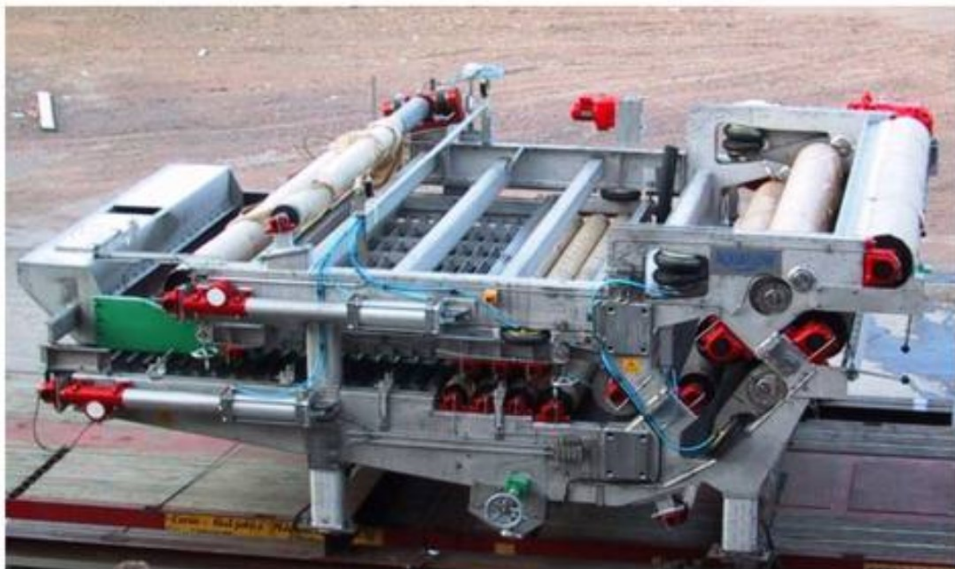


Kuva 2. AF-table esivedenerotin (Aquaflow Oy 2020)

### 4.3 Suotonauhapuristin

Suotonauhapuristin luokitellaan jatkuvatoimisten nauhasuodattimien ryhmään. Laitemalleja rakenteeltaan on monenlaisia, mutta nykyisin käytetään usein erillistä esivedeneroitinta tehostamaan prosessia. Lietteen kuivuminen tapahtuu suodatusperiaatteella painovoiman sekä puristus- ja leikkausvoimien auttamana. Suotonauhapuristimen toimintaa ohjataan manuaalisesti säätämällä puristuspainetta, viiran nopeutta sekä säätämällä lietteen määrää. Kuvassa 3 on valokuva Aquaflow Oy:n AF-Belt suotonauhapuristimesta.

Esivedenerottimen jälkeen liete syötetään suotonauhalle eli viiralle. Viira liikkuu viiraradalla. Alkupään jälkeen alaviiran yläpuolella samalla nopeudella pyörii toinen viira. Viirat lähenevät lähes kiilamaisesti toisiaan ja liete puristuu niiden väliin. Puristus kasvaa jatkuvasti. Tämän jälkeen liete joutuu S:n muotoisten mutkien kautta jälkipuristukseen telojen väliin. Viimeisen puristintelaparin jälkeen liete johdetaan kaavarin katkaisijalle tai kuljettimelle. Suotonauhalla päästään yleisesti keskimäärin 25–35 % kuiva-ainepitoisuuteen. (Vikiö 1977.)

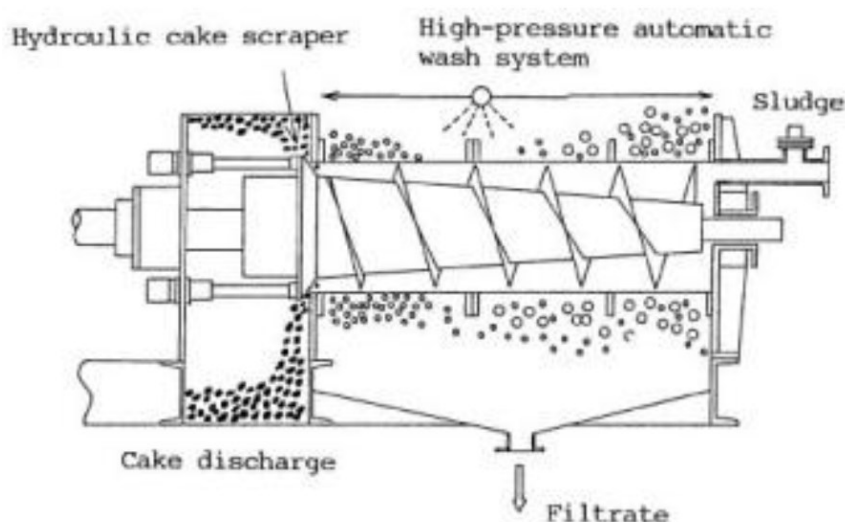


Kuva 3. AF-Belt suotonauhapuristin (Aquaflow Oy 2020)

#### 4.4 Ruuvipuristin

Myös ruuvipuristinta käytetään yleisesti vedenerotusmenetelmänä suomalaisilla metsäteollisuuslaitoksilla. Kuvassa 4 esitetään ruuvipuristimen toimintaperiaate. Ruuvipuristimen sisällä on pyörivä kartioruuvi, jonka kartiomaisuus kasvaa lietteen kulkusuunnassa. Kartioruuvin tehtävänä on kuljettaa lietettä puristimessa poistamalla samalla vettä vaipan reikien läpi. Ruuvipuristimeen ohjataan kylläistä höyryä, jonka paine on noin 3–4 baaria. Höyry helpottaa veden poistumista pyörivästä ruuvista kasvattamalla veden viskositeettia, ja parantaa veden poistumisominaisuuksia lietteestä. Tutkimuksen mukaan höyryn käytöllä pystytään saavuttamaan noin 5 prosenttiyksikön nousu kuiva-ainepitoisuudessa. Tämän lisäksi sillä voidaan myös vähentää lietteen ja ruuvin välistä kitkaa. (Ojanen 2001, 20.)

Ruuvien reunat kulumat kovassa käytössä, joten tämä aiheuttaa tarvetta säännölliselle kunnossapidolle, mikä lisää kustannuksia. Ruuvipuristuksessa syntävä kirkaste on yleensä kiintoainepitoisuudeltaan alle 1000 mg/l, ja se johdetaan yleensä takaisin puhdistusprosessiin. Kuivatun lietteen kiintoainepitoisuus vaihtelee kuivattavan lietteen laadun mukaan välillä 15–50 %. (Ojanen 2001, 20.)



Kuva 4. Ruuvipuristin (Aquaflow Oy 2020)

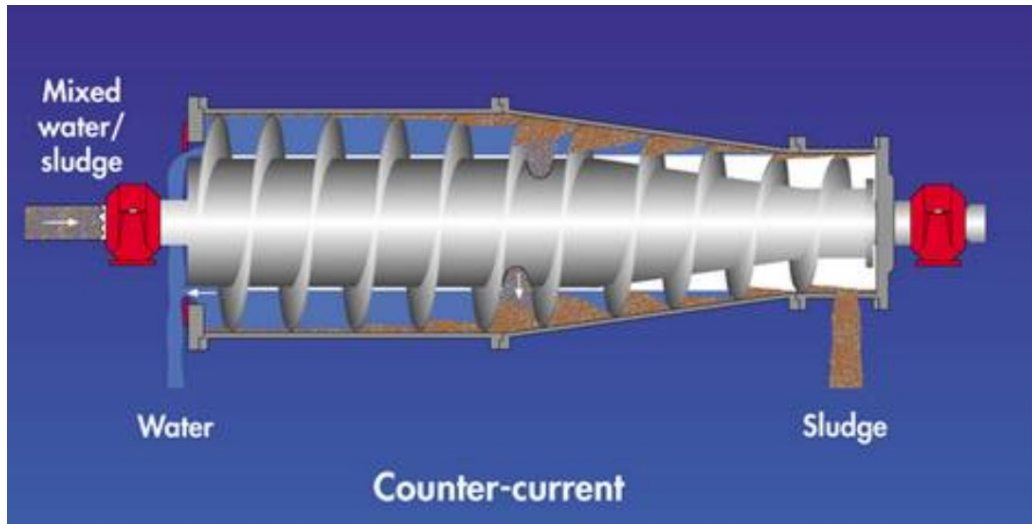
#### 4.5 Dekanterilinko

Mekaanisessa kuivauksessa dekanterilingon käyttö on yleistynyt viimeisimpien vuosien aikana joustavan tilantarpeen, helpon säädettävyyden sekä myös hygieenisen ja suljetun rakenteensa vuoksi. Dekanterilingon toimintaperiaate näkyy kuvassa 5. Lingon kuivausprosessi perustuu pyörimisestä syntyvään keskipakovoimaan, joka erottaa kiintoaineen ja veden toisistaan. Linkoilla pystytään saavuttamaan tyypillisesti 20–30 %:n kuivausteho. Lietteiden kuiva-aine on säädettävissä helpommin verrattuna muihin mekaanisiin kuivausmenetelmiin. Linko koostuu rummista, johon kuuluu sylinterimäinen ja kartiomainen osa. Rummun sisällä on ruuvikuljetin, joka pyörii kuitenkin hiekan eri nopeudella kuin rumpu. Nopeusero mahdollistaa rummun seinään keskipakovoiman johdosta eronneen lietteen kulkeutumisen ruuvien mukana rummun kartiomaisen pään kautta lietteenpoistoluukulle. Kartiomainen pää auttaa veden puristumista pois kiintoaineen seasta ja parantaa myös kuivaustehoa keskipakovoiman lisäksi.

