

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Teknillinen tiedekunta

Energiatekniikan koulutusohjelma

BH10A0201 Energiatekniikan kandidaatintyö ja seminaari

Lietteenkäsittely metsäteollisuudessa
Treatment of sludge in forest industry

Työn tarkastaja: Esa Vakkilainen

Työn ohjaaja: Mika Nieminen

Lappeenranta 4.2.2014

Maisa Kalliokoski

TIIVISTELMÄ

Tekijän nimi: Maisa Kalliokoski

Lietteenkäsittely metsäteollisuudessa

Teknillinen tiedekunta

Energiatekniikan koulutusohjelma

Kandidaatintyö 2013

Sivuja 44, yhtälöitä 10, kuvia 5, taulukoita 2, kuvaajia 12, liitteitä 1

Hakusanat: liete, lietteenkäsittely, lietteenpoltto, suotonauhapuristin

Kandidaatintyön tavoitteena on esitellä erilaisia metsäteollisuudessa syntyviä lietteitä, niiden ominaisuuksia ja käsittelyä. Lietteenkäsittelytekniikat on jaettu mekaanisiin, termisiin, kemiallisiin ja biologisiin menetelmiin. Lisäksi on tutkittu Metsä Board Simpeleen kartonkitehtaalla syntyvää lietettä ja sen sisältämää energiaa.

Tutkimuksia varten kesällä 2013 tehtiin koeajoja ja mittauksia, joiden avulla laskettiin, saadaanko lietteen polttamisesta energiaa, vai onko se vain jätteenhävitysmenetelmä. Koeajojakso oli melko lyhyt (2 viikkoa), mutta näytteitä otettiin tiheästi, kahdesti päivässä. Näin yritettiin vähentää lietteen laadun vaihtelun merkitystä tuloksiin.

Tuloksista ilmeni, että koeajojakson aikana lietteestä saatiin energiaa enemmän kuin sen polttamiseen kului. Kävi myös ilmi, että tulokset ovat voimakkaasti riippuvaisia lietteen laadusta ja puristuspaineesta.

Tulosten perusteella suunniteltiin uusi, toimivampi mittausjärjestelmä. Lisäksi tehtiin ehdotus lietteenpoltossa tuotetun energian seuraamiseksi lähes reaaliajassa.

SISÄLLYSLUETTELO

Tiivistelmä	1
Sisällysluettelo	2
Symboli- ja lyhenneluettelo	4
1 Johdanto	6
2 Lieite ja sen käsittely	7
2.1 Liehteen määritelmä ja erilaisia lietteitä	7
2.2 Liehteen synty	9
2.3 Erilaisia liehteenkäsittelymenetelmiä.....	12
2.3.1 Mekaaniset menetelmät.....	12
2.3.2 Termiset menetelmät.....	15
2.3.3 Kemialliset menetelmät.....	16
2.3.4 Biologiset menetelmät.....	18
2.3.5 Muut käsittelymenetelmät.....	19
3 Case Simpele	20
3.1 Liehteen synty ja käsittelyprosessi Simpeleellä.....	20
3.2 Ongelmat ja tavoite	23
4 Mittaukset	24
4.1 Mittausjärjestelyt	24
4.2 Mittaustulokset	27
4.3 PHD-ohjelmasta saadut tulokset	30
4.3.1 Puristusaine	31
4.3.2 Polymeerin määrä	33
4.3.3 Lietevirtaus.....	35
5 Tulokset ja johtopäätökset	36
5.1 Tuotettu energia.....	36
5.2 Kulunut energia ja nettoenergia	37

5.3	Syntyneen energian mittausjärjestelmä	41
5.4	Johtopäätökset	42
6	Yhteenveto	44
	LÄHDELUETTELO	45
	Liite I Vaihtoehtoinen laskutapa	47

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Roomalaiset aakkoset

c_p	ominaislämpökapasiteetti	[kJ/kgK]
E	energia	[MWh], [MJ]
m	massa	[g], [kg], [t]
p,x	paine	[bar]
q_i	lämpöarvo	[kJ/g] , [MJ/kg]
q_v	tilavuusvirta	[l/s], [l/min]
r	veden ominaishöyrystymislämpö	[kJ/kg]
T	lämpötila	[°C]
t	aika	[s], [min], [h]
V	tilavuus	[ml], [l]

Kreikkalaiset aakkoset

ρ	tiheys	[g/l]
ΔT	lämpötilan muutos	[K]

Alkuaineet ja yhdisteet

BOD7	biologinen hapen kulutus
C	hiili
Cl	kloori
H ₂	vety
NH ₄ -N	ammoniumtyppi
N ₂	typpi
O ₂	happi
S	rikki

Alaindeksit

häviö	lietteenpolttoon kuluva energia
kuiva liete	kuiva liete
kuiva näyte	kuiva näyte
liete	liete
märkä näyte	märkä näyte
netto	lietteenpoltossa syntyvä nettoenergia
tuotto	lietteenpoltossa tuotettava energia
st	saapumistila
vesi	vesi

Lyhenteet

<i>KAP</i>	kuiva-ainepitoisuus	[%]
<i>KP, y</i>	kosteusprosentti	[%]

1 JOHDANTO

Metsäteollisuudessa, kuten niin monella muullakin alalla, syntyy vuosittain valtava määrä lietettä. Vuosikymmenien ajan sitä on pidetty jätteenä ja rasitteena. Lietettä on viety kaatopaikoille ja poltettu voimalaitosten kattiloissa. Viime aikoina lietteenkäsittelyä on kuitenkin alettu tehostaa, sillä sen potentiaalia esimerkiksi energiana tai maanparannusaineena ei ole hyödynnetty niin paljon kuin olisi mahdollista. Lietteen tarkempaan käsittelyyn vaikuttaa myös alati tiukkeneva ympäristölainsäädäntö.

Tässä kandidaatintyössä on perehdytty yleisesti erilaisiin lietelaatuihin, lietteen syntymiseen ja lietteenkäsittelyyn. Työ on tehty Metsä Board Simpeleen kartonkitehtaan toimeksiannosta, minkä vuoksi työn teoriaosuudessa käsitellään erityisesti metsäteollisuudessa syntyviä lietteitä.

Metsäteollisuuden lietteenkäsittelystä on tehty useita tutkimuksia ja teoksia, joita tässäkin työssä on käytetty lähteinä. Ne eivät kuitenkaan vastaa tämän työn keskeiseen ongelmaan eli siihen, kuinka paljon Metsä Board Simpeleen tuottamassa lietteessä on energiaa ja kuinka se olisi viisainta käsitellä ja hyödyntää.

Työ koostuu teoriaosuudesta sekä mittauksista, jotka on suoritettu kesällä 2013. Mittauksissa selvitetään lietteen energiapitoisuutta sekä keinoja, joilla energia saadaan mahdollisimman tehokkaasti talteen. Mittauksien lisäksi käytännön tietoja lietteenkäsittelystä on saatu havainnoimalla tehdasaluetta, hyödyntämällä erilaisia laitekuvauksia ja haastatteleamalla henkilökuntaa.

2 LIETE JA SEN KÄSITTELY

Tässä kappaleessa käsitellään erilaisia lietteitä, niiden syntymistä ja monia eri lietteiden käsittelymenetelmiä.

2.1 Lietteen määritelmä ja erilaisia lietteitä

Liete on yleisesti määritelty kiinteän ja nestemäisen aineen homogeeniseksi seokseksi. Kiinteä ja nestemäinen aines voivat olla lähes mitä tahansa ainetta, joten lietteitä on useita erilaisia ja niitä syntyy keskenään hyvin erilaisissa olosuhteissa.

Luonnonvesissä lietettä muodostuu esimerkiksi veden ja saven tai veden ja silttiaineksen seoksena. Maataloudessa lietteellä tarkoitetaan lietelannaksikin kutsuttua eläinten ulosteen ja virtsan seosta. Puhdistamolietettä muodostuu yhdyskuntien ja teollisuuden jätevedenpuhdistamoilla. Teollisuuslietettä syntyy etenkin elintarvike- ja metsäteollisuuden piirissä.

Tässä työssä lietteestä puhuttaessa tarkoitetaan teollisuusprosessin jätevesistä puhdistusprosessin jälkeen jäljelle jäänyttä puhdistamolietettä. Käsiteltävä teollisuudenala on metsäteollisuus. Metsäteollisuuden jätevedenpuhdistamoilla syntyy monenlaisia lietteitä eri puhdistusvaiheissa.

Kuitulietettä, jota kutsutaan myös primäärilietteeksi, syntyy selkeytyksen yhteydessä. Sen koostumus vaihtelee tuotantotyyppin mukaan. Massatehtaalla syntyvä liete koostuu lähinnä kuiduista, kun taas paperitehtaalla syntyvässä lietteessä on mukana myös jonkin verran epäorgaanisia aineita, kuten täyteaineita. Mitä korkeampi kuidun osuus on, sitä kuivempaa lietteestä saadaan. (Höglund et al., 2001, s. 15)

Kuoriliete syntyy, kun käsittelyssä olevasta raakapuusta irtoaa kuorta ja pieniä puunpalasia. Samalla jätevesien mukana syntyy muitakin sivutuotteita. Kuoriliete voidaan erotella laskeutusaltaassa tai sedimentaation avulla. (Höglund et al., 2001, s. 15)

Biologinen puhdistus on hyvin yleinen jätevesienpuhdistusmenetelmä, josta kerrotaan tarkemmin myöhemmin. Tässä biologisessa puhdistuksessa syntynyttä lietettä kutsutaan

biolietteeksi. Se sisältää pääosin mikro-organismeja ja sen kuivaaminen on haastavaa. (Höglund et al., 2001, s. 15)

Mikäli prosessissa käytetään kemiallista puhdistusta, siinä syntyvää lietettä kutsutaan kemialliseksi lietteeksi. Se sisältää usein rauta- tai alumiinihydroksideja sekä vaihtelevasti orgaanisia jäämiä saostus- ja flokkaukemikaaleista. Flokkulaatiolla tarkoitetaan prosessia, jossa pienemmät partikkelit törmäävät toisiinsa muodostaen isompia ja helpommin erotettavia partikkeleita. Kemiallisen lietteen kuivattaminen on yhtä haastavaa kuin biologisen lietteen. (Höglund et al., 2001, s. 16)

Yleensä erilaiset lietetyypit sekoittuvat toisiinsa, jolloin syntyvää lietettä kutsutaan sekalietteeksi. Tavallisesti alkuperäisiä lietteitä ei kuivata erikseen, vaan kuivatuksen kohteena on vain sekaliete. Mitä enemmän sekalietteessä on kuituja, sitä paremmin vesi saadaan eroteltua siitä. (Höglund et al., 2001, s. 16)

Paperin- ja massanvalmistusprosessissa syntyy monia muitakin lietteitä. Näitä ovat muun muassa siistausliete, pastaliete ja viherlipeäliete. Näiden lietteiden tuhkapitoisuus on tavallisesti melko korkea, joten ne soveltuvat huonosti poltettaviksi. (Höglund et al., 2001, s. 16).

Taulukossa 1 on esitetty erilaisten metsäteollisuuslietteiden tehollisia lämpöarvoja.

Taulukko 1 Erilaisten metsäteollisuuslietteiden lämpöarvot. (Eskilsson et al, 2003, s. 8)

Lietetyyppi	Tehollinen lämpöarvo	Tehollinen lämpöarvo	Tehollinen lämpöarvo
	[MJ/kg] kuiva, tuhkaton	[MJ/kg] kuiva	[MJ/kg]
Kuituliete	18,8	16,8	3,5
Bioliete	19,9	14,1	1,5
Kemiallinen liete	19,8	17,7	4,3
Sekaliete	20,3	15,6	3,5
Siistausliete	21,2	9,1	4,3

Taulukossa 2 on esitetty tyypillisen metsäteollisuuslietteen ja vertailupolttoaineen (hake) koostumus. Alkuaineiden osuudet on ilmoitettu prosentteina kuivasta ja

tuhkattomasta polttoaineesta. Tuhkan osuus on ilmoitettu prosentteina kuivasta polttoaineesta, ja kosteus on ilmoitettu prosentteina saapumistilassa.

Taulukko 2 Tyypillisen metsäteollisuuslietteen ja vertailupolttoaineen koostumus. (Eskilsson et al, 2003, s. 8)

Aine	Liete	Lietteen vaihteluväli	Hake
Hiili, C	53 %	46-68 %	51 %
Vety, H ₂	7 %	6-8 %	6 %
Rikki, S	1 %	0,1-2,4 %	0 %
Typpi, N ₂	2 %	0,2-6 %	0,2 %
Kloori, Cl	0,1 %	0-0,3 %	0 %
Happi, O ₂	37 %		43 %
Tuhka	27 %	1-60 %	1 %
Kosteus	64 %	13-84 %	50 %

2.2 Lietteen synty

Erilaiset lietteet syntyvät jätevedenpuhdistuksessa. Jätevettä voidaan puhdistaa monella eri menetelmällä, joilla pyritään poistamaan vedestä ympäristölle haitallisia ja vaarallisia aineita. Näistä merkittävimmät ovat fosfori ja typpi. Puhdistusprosessit koostuvat mekaanisista, kemiallisista ja biologisista menetelmistä. (Kujala-Räty et al, 2008, s. 77).

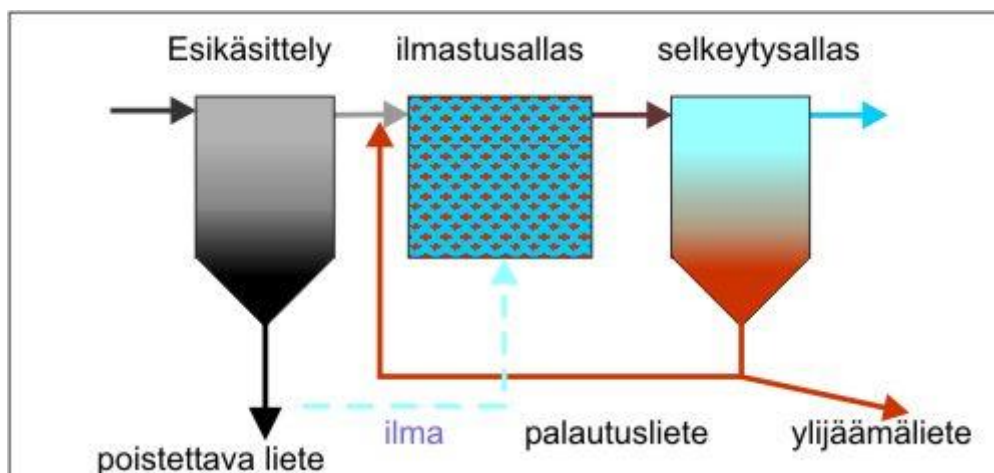
Mekaaninen laskeutus ja selkeytys –menetelmä perustuu maan vetovoimaan. Menetelmässä raskaammat kiinteät hiukkaset vajoavat lietesäiliön selkeytystilaan ja kevyemmistä hiukkasista muodostuva pintaliete nousee jäteveden pinnalle. Jäljelle jäänyt puhdistunut jätevesi johdetaan pois altaasta vedenpinnan alapuolelta, jolloin pintaliete ei pääse poistumaan altaasta. Mitä hitaammin jäteveden annetaan virrata selkeytysaltaan läpi, sitä enemmän hiukkasia saadaan laskeutumaan selkeytystilaan. Tämä selkeytys voidaan toteuttaa eri vaiheissa prosessia, jolloin sen nimi on joko esi-, väli- tai jälkiselkeytys. (Kujala-Räty et al, 2008, ss. 77-78).

Eräs käytetyimmistä jätevedenpuhdistuksen muodoista on biologinen käsittely, jossa pyritään poistamaan jätevedessä olevaa fosforia ja typpeä sekä vesistöissä happea kuluttavia aineita (BOD7, NH4-N). Biologisessa prosessissa hyödynnetään jäteveden omia pieneliöitä ja niiden kykyä hajottaa orgaanista ainetta vedeksi ja hiilidioksidiksi. Biologisen käsittelyn avulla jäteveden orgaanisen aineksen määrää voidaan vähentää jopa 100 prosenttia. (Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry, 2009) (Kujala-Räty et al, 2008, ss. 81-82).

Biologisen puhdistamon käynnistysvaiheessa pieneliöstö kehittyy kullekin puhdistamolle sopivaksi ja niin suureksi, kuin kyseisen puhdistamon jätevesimäärä pystyy elättämään. Biomassaksi kutsuttu eliöstö koostuu yleensä bakteereista, viruksista, ripsieläimistä, siimaeliöistä, ameboista, rataseläimistä ja madoista, jotka käyttävät ravinnokseen jäteveden orgaanista ainesta. Biomassa tarvitsee elääkseen ravinnon eli orgaanisen aineksen lisäksi happea, mikäli kyseessä on aerobinen prosessi. Hapensaanti tapahtuu ilmastusaltaassa, jossa jäteveden sekaan pumpataan ilmaa suurten kompressorien avulla. Anaerobinen prosessi ei tarvitse toimiakseen happea, mutta ravinnekuorman on oltava suuri. (Kujala-Räty et al, 2008, ss. 81-82).

Biologisen puhdistamon toiminta voi häiriintyä helposti. Häiriötekijöiksi voidaan luokitella suuret vaihtelut jäteveden määrässä tai laadussa, biomyrkyt tai hapen loppuminen. Biomyrkyjä ovat öljyt, liuottimet ja klooria sisältävät pesuaineet. Häiriötekijät hankaloittavat biomassan toimintaa ja voivat pahimmillaan jopa tuhota koko eliöstön. Tällöin puhdistamo ei toimi ja pieneliöstön kasvattaminen on aloitettava alusta. (Kujala-Räty et al, 2008, s. 82).

Suomessa yleisin metsäteollisuuden jätevedenkäsittelymenetelmä on aktiivilietemenetelmä. Se on eräs biologisen puhdistuksen muoto, josta on olemassa useanlaisia sovelluksia. Yleensä liete on puhdistettu mekaanisesti ennen aktiivilieteprosessia ja jossain puhdistuksen vaiheessa voidaan käyttää myös kemiallista puhdistusta. Kuvassa 1 on havainnollistettu aktiivilietelaitoksen toimintaperiaate. (Paajanen, 2007, s. 7)



Kuva 1: Aktiivilietelaitoksen periaatekuva. (Hajaputsari Ry, 2013)

Aktiivilieteprosessi koostuu esikäsitelystä, ilmastuksesta ja selkeytyksestä. Jätevesi esikäsitellään, eli siinä olevia kiinteitä likahiukkasia poistetaan tai pienennetään. Tämän jälkeen se johdetaan ilmastusaltaaseen, jossa biologiselle eliöstölle annetaan happea, jotta ne pystyvät muodostamaan aktiivilietettä. Tämän jälkeen aktiiviliete johdetaan selkeytysaltaaseen, josta altaan pohjalle kertynyt liete poistetaan. Aktiivilieteprosessin erikoispiirteenä on lietteen kierrätys. Selkeytysaltaan pohjalta aktiivilietettä johdetaan palautuslietteenä takaisin ilmastusaltaaseen, jolloin se reagoi uudestaan jäteveden kanssa. Kierrätyksen tarkoituksena on muodostaa suurempirakeista lietettä, joka laskeutuu helposti jälkiselkeytyksessä ja on siten hyvin eroteltavissa jätevedestä (Paajanen, 2007, ss. 9-10). Osa lietteestä poistetaan suoraan selkeytysaltaasta ylijäämälietteenä (Kujala-Räty et al, 2008, s. 83). Aktiivilietemenetelmä poistaa fosforista vain noin 30 %, minkä vuoksi se vaatii yleensä erillisen fosforin rinnakkaissaostuksen. (Kujala-Räty et al, 2008, s. 84).

Kemiallisia puhdistusmenetelmiä käytetään erityisesti fosforin poistamiseen. Koska fosfori on usein liuenneena jätevedeen, sitä ei pystytä seulomaan tai laskeuttamaan. Tämän vuoksi käytetään fosforia sitovia kemikaaleja, kuten rauta- tai alumiinisuoloja, minkä seurauksena fosfori saostuu kiinteään muotoon. Tämän käsittelyn jälkeen fosfori on laskeutettavissa ja erotettavissa jätevedestä. (Hajaputsari Ry, 2013) (Kujala-Räty et al, 2008, s. 88).

Kemiallinen käsittely voidaan tehdä useassa eri puhdistusprosessin vaiheessa. Esisaostus tarkoittaa ennen biologista puhdistusta tehtyä käsittelyä, rinnakkaissaostus tarkoittaa biologisen käsittelyn kanssa yhtä aikaa tapahtuvaa käsittelyä ja jälkisaostus biologisen puhdistuksen jälkeen tehtyä kemiallista saostusta. Puhuttaessa pelkästä kemiallisesta käsittelystä, ei biologista käsittelyä ole ollenkaan. (Kujala-Räty et al, 2008, s. 88).

2.3 Erilaisia lietteenkäsittelymenetelmiä

Yleensä lietteen käsittelyyn kuuluu esikäsittely, varsinainen käsittelymenetelmä ja loppusijoitus. Kukin näistä vaiheista voidaan tehdä usealla eri tavalla, joten lietteen käsittelyvaihtoehtoja on olemassa huomattava määrä.

Esikäsittelyn tarkoituksena on pienentää syntyvää lietemäärää, saada se parempilaatuisiksi, parantaa varsinaisen käsittelymenetelmän toimivuutta ja ehkäistä loppusijoituksesta mahdollisesti aiheutuvia haittoja. Esikäsittelymenetelmä valitaan siten, että varsinainen käsittely onnistuu mahdollisimman hyvin. (Pöyry Environment Oy, 2007, s. 14).

Lietteenkäsittelymenetelmät voidaan jakaa muun muassa mekaanisiin, termisiin, kemiallisiin, biologisiin ja muihin käsittelymenetelmiin. Kukin näistä sisältää useita eri alaluokkia, joista osa liittyy esikäsittelyyn, osa varsinaiseen käsittelyyn ja osa loppusijoitukseen. Joitakin käsittelymenetelmiä on vaikea luokitella kuulumaan tiettyyn prosessin vaiheeseen, joten menetelmät on jaettu tavan eikä prosessin vaiheen mukaan. (Moring, 2012, s. 23).

2.3.1 Mekaaniset menetelmät

Mekaaniset menetelmät sisältävät paljon erilaisia tapoja käsitellä lietettä. Tässä kappaleessa on esitelty esikäsittelymenetelmiä sekä mekaaninen kuivaus ja geotuubaus.

Esikäsittelymenetelmät

Kiinteiden likahiukkasten poistamiseen voidaan käyttää erilaisia mekaanisia esikäsittelymenetelmiä, jotka esitellään seuraavaksi.

Hienonnin jauhaa kiinteän aineksen niin pieneksi, että se kulkeutuu veden mukana lopulta lietteeksi eikä erillistä esikäsittelyjätettä muodostu. Hieman samalla periaatteella toimii repijäpumppu, jota käytetään, jos jätevettä on pumpattava ennen sen käsittelyä. Pumpun juoksupyörä hienontaa vedessä olevat kiinteät kappaleet lietteeksi, jota on helppo pumpata ja kuljettaa kohti varsinaista käsittelyä.

Hiukkasia voidaan poistaa jäteveden seasta muun muassa rumpusiivilällä, välpällä ja suodattamalla. Rumpusiivilässä on rei'itetty vaippalevy, jonka läpi vesi siivilöityy. Kiinteä jäte jää rummun sisäpuolelle, jolloin se voidaan erottaa jätevedestä jo esikäsittelyvaiheessa. Välppä koostuu pystysuorista säleistä. Säleisiin jäävät kiinni jäteveden mukana tulevat säleiden rakoja suuremmat kiinteät kappaleet, jotka poistetaan koneharalla tai vaihtoehtoisesti käsikäyttöisellä haravan tapaisella laitteella. Lisäksi voidaan käyttää mekaanista suodatusta, jossa likahiukkaset siivilöityvät tai laskeutuvat suodatinrakeiden päälle. (Kujala-Räty et al, 2008, ss. 79-81) (Xylem, 2013).

Mekaaninen kuivaus

Mekaanisiin käsittelymenetelmiin kuuluu kuivaus. Kuivauksella tarkoitetaan lietteenkäsittelyä erilaisilla puristimilla, suodattimilla ja lingoilla. Näistä käytetyin Suomen metsäteollisuudessa on suotonauhapuristin. Se perustuu veden valuttamiseen pois lietteestä muovisten verkkokankaiden eli viirojen läpi matala- ja korkeapainevaiheessa. Matalapainevaiheessa lietettä kuljetetaan viirojen välissä ja korkeapainevaiheessa viirat viedään rullien läpi. Tällöin leikkaus- ja puristusvoimat tehostavat vedenpoistoa. Ennen suotonauhapuristimelle johtamista lietteen sekaan on lisättävä polyelektrolyyttejä, eli kemikaaleja, joiden avulla lietteen hienojakoinen kiintoaine flokkuloituu isompirakeiseksi. Suotonauhapuristimen tehoa voidaan lisätä imun avulla, ja saavutettava kuiva-ainepitoisuus voikin olla kuitulietteen kohdalla jopa 40-50 %. Sekalietteellä kuiva-ainepitoisuus jää kuitenkin 25-35 %. (Moring, 2012, s. 24) (Ojanen, 2001, ss. 19-20)

Ruuvipuristin on nimensä mukaisesti ruuvi, jonka mukana liete kulkeutuu puristimen läpi. Puristimen sisällä oleva kartioruuvi kuljettaa lietettä ja samalla vesi poistuu vaipan rei'istä. Vedenerotusta tehostetaan käyttämällä polyelektrolyyttejä ennen ruuvia sekä syöttämällä puristimeen kylläistä höyryä 3-4 bar:ssa. Höyry vähentää lietteen ja ruuvien välistä kitkaa, laskee veden viskositeettia ja näin ollen sen käytöllä voidaan saavuttaa 5 %-yksikön kuiva-ainepitoisuuden nousu. Ruuvipuristimella voidaan saavuttaa korkea, jopa 50 %:n kuiva-ainepitoisuus, ja sen vuoksi sitä on ruvettu käyttämään enenevässä määrin. (Moring, 2012, s. 24) (Ojanen, 2001, s. 20).

Lingolla voidaan käsitellä lietteitä, joilla voi olla huonot vedenpoisto-ominaisuudet, mutta jonka on oltava laskeutuvaa, rullautuvaa ja flokin riittävän vahvaa, sillä linkous perustuu keskipakovoimaan. Linko on kartionmallinen rumpu, jonka sisällä on ruuvi. Rumpu ja ruuvi pyörivät eri nopeuksilla, jolloin liete poistuu rummista. Linkouksen etuina on mahdollisuus vedenerotukseen ilman kemikaaleja sekä täysin suljettu käsittely, jonka ansiosta huoneilmaan ei pääse aerosoleja. Normaalisti linkouksen jälkeen kuiva-ainepitoisuus ei ole kovinkaan korkea (10-35%), mutta runsaalla kemikaalien käytöllä saavutettavissa on suotonauhapuristinta parempia tuloksia. (Moring, 2012, ss. 24-25) (Ojanen, 2001, s. 21).

Geotuubaus

Eräs mekaaninen lietteenkäsittelymenetelmä on Suomessa vielä melko tuntematon geotuubaus. Sen ideana on syöttää liete säkkiin, jonka rei'istä vesi poistuu kiintoaineeksi ja muiden haitta-aineiden jäädessä säkin sisälle. Yleensä kiintoaineen talteenotto varmistetaan kahdella sisäkkäisellä säkillä. Säkki voi olla pituudeltaan mitä tahansa alle metrin ja sadan metrin väliltä, ja sen alle on rakennettava varoallas veden ohjailua varten. (Moring, 2012, ss. 25-26).

Optimitilanteessa geotuubauksessa kiintoaineesta jopa 99 % saadaan jäämään säkin sisälle. Jotta haluttu kuiva-ainepitoisuus saavutetaan, massan on kuitenkin oltava geotuubin sisällä yleensä muutamia kuukausia. Tätä aikaa voidaan nopeuttaa polyelektrolyyttisten kemikaalien avulla, joiden annostelua tosin hankaloittaa lietteiden vaihteleva kuiva-ainepitoisuus. Säkkiin jäänyt liete voidaan hyötykäyttää

kompostoimalla, mädättämällä, polttamalla tai maanrakennuksessa. Säkkiä ei voi käyttää uudelleen. Pitkä viipymäaika, kertakäyttöisyys ja lietteiden vaihteleva kuiva-ainepitoisuus voivat vaikuttaa siihen, ettei geotuubaus ole vielä saavuttanut suosiota Suomessa. (Moring, 2012, s. 25).

2.3.2 Termiset menetelmät

Lietteen termisiä käsittelymenetelmiä ovat terminen kuivaus, pyrolyysi ja kaasutus, märkähapetus sekä poltto.

Terminen kuivaus

Termisessä kuivauksessa lietteestä haihdutetaan vettä pois joko suoralla tai epäsuoralla lämmityksellä. Lämpö voidaan ottaa höyrystä, termoöljystä tai kuumasta ilmasta. Terminen kuivaus tapahtuu yleensä mekaanisen vedenpoiston jälkeen, ja lopputuotteen kuiva-ainepitoisuus voi nousta jopa 90 %:iin. Menetelmä vaatii paljon lämpöä, joten se on viisainta sijoittaa paikkaan, jossa on saatavilla esimerkiksi teollisuuden ylijäämähöyryä, kaatopaikkakaasua tai jätevedenpuhdistamon biokaasua. Keski-Euroopassa terminen kuivaus on jo laajasti käytössä, joten Suomessakin sen käytön odotetaan yleistyvän. (Moring, 2012, s. 27) (Pöyry Environment Oy, 2007, ss. 26-29).

Pyrolyysi ja kaasutus

Pyrolyysi ja kaasutus ovat keskenään hyvin samankaltaisia menetelmiä. Pyrolyysissä lietteen orgaaninen aines hajotetaan lämmittämällä sitä hapettomissa olosuhteissa. Tällöin lopputuotteena on lietepohjainen hiili, öljy tai kaasu. Kaasutus eroaa pyrolyysistä siten, että siinä kuumennus tapahtuu ilmaa, happea tai höyryä käyttämällä. Prosessin lopuksi syntyy kaasua. Lietteen on oltava hyvin kuivaa ennen kaasutusta, kuiva-ainepitoisuus 85-93 %. Lietteen kaasutus on vasta kokeiluvaiheessa, mutta lietettä voitaisiin hyvin käyttää lisäpolttoaineena öljyn ja maakaasun sijasta. Tällöin lietettä saataisiin hyödynnettyä melko pienellä lisäinvestoinnilla verrattuna kokonaan uuden laitoksen rakentamiseen. (Lohiniva et al, 2001, ss. 75-76) (Moring, 2012, ss. 28-29).