Rejektivesi liikkuu lingon alkupäähän. Rummun etukeskiössä on rejektivedelle poistoaukot, joiden edessä ovat lingon patolevyt. Patolevyjen korkeutta säätämällä voidaan vaikuttaa rummun sisälle muodostuvan vesipatjan paksuuteen, joka taas vaikuttaa kuivaustehoon. Rejektivesi kulkeutuu patolevyjen yli ja palautuu takaisin jätevedenpuhdistusprosessin alkuun. Päämoottori ohjaa lingon toimintaa, johon vaihteisto on yhdistetty, joka kontrolloi kuljettimen moottoria. Kuljetin toimii ajoittain generaattorina, kun lingon vääntömomentti kasvaa. Kuljetinruuvien pyörimisnopeuden kasvaessa lingon kokonaisteho pienenee.

Dekanterilingon erotuskyky pohjautuu kahteen asiaan: kiintoaineen erottamiseen laskeuttamalla ja laskeuttamisen tehostamiseen sentrifugoinnilla. Kiintoainepartikkelien tiheys on suurempi kuin nesteiden, jolloin ne laskeutuvat painovoimaisesti. Laskeutumisenopeutta voidaan tehostaa lisäämällä gravitaatiovoimaa, joka tapahtuu lingon pyörimisnopeuden avulla. Lietesyöttö tapahtuu tasaisena virtana joko lingon keskiosaan tai heti lingon alkupäähän. Paras kuivaustehokkuus saadaan silloin, kun lietteeseen lisätään polymeeria. Lietelin-  
kokuivauksessa olisi hyvä käyttää polymeeria, jolla on korkea positiivinen varaus sekä myös suuri molekyyliainepaino, jolloin syntyvistä kiintoaineflokeista tulee

kestäviä. Lingon kuivaustehoon vaikuttavat lingon vesivaipan paksuus, pääkierrosluku, erokierrosluku sekä kuljetinruuvien momentti. (Mannermaa 2013, 24-28.)



Kuva 5. Dekantterilingon periaate (Aquaflow Oy 2020)

#### 4.6 Terminen kuivaus

Lietteen lämpökuivauksessa eli termisessä kuivauksessa tarkoituksena on vähentää vesipitoisuutta haihduttamalla vettä ilmaan. Termiset kuivausmenetelmät voidaan jakaa suoriin ja epäsuoriin menetelmiin, joita ovat kontakti- ja konvektiokuivaimiin lämmönsiirtotavan perusteella. Tarkemmin sanoen sen mukaan, onko lämmittävä aine suoraan kosketuksissa lämmitettävän materiaalin kanssa vai käytetäänkö väliainetta. Epäsuoria kuivaimia kutsutaan riippuen lämmönsiirtotavasta yleensä konvektiokuivaimiksi ja suorita kuivaimia vastaavasti kontaktikuivaimiksi. Lämpökuivauksen tavoitteena on poistaa kosteutta märästä lietteestä niin, että liete pystytään polttamaan tehokkaasti ilman tukipolttoainetta tai voidaan käsitellä lannoitteeksi. Lietteen terminen kuivaus on hyvä vaihtoehto silloin, kun halutaan lietteelle korkeampia kiintoainepitoisuuksia kuin esim. lingolla tai suotonauhapuristimella voidaan saada. Sillä voidaan myös parantaa huomattavasti lietteen poltto-ominaisuuksia.



Lisäksi kuivauksella voidaan edistää lietteen hienontumista, vähentää sen painoa ja estää biologisen toiminnan jatkuminen, mikä on tärkeä seikka lannoitekäyttöä ajatellen. Lietteiden kosteuspitoisuus saadaan eri kuivausmenetelmillä vähennettyä alle 10 %:iin. Termisessä kuivauksessa päästään parhaimmillaan yli 95 % kuiva-ainepitoisuuteen. (Ojanen 2001, 21.)

Kontaktikuivauksessa liete on kontaktissa kuumennetun pinnan kanssa. Kontaktipinta yleensä kuumennetaan epäsuorasti kuivurin vaipassa kulkevan materiaalin avulla, joka voi olla höyry tai öljy. Lietteiden ohi ohjataan ilmaa, joka poistaa syntyvän höyryn. Kontaktikuivauksen etuja ovat pieni määrä poisto-kaasuja ja hyvä energiahyötysuhde. Haittapuolena on taas lietteiden epätasainen kuumentuminen. Kontaktikuivaukseen pohjautuvia kuivaustekniikoita ovat esimerkiksi kiekko kuivaus ja ohutkalvokuivaus. Yleisesti käytetty kontaktikuivaustekniikka on kiekko kuivaus, jossa liete johdetaan kosketuksiin kuumennettujen kiekkojen kanssa, jotka pyörivät. Kiekkot kuumennetaan epäsuoralla tavalla, jossa lämmönsiirtoaine johdetaan kiekkojen sisällä oleviin kanaviin.

Konvektiokuivauksessa kuumennettu kaasu kuten ilma, johdetaan suoraan kontaktiin lietteiden kanssa. Näissä kuivaustekniikoissa energiahyötysuhde on heikompi ja poistoilmaa tuotetaan enemmän. Myös pölyä muodostuu enemmän näissä tekniikoissa. Konvektioon perustuvia kuivaustekniikoita ovat esim. nauhakuivaus, rumpukuivaus ja leijupetikuivaus.

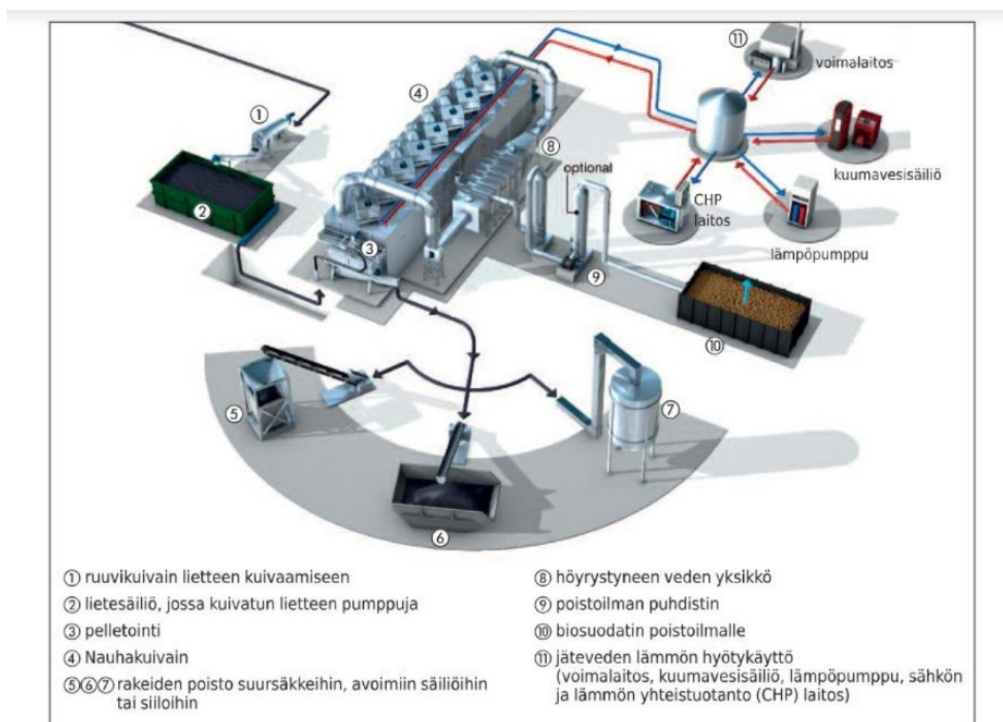
Rumpukuivauksessa prosessi tapahtuu pyörivässä rummussa, johon johdetaan kuivausilma ja kuivattava liete. Lietteiden koostumus muuttuu kuivuessaan rakeiseksi. Rumpukuivain on ollut käytössä 1970-luvulta alkaen ja se on käytössä erityisesti suuren mittaluokan kuivauslaitoksissa.

Nauha- eli hihnakuivauksessa liete levitetään kuivausviirille, jossa kuivauskaasu johdetaan liete kerroksen läpi. Nauhakuivaus on laajalti käytössä oleva ja hyvin tunnettu menetelmä, ja se on käytössä myös Suomessa Haapaveden ja Joensuun laitoksilla. Kuvassa 5 havainnekuva lietteiden termisestä kuivauslaitoksesta, missä liete kuivataan ruuvi- ja nauhakuivaimella ja kuivattu liete saadaan rakeina, jotka voidaan edelleen säkittää ja varastoida suljettuun silloin tai avoimeen säiliöön.

Aurinkokuivaus on laitosten lukumäärässä mitattuna hyvin yleinen kuivaustekniikka Keski-Euroopassa, ja se soveltuu varsinkin pienille lietemäärille.

Suomen ilmasto-oloissa aurinkokuivauksen toimivuus on vielä kuitenkin epävarmaa.

Lämmönsiirtomateriaaleina tuotantopisteestä kuivaukseen käytetään yleensä höyryä, ilmaa, termoöljyä, vettä tai palokaasuja. Lämmönsiirtomateriaaleista lämpö pystytään siirtämään lämmönvaihtimilla kuivausilmaan (konvektiokuivaus) tai vastaavasti materiaali voidaan johtaa laitteen lämmityselementteihin (kontaktikuivaus). Termisesti kuivattua lietettä voidaan käyttää maanparannusaineena, polttoaineena tai muiden termisten käsittelyiden, kuten torrefiointin, pyrolyysin tai kaasutuksen, raaka-aineena. (Pöyry Oyj 2019.)



Kuva 5. Termisen kuivauslaitoksen periaatekuvaus (Pöyry Finland)

## 5 LIETTEIDEN ENERGIAHYÖTYKÄYTTÖ

Energiantuotto on nykyisin yleisin hyötykäyttötapa metsäteollisuuslaitosten jätevesilietteilteille. Tämä johtuu pitkälti käytännön syistä. Saadaan lämpöenergiaa

ja päästään lietteistä sujuvasti eroon. Toisaalta energiahyötykäytön tulisi jäte-  
lain peruseriaatteiden mukaan olla vasta toisena vaihtoehtona, materiaali-  
hyötykäytön ollessa etusijalla. Lietteeseen sisältyvä energia hyödynnetään yleis-  
esti polttamalla se muun, lähinnä puuperäisen jätteen mukana kuorikatti-  
lassa. Tämän lisäksi lähinnä biolietettä on mahdollista polttaa mustalipeän se-  
assa soodakattilassa.

Lietettä voidaan myös kaasuttaa muiden kiinteiden polttoaineiden ohella ja  
samalla voidaan hyödyntää saatavan kaasun energiasisältö. Kaasun poltolla  
saavutetaan joitakin etuja kiinteän polttoaineen käyttöön verrattuna. Esimer-  
kiksi biomassan käyttöä polttoaineena voidaan merkittävästi edistää.

Mädätyksestä taas voidaan ottaa talteen siinä syntyvä biokaasu, jota voidaan  
käyttää esimerkiksi mädättämön lämmittämiseen ja saada merkittävää ener-  
giaomavaraisuutta. (Ojanen 2001, 35.)

## 5.1 Lietteeseen polttaminen

Metsäteollisuuslaitosten lietteeseen poltolla ymmärretään käytännössä yleensä  
polttoa kuorikattilassa. Kattiloissa voidaan polttaa sekä sekalietettä että puh-  
dasta kuitulietettä. Lietteeseen osuus massavirrasta on yleensä 5–10 %. Lietteeseen  
tasainen sekoittuminen kuoren joukkoon on tärkeää polton onnistumisen kan-  
nalta. Polton onnistumiselle on edellytyksenä riittävä kuiva-ainepitoisuus ja  
lämpöarvo. Lisäksi tuhkapitoisuus vaikuttaa poltettavuuteen. Liete voidaan  
polttaa ilman tukipolttoaineita vasta, jos kuiva-ainepitoisuus on yli 30–45 % ja  
lietteeseen sisältyvän kuiva-aineen lämpöarvo on luokkaa 8–14 MJ/kg.

Koko polttoainejakeen lämpöarvon tulisi olla vähintään tasolla 5 MJ/kg, jotta  
palamista voidaan pitää yllä. (Ojanen 2001, 35.)

Metsäteollisuuslaitoksilla jätevesilietteeseen poltto on monella tavalla käytännöllinen  
vaihtoehto. Yleensä polttolaitos sijaitsee lähellä lietteenkäsittelylaitosta ja  
poltosta saatava energia pystytään käyttämään välittömästi hyväksi tuotanto-  
prosesseissa.

Lietteeseen polton etuna voidaan pitää esim. sitä, että lietteeseen energiasisältö saa-  
daan isoksi osaksi hyödynnettyä. Tärkein merkitys on kuitenkin sillä,

että poltto on helppo ja nopea tapa päästä eroon lietteestä ja tuhota samalla sen sisältämä patogeeneit. Toisaalta polttaminen on myös jätelain (1072/93) pääperiaatteen vastainen käsittelymenetelmä, koska kyseisen lain tarkoitus on pyrkiä ensisijaisesti jätteen sisältämän aineen hyödyntämiseen ja vasta toisena vaihtoehtona energiasisällön hyödyntämiseen.

Lietteenpoltolla ei läheskään aina päästä varsinaiseen nettoenergiahyötyyn, joten sillä ei ole käytännön merkitystä tuotantolaitosten energiantuotannossa. Poltossa syntyy jonkin verran  $\text{NO}_x$ -,  $\text{SO}_2$ - ja hiukkaspäästöjä, nämä kuitenkin ovat hallittavissa nykyisten hyvien puhdistustekniikoiden avulla. Näiden lisäksi poltossa syntyvään tuhkaan jää raskasmetalleja, jotka taas vaikeuttavat tuhkan hyödyntämistä.

Polttomenetelmänä kuorikattiloissa käytetään nykyään useimmiten leijukerros-polttoa, joka on pitkälti korvannut vanhan arinapolton. Leijukerros-poltto soveltuu näistä vaihtoehdoista paremmin puristetun lietteen sekä yleensä muunkin biomassan ja jätemateriaalin polttoon. (Ojanen 2001, 35.)

Toiseksi vaihtoehdoksi on kuitenkin noussut biolietteen poltto soodakattilassa. Kahdella tehtaalla on käytössä menetelmä, jossa linkokuivattu bioliete sekoitetaan mustalipeän joukkoon, haihdutetaan ja poltetaan soodakattilassa. (Sitra 2017.)

## **5.2 Biolietteen polttaminen soodakattilassa**

Kuten edellä on todettu, biolietteen osuuden kasvu sekalietteessä voi vaikeuttaa primääri- ja biolietteen yhteiskäsittelyä. Eräs merkittävä biolietteen erilliskäsittelyvaihtoehto on johtaa bioliete mustalipeän joukossa haihduttamon kautta soodakattilaan poltettavaksi. Tällöin biolietteen kuiva-aineen massavirta on noin 1–2 %:n luokkaa lipeän kuiva-aineen massavirrasta. Menetelmän avulla bioliete voidaan saada käytännössä täydellisesti hävitettyä. Primääri-liete ei sovellu haihduttamossa käsiteltäväksi, koska siinä olevat kuidut haittaavat haihduttamon toimintaa. Siksi tämä menetelmä sopii ainoastaan biolietteen käsittelyyn. (Ojanen 2001, 39-40.)