Märkähapetus

Märkähapetus tapahtuu paineistetussa reaktorissa lämpötilan ollessa 200-300 °C ja paineen ollessa 120-150 bar. Tällöin lietteen sisältämä orgaaninen aines hajoaa. Märkähapetus soveltuu erityisesti biolietteiden käsittelyyn, sillä lietettä ei tarvitse erikseen kuivata ennen prosessia. Märkähapetuksessa on monia etuja, mutta se on taloudellisesti kannattavaa vain suuressa mittakaavassa. (Moring, 2012, ss. 29-30).

Poltto

Lietteenpoltto on Suomessa yleisin tapa käyttää metsäteollisuudessa syntyneet lietteet. Poltto on nopea ja helppo tapa vähentää loppusijoitettavan lietteen määrää, mutta se ei tuota merkittävästi energiaa eikä tällöin voida hyödyntää esimerkiksi lietteen sisältämiä ravinteita. Polton ongelmana on myös tuhkan loppusijoitus, sillä syntynyttä tuhkaa ei voida hyödyntää lannoitevalmisteena eikä maanparannusaineena. Joissain tapauksissa tosin tuhkaa voidaan hyödyntää esimerkiksi tiilien tai sementin valmistuksessa. (Pöyry Environment Oy, 2007, ss. 29-33) (Moring, 2012, s. 31).

Polttotekniikka vaikuttaa merkittävästi lietteenpolttoon. Arinapolttota käytettäessä lietteen laadun muutokset voivat aiheuttaa ongelmia, joten metsäteollisuudessa lietettä poltetaan useimmin leijupetikattiloissa. Lietteiden korkea tuhkapitoisuus ja kosteus voivat vaikeuttaa polttoaineen syöttöä, prosessin hallintaa ja tuhkajärjestelmän toimintaa sekä heikentää palamishyötysuhdetta. (Alén et al, 1992, s. 41)

Lietteenpolttoa todennäköisesti jatketaan tulevaisuudessa, sillä tuhkan käsittelyä, hyötykäyttöä ja kierrätystä tehostetaan jatkuvasti, ja savukaasujen puhdistus onnistuu nykytekniikalla riittävän hyvin. (Pöyry Environment Oy, 2007, ss. 29-33)

2.3.3 Kemialliset menetelmät

Lietteiden kemiallisia käsittelymenetelmiä ovat kemiallinen tiivistys, kalkitus ja Kemicond-käsittely.

Kemiallinen tiivistys

Kemiallisella tiivistyksellä tarkoitetaan flotaatiotiivistystä. Tiivistyksessä lietteen sekaan syötetään vettä, johon on lisätty kemikaaleja (yleensä polyelektrolyyttejä tai

rauta- ja alumiinisuoloja) sekä paineistettua ilmaa. Kemikaalit parantavat lietteen vedenpoistokykyä, sitovat lietehiukkasia yhteen sekä tasoittavat lietteen laadunvaihtelua. Paineen laskiessa ilma alkaa nousta pieninä kuplina kohti altaan pintaa. Samalla se tarttuu lietehiukkasiin, jotka näin ollen päätyvät myös altaan pinnalle. Pinnalta ne on helppo kaapia lietekouruun. Tiivistyksessä lietteen osuus nousee 1-5 %:iin. Kemiallinen tiivistys on kalliimpaa kuin mekaaninen tiivistys, mutta se vie vähemmän tilaa ja aikaa. Se myös soveltuu hyvin kevyille lietteille. (Moring, 2012, s. 33) (Lohiniva et al, 2001, s. 39).

Kalkitus

Kalkitus eli kalkkistabilointi on tehokas ja yksinkertainen lietteenkäsittelymenetelmä, jossa lietteen pH-pitoisuus nostetaan vähintään arvoon 11 vähintään 14 vuorokaudeksi. Tällöin mikrobiologinen hajotustoiminta loppuu, metallisuolojen määrä vähenee ja liete stabiloituu. Stabiloinnilla tavoitellaan hygieenisten haittojen ja hajuhaittojen vähenemistä. Jäljelle jäänyt liete voidaan kompostoida, polttaa tai käyttää lannoitteena. Huonoina puolina voidaan pitää lietteen määrän lisääntymistä, korkeita kustannuksia kemikaalien vuoksi sekä käsittelyssä vapautuvia kaasuja, kuten ammoniakki, jotka aiheuttavat kuormitusta ja hajuhaittaa ympäristöön. (Moring, 2012, ss. 33-34) (Lohiniva et al, 2001, ss. 39-40).

Kemicond-käsittely

Kemicond-käsittely on Kemiran kehittämä lietteen esikäsittelymenetelmä, jossa lietteen pH-arvo lasketaan neljään rikkihapon avulla. Tällöin lietteen geelimäisyys katoaa aiheuttaen metallisuolojen liukenemisen ja veden vapautumisen. Lietteiden tilavuus pienenee jopa useita kymmeniä prosentteja samoin kuin käytettävien polyelektrolyyttien kulutus (Kemira, 2010). Tämän jälkeen liete neutralisoidaan ja kuivataan esimerkiksi ruuvipuristimella tai lingolla. Syntynyt liete on melko hajutonta, hygienisoitua ja helppoa käsitellä. Liete voidaan kompostoida, käyttää maanparannusaineena tai polttaa. Kemicond-käsittely on lupaava menetelmä, josta on vasta niukasti käyttökokemuksia. Lisäksi kemikaalien käyttö nostaa menetelmän hinnan korkeaksi sekä lisää työtaturma- ja ympäristövahinkojen riskiä. (Pöyry Environment Oy, 2007, ss. 33-35).

2.3.4 Biologiset menetelmät

Lietettä voidaan käsitellä myös biologisin menetelmin. Näistä biologisista menetelmistä käytetyimmät ovat mädätys ja kompostointi.

Mädätys

Mädätys on biologinen lietteen stabilointimenetelmä, joka perustuu lietteen viipymiseen hapettomissa oloissa. Ennen varsinaista mädätysprosessia liete yleensä sakeutetaan, mikäli siinä on liikaa kosteutta. Märkämädätyksessä tulevan lietteen kiintoainepitoisuus on korkeintaan 15 %, kun taas kuivamädätyksessä kiintoaineen osuus voi olla jopa 40 %. Mädätys tapahtuu yleensä mesofiilisissa oloissa, jolloin lämpötila on 30-38 °C. Toinen, harvinaisempi ja energiaa enemmän kuluttava vaihtoehto on termofiilinen mädätys, jolloin lämpötila on 49-57 °C. Mädätyksessä kestää normaalisti noin 20 päivää, ja lopputuotteena syntyy biokaasua sekä stabiilia ja helposti kuivattavaa lietettä. Jäljelle jäänyt liete sopii hyvin maanparannusmädätteeksi ja biokaasu voidaan käyttää energiantuotantoon. Mädätystä voidaan parantaa entsyymikäsittelyillä. Se parantaa lietteen liukoisuutta ja siten mädättymistäkin. (Pöyry Environment Oy, 2007, ss. 19-20) (Moring, 2012, s. 34) (Ojanen, 2001, s. 32).

Kompostointi

Kompostointi on, samoin kuin mädätys ja kalkitus, lietteen stabilointikeino. Kompostoinnin jälkeen lietteen kuiva-ainepitoisuus on noin 50 %. Kompostoinnissa stabilointi tapahtuu hapellisissa oloissa ilman kulkeutuessa huokoisen massan läpi. Koska märkä liete on tiivistä ja kokoonpainuvaa, lietteen kompostointi ei onnistu sellaisenaan. Lietteelle on esikäsitteilyn avulla luotava ilmava rakenne ja nostettava sen kuiva-ainepitoisuus korkeammaksi kuin 15 %. Samalla poistetaan epäpuhtaudet, murskataan liete sopivan kokoisiksi paloiksi ja lisätään lietteen sekaan sen tarvitsema tukiaine, esimerkiksi kuorta tai haketta, halutun kuohkeuden saavuttamiseksi. (Moring, 2012, ss. 39-40) (Pöyry Environment Oy, 2007, ss. 15-16) (Ojanen, 2001, s. 33).

Itse kompostointi käsittää esikompostoinnin ja jälkikypsytyksen. Esikompostoinnissa kompostointimassaa sekoitetaan muutaman kerran viikossa 3-4 viikon ajan ilman kulun

takaamiseksi ja kompostikaasujen poistamiseksi. Jälkikompostointi kestää seuraavat 3-4 viikkoa ja se tapahtuu useimmin avoimella kentällä. Nykyään reaktorissa suoritettava kompostointi on yleistynyt ja se onkin suositumpaa kuin avoimessa tilassa tehtävä aumakompostointi. Suomessa käytetyimpiä reaktorikompostointityyppejä ovat muun muassa tunnelikompostointi, rumpukompostointi ja tornikompostointi. (Moring, 2012, s. 39) (Pöyry Environment Oy, 2007, ss. 15-16) (Ojanen, 2001, s. 33).

Etanolin valmistus

Etanolin valmistus sopii hyvin juuri metsäteollisuuden lietteille niiden selluloosa- ja ksylaanikomponenttien vuoksi. Nämä komponentit voidaan muuttaa entsyymien avulla sokereiksi, jotka puolestaan voidaan käymällä muuttaa etanoliksi. Toinen vaihtoehto on sekoittaa biolietteeseen happoa. Mikäli tästä biolietteestä 40-80 % korvataan paperilla, voidaan seoksesta jopa 90 % muuttaa etanoliksi. Tällöin etanolin valmistus teollisessa mittakaavassa voisi olla kannattavaa. (Moring, 2012, ss. 38-39)

2.3.5 Muut käsittelymenetelmät

Edellä mainittujen keinojen lisäksi lietettä voidaan käsitellä myös muun muassa ultraäänen tai elektro-osmoosin avulla. Ultraäänellä pienennetään flokkikokoa ja vapautetaan energiaa, mikä puolestaan helpottaa esimerkiksi mädätystä. Elektro-osmoosi perustuu solunsisäisen veden poistoon sähkökentän vaikutuksesta. Elektro-osmoosin yhteydessä käytetään myös mekaanista puristusta, jotta veden poisto tehostuu. Tällä menetelmällä biolietteenkin kuiva-ainepitoisuus voi nousta jopa yli 50 %:iin. (Moring, 2012, s. 42).

3 CASE SIMPELE

Kandityöni tutkimuskohteena on Metsä Board Simpeleen kartonkitehdas. Kartonkitehtaan toiminnasta syntyvät jätevedet johdetaan tehtaan jätevedenpuhdistamolle, jossa vesi puhdistetaan ja ohjataan takaisin vesistöön. Puhdistusprosessista jäljelle jäänyt liete johdetaan tehtaan lieteasemalle käsiteltäväksi, minkä jälkeen se johdetaan edelleen polttoon voimalaitokselle.

3.1 Lietteen synty ja käsittelyprosessi Simpeleellä

Tehdasalueella merkittävimmät jäteveden syntypaikat ovat kartonkikone ja hiomo. Lisäksi jätevettä tulee kuorimosta ja jo käytöstä poistetulta paperikoneelta sekä vanhalta kaatopaikalta suodosvesien muodossa. (Jätevedenpuhdistamon hoitajat, 2013)

Kaikki edellä mainitut jätevedet johdetaan tehdasalueella olevalle jätevedenpuhdistamolle. Jätevedenpuhdistamo on ytimeltään biologinen aktiivilietelaitos ja se on osittain kaksilinjainen. Puhdistusprosessi alkaa jätevesien välppäyksellä ja pumppauksella puhdistamolle. Mikäli tuleva jätevesi voi jollain lailla häiritä puhdistamon toimintaa, se johdetaan suoraan varoaltaalle. Näin menetellään, jos vedessä on vaarallisia kemikaaleja, suuria määriä öljyä tai kartonkikoneen massaa tai, jos jäteveden pH poikkeaa selvästi normaalista. Likainen vesi otetaan vähitellen varoaltaalta puhdistettavaksi. (M-real Simpele, 2009)

Seuraava vaihe on esiselkeytys, jonka seurauksena esiselkeytysaltaan pohjalle kertyy kuitulietettä, eli primäärilietettä. Esiselkeytyksen jälkeen jäljelle jääneen kirkasteen sekaan lisätään ravinteita. Mikrobin tarvitsemia ravinteita typpeä ja fosforia annetaan urean ja fosforihapon muodossa. Jos vaahtoamista on hillittävä, voidaan annostella myös vaahtonestoainetta. Lipeällä voitaisiin säätää veden pH:ta ylöspäin, mutta sitä ei juuri tehdä. (M-real Simpele, 2009)

Puhdistustehon kannalta tärkeän ravinteiden annostelun jälkeen jätevesi jaetaan kahdelle rinnakkaiselle ilmastuslinjalle. Vesi syötetään ilmastusaltaan alkupäässä sijaitseviin selektoreihin, joihin syötetään myös jälkiselkeytyksestä saatava palautusliete. Ilmastusaltaissa veteen sekoitetaan suurten kompressorien avulla ilmaa, jotta mikrobin

hapen saanti on turvattu. Ilmastusaltaan kiintoainepitoisuus pyritään pitämään aina samalla tasolla, jotta lietevaranto ja lietteen keskimääräinen viipymä puhdistamolla pysyvät vakioina. (M-real Simpele, 2009)

Ilmastusaltaasta vesi johdetaan jälkiselkeytykseen. Jälkiselkeytyksaltaiden pohjalle painunut liete johdetaan palautuslietekaivoon ja sieltä suurimmaksi osaksi palautuslietteenä ilmastusaltaiden selektoriosaan, Myös altaiden pinnalle muodostuva pintaliete johdetaan palautuslietekaivoon. Uutta lietettä vastaava määrä poistetaan ylijäämälietteenä lietteen tiivistämöön. Jälkiselkeytyksaltaisiin jäänyt, puhdistettu vesi poistuu ylijuuksuna suoraan vesistöön. (M-real Simpele, 2009)

Kuvassa 2 on esitetty jätevedenpuhdistamon rakenne. Kuvassa näkyvä harmaa ympyrä on esiselkeytyksallas. Punertavat suorakulmiot ovat ilmastusaltaita ja sininen suorakulmio sekä sininen ympyrä jälkiselkeytyksaltaita.



Kuva 2: Jätevedenpuhdistamon eri osat.

Jätevedenpuhdistamolta poistettava primääriliete ja tiivistysliete eli bioliete johdetaan samaan sekoitussäiliöön. Säiliöstä liete pumpataan voimalaitoksen alueella sijaitsevalle lieteasemalle, jossa se kuivataan esivedenerottimella ja suotonauhapuristimella. Lopulta liete poltetaan voimalaitoksen leijupetikattilassa. (M-real Simpele, 2009)

Lieteasemalle tuleva liete varastoidaan lietesäiliöön, jossa on potkurisekoitin varmistamassa lietteen tasalaatuisuutta. Säiliöstä liete siirretään keskipakopumpulla flokkulaattoriin, jonne myös polymeeriliuos johdetaan. Polymeeriliuosta annostellaan suhteessa lietevirtaukseen, yleensä polymeeriliuoksen suhde tulevan lietteen määrään on noin 3-5 %. Flokkulaattorilla liete ja polymeeri sekoitetaan toisiinsa niin, että syntyy flokkeja. Flokin muodostumiseen ja ehjänä pysymiseen voidaan vaikuttaa säätämällä flokkulaattorin pyörimisnopeutta. (USF Aquaflo, 1997)

Flokkulaattorin jälkeen liete kuljetetaan esivedenerottimelle. Esivedenerottimella liete kulkeutuu viiran päällä kohti suotonauhapuristinta. Samalla lietteen irtonainen vesi valuu painovoiman avulla viiran läpi. Jäljelle jäänyt, hieman kuivunut liete tippuu esivedenerottimen purkauspäästä suotonauhapuristimen valutusosalle. Valutusosalta liete siirtyy suotonauhapuristimen matalapaineosiolle, jossa liete puristuu kahden toisiaan lähenevän viiran välissä. Tämän jälkeen korkeapaineosiossa viirat viedään rullien väliin, jolloin liete joutuu entistä kovempaan puristukseen ja veden erotus tehostuu. (USF Aquaflo, 1997)

Suotonauhapuristimen tehokkuus riippuu monesta tekijästä, joita ovat lietteen ominaisuudet, kemiallinen käsittely ennen suotonauhapuristinta, käytettävät paineet, laitteen konfiguraatio sekä nauhan huokoisuus, nopeus ja leveys. Lisäksi lietteen suotautumisvastus, eli massan kuitujen kasaan painautumisesta aiheutuvan veden virtausvastuksen kerroin (VIIRAA-projekti, 1998) vaikuttaa merkittävästi siihen, kuinka hyvin vesi lietteestä erottuu. (Ojanen, 2001, s. 20) (Moring, 2012, s. 24).