Biolietteen poltto soodakattilassa edellyttää esikäsitteilyä, jonka tarkoituksena on polton lämpötalouden parantaminen poistamalla biolietteestä vettä ensin mekaanisella erotuksella ja sen jälkeen haihuttamalla mustalipeähaihduttamossa. Haihduttamovaiheessa varsinaisen vedenhaihdutuksen lisäksi orgaanista ainesta hajotetaan lipeäkemikaalien avulla korkeissa lämpötiloissa. Mekaanisella vedenerotuksella saadaan biolietteen kuiva-ainepitoisuus nousemaan 10–20 %:iin. Lisäksi sillä voidaan vähentää lietteen sisältämiä klooriyhdisteitä. Vedenerottimeksi soveltuu biolietteen ominaisuuksien vuoksi parhaiten linko, joka on käytössä molemmilla biolietteen lipeälinjakäsittelyä soveltavilla suomalaisilla tehtailla. (Ojanen 2001, 39-40.)

### **5.3 Polton vaikutukset**

Lietteen polton kannattavuutta arvioidessa on kiinnitettävä huomiota sen vaikutuksiin palamisprosessissa ja myös kattilan hyötysuhteeseen. Tämän lisäksi on seurattava vaikutuksia savukaasupäästöihin, joita poltossa syntyy. Myös kustannusvaikutukset täytyy ottaa huomioon.

Vaikka lietteen poltossa saadaan vapautumaan lämpöä, on lietteen hävittäminen polttamalla kuitenkin kustannustekijä. Kustannuksia aiheuttavia tekijöitä ovat lietteen vedenerotus, sähkön omakäyttötehon kasvu, kattilan hyötytehosuhteen aleneminen, lisääntynyt nuohouksen tarve, mahdollisesta tukkeutumisesta aiheutuneet seisokit sekä tukipolttoaineen käyttö. Vastaavasti kustannuksia alentava vaikutus on lietteen pienentynyt tilavuus, joka säästää sekä kaatopaikka- että kuljetuskustannuksia.

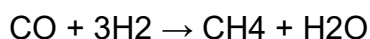
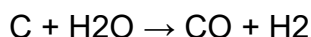
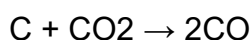
Poltossa tapahtuvia kriittisimpiä teknisiä ongelmia ovat lietteen kosteudesta aiheutuva adiabaattisen prosessin palamislämpötilan laskeminen ja savukaasumäärän kasvaminen vesihöyryn lisäyksestä johtuen. Tämän lisäksi lietteen sisältämä kloori ja alkaliset aineet saattavat joissain tietyissä olosuhteissa aiheuttaa lämpöpintojen korroosiovaaran. (Ojanen 2001, 41-42.)

## 5.4 Jätevesien lietteiden kaasutus

Kaasutusprosessissa muunnetaan polttokelpoista ainesta sisältävä materiaali termisesti ilmaa, happea tai höyryä käyttäen syttymättömäksi kaasuksi. Yleisimmät kaasutukseen käytettävät reaktorityypit ovat kiinteäpetireaktori, kupliva leijupetireaktori (bubbling fluidised bed, BFB) ja kiertopetireaktori (circulating fluidised bed, CFB).

Kaasutusvaihetta ennen liete käsitellään mekaanisessa vedenerottimessa, jonka jälkeen se kuivataan termisesti 85–93 %:n kuiva-ainepitoisuuteen riip-puen minkä tyyppinen kaasutin on kyseessä. Tämän jälkeen liete hapetetaan eli kaasutetaan.

Lietteen komponenteista osa hapetetaan vain osittain ja osa kokonaan. Kaasuttimen pelkistysvyöhykkeessä tapahtuu useita reaktioita. Kokonaisuudessaan prosessi voidaan kuvata alla näkyvillä kolmella pääreaktiolla:



Kaasutusprosessin koostumus ulostulokaasun osalta vaihtelee huomattavasti erilaisten jätejakeiden, kuten esimerkiksi lietteen, koostumuksen mukaan. (Ojanen 2001, 43.)

## 5.5 Biokaasu energiantuotannossa

Lietteenkäsittelymenetelmänä voidaan käyttää myös mädätystä. Mädätyk-sestä saadaan talteen biokaasua, jonka energiasisältö voidaan käyttää hyö-dyksi polttamalla kaasu apukattilassa muun polttoaineen seassa. Saatu ener-gia voidaan käyttää esimerkiksi mädättämön lämmittämiseen. Biokaasun käy-töllä voidaan osittain korvata fossiilisia polttoaineita. (Ojanen 2001, 45-46.)

Suomessa olevat biokaasulaitokset ovat joko kaatopaikkalaitoksia tai reaktori-laitoksia. Reaktorilaitoksiin luetaan yhdyskuntien ja teollisuuden jäteveden puhdistamot, maatilatalouden biokaasulaitokset sekä yhteismädätyslaitokset.

Yhteismädätyslaitokset käsittelevät biojätteitä, lantoja sekä puhdistamolietteitä. Biokaasuprosessista saadun energiahyödyn lisäksi voidaan prosessissa syntyvä mädäte hyödyntää myös. Biokaasuprosessissa muodostuva mädäte on haluttua lannoitetta, koska sillä on hyvä ravinnepitoisuus ja sillä voidaan myös korvata väkilannoitteiden käyttämistä. Lannoitteiden levittämiskustannuksia saadaan myös madallettua, koska kasvien tarvitsema typpimäärä saadaan levitettyä pellolle pienemmällä määrällä lietettä. (Arola 2012, 3-7.)

## **5.6 Lietteiden muut hyötykäyttövaihtoehdot**

Energiahyötykäytön lisäksi lietteille on olemassa eräitä muitakin hyötykäyttövaihtoehtoja. Lietteitä on mahdollista käyttää viherrakentamiseen sekä metsä- ja peltolietteeksi. Kompostimullan käyttö viherrakentamisessa edellyttää tasalaatua tuotetta. Viherrakentamisessa ja maisemoinnissa voidaan käyttää kompostimultaa, jossa on viljelykäyttöä ajatellen liian korkeita raskasmetallipitoisuuksia, sillä ympäristö- ja terveysriskit ovat vähäisemmät.

Eri loppusijoitusvaihtoehdot asettavat erilaisia vaatimuksia lietteen stabiilulle ja hygienialle. Lietteiden hyötykäyttöä tutkitaan erilaisissa tie- ja kenttärakentamishankkeissa sekä saastuneiden maiden kapseloinneissa. (Ojanen 2001, 48.)

## **6 SUOTONAUHAPURISTIMEN PARAMETRIEN MITTAAMINEN**

Taulukkoon 1 on koostettu jo olemassa olevaa automaatio-ohjauksen mahdollistavia kiintoainemittauslaitteita ja laitteen kapasiteettia parantavia mittausmenetelmiä, joita on mahdollista käyttää suotonauhapuristimessa. Esitetyt tiedot ovat peräisin valmistajien emoyhtiöiden verkkosivuilta olevista tai ladattavissa olevasta materiaaleista. Jos laitteesta oli olemassa ladattava pdf-dokumentti, tiedot kerättiin siitä. Laitteista pyrittiin selvittämään malli, mittausperiaate ja mittausalue. Kaikkia tekijöitä ei ollut laitteiden esitteissä tai verkkosivuilla esitetty ja ne kohdat on jätetty tyhjäksi. Kaikki esitetyt arvot ovat siinä muodossa kuin ne ovat esitteissä esitetty. Kerätyt tiedot ovat vain julkisesti saatavilla olevasta ja valmistajan ilmoittamasta materiaalista, tietoja ei pyydetty erikseen.

Läheskään kaikkien toimittajien laitemalleja ei laitettu taulukkoon. Yleensä vastaavanlaisia malleja pienillä eroilla oli useammalla yhtiöllä käytössä.

## 6.1 Mittausmenetelmät

Eri valmistajat tarjoavat suotonauhapuristimille erilaisia ajoa helpottavia mitauslaitteita. Suotonauhapuristimille tyypillisiä mittausmenetelmiä on syöttösakeus, syöttövirtaus, suodoksen sameus, laitteen kapasiteetti ja kuiva-ainemittaus.

Taulukkoon 1 on kerätty suotonauhapuristimella käytettäviä parametrien mitausmenetelmiä.

Taulukko 1. Mittausmenetelmiä

Parametri	Mittausmenetelmä
Syöttösakeus	ABB 4670, Läpäisevyys 0-2g/l TS ABB Aztec ATS 430, 90° sironta 0-100g/l TS Endress+Hauser Turbimax CUS51D, 90°/135°sironta 0-300g/l TS Hach&Lange Solitax ts-line sc, IR sironta x2, 0,001-50g/l TS Hach&Lange TSS sc IR sironta, 0,001-500g/l TS S::can UV::lyser (1mm) UV VIS spektrum, 0-15g/l TS S::can Soli::lyser 1 IR absorptio, 0,25-30g/l TS Metso TS mikroaalto, 0-35% Valmet TS mikroaalto, 0-50% Valmet LS sironta ja absorptio, Low Solids, 0-0,5% WTW/YSI ViSolid 700IQ Sironta, 0,003-1000g/l TS WTW/YSI VisoTurb 700IQ IR sironta 0,0001-400
Syöttövirtaus	Virtausmittaus
Suodoksen sameus	WTW/YSI ViSolid 700IQ Sironta, 0,003-1000g/l TS WTW/YSI VisoTurb 700IQ IR sironta 0,0001-400 Valmet LS sironta ja absorptio, Low Solids, 0-0,5% Metso LS, Low Solids 0-0,5%
Laitteen kapasiteetti	Viirujen nopeus (taajuusmuuttaja) Syöttölaatikon pinta: Labkotec, PiloTREK pulssitutka 25 GHz pulssitutka lietteiden pinnanmittauksiin. Mittausalue 0,2-23m.  Labkotec, SITRANS Probe LU 240 ultraäänimittalaite soveltuu lietteiden ja bulkkimateriaalien jatkuvaan pinnankorkeuden mittaukseen. 0,2-6 m tai 0,2-12 m  Labkotec, MicroTREK vaijeritutka MicroTrek on tutka pinnankorkeuden mittaukseen. Mikropulssit lähetetään valon nopeudella anturin johdinta pitkin.



	Kun pulssi kohtaa rajapinnan, heijastuu se takaisin. Pinnankorkeus on suoraan verrannollinen mitattuun aikaan. Labkotec, Kapasitiivinen sauva, 0-2m. Viiran pussitus: Telco Spacescan SS02 valoverho mittaa pussituksen.
Kuiva- kakku	Valmet DS, Dry Solids, 15 -35% Valmet HS, High Solids, 30-100%

Taulukkoon 1 on kerätty tyypillisiä sakeusmittareita, jotka perustuvat joko optisiin tai mikroaaltomenetelmiin. Virtausmittarit ovat nesteille yleisesti käytettäviä mittaamenetelmiä, jolla optimoidaan nesteiden virtauksen tehokkuutta.

## 7 TUTKIMUSMENETELMÄT

Suotonauhapuristimen nippipaineiden puristussäädön ohjausparametreinä tutkitaan työssä kolmea menetelmää, jotka olivat viiran likaisuuden mittaus optisella kamera-anturilla, viiran pussitusta valoverhon avulla ja suodoksen laatua optisella anturilla.

Ensimmäisessä menetelmässä viiran likaisuutta mittaava kamera (kuva 6) asennettiin noin 1,33 m viiran yläpuolelle. Lisäksi käytimme testeissä lisäväloja apuvälineinä.



Kuva 6. Kameran sijoituspaikka viiran likaisuuden mittaamiseen

Kamera havaitsee tummat läikät koko viiran alueella helposti. Kamera reagoi harmaalla alueella tummiin pisteisiin antamalla likaisuudesta megapixeleinä kasvavaa lukuarvoa. Käytännössä halutaan saavuttaa mitattavalta alueelta tietty harmaus, kamera etsii tummia pisteitä (lietettä) antaen tietyn arvon tummille pisteille. Parametrit säädetään viiran likaisuuden mukaan. Mittaus voi saada arvot 0, 20, 40, 60, 80 tai 100 %, mistä saadaan viisi digitaalista lähtöä eri likaisuuden tasoille. Tasot on viritetty kameran omalla ohjelmalla. Ensimmäinen porrastus on puhdas ja viimeinen täysin likainen, mikä tilanne näkyy kuvassa 7.

Koeajoissa huomattiin nopeasti, että kyseisen tehtaan liete on hyvälaatuista ja helposti käsiteltävissä. Jotta viira saatiin likaantumaan, polymeeriannosta vähennettiin ja nippipaineiden puristusta lisättiin. Kuvasta 7 näkyy, kuinka viira

saatiin puhtaasta likaiseksi. Kyseinen tilanne voisi olla tehtailla käynnissä useita päiviä, jopa viikkoja ennen kuin se huomattaisiin. Tällaiselle tilanteelle olisi kameran tuoma automaatioetu erittäin hyödyllinen.



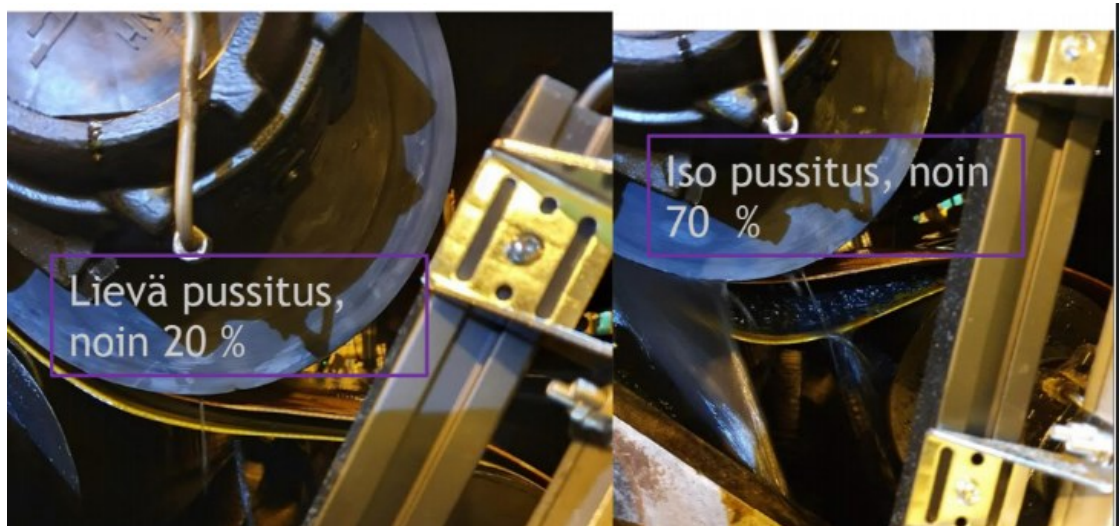
Kuva 7. Viira ajettu likaiseksi

Syksyn kahden viikon koeajojen aikana viiran likaisuus ei mennyt kertaakaan todella likaiseksi. Ensimmäisellä viikolla ajossa ollut koepolymeeri toimi myös moitteettomasti. Hieman ihmetystä aiheutti viiran lievä likaantuminen pienillä paineilla, mutta tilanne korjaantui paineiden noustessa. Tutkimuksen aikana viiran puhtaus antoi mahdollisuuden ajaa maksimaalisilla nippipaineilla lähes kaiken aikaa.

Toisena osa-alueena tarkasteltiin viiran pussitusta valoverhon avulla. Vanhalla tekniikalla pussitusta ei juurikaan tapahdu nippipaineiden ollessa joko nollassa tai hyvin alhaisia. Tämä johtaa huonompaan kuiva-aine pitoisuuteen. Tutkimuksessa etsittiin ajojen aikana sopiva pussitus, jossa liete kestää vielä viirojen välissä, eikä laajene yli. Valoverholle asetettiin raja-arvot, jolloin viira saa pussittaa 4 millimetriä, jonka jälkeen paineet alkavat tippumaan noin 10 sekunnin viiveellä.

Kuvassa 8 näkyy valoverhon lähetin, toisessa päässä on vastaanotin, joka lähettää dataa ohjausyksikköön. Lähetin lähettää paljon valonsäteitä (valoverho) ja vastaanotin tutkii, mitkä säteistä estetään matkalla. Mitä enemmän viira pussittaa, sitä enemmän säteitä estyy. Tämä osa-alue muodostui eniten haastetta tuottavaksi osa-alueeksi. Viiran pussitukseen voi vaikuttaa nippipaineiden lisäksi myös lietteensyöttömäärä ja polymeerin syöttö ja laatu, sekä suotonauhauristimen ajonopeus.

Tutkimuksessa löydettiin lietteen ja polymeerisyötön kokeilujen kautta hyvä raja-arvo syötön määrälle ja pussituksen hallittavuudelle.