Suotonauhapuristimen kapasiteettia mittaavassa koeajossa todettiin, että suotonauhapuristimen läpi voidaan ajaa enintään 1040 litraa lietettä minuutissa. Tällöin jätevedenpuhdistamolla olevat pumput pumppasivat maksimimäärän lietettä, joten niiden vuoksi virtausmäärää ei voitu kasvattaa. Suotonauhapuristimelta lähtevän lietteen

laatu pysyi silmämääräisesti tarkasteltuna kuitenkin hyvänä eikä liete tulvinut mistään kohdasta yli. Näin ollen suuremmilla jätevedenpuhdistamon pumpuilla voitaisiin kasvattaa suotonahapuristimenkin kapasiteettia.

3.2 Ongelmat ja tavoite

Kandityön tavoitteena on selvittää, kuinka paljon jätevedenpuhdistamolta tulevasta lietteestä saadaan energiaa, kun se poltetaan voimalaitoksella leijupetikattilassa. Samalla selvitetään eri ajotapojen, lähinnä suotonahapuristimen puristuspaineen ja polymeerin annostelun, vaikutus lietteen kuiva-ainepitoisuuteen ja sitä kautta saapumistilan lämpöarvoon.

Lisäksi määritellään järkevä lietenäytteidenottotiheys ja suunnitellaan lietteen tuottaman energian mittausjärjestelmä.

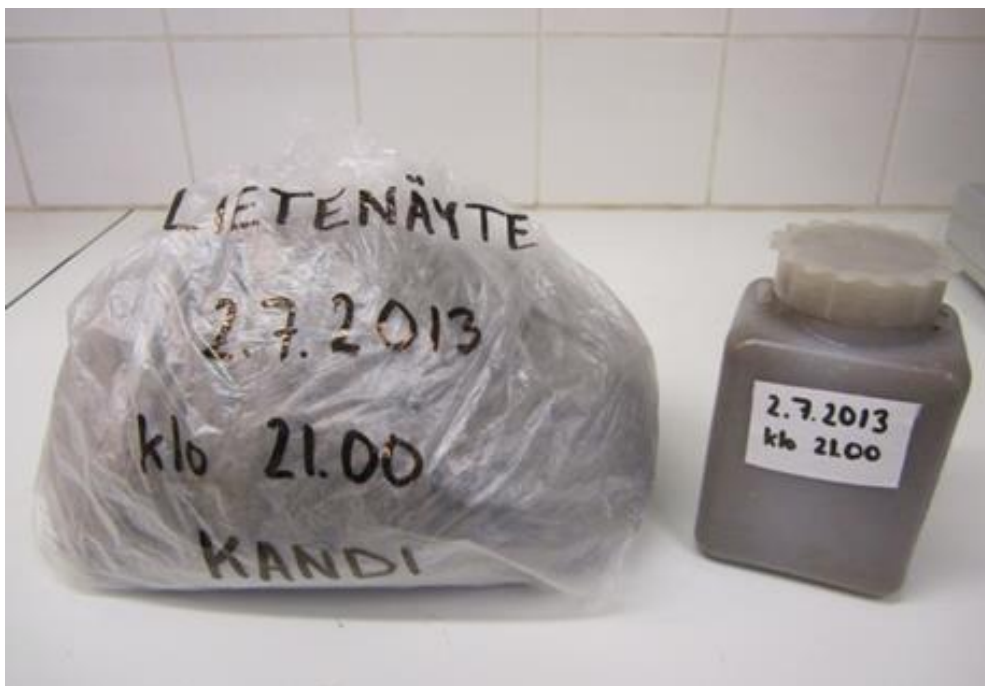
4 MITTAUKSET

Mittausten tarkoituksena oli selvittää, kuinka paljon polttoon tulevan lietteen kosteusprosenttiin ja sitä kautta lietteestä saatavaan lämpöenergiaan voidaan vaikuttaa lieteaseman asetuksia säätämällä. Keskeinen kysymys on, vaikuttaako suotonauhapuristimen puristusaineen kosteuteen enemmän kuin jätevedenpuhdistamolta suotonauhapuristimelle tulevan lietteen laatu eli saapuvan lietteen kuiva-ainepitoisuus. Samalla tarkkailtiin polymeerin kulutusta ja sen vaikutusta lietteeseen, tulevan lietteen määrää sekä yritettiin arvioida optimaalista näytteidenottoitiheyttä. Mittaukset suoritettiin 26.6.-9.7.2013.

4.1 Mittausjärjestelyt

Koeajojakson ensimmäisen viikon aikana suotonauhapuristimen puristusaine pyrittiin pitämään 25 bar:ssa. Toisella viikolla paine nostettiin 40 bar:iin, jotta voitiin tutkia, kuinka paine vaikuttaa suotonauhapuristimelta lähtevän lietteen kosteusprosenttiin. Kummankin viikon aikana lietevirtaus pyrittiin pitämään noin 400-500 l/min:ssa ja polymeerin annostelu 2-4 % lietteen määrästä. Koeajojakson aikana primääri- ja biolietteen suhde pysyi lähes muuttumattomana. Lietteestä 74 % oli primäärilietettä ja 26 % biolietettä. Normaalitytilanteessa primääri- ja biolietteen osuudet vaihtelevat hieman, mutta keskimäärin suotonauhapuristimelle tulevasta lietteestä primäärilietettä on 70 % ja biolietettä 30 %.

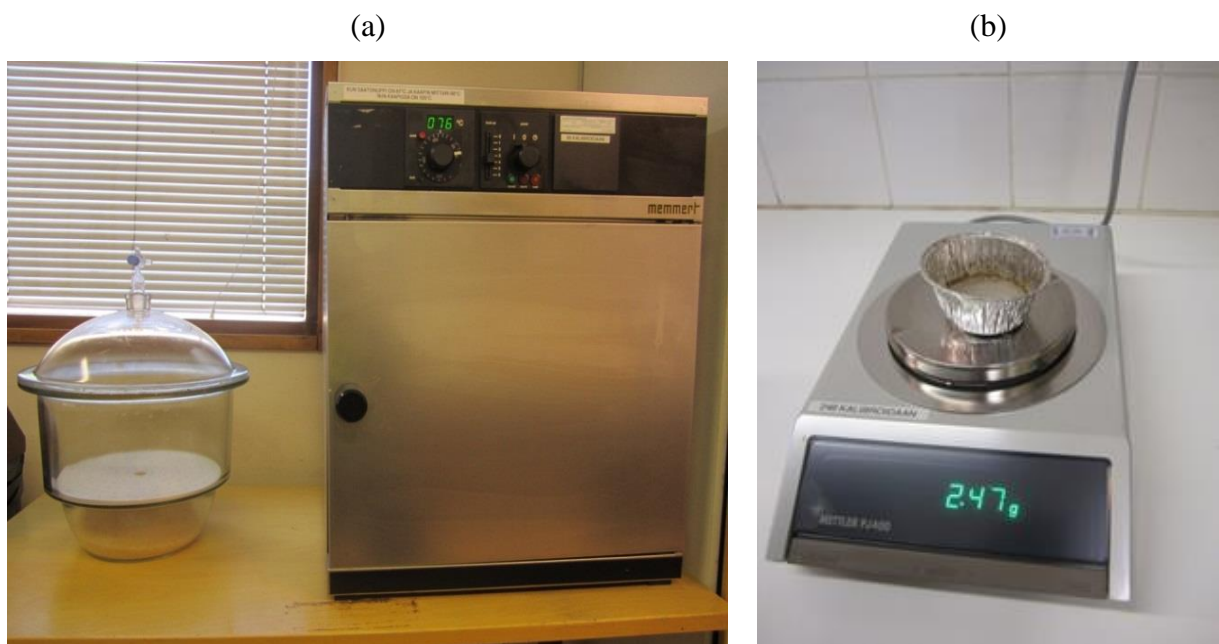
Tutkimuksia varten lietteestä otettiin näytteitä kahdesta eri mittauspisteestä. Ensimmäisestä pisteestä, niin sanotusta märästä päästä otettujen näytteiden avulla selvitettiin suotonauhapuristimelle tulevan lietteen kuiva-ainepitoisuutta ennen polymeerin lisäämistä tai veden poistamista. Toinen mittauspiste sijaitsi suotonauhapuristimen kuivassa päässä, ja sieltä otetuilla näytteillä pystyttiin selvittämään, kuinka paljon polttoon tulevassa lietteessä on kosteutta. Kuvassa 3 on nähtävillä kuivan ja märän pään lietenäytteet.



Kuva 3: Lietenäytteet. Vasemmalla kuivan pään näyte ja oikealla märän pään näyte.

Lietenäytteitä otettiin molemmista pisteistä kahdesti päivässä, kello 9.00 ja kello 21.00. Märästä päästä näytteet otettiin 500 ml:n purkkiin ja vietiin laboratorioon. Laboratoriossa näyte sekoitettiin huolellisesti ja sitä lusikoitiin 10-15 grammaa etukäteen Mettler PJ400 –vaa’alla punnittuun folioastiaan. Rinnakkaisia näytteitä tehtiin kaksi kappaletta.

Näytteet kuivattiin Memmert –merkkisessä uunissa 105°C:ssa. Märän pään näytteiden annettiin olla uunissa 4 tuntia, minkä jälkeen ne laitettiin vähintään puoleksi tunniksi eksikaattoriin jäähtymään. Lopuksi kuivunut ja jäähtynyt näyte otettiin pois eksikaattorista ja punnittiin viipymättä, jotta ilmassa oleva kosteus ei ehtisi imeytyä näytteisiin ja aiheuttaa siten mittavirhettä. Kuvassa 4 a ja b on esitetty laboratoriossa käytettyjä välineitä.



Kuva 4: Laboratoriovälineitä. (a) Eksikaattori ja uuni. (b) Märän pään näyte vaa'alla uunin ja eksikaattorin jälkeen.

Kuivan pään näytteet otettiin muovipussiin, jonka suu suljettiin tiukasti kosteuden karkaamisen ehkäisemiseksi. Laboratoriossa näytettä sekoitettiin sekoitusastiassa ja sitä annosteltiin 50-100 grammaa etukäteen punnittuun foliovuokaan. Rinnakkaisnäytteitä tehtiin kolme kappaletta. Näytteiden annettiin olla vuorokausi uunissa 105°C:ssa, minkä jälkeen ne punnittiin uudestaan. Kuivan pään näytteitä ei tarvinnut jäähdyttää eksikaattorissa, sillä ne olivat reilusti painavampia kuin märän pään näytteet, jolloin mahdollisesti näytteisiin imeytynyt kosteus ei vaikuta lopputulokseen merkittävästi.

Kuvassa 5 on nähtävillä näytteitä uunissa.



Kuva 5: Näytteet kuivumassa uunissa. Ylärivillä kuivan pään näytteitä ja alarivillä etualalla määrän pään näytteitä.

4.2 Mittaustulokset

Punnitustulokset kirjattiin ylös ja niiden perusteella laskettiin suotonauhapuristimelle tulevalle lietteelle kuiva-ainepitoisuus sekä polttoon lähtevälle lietteelle kosteusprosentti alla olevien yhtälöiden mukaisesti.

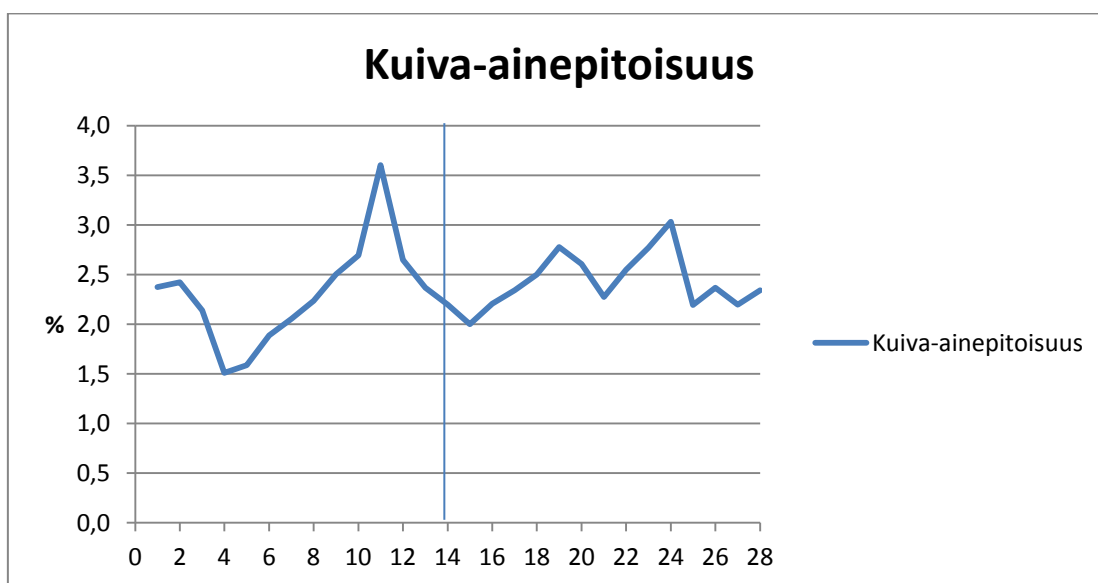
$$KAP = \frac{m_{\text{kuiva näyte}}}{m_{\text{märkä näyte}}} * 100 \quad (1)$$

KAP kuiva-ainepitoisuus [%]

$$KP = \frac{m_{\text{märkä näyte}} - m_{\text{kuiva näyte}}}{m_{\text{märkä näyte}}} * 100 \quad (2)$$

KP kosteusprosentti [%]

Näytteitä otettiin kahdesti päivässä neljäntoista päivän ajan, joten yhteensä näytteitä kertyi 28 kappaletta. Suotonauhapuristimelle tulevan lietteen kuiva-ainepitoisuus on esitetty alla olevassa kuvaajassa 1. Tässä kuvaajassa, kuten muissakin kuvaajissa, koeajojakson puoliväliä on merkitty sinisellä pystysuoralla viivalla. Tällöin puristusaine nostettiin 25 bar:sta 40 bar:iin.