Kuva 8. Viiran pussituksen havainnointi: vasemmalla lievä ja oikealla iso pussitusilanne.

Kolmantena osa-alueena tutkittiin suodoksen laatua optisella anturilla. Anturi asennettiin suodoskanaaliin ja vahvistin asennettiin laitteen viereen seinälle. Anturi mittaa suodoksen kiintoainetta yksikössä milligrammoina litrassa (mg/l), mutta yleisesti puhutaan sameudesta. Tavoitteena on havaita, onko kiintoainetta joutunut suodokseen liikaa. Syynä voi olla lietteen laajeneminen viirojen välistä, viira on likaantunut, polymeeri ei toimi tai annos on väärä.

Toimintaperiaatteena on lähettää infranapuna-aallonpituudella sädetä, joka siroaa vedessä olevasta kiintoaineesta takaisin anturin vastaanottimeen. Häiriötekijöinä on yleisesti anturin ympäristöön kerääntynyt liete, tai anturin pintaan on jämähtänyt lietettä. Anturi voi olla myös liian lähellä pohjaa. Havaintojen mukaan paras paikka anturille on kanaalin virtaavin paikka, mikä näkyy kuvassa 10, jolloin anturi säilyi puhtaampana. Sameusmittaustulokset

kerättiin online-mittalaitteen näytöltä (kuva 9). Sameusmittaukselle haettiin raja-arvoja niin, että 750 mg/l ylityksen jälkeen nippipaineet alkavat tippumaan noin 10 sekunnin viiveellä. Paineet palautuvat takaisin 3,5–4 baariin suodoksen palautuessa alle 750 mg/l.



Kuva 9. Suodoksen laadun online-mittaus



Kuva 10. Optinen anturi kanaalissa

## 7.1 Tutkimuksessa käytetyt mittausmenetelmät

Tutkimuksessa suoritettiin useita lietteen laatua kuvaavia testejä ja tehtiin havaintoja kameran kyvystä suoriutua vallitsevissa olosuhteissa.

Taulukossa 2 näkyy tutkimuksessa käytetyt mittausmenetelmät.

Jokaista mittausmenetelmää käytettiin vähintään yhden kerran koeajojen aikana.

Taulukko 2. Koeajoista suoritettavat analyysit ja mittaukset

Tulevan ja kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuus	Eniten käytetty menetelmä on infrapunakuivain, joka ilmoittaa kuiva-ainepitoisuuden digitaalisesti suoraan prosentteina. Tässä työssä käytettiin Mettler Toledo HR83 kuiva-aineanalysaattoria. Mekaanisesti kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuus määritellään vastaavasti kuivatun kakun painon suhteena kostean kakun painoon.
Tuhkapitoisuus	Tuhkapitoisuus tarkoittaa lietteen sisältämän epäorgaanisen palamattoman aineen prosentuaalista osuutta kuivatusta lietteestä. Tuhkapitoisuus määritetään ottamalla uunissa kuivatusta näytteestä sopiva määrä ja polttamalla haihdutettu aines kulhossa (550 °C, 6 h).
Kuitupitoisuus	Lietteen kuitupitoisuuden määrittämiseksi mitataan 200–500 ml:n lietenäyte. Liete kaadetaan mesh-siivilään. Näyte pestään juoksevan veden alla (huuhdo kuituja käsin). Mahdolliset kivet ja hiekka poistetaan näytteestä. Kun siivilästä tuleva suodos on kirkasta, kootaan kuitumateriaali siivilästä kuivausta varten. Kuivaus suoritetaan samalla tavalla kuin kuiva-ainepitoisuuden määrittämisessä.
Suodoksen sameus	Säädetään optiselle anturille prosentuaaliset rajat 20–70% suodoksen sameudelle, joiden sisällä nippi-paineet työskentelevät puristuksella 0–4 baaria.
Viiran pussitus	Asetetaan oikeat parametrit optimaaliselle viiran pussitukselle. Haetaan vallitseviin olosuhteisiin sopiva maksimaalinen nippipaineiden puristus 0–4 baaria.
Viiran likaisuus	Otaa kuvan viirasta, analysoi kuvan ja lähettää mittausarvon järjestelmään. Kamera on ohjelmoitu tunnistamaan likaa viirakankaasta. Mitä enemmän likaa, sitä suuremman arvon likaisuus saa. Kamerassa 5 digitaalilähtöä, joille asetettu likaisuuden taso.

Lietteen syöttö ja viiran nopeus	Lietteen syöttömäärä ja viiran nopeus vaikuttaa merkittävästi pussitukseen. Mitä enemmän syöttömäärä kasvaa, sitä enemmän pussitus lisääntyy. Tutkitaan sopivaa määrää syötölle ja nopeudelle.
----------------------------------	--

## 8 TULOKSET

Suotonauhapuristimella tutkimusten aikana kuivatetuista lietteistä otettiin näytteitä ja niistä määritettiin bio- ja primäärilietteen osuudet. Näytteistä selviää myös lietteen tuhka-aine, tulevan ja kuivatun lietteen kuiva-aineprosentti, suodoksen sameus, viiran likaisuus, kuitupitoisuus, viiran pussitus sekä syöttö- ja viirannopeus. Tulokset on koottu taulukoihin 3–8. Taulukoissa 3–5 ovat elokuun 2020 tulokset ja taulukoissa 6–8 ovat marraskuun 2020 tulokset.

Taulukosta 4 voidaan havaita, että kyseisellä tehtaalla lietejakeesta suurin osa on primäärilietettä (yli 85 %). Biolietteen jäädessä noin 12–13 % väliin. Flotatiolietteen osuus on hyvin pieni n. 1–2 %. Kyseisellä tehtaalla on huomattu sekalietteen ajo parhaimmaksi vaihtoehdoksi suuren primäärijakeen vuoksi. Pääsääntöinen kuivausmenetelmä on ruuvi, jolla päästään yli 40 % kuiva-ainepitoisuuteen. Lisäksi käytännön helpotusta puristetulle lietteelle tuo putki, jota pitkin liete kulkee kuorikattilalle polttoon. Käytettävissä on myös pneumaattinen suotonauhapuristin, joka on varalla koeajoihin ja vaihtoehdokseksi ratkaisuksi.

Taulukossa 3 näkyvät elokuun tulokset lietteen kuiva-aineesta tulevasta ja kuivatusta lietteestä. Lisäksi tuloksissa näkyvät mittausmenetelmistä suodoksen sameus, joka on hyvällä tasolla.

Taulukossa 5 näkyvät elokuun mittauksien tulokset kuitupitoisuudesta ja tuhkapitoisuudesta. Lietteen syöttö on taulukossa 5 alhaisella tasolla, mikä johtaa vain minimaaliseen viiran pussitukseen.



Taulukko 3. Lietteen laadun mittaustuloksia

PVM	Aika	Piste	Bioliete %	KA %	Tuhka KA:sta %	Kuitu %	Lietesyöttö kg KA/s	Polymeeri annos	Viiran nopeus %	Paine 1 nippi	Paine 2 nippi	Liete %	Suodoksen pH	Suodoksen johtokyky	Suodoksen sameus
11.8.	11:00	1	13,0%	3,7%	31,8%	22,0%	0,15	2,43	74%	0	0	14,2%	5,9	165	170
	14:00	2	13,0%	3,6%	31,8%	22,0%	0,13	3,17	74%	20%	10%	22,5%	6,1	150	320
	14:30	3	13,0%	3,2%	31,8%	22,0%	0,11	0,00	74%	20%	10%	17,7%			
	15:00	4	13,0%	3,0%	31,8%	22,0%	0,15	4,00	74%	11%	21%	23,9%			
	15:30	5	13,0%	2,6%	31,8%	22,0%	0,13	5,23	74%	15%	30%	26,0%	6,1	100	143
12.8.	11:20	6	13,0%	4,2%	31,8%	39,0%	0,21	3,27	78%	15%	25%	25,0%	6	145	150
	13:00	7	13,0%	3,7%	31,8%	39,0%	0,15	4,32	78%	20%	33%	27,3%	6,2	150	235
	13:30	8	13,0%	3,8%	31,8%	39,0%	0,15	3,16	78%	21%	35%	27,2%			
	14:00	9	13,0%	3,9%	31,8%	39,0%	0,16	3,85	78%	10%	27%	16,4%			