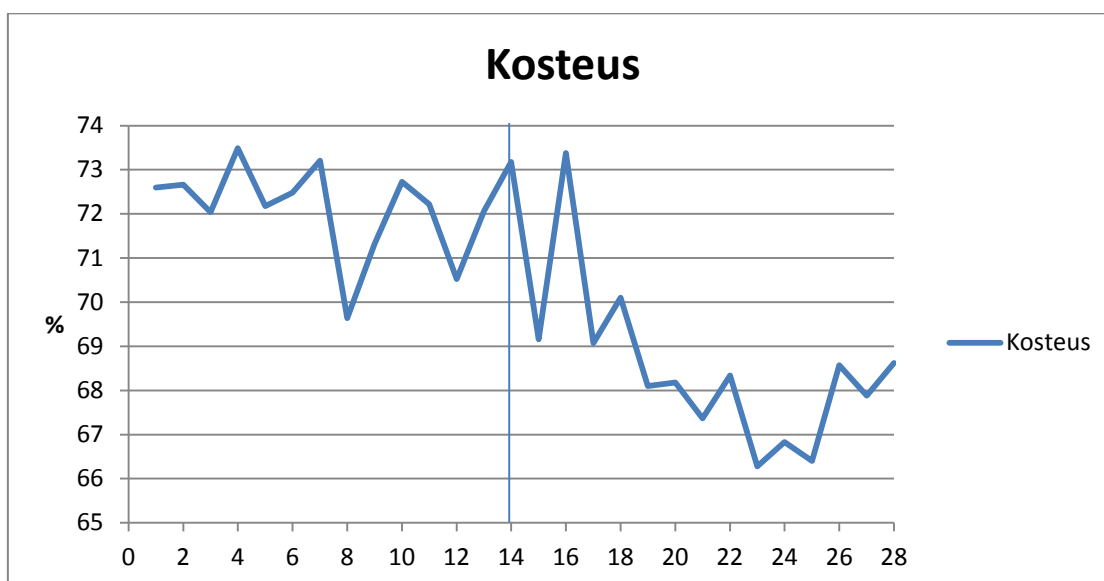


Kuvaaja 1: Suotonauhapuristimelle tulevan lietteen kuiva-ainepitoisuus.

Suotonauhapuristimelle tulevan lietteen kuiva-ainepitoisuus ei ole pysynyt tarkastelujakson aikana vakiona, vaan vaihdellut välillä 1,5-3,6 %. Keskimääräinen kuiva-ainepitoisuus on 2,37 %. Kunkin lasketun kuiva-ainepitoisuuden keskihajonta on rinnakkaisnäytteiden perusteella $\pm 0,05$ %-yksikköä ja suhteellinen virhe 1,47 %.

Periaatteessa kuiva-ainepitoisuus vaikuttaa suoraan suotonauhapuristimelta polttoon tulevan lietteen kosteusprosenttiin, mikäli muut olosuhteet pysyvät vakiona. Mitä enemmän lietteessä on jo valmiiksi kuiva-ainetta, sitä kuivempaa liete on puristuksen jälkeen.

Suotonauhapuristimelta lähtevän lietteen kosteus näytteenottokertojen funktiona on esitetty alla olevassa kuvaajassa 2.

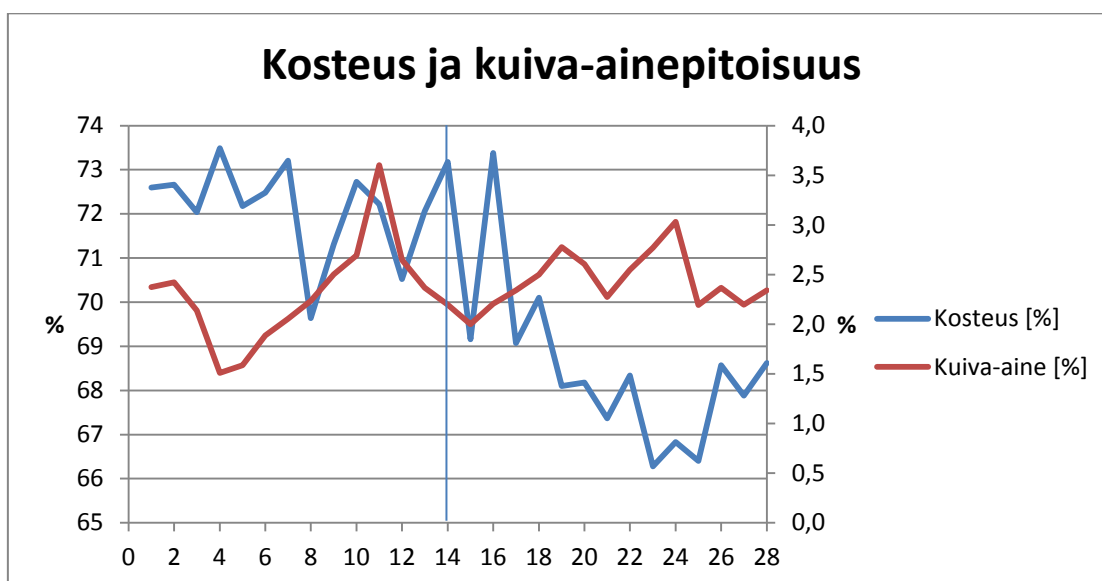


Kuvaaja 2: Suotonauhapuristimelta lähtevän lietteen kosteusprosentti.

Suotonauhapuristimelta lähtevän lietteen kosteusprosentti riippuu monesta tekijästä: tulevan lietteen kuiva-ainepitoisuudesta, lietteen puristusaineesta (nippipaineesta) ja polymeerin määrästä. Kuvaajasta huomataan, että kosteusprosentti on ollut koeajojakson aluksi pääsääntöisesti 72-73%. Jakson loppupuolella prosentti on kuitenkin tippunut selvästi jääden välille 66-69 %.

Keskimääräinen kosteus on 70,29 %. Kunkin lasketun kosteuden keskihajonta on rinnakkaisnäytteiden perusteella $\pm 0,48$ %-yksikköä ja suhteellinen virhe 0,58 %.

Kuiva-ainepitoisuuden vaikutusta kosteusprosenttiin voidaan tutkia vertailemalla näiden kahden tekijän käyriä, kuten kuvaajassa 3.



Kuvaaja 3: Suotonauhapuristimelle tulevan lietteen kuiva-ainepitoisuus ja sieltä lähtevän, kuivatun lietteen kosteusprosentti.

Aluksi kuiva-ainepitoisuus on matala, jolloin kosteus on ymmärrettävästi korkeampi. Koeajojakson loppupuolella, näytteiden 21-25 välisellä jaksolla voidaan havaita kuiva-ainepitoisuuden olevan korkeahko ja samalla kosteusprosentin laskevan alimmalle tasolle. Kuitenkin kuiva-ainepitoisuuden ollessa suurimmillaan, myös kosteusprosentti on melko korkea. Kuvaajasta ei voidakaan löytää selkeää suhdetta kosteuden ja kuiva-ainepitoisuuden välille. Tämä johtuu siitä, että lietteen kuiva-ainepitoisuus on yleisesti hyvin matala eikä sen vaikutus suotonauhapuristimelta lähtevän lietteen kosteuteen ole havaittava.

4.3 PHD-ohjelmasta saadut tulokset

Laskettujen tulosten lisäksi tarkkailtiin PHD-ohjelmasta saatavia tietoja. Tämä prosessin seurantaohjelma mittaa eri suureita automaattisesti ja tallentaa mittaustulokset tietokoneelle. Seuraavaksi selvitetään, onko näillä arvoilla suoraa vaikutusta kosteusprosenttiin.

Koeajon aikaisesta mittausdatasta on laadittu kuvaajat, joita voidaan hyödyntää tulosten tarkastelussa. Mitattavia suureita ovat esimerkiksi suotonauhapuristimen puristusaine,

polymeerin prosentuaalinen osuus suotonauhapuristimelle virtaavasta lietteestä sekä suotonauhapuristimelle tuleva lietevirtaus.

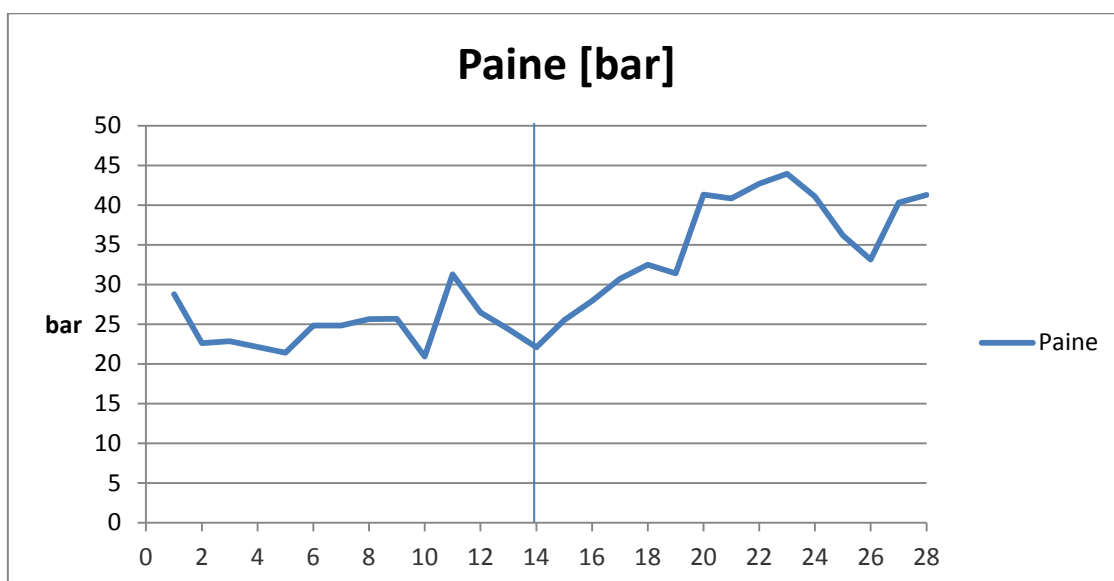
Prosessin seurantaohjelma mittaa jatkuvasti eri suureita. Saatu mittausdata voidaan muuttaa esimerkiksi tunnin, kahden tunnin tai vaikka vuorokauden tuntien keskiarvoiksi. Tässä kandidityössä käytettävä mittausdata on muutettu aluksi jokaisen tunnin keskiarvoksi.

Tämän jälkeen tuloksien kuvaajat on kuitenkin piirretty käyttämällä kahdentoista tunnin pituisten jaksojen keskiarvoja, sillä lietenäytteetkin on otettu kahdentoista tunnin välein. Keskiarvot on laskettu kello 03.00-14.59 ja kello 15.00-02.59 välisiltä jaksoilta, jolloin näytteenottohetki sijoittuu jommankumman keskiarvojakson puoleen väliin. Näitä keskiarvoja kertyy kahden viikon koeajojakson aikana yhteensä 28 kappaletta.

Kun käytetään 12 tunnin keskiarvoja, voi tulos olla hieman erilainen kuin se olisi tunnin keskiarvoja käyttämällä. Virherajoilla on ilmoitettu, kuinka paljon 12 tunnin keskiarvo poikkeaa yhden tunnin keskiarvosta. Liitteessä I on esitetty kuvaajat, jotka on piirretty käyttämällä yhden tunnin keskiarvoja.

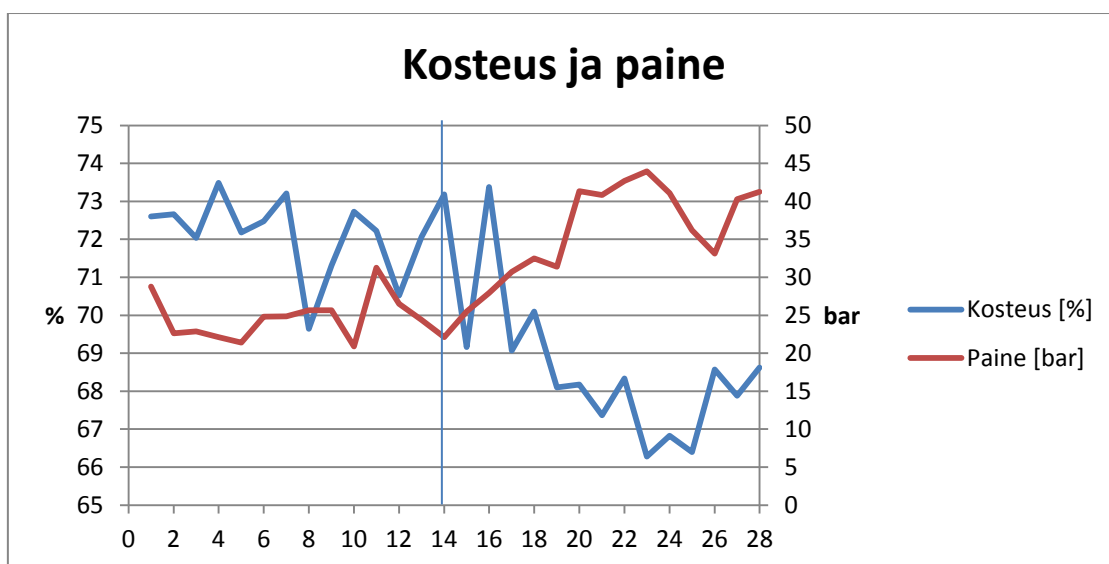
4.3.1 Puristusaine

Lietteen puristusaine on esitetty kuvaajassa 4. Paine on merkitty kuvaajaan kahdentoista tunnin välein kunkin jakson keskiarvona. Ensimmäisen viikon aikana paineen keskiarvo oli 24,6 bar ja toisen viikon aikana 36,4 bar. Paineen keskihajonta on $\pm 3,0$ bar ja kunkin poikkeaman suhde paineen keskiarvoon on keskimäärin 6,5 %. Yksinkertaisemmin tämän voi ilmoittaa siten, että kahdentoista tunnin keskiarvon absoluuttinen virhe on ensimmäisellä viikolla $24,6 \pm 3,0$ bar, toisella viikolla $36,4 \pm 3,0$ bar ja suhteellinen virhe on 6,5 %.



Kuvaaja 4: Suotonauhapuristimen puristusaine.

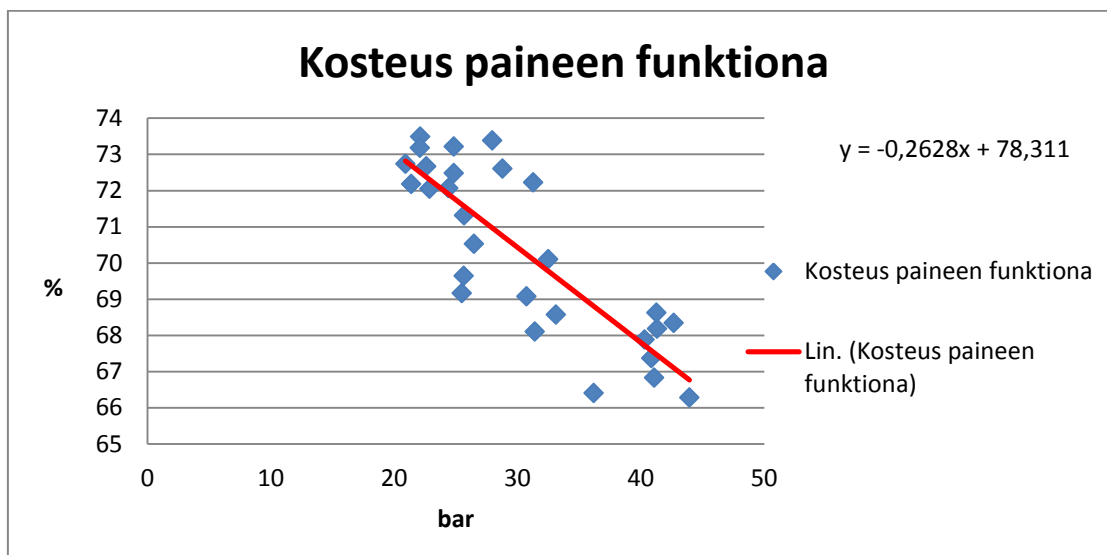
Kuvaajasta on havaittavissa, että aluksi paine on pidetty noin 20-30 bar:ssa ja lopuksi noin 30-45 bar:ssa. Paineen vaikutusta kosteusprosenttiin voidaan tutkia kuvaajasta 5.



Kuvaaja 5: Suotonauhapuristimelta lähtevän lietteen kosteusprosentti ja puristusaine.

Kuvaajista huomataan, että kosteusprosentti on hyvin vahvasti riippuvainen puristusaineesta. Kun paine on noin 25 bar, niin kosteus jää pääsääntöisesti yli 70% ja kun paine nostetaan yli 35 bar:iin, kosteusprosentti tippuu noin 68 %:iin.

Paineen vaikutusta kosteuteen voidaan havainnollistaa myös kuvaajalla 6, jossa kosteus esitetään paineen funktiona.



Kuvaaja 6: Suotonauhapuristimelta lähtevän lietteen kosteusprosentti puristuspaineen funktiona.

Kuvaajasta huomataan, että paine on merkittävä osatekijä lietteen kosteusprosentissa. Kuvaajaan on lisätty lineaarinen sovite, jonka yhtälön avulla on mahdollista laskea kosteus, kun tiedetään paine.

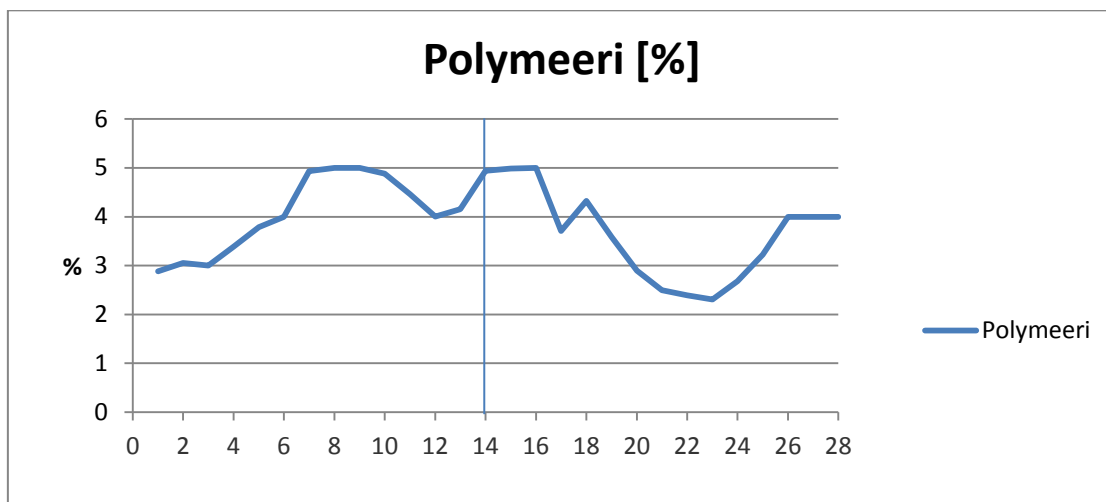
$$y = -0,2628x + 78,311 \quad (3)$$

y kosteus [%]

x paine [bar]

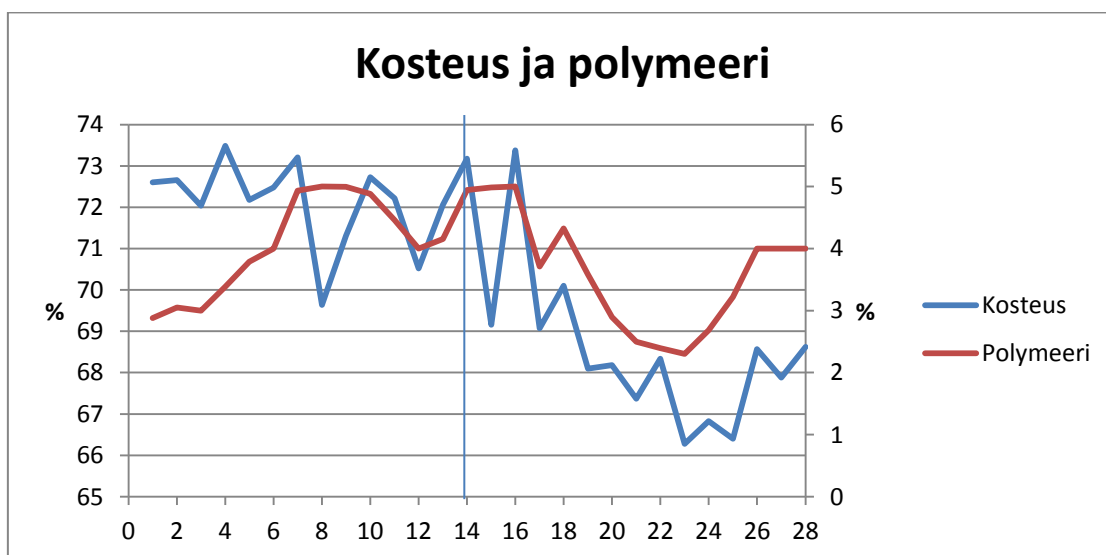
4.3.2 Polymeerin määrä

Koeajojakson aikana tarkkailtiin myös lietteen sekaan syötettävän polymeerin määrää. Se on ilmoitettu prosenttiosuutena lietteestä. Polymeerin määrä on merkitty kuvaajaan 7 kahdentoista tunnin välein kunkin jakson keskiarvona. Kahdentoista tunnin keskiarvon absoluuttinen virhe on $3,83 \pm 0,44$ %-yksikköä ja suhteellinen virhe 6,1 %.



Kuvaaja 7: Polymeerin osuus suotonauhapuristimelle menevän lietteen määrästä.

Polymeerin syötön oli tarkoitus olla noin 2-4 % tulevan lietteen määrästä, mutta kuvaajasta nähdään, että taso on ollut 3-5 %. Jotta polymeerin vaikutusta kosteusprosenttiin voidaan tutkia, piirretään kosteus ja polymeeri samaan kuvaajaan 8.



Kuvaaja 8: Suotonauhapuristimelta lähtevän lietteen kosteusprosentti ja lietteen sekaan syötettävän polymeerin määrä.

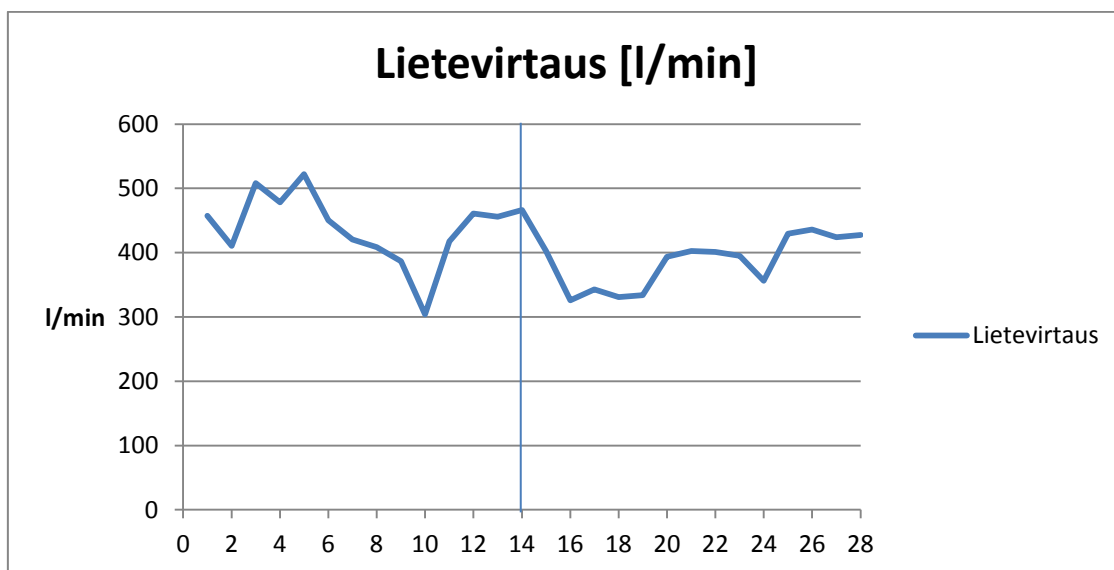
Polymeerin vaikutus kosteusprosenttiin ei kuvaajien perusteella ole täysin selkeä. Paikoitellen vaikuttaa siltä, että suurempi polymeerimäärä antaa pienemmän

kosteusprosentin, mutta etenkin koeajojakson loppupuolella pienemmällä polymeerimäärällä saadaan myös pienempi kosteusprosentti. Tämän koeajojakson puitteissa ei voida osoittaa polymeerin vaikutusta polttoon tulevan lietteen kosteusprosenttiin, sillä lietteen laatu ja puristusaine eivät pysyneet vakioina.

Polymeerin oikea annostelu on hyvin hankala toteuttaa lietteen laadun epäsäännöllisen vaihtelun vuoksi. Annostelu perustuu useiden eri henkilöiden silmämääräisiin havaintoihin ja näkemyksiin siitä, millaista lietteen tulisi olla esivedenerottimen jälkeen.

4.3.3 Lietevirtaus

Suotonauhapuristimelle tuleva lietevirtaus ei suoranaisesti vaikuta polttoon lähtevän lietteen kosteusprosenttiin, mutta mitä suurempi lietevirtaus on, sitä enemmän kuiva-ainetta päätyy polttoon. Lietevirtaus on esitetty alla olevassa kuvaajassa 9 12 tunnin välein kunkin jakson keskiarvona. Kahdentoista tunnin keskiarvon absoluuttinen virhe on $412,5 \pm 28,4$ l/min ja suhteellinen virhe 4,6 %.



Kuvaaja 9: Lietevirtaus suotonauhapuristimelle.

Lietevirtaus suotonauhapuristimelle oli tarkoitus pitää 400-500 l/min. Virtauksen vaihtelu riippuu lieteaseman ajon lisäksi jätevedenpuhdistamon toiminnasta, ja sen vuoksi virtausta ei ole pystytty pitämään tavoitearvossa koko koeajojakson ajan.

5 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä kappaleessa tarkastellaan mittausten perusteella laskettuja tuloksia. Tarkastelujakson aikana lietteestä saatu energiamäärä voidaan selvittää, kun on tiedossa lietevirtausmäärä, lietteen kuiva-ainepitoisuus ja lietteen lämpöarvo. Syntynyt energia voidaan laskea kahdella tavalla käyttämällä joko tunnin tai kahdentoista tunnin keskiarvoja. Näissä laskelmissa on käytetty kahdentoista tunnin keskiarvoja. Yhden tunnin keskiarvoilla lasketut tulokset on esitetty liitteessä I.

5.1 Tuotettu energia

Käytetään lietevirtaukselle 12 tunnin jaksojen keskiarvoja. Tällöin oletetaan sekä lietevirtauksen että kuiva-ainepitoisuuden pysyneen samana joka minuutti 12 tunnin ajan. Näiden kahdentoista tunnin jaksojen on päätetty kestävän kello 3.00-14.59 ja 15.00-2.59, jolloin näytteenotto ajoittuu jommankumman jakson puoleenväliin.

Voidaan laskea syntynyt energia. Lasketaan esimerkiksi ensimmäisen kahdentoista tunnin jakson kunkin tunnin aikana syntynyt energia.

$$E_{tuotto} = \frac{q_{v,liete} \cdot \rho_{liete} \cdot q_{i,liete}}{3600 \frac{s}{h}} \quad (4)$$

E_{tuotto} tuotettu energia [MWh]

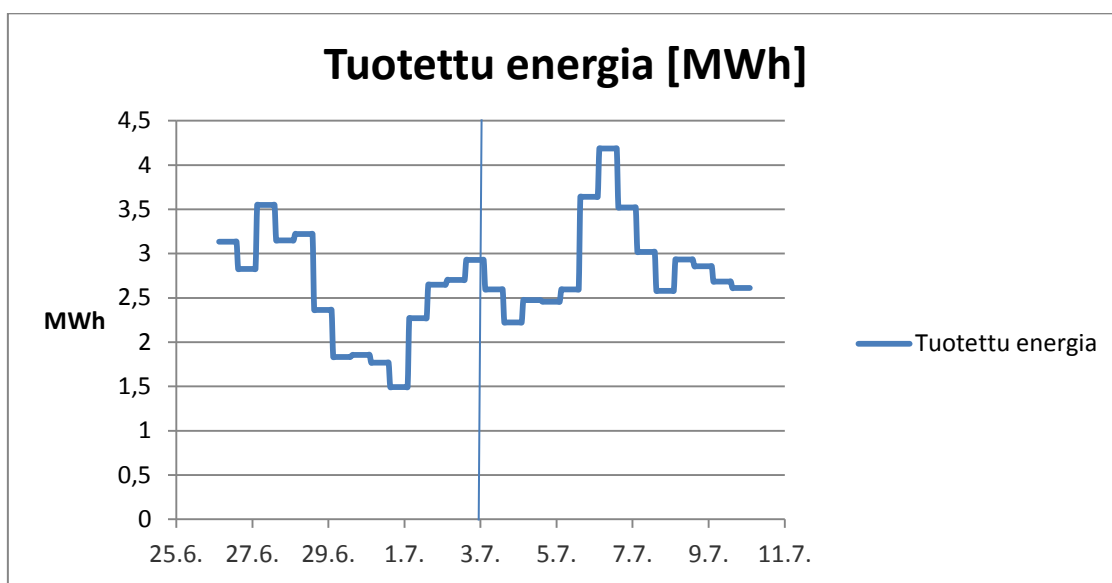
$q_{v,liete}$ lietteen tilavuusvirta [l/h]

ρ_{liete} lietteen tiheys [g/l]

q_i lietteen lämpöarvo [MJ/kg]

$$E = \frac{27458 \frac{l}{h} \cdot 23,74 \frac{g}{l} \cdot 17,31 \frac{MJ}{kg}}{3600 \frac{s}{h}} = 3,134 MWh$$

Tällä tavoin laskemalla saadaan koeajojakson aikana syntynyt energia. Yhteensä energiaa syntyi 914 MWh. Alla olevassa kuvaajassa 10 on esitetty tuotettu energia ajan funktiona.



Kuvaaja 10: Koeajojakson aikana tuotettu energia.

5.2 Kulunut energia ja nettoenergia

Vaikka lietteen polttamisessa syntyy energiaa, se myös kuluttaa sitä, kun lietteen mukana tuleva vesi on ensin lämmitettävä kiehumispisteeseen ja tämän jälkeen höyrystettävä. Näin ollen voi olla mahdollista, että lietteen polttaminen kuluttaa enemmän energiaa kuin tuottaa. Lasketaan veden höyrystämiseen tunnissa kuluva energia. Esimerkkinä lasketaan ensimmäisen tunnin aikana kulunut energia.

$$E_{\text{häviö}} = m_{\text{vesi}} \cdot \Delta T \cdot c_{p,\text{vesi}} + m_{\text{vesi}} \cdot r \quad (5)$$

$E_{\text{häviö}}$ veden höyrystämiseen kuluva energia [MJ]

m_{vesi} lämmitettävän veden massa [kg]

ΔT lämpötilan muutos [K]

$c_{p,\text{vesi}}$ veden ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]

r veden ominaishöyrystymislämpö [kJ/kg]

Veden massa ei ole tiedossa, joten se on laskettava ensimmäiseksi.

$$m_{vesi} = \frac{m_{kuivaliete}}{100-KP} \cdot KP \quad (6)$$

$m_{kuivaliete}$ kuivan lietteen massa [kg]

Jotta voidaan laskea veden massa, on selvitettävä kuivan lietteen massa.

$$m_{kuivaliete} = q_{v,liete} \cdot \rho_{liete} \quad (7)$$

$$m_{kuivaliete} = 27458 \text{ l} \cdot 23,74 \frac{\text{g}}{\text{l}} = 651820 \text{ g} = 651,82 \text{ kg}$$

Nyt voidaan ratkaista tunnissa suotonauhapuristimen läpi virtaavan veden massa, kun tiedetään kuivan pään lietteen kosteus.

$$m_{vesi} = \frac{651,82 \text{ kg}}{27,4 \%} \cdot 72,6 \% = 1762,5 \text{ kg}$$

Tämän jälkeen voidaan laskea veden höyrystämiseen kuluva energia. Oletetaan lietteen lämpenevän 20 °C:sta 100 °C:een ja siten lämpötilan muutoksen olevan 80 K. Veden ominaislämpökapasiteetti on 4,19 kJ/kgK ja höyrystymislämpö 2260 kJ/kg.

$$E_{häviö} = 1762,5 \text{ kg} \cdot 80 \text{ K} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} + 1762,5 \text{ kg} \cdot 2260 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$E_{häviö} = 4574 \text{ MJ} = 1,271 \text{ MWh}$$

Summaamalla kunkin tunnin aikana kuluva energia, saadaan koeajojakson aikana veden höyrystämiseen kuluvaksi energiaksi 326 MWh.