Taulukko 4. Mittaustuloksia lietesuhteista

Mittaus 12.8.	Q l/s	c %	%
Biol	4	2,7	13 %
Prim	18	4	86 %
Flot	1	1,1	1 %
Kalaliete	Pieni	Pieni	Pieni
Ferrikloridi	0,026667	20	1 %

Arvioitu pumppausmäärästä ja otettu kuiva-aine näyte pumpulta  
Arvioitu pumppausmäärästä ja otettu kuiva-aine näyte pumpulta  
Virtaus tasainen, suht varma tieto  
Pieni määrä, sisältää ferriä  
Syötetään flokkaussäiliöön

Tilastoista	11.8.	Suhde	4.8.	Suhde	30.7.	Suhteiden keskiarvo	
Flot %	1		1		1		
Flot m3/d	120	1,8 %	110	1,6 %	120	1,8 %	1,7 %
Biol %	2,8		2,7		2,6		
Biol m3/d	300	12,3 %	286	11,5 %	316	12,1 %	12,0 %
Prim %	3,9		3,9		3,9		
Prim m3/d	1500	85,9 %	1500	86,9 %	1500	86,1 %	86,3 %

Taulukko 5. Elokuun 2020, tulokset kuidun ja tuhkan osuudesta

	g/näyte	KA g/l	%		KA	Tuhka kuiva-aineesta
Kuitu 200 mesh	1,623	37	22 %	200 ml näyte	3,70 %	31,80 %
Kuitu 200 mesh	1,6	41	39 %	100 ml näyte	3,90 %	31,50 %

Polymeeri	l/s	kg/s	Liete syöttö l/s	Liete	Liete KA kg/s	kg poly/t KA
0,4 %	0,09	0,00036	4	4 %	0,148	2,43
0,4 %	0,1	0,0004	3,5	4 %	0,126	3,17
0,4 %	0	0	3,5	3 %	0,112	0,00
0,4 %	0,15	0,0006	5	3 %	0,15	4,00
0,4 %	0,17	0,00068	5	3 %	0,13	5,23
0,4 %	0,17	0,00068	5	4 %	0,208	3,27
0,4 %	0,16	0,00064	4	4 %	0,148	4,32
0,4 %	0,12	0,00048	4	4 %	0,152	3,16
0,4 %	0,15	0,0006	4	4 %	0,156	3,85



Marraskuun koeajoissa testattiin suotonauhapuristinta kaikilla kolmella ajotavalla, jotka olivat manuaaliajo (säädöt venttiilistä), automaattiajo (säädöt näyttöltä) sekä kaskadiajo (2-nippi seuraa 1-nipin muutoksia).

Syksyn ajoissa testattiin koneen kapasiteettia ja raja-arvojen sopivuutta useilla eri syöttömäärillä ja puristusaineilla. Koeajoissa vertailtiin kahden ajotavan (manuaali ja kaskadi) eroja, sekä tutkittiin viiran pussitukselle asetusarvoja, viiranlikaisuutta, suodoksen laatua, sekä tulevan ja kuivatun lietteen kuiva-aine prosenttia. Ensimmäisten koeajojen aikana haastatteluissa kävi ilmi, että viira likaantui yllättävästi nippipaineiden ollessa minimissä ja paineiden noustessa viira alkoi puhdistua. Syksyn koeajoissa oli ensimmäisellä viikolla koe-polymeeri käytössä.

Vertausajojen tulokset näkyvät taulukossa 7 kahdesta vertailuajosta perinteisellä manuaalimenetelmällä samoilla lietteen ja polymeerinsyöttömäärillä, ja kaskadiajolla suoritettuna. Taulukossa 6 näkyy lokakuun mittausmenettelytuloksia tulevan ja kuivatun lietteen, suodoksen sameuden, viiran likaisuuden, viiran pussituksen, lietteensyötön ja nopeuden osalta. Kuivatun lietteen kuiva-aine erot ovat melko suuret riippuen päivästä.

Sameus on edelleen hyvällä tasolla, kuten elokuussa 2020, vaikka muutaman kerran kiintoaineen määrä nousee yli 750 mg/l. Viiran likaisuus ei nouse kertaakaan yli 20 % syksyn koeajoissa. Lietteensyötössä 12 l/s on pussituksen osalta maksimi määrä, joka on vielä hallittavissa.

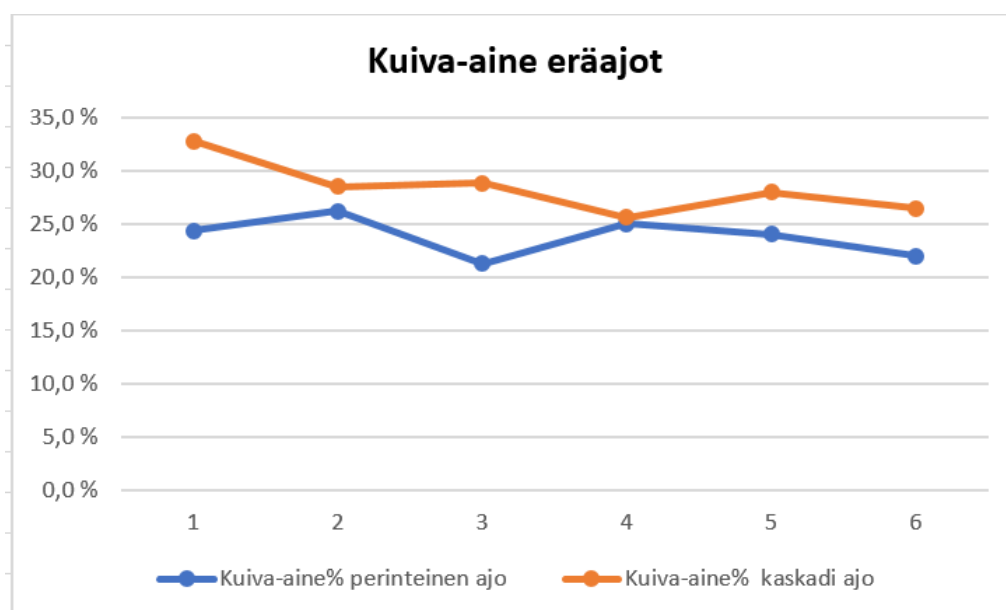
Taulukko 6. Marraskuun 2020, lietekoeajojen tulokset

Klo	Syöttö %	Lietesyöttö l/s	1-nippi	2-nippi	Viiran nop.	Kakku %	Suodos %	Pussi %	Likaisuus	Polymer l/s	Päivä	
13.00	4,10	8,5	0,2	0,7	75 %	24,4	22	0	0 %	0,15	5.11.2020	koepolymeeri
14.00	4,10	9,5	1,5	2	75 %	26,25	32	45 %	0 %	0,15	5.11.2020	koepolymeeri
14.15	4,10	9	1,5	2	75 %	21,28	65	45 %	20 %	0,15	5.11.2020	koepolymeeri
10.10	4,20	10	3,5	4	75 %	32,85	35	45 %	0 %	0,15	6.11.2020	koepolymeeri
10.40	4,40	12	3,5	4	75 %	28,53	50	50 %	0 %	0,15	6.11.2020	koepolymeeri
14.18	4,20	12	3,5	4	75 %	28,84	70	50 %	0 %	0,15	6.11.2020	koepolymeeri
09.00	4,73	9,5	3,5	4	75 %	25	45	45 %	20 %	0,15	12.11.2020	normaali pol.
09.50	4,73	9,5	3,5	4	75 %	25,67	65	45 %	20 %	0,15	12.11.2020	normaali pol.
10.30	4,73	9,2	3,5	4	75 %	26,48	60	45 %	0 %	0,15	12.11.2020	normaali pol.
11.00	4,73	9,5	3,5	4	75 %	25,43	25	45 %	0 %	0,11	12.11.2020	normaali pol.
11.20	4,73	9,2	3,5	4	75 %	28,02	35	45 %	0 %	0,9	12.11.2020	normaali pol.
12.30	4,73	9,5	3,5	4	75 %	28,92	40	45 %	0 %	0,12	12.11.2020	normaali pol.
13.50	4,40	9,1	2	2,8	75 %	25,11	50	45 %	0 %	0,11	12.11.2020	normaali pol.
14.15	4,40	8	1	2	75 %	25,02	35	0	20 %	0,11	12.11.2020	normaali pol.
14.30	4,40	7	1	1,5	75 %	24,06	40	0	0 %	0,9	12.11.2020	normaali pol.
14.50	4,40	7	0	0	75 %	22,01	30	0	0 %	0,12	12.11.2020	normaali pol.
08.30	3,74	7	3,5	4	75 %	19,01	35	0	0 %	0,11	13.11.2020	normaali pol.
10.15	3,74	7			75 %	18,93	35	0	0 %	0,11	13.11.2020	normaali pol.
10.30	3,74	10	3,5	4	75 %	19,55	45	45 %	0 %	0,11	13.11.2020	normaali pol.
11.15	3,74	10	3,5	4	75 %	22,4	40	45 %	0 %	0,11	13.11.2020	normaali pol.

Taulukko 7. Tulokset vertausajoista samoilla lietteen ja polymeerin syötöillä

Kuiva-aine% perinteinen ajo	Kuiva-aine% kaskadi ajo
24,40	32,85
26,20	28,53
21,28	28,84
25,02	25,67
24,06	28,02
22,01	26,48

Suotonauhapuristimen eräajot perinteisellä manuaalitalvalla ja kaskadiajolla on esitetty kuvassa 11. Koeajoissa y-akseli kertoo kuivatun lietteen kuiva-aine prosentin ja x-akseli kertoo vertausajon ajokerran.



Kuva 11. Puristetun lietteen kuiva-aine erot vertausajoista

## 9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tavoitteena oli tarkastella uusia ja käytössä olevia mittaussparametreja viiran likaisuuden parempaan tunnistamiseen. Tavoitteena oli myös saada suotonauhapuristimesta nykyistä enemmän puristusta irti ja parempi ajettavuus muuttuvissa olosuhteissa. Tutkimuksessa mitattiin kolmea eri menetelmää, joita olivat viiran likaisuuden mittaus optisella kamera-anturilla, viiran pussituksen mittaus valoverhon avulla ja suodoksen sameuden laadun mittaus optisella anturilla.

Kameran suorituskyky nousi hyvälle tasolle likaisuuden havaitsemisen suhteen. Kamera tunnistaa tarvittaessa pienetkin tummat pisteet harmaalta alueelta. Tämä antaa lisäarvoa suotonauhapuristimelle varsinkin niissä olosuhteissa, jolloin operaattori ei ole paikalla ja lietteen laadussa tai polymeerin toiminnassa tapahtuu merkittävä heikennys ja viira likaantuu. Syksyn koeajoissa viira pysyi puhtaana tai lähes puhtaana kaiken aikaa, mikä mahdollisti ajamisen maksimipuristuksilla.

Valoverhon toiminta viiran pussitukselle vaati eniten säätötoimenpiteitä. Säätöjä tehtiin viiran pussituksen raja-arvoille. Lisäksi etsittiin lietteen syötölle ja polymeerille sopivat syöttömäärät, sekä säädettiin nippipaineita ja nippien rakoväli sopivalle tasolle. Suodoksen sameusmittaus on toimiva lisäetu kokonaisuudelle. Online-mittaus antaa käyttökelpoista dataa suodoksen laadusta ja auttaa tehostamaan koneen ajettavuutta ja tulevaisuudessa myös optimoimaan polymeerin määrää. Valoverhon käytölle oli tärkeää löytää sopiva paikka kanaalissa, jotta anturin likaantuminen olisi mahdollisimman vähäinen. Paikaksi valikoitui mahdollisimman virtaava kohta, joka vaikutti kahden viikon syksyn koeajoissa toimivalta ratkaisulta. Tämä ei kuitenkaan takaa anturin puhtautta täysin.

Johtopäätöksistä voidaan todeta, että kokonaisuus vaikuttaa lupaavalta. Pienet yksityiskohdat vaativat hiomista, kuten valoverhon pussitus. Kapasitiivinen pinnanmittaussauva kyseisellä laitoksella vaatii päivityksen. Sauva antaa ajoittain virheellistä tietoa pinnan korkeudesta, kun roiskeet len-

tävät sauvaan. Suodoksen optinen anturi ei ole varmin ratkaisu puhtaana pysymiselle. Optinen kamera-anturi toimii hyvin ja jossain muualla huonommassa valaistuksessa on mahdollisuus ottaa vielä lisävalot käyttöön.

## LÄHTEET

Aquaflow Oy s.a. Water technologies. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.aquaflow.fi/> [viitattu 08.08.2020].

Aquaflow Ltd s.a. AF-Belt Twin Wire Press. Aquaflow Sludge Dewatering Technology. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://d3pcsg2wjg9izr.cloudfront.net/files/41369/download/275676/28.AF-Press-ASludgePressDesignedForPulpAndPaperIndustry%E2%80%9393Brochure.pdf> [viitattu 20.12.2020]

Arola, J. 2012. Keskitetyn Biokaasulaitoksen energiatase. Mikkelin Ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniologia, kestävä energiatalous. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/47995/Arola\\_Johanna.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/47995/Arola_Johanna.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [viitattu 09.07.2020].

KnowPulp 2001-2019. Knowpulp-Sellunvalmistuksen oppimisympäristö. AEL and Prowledge Oy. WWW.dokumentti. Saatavissa: <http://knowpulp.com> [viitattu 06.10.2020].

Koivuniemi, J. 2016. Teollisuuden jätevesien puhdistukseen liittyvän uuden teknologian kaupallistaminen. Savonia-Ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniologian koulutusohjelma. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/109614> [viitattu 24.10.2020].

Labkotec Oy s.a. Measures for a better tomorrow. WWW.dokumentti. Saatavissa: <https://www.labkotec.fi/> [viitattu 25.11.2020].

Mannermaa, H. 2013. Online-mittaukset lietteenkuivauksen optimoinnissa. Oulun yliopisto. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. Diplomityö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201305291358.pdf> . [viitattu 17.10.2020].

Miettinen, E. 2007. Lietteenkäsittelyn toimintaan vaikuttavien muutosten hallinta. Lappeenrannan yliopisto. Energia ja ympäristötekniikan osasto. Diplomityö. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://docs.google.com/document/d/1el-QMD1dfP9bc2Wy4I9hcOkWB1Aw\\_MMkiBYNuj44e3c/edit](https://docs.google.com/document/d/1el-QMD1dfP9bc2Wy4I9hcOkWB1Aw_MMkiBYNuj44e3c/edit) [viitattu 16.10.2020].

Nylund, J.2016. Jätevedenpuhdistamoiden analyysimittausten käytettävyys. Ympäristötekniologian koulutusohjelma. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/116772/Nylund\\_Jake.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/116772/Nylund_Jake.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [viitattu 10.11.2020].

Ojanen, P. 2001. Sellu- ja paperitehtaiden lietteiden käsittely ja hyötykäyttö sekä niitä rajoittavat tekijät. Kaakkois-Suomen ympäristökeskus. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/113719/AY223%20Sellu-%20ja%20paperitehtaiden%20lietteiden%20k%C3%A4sitely%20ja%20hy%C3%B6tyk%C3%A4ytt%C3%B6%20sek%C3%A4%20niit%C3%A4%20rajoittavat%20tekij%C3%A4t.pdf?sequence=2&isAllowed=y> [viitattu 18.10.2020].

Pöyry, Finland Oy. 2019. Puhdistamolietteen termiset käsittelymenetelmät ja niiden soveltuvuus Suomeen. Suomen Vesilaitosyhdistys ry:n monistesarja 2019:56. Helsinki: Suomen Vesilaitosyhdistys ry. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://www.vvy.fi/site/assets/files/2916/puhdistamolietteen\\_termiset\\_kasittelymenetelmat\\_ja\\_niiden\\_soveltuvuus\\_suomeen.pdf](https://www.vvy.fi/site/assets/files/2916/puhdistamolietteen_termiset_kasittelymenetelmat_ja_niiden_soveltuvuus_suomeen.pdf) . [viitattu 02.11.2020].

Sitra, Pöyry Enviroment Oy. 2017. Lietteenkäsittelyn nykytila Suomessa ja käsittelymenetelmien kilpailukyky -selvitys. Helsinki: Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://media.sitra.fi/2017/02/27172733/LietteenkC3A4sittely-2.pdf> [viitattu 03.12.2020].

Valmet Oyj. 2020. Sensors and accessories. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.valmet.com/automation/condition-monitoring/sensors-and-accessories/> [viitattu 18.11.2020].

Vikiö, P. 1977, Suotonauhapuristimen kehittäminen. Diplomityö. s.13 Saatavissa: Aquaflow, intranet [viitattu 06.07.2020].