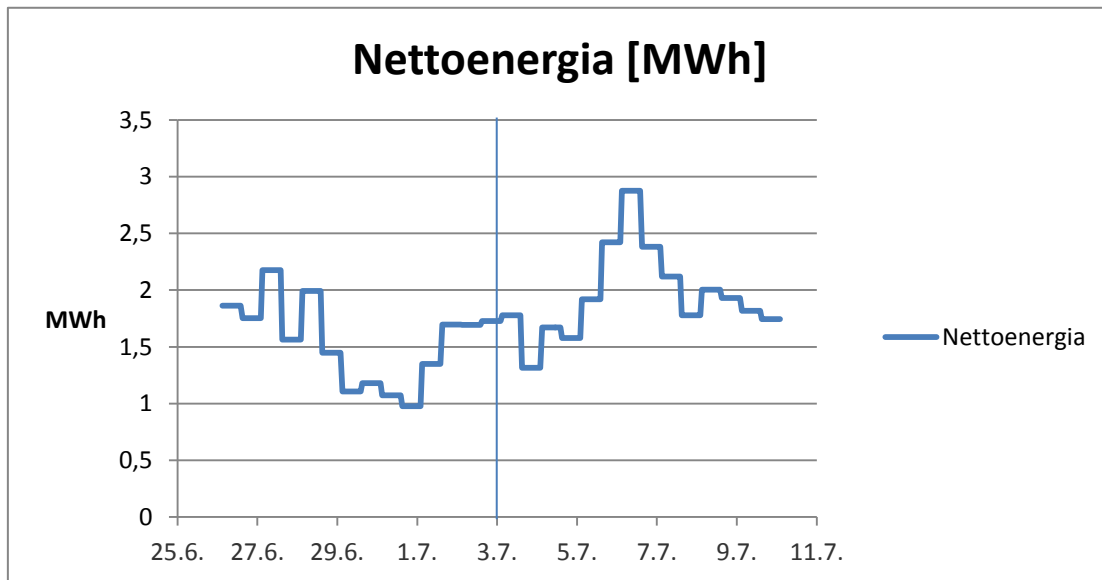
Lasketaan vielä alla olevan yhtälön avulla ensimmäisen tunnin aikana syntynyt nettoenergia.

$$E_{netto} = E_{tuotto} - E_{häviö} \quad (8)$$

E_{netto} syntynyt nettoenergia [MWh]

$$E_{netto} = 3,134 \text{ MWh} - 1,271 \text{ MWh} = 1,863 \text{ MWh}$$

Yhteensä koeajojaksolla tuotettiin nettoenergiaa 587 MWh. Lasketuista nettoenergioista on tehty alla oleva kuvaaja 11.



Kuvaaja 11: Lietteenpoltossa syntyvä nettoenergia.

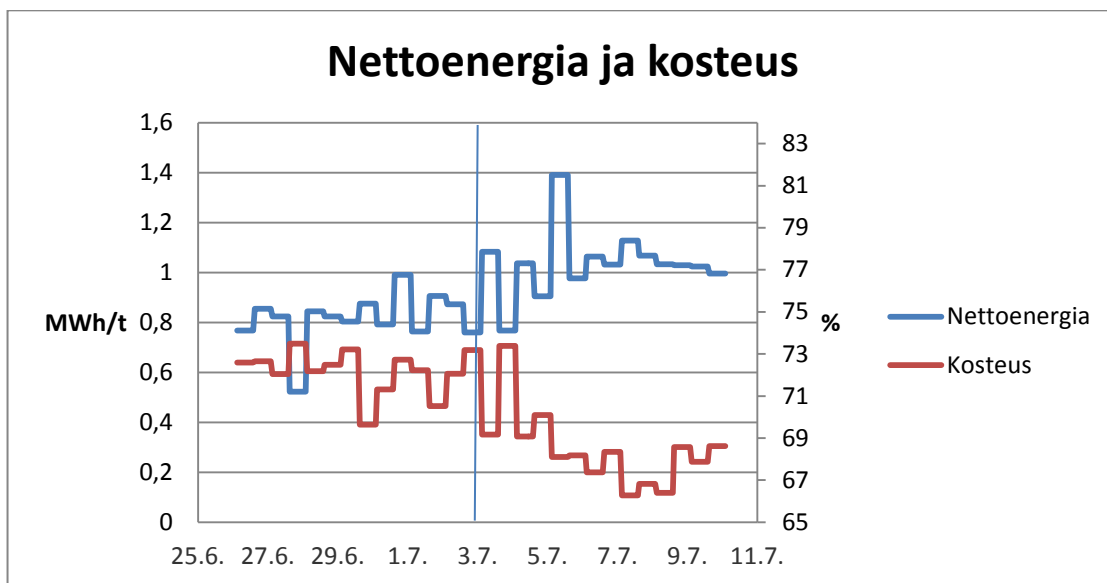
Nettoenergia on ilmoitettava suhteessa lietteen massaun, sillä muuten nettoenergia ei ole vertailukelpoinen esimerkiksi muissa laitoksissa saatujen tulosten kanssa. Lasketaan ensimmäisen tunnin aikana syntynyt energia lietetonnia kohden.

$$E_{netto} = \frac{E_{netto}}{m_{liete}} \quad (9)$$

m_{liete} lietteen massa [t]

$$E_{netto} = \frac{E_{netto}}{m_{kuivaliete} + m_{vesi}} = \frac{1,863 \text{ MWh}}{(0,665194 + 1,7625)t} = 0,768 \frac{\text{MWh}}{t}$$

Liettonnia kohden laskettu nettoenergia on kuiva-aineen lisäksi riippuvainen myös lietteen mukana kattilaan päätyvän veden massasta. Sen vuoksi nettoenergia on alla olevassa kuvaajassa 12 esitetty yhtä aikaa kosteuden kanssa.



Kuvaaja 12: Lietteenpoltossa syntyvä nettoenergia tuhatta lietekiloa kohti sekä suotonauhapuristimen jälkeisen lietteen kosteus.

Kuvaaja vahvistaa käsitystä siitä, että lietteenpoltossa syntyvä nettoenergia on hyvin vahvasti riippuvainen lietteen kosteudesta. Lisäksi kuvaajasta huomataan, että lietteenpolton nettoenergia on positiivinen. On kuitenkin huomioitava, että nettoenergian laskemisessa ei ole huomioitu muita lietteenkäsittelyyn liittyviä energiavirtoja, kuten sähkömoottorin tai valaistuksen kuluttamaa energiaa.

Lietetonna kohden lasketun energian avulla voidaan selvittää lietteen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa. Saapumistilalla tarkoitetaan suotonauhapuristimen jälkeistä tilaa.

$$q_{i,st} = \frac{E_{netto} \cdot 3600 \frac{s}{h}}{1000 \frac{kg}{t}} \quad (10)$$

$q_{i,st}$ lämpöarvo saapumistilassa [MJ/kg]

$$q_{i,st} = \frac{0,768 \frac{MWh}{t} \cdot 3600 \frac{s}{h}}{1000 \frac{kg}{t}} = 2,76 \frac{MJ}{kg}$$

Koeajojaksolla lietteen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa on keskimäärin 3,33 MJ/kg.

5.3 Syntyneen energian mittausjärjestelmä

Kandityössä on selvitetty koeajojakson aikana lietteenpoltossa syntynyt energia. Yksi kandityön tavoitteista oli kehittää menetelmä, jonka avulla voitaisiin seurata reaaliaikaisesti normaalitilanteessa lietteenpoltossa syntyvä tai kuluva nettoenergia. Lisäksi määritettiin järkevä näytteidenottiheys.

Kuvaajasta 3 nähdään, että lietteen kuiva-ainepitoisuus voi vaihdella hyvin paljon, ja näytteenottohetkellä on merkitystä. Samoin kosteusprosentti muuttuu, vaikka esimerkiksi puristusaine pyrittäisiinkin pitämään vakiona. Näin ollen kerran kuukaudessa otettu näyte ei välttämättä anna luotettavaa tulosta, vaan se voi olla esimerkiksi kuukauden huippu tai pohja.

Jotta saataisiin parempi kuva lietteen ominaisuuksista, on näytteitä otettava useammin. Aluksi näytteitä otetaan kerran viikossa. Näin saadaan käsitys siitä, millainen on lietteen ”normaali” kuiva-ainepitoisuus tai lämpöarvo. Mikäli huomataan näytteiden antavan joka kerta lähes samansuuruiset tulokset, voidaan näytteenottiheyttä harventaa.

Lietteenpolton nettoenergian seurantamenetelmän toteutukseen tarvitaan työntekijöiden panosta sekä Alcont-järjestelmään ohjelmoitua laskuria. Energia lasketaan tuotetun ja kuluneen energia erotuksena yhtälön 8 mukaisesti.

$$E_{netto} = E_{tuotto} - E_{häviö}$$

$$= q_{v,liete} \cdot \rho_{liete} \cdot q_{i,liete} - (m_{vesi} \cdot \Delta T \cdot c_{p,vesi} + m_{vesi} \cdot r)$$

Ohjelma kirjaa ylös lietteen tilavuusvirran. Lietteiden tiheys selvitetään näytteenoton avulla. Näyte otetaan kerran viikossa suotonauhapuristimen märästä päästä ja toimitetaan laboratorioon kuiva-ainepitoisuuden määrittämiseksi.

Lämpöarvon määrittystä varten on otettava näyte kerran viikossa suotonauhapuristimen kuivasta päästä. Viikoittaisista näytteistä tehty kokoamanäyte toimitetaan kerran kuukaudessa ulkopuoliselle toimijalle, joka tekee varsinaisen lämpöarvon määrittäksen.

Ohjelma tarkkailee lietteen puristuspainetta ja laskee lietteen kosteuden yhtälön 3 avulla. Kosteuden avulla lasketaan lietteen mukana tulevan veden massa, kuten aiemmin yhtälöillä 6 ja 7.

Kun kaikki arvot tiedetään, Alcont-järjestelmään voidaan ohjelmoida laskuri, joka laskee kullakin hetkellä lietteenpoltossa syntyvän nettoenergian. Ohjelmaan syötetään viikoittain uusi lietteen tiheys sekä kuukausittain lietteen lämpöarvo. Lämpöarvo on edellisen kuukauden lieteäytteistä laskettu lämpöarvo, sillä täysin reaaliaikaista lämpöarvoa on mahdoton määrittää.

Samalla ohjelma voi laskea myös esimerkiksi lietetonnin kohti syntyneen energian ja lietteen lämpöarvon saapumistilassa yhtälöiden 9 ja 10 mukaisesti.

5.4 Johtopäätökset

Kandityön perusteella voidaan sanoa lietteenpolton oleva varteenotettava vaihtoehto lietteenkäsittelyssä. Poltto ei ole ainoastaan lietteen hävitysmenetelmä, vaan sen avulla voidaan myös tuottaa energiaa.

Kuivan lietteen lämpöarvo (noin 17 MJ/kg) on hyvä muihin biopohjaisiin polttoaineisiin verrattuna, mutta saapumistilassa lietteen kosteus on niin suuri, että lämpöarvo on vain noin 2-4 MJ/kg. Tämä on selvästi huonompi kuin esimerkiksi lämpöarvo saapumistilassa hakkeella (6-10 MJ/kg), turpeella (9-11 MJ/kg) tai kivihiilellä (25 MJ/kg). (Alakangas, 2000)

Lietteenpolton kannalta tärkeää on lietteen kuivaus. Sen voi tehdä monella tapaa, mutta suotonauhapuristin on yksi toimivimmista vaihtoehdoista. Koeajojakson aikana lietteen kosteus on vaihdellut noin 66-74 %:ssa, joten kuiva-ainepitoisuus on ollut 26-34 %. Yleisesti suotonauhapuristimella tavoitellaan polttoon menevän lietteen kuiva-

ainepitoisuudeksi noin 20-35 %. Näin ollen voidaan todeta tutkimuskohteena olleen suotonauhapuristimen toimivan lähes parhaalla mahdollisella tasolla.

Työn tuloksista voitiin laskea lietteen kosteudelle polttamisen kannalta tärkeä raja-arvo. Kosteuden ollessa enemmän kuin 86,7 % lietteenpolton nettoenergia on negatiivinen. Tällöin lietteessä olevan veden lämmittäminen kuluttaa enemmän energiaa kuin lietteen kuiva-aineen polttaminen tuottaa.

Merkittävin lietteen kosteuteen vaikuttava tekijä on tämän työn perusteella puristusaine. Lietteiden laadun eli suotonauhapuristimelle saapuvan lietteiden kuiva-ainepitoisuuden vaihtelun merkitystä ei voida kiistattomasti osoittaa, sillä lietteiden kuiva-ainepitoisuus on yleisesti hyvin matala, noin 1-4 %. Myös polymeerin vaikutusta lopputulokseen on vaikea arvioida. Luotettavien tulosten saamiseksi olisikin järjestettävä uusi koeajajakso, jossa muut ominaisuudet pysyisivät vakioina polymeerin osuuden muuttuessa.

Kandityötä tehdessä havaittiin, että lieteaseman arvoja, kuten puristusainetta, polymeerin määrää ja lietevirtausta, on hyvin vaikea pitää vakiona. Kuhunkin suureeseen vaikuttaa esimerkiksi tulevan lietteiden kuiva-ainepitoisuus, ja lisäksi lieteasemaa ohjaavat useat eri henkilöt.

Työn tuloksissa korostui näytteenottohetken merkitys. Koska optimaalista näytteenottohetkeä on mahdotonta tietää etukäteen, ainoa keino varmistaa luotettavan näytteen saanti on ottaa näytteitä riittävän useasti. Kokeellisesti havaittiin, että näytteitä on aluksi otettava ainakin kerran viikossa, jotta voidaan luoda näytteille normaalijakauma. Tämän jälkeen osataan paremmin arvioida, onko saatu näyte luotettava, ja voiko sitä käyttää nettoenergian laskemiseen.

Kandidaatintyössä selvitettiin, kuinka lietteenpoltossa syntyvää energiaa on mahdollista mitata. Työn tuloksena voitiin suunnitella lähes reaaliaikainen energialaskuri, joka voidaan myöhemmin toteuttaa myös käytännössä. Laskurin avulla on helppoa hahmottaa, kuinka paljon puristusaineen muutokset vaikuttavat syntyvään nettoenergiaan.

6 YHTEENVETO

Tässä kandidaatintyössä tarkasteltiin metsäteollisuudessa syntyvien monenlaisten lietteiden aineominaisuuksia sekä elinkaarta syntymästä hävitykseen. Työssä esitettiin laajasti lietteen muodostumista erilaisilla jätevedenpuhdistamoilla sekä lietteenkäsittelyn eri vaiheita ja menetelmiä. Esitettävät lietteenkäsittelymenetelmät jaettiin mekaanisiin, termisiin, kemiallisiin ja biologisiin menetelmiin.

Työssä tutkittiin teoriaosuuden lisäksi myös käytännön esimerkkiä metsäteollisuuden lietteenkäsittelystä. Metsä Board Simpeleen kartonkitehtaalla tehtyjen mittausten tarkoituksena oli selvittää, tuottaako lietteenpoltto energiaa, vai onko se vain lietteenhävitysmenetelmä. Työssä esiteltiin tehdyt mittausjärjestelyt ja saadut tulokset.

Tulosten perusteella huomattiin, että lietteenpoltolla on mahdollista tuottaa energiaa. Energian tuottamiseksi lietteen kosteusprosentin on oltava riittävän alhainen tai muutoin syntyvä nettoenergia on negatiivinen. Lisäksi työstä kävi ilmi, että lietteenpoltossa syntyvään energiaan voidaan vaikuttaa huomattavasti lietteenkäsittelyn avulla. Erityisesti lietteen puristuspaineen nostaminen vähentää lietteen kosteusprosenttia ja lisää lietteenpoltossa syntyvää nettoenergiaa.

Tehtyjen mittausten perusteella suunniteltiin uusi mittausjärjestelmä sekä laskuri, joka ilmoittaa, kuinka paljon lietteenpoltossa syntyy energiaa. Laskuria tehdessä todettiin, että lietteenpoltossa syntyvää energiaa on mahdotonta mitata täysin reaaliaikaisesti.

LÄHDELUETTELO

- Alakangas, E. (2000). *Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia*. Espoo: VTT Energia.
- Alén et al. (1992). *Metsäteollisuuden jätelietteet*. Helsinki: Vesi- ja ympäristöhallitus.
- Eskilsson et al. (2003). *Branschprogram; Slam från skogindustrin fas II*. Tukholma: Värmeforsk Service AB.
- Hajaputsari Ry. (10. helmikuu 2013). *Hajaputsari*. Haettu 1. 10. 2013 osoitteesta
Käsittelytekniikka:
[http://www.hajaputsari.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=11
&Item](http://www.hajaputsari.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=11&Item)
- Höglund et al. (2001). *Tillförsel av skogindustriellt slam till eldstäder - etapp 1*. Tukholma: Värmeforsk.
- Jätevedenpuhdistamon hoitajat. (30. 8. 2013). Jätevedenpuhdistamon toiminta. (M. Kalliokoski, Haastattelija)
- Kemira. (2010). *Kemira KemiCond - Superior sludge conditioning*. Haettu 11. 10. 2013 osoitteesta <http://www.kemifloc.cz/userfiles/Kemira%20KemiCond.pdf>
- Kujala-Räty et al. (2008). *Haja-asutusalueiden vesihuolto*. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu.
- Lohiniva et al. (2001). *Lietteiden käsittely. Uudet ja käytössä olevat tekniikat*. Espoo: VTT Energia.
- Moring, H. (2012). *Puolikemiallisen sellu- ja kartonkitehtaan lietteen hyötykäyttö*. Lahti: Lahden tiede- ja yrityspuisto oy.

- M-real Simpele. (13. tammikuu 2009). Toimintaohje. *Jätevedenpuhdistus*. Simpele: M-real Simpele.
- Nykänen, O. (2002). *Toimivaa tekstiä. Opas tekniikasta kirjoittaville*. Helsinki: Tekniikan Akateemiset Liitto TEK.
- Ojanen, P. (2001). *Sellu- ja paperitehtaiden lietteiden käsittely ja hyötykäyttö sekä niitä rajoittavat tekijät*. Lappeenranta: Kaakkois-Suomen ympäristökeskus.
- Paajanen, I. (2007). *Jäteveden puhdistuksen tehostaminen, Case Simpele*. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.
- Pöyry Environment Oy. (2007). *Lietteenkäsittelyn nykytila Suomessa ja käsittelymenetelmien kilpailukyky -selvitys*. Pöyry Environment Oy.
- USF Aquaflow. (10. syyskuu 1997). Prosessin kuvaus. Lietteenkäsittely. *Koulutusaineisto*. Savonlinna, Suomi: USF Aquaflow.
- Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry. (24. kesäkuu 2009). *Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry*. Haettu 27. 9. 2013 osoitteesta Vesihuolto: <http://www.vhvsy.fi/?p=puhdista&l=fi>
- VIIRAA-projekti. (18. 5. 1998). *Projektikäsikirja*. Haettu 30. 9. 2013 osoitteesta 4. Termejä: <http://www.mit.jyu.fi/opetus/sovellusprojektit/viiraa/kasikirjakehys.htm>
- Xylem. (2013). *Xylem - Let's solve water*. Haettu 27. 9. 2013 osoitteesta Uppopumput - Repijäpumput: <http://www.xylemwatersolutions.com/scs/finland/fi/products/uppopumput/Documents/repija.pdf>

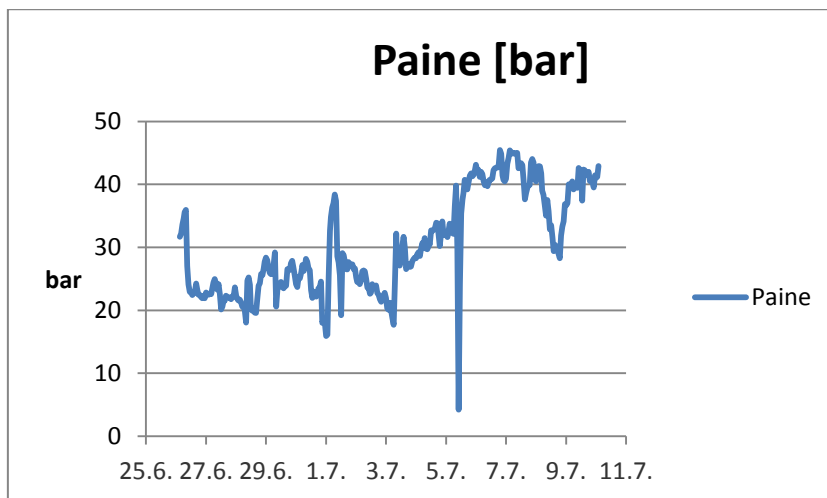
LIITE I VAIHTOEHTOINEN LASKUTAPA

Kappaleessa 4 ja 5 tulokset on laskettu siten, että kaikki arvot on ilmoitettu 12 tunnin keskiarvoina. Tässä liitteessä on ilmoitettu tulokset, jotka on saatu käyttämällä yhden tunnin keskiarvoja. Nämä tulokset hylättiin, sillä kuiva-ainepitoisuus ja kosteusprosentti on mitattu vain 12 tunnin välein. Näin ollen yhden tunnin keskiarvolla lasketut tulokset eivät tuo lisää tarkkuutta nettoenergiälaskuihin.

PHD-ohjelmasta saadut tulokset

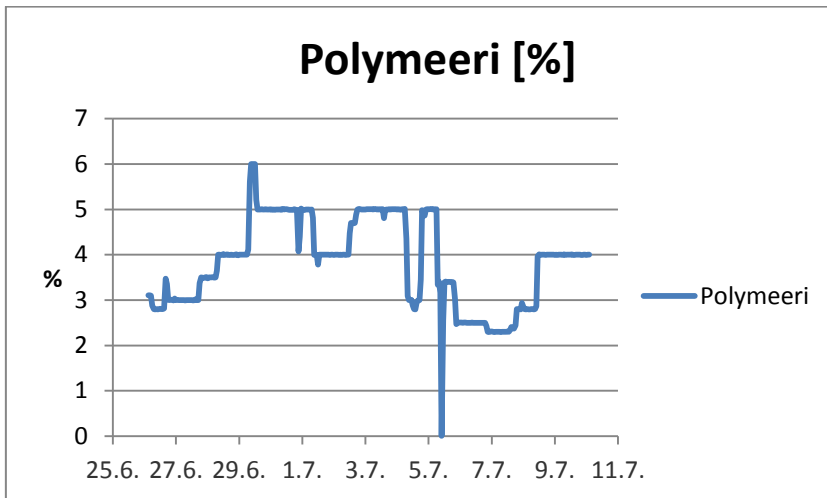
PHD -prosessin seurantaohjelmasta saadaan lietteen puristusaine, polymeerin määrä ja lietevirtaus.

Lietteen puristusaine on esitetty kuvaajassa 1. Paineen arvot on merkitty kuvaajaan tunnin välein kunkin tunnin keskiarvona.



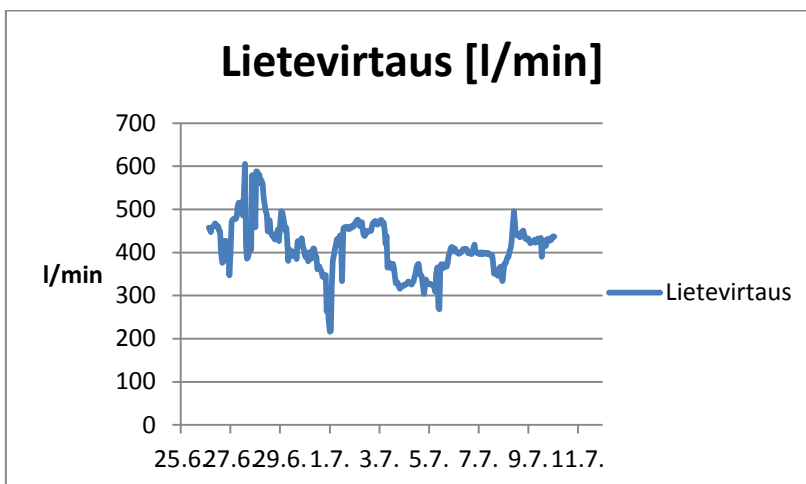
Liite I Kuvaaja 1: Suotonauhapuristimen puristusaine tunnin välein.

Polymeerin määrä on merkitty kuvaajaan 2 yhden tunnin välein kunkin tunnin keskiarvona.



Liite I Kuvaaja 2: Lietteen sekaan syötettävän polymeerin osuus lietevirtauksesta.

Lietevirtaus on alla olevassa kuvaajassa 3 esitetty tunnin välein laskettuina keskiarvoina.

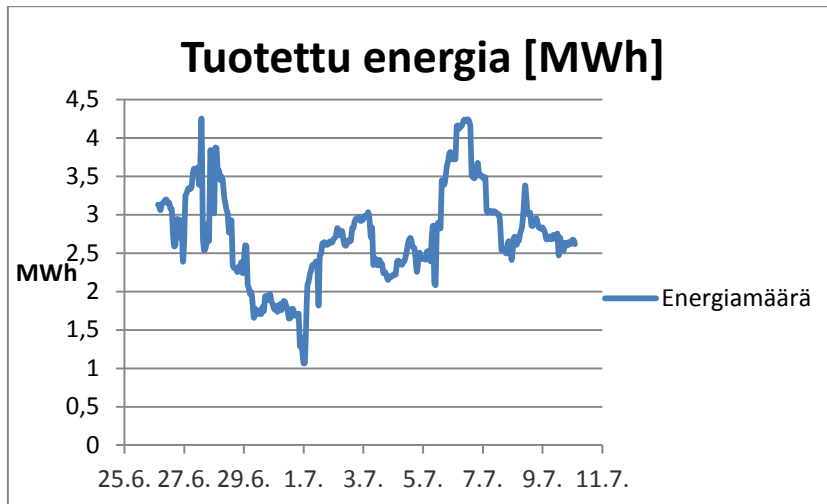


Liite I Kuvaaja 3: Lietevirtaus suotonauhapuristimelle.

Tuotettu energia

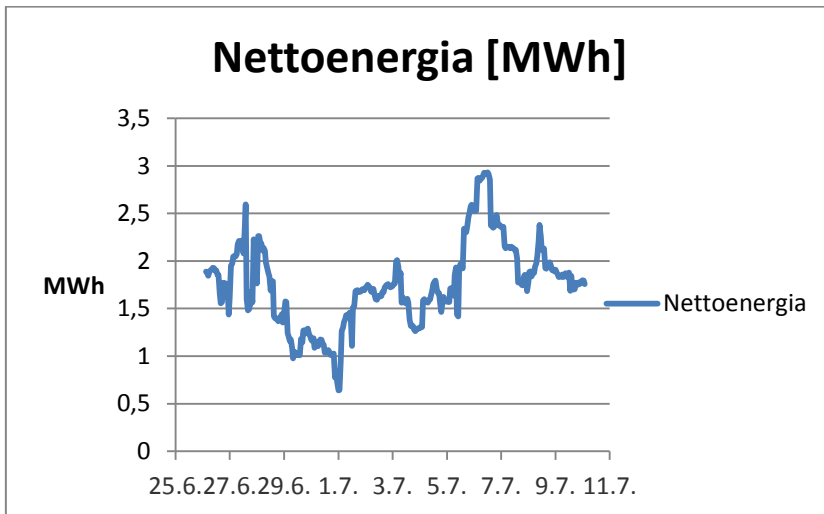
Tuotettua energiaa laskettaessa oletetaan, että lietevirtaus on pysynyt samana joka minuutti yhden tunnin ajan. Kuiva-ainepitoisuuden oletetaan kuitenkin pysyneen

samana 12 tunnin ajan (kello 3.00-14,59), sillä sitä ei ole mitattu ja määritetty useammin. Muutoin lasku lasketaan samalla tavalla kuin kappaleessa 5. Kuvaajassa 4 on esitetty tuotettu energia ajan funktiona.



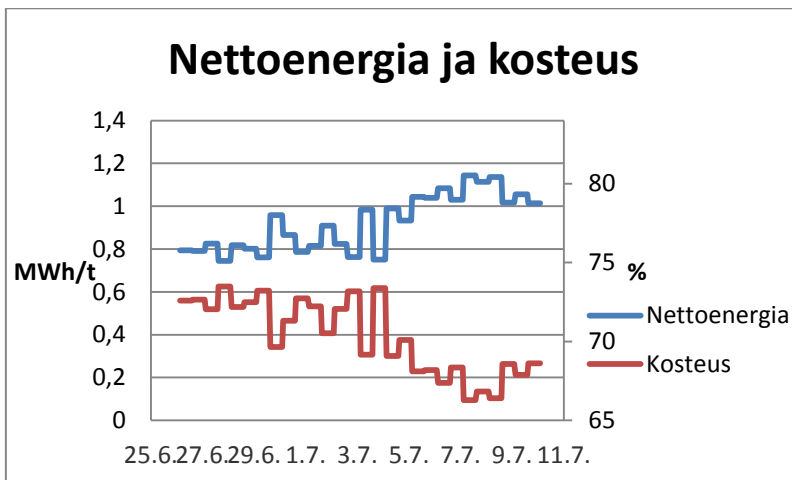
Liite I Kuvaaja 4: Koeajojakson aikana tuotettu energia.

Koeajojakson aikana tuotetuksi energiamääräksi saadaan yhteensä 914 MWh ja kuluneeksi energiaksi 325 MWh. Näin ollen nettoenergia on 589 MWh. Nettoenergian jakautuminen ajan suhteen on esitetty kuvaajassa 5.



Liite I Kuvaaja 5: Lietteenpoltossa syntyvä nettoenergia.

Lopuksi lasketaan nettoenergia tuhatta lietekiloa kohti. Lietetonnia kohti laskettu nettoenergia on esitetty kuvaajassa 6 yhdessä kosteuden kanssa.



Liite I Kuvaaja 6: Lietteenpoltossa syntyvä nettoenergia tuhatta lietekiloa kohti sekä suotonauhapuristimen jälkeinen kosteus.