

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

BH10A0300 Ympäristötekniikan kandidaatintyö ja seminaari

## **SELLUTEOLLISUUDEN JÄTEVEDENPUHDISTAMON BIOLIETE JA SEN TUHKAPITOISUUS**

### **Biosludge and its ash content in a wastewater treatment plant of pulp industry**

Työn tarkastaja: Professori, TkT Mika Horttanainen

Työn ohjaaja: Tutkijakoulutettava, DI Mika Luoranen

Lappeenrannassa 6.2.2009

Ida Forssell-Tattari

# SISÄLLYSLUETTELO

LYHENNELUETTELO .....	2
1. JOHDANTO .....	3
1.1 Taustaa .....	3
1.2 Tavoitteet .....	4
1.3 Työn sisältö .....	4
2. SELLUTEOLLISUUDEN JÄTEVEDET, NIIDEN ALKUPERÄ JA KOOSTUMUS .....	5
3. JÄTEVEDEN PUHDISTUS AKTIIVILIIETEMENETELMÄLLÄ .....	7
3.1 Jätevesien kulku viemäreistä vesistöön .....	7
3.2 Sellutehtaan jätevedenpuhdistuksessa syntyvät lietteet .....	9
3.3 Biolietteen tyypillinen koostumus .....	11
4. BIOLIETTEIDEN KÄSITTELY JA HYÖDYNTÄMINEN .....	13
4.1 Biolietteitä koskeva lainsäädäntö .....	13
4.1.1 Suomen lainsäädäntö .....	14
4.1.2 Lietteitä koskeva lainsäädäntö EU:n tasolla .....	15
4.2 Biolietteiden käsittely .....	17
4.2.1 Bioliete selkeytyksestä lietteen käsittelyyn .....	17
4.2.2 Biolietteen esikäsittely .....	18
4.3 Biolietteiden hyödyntäminen .....	21
4.3.1 Biolietteen hyödyntäminen polttamalla .....	21
4.3.2 Tuhkapitoisuuden vaikutus polttoprosessiin .....	23
5. ERÄÄN METSÄTEOLLISUUDEN INTEGRAATIN BIOLIETTEEN TUHKAPITOISUUS .....	23
5.1 Tutkimusmenetelmä .....	24
5.2 Mittaustulokset .....	25
5.3 Johtopäätökset .....	32
6. YHTEENVETO .....	33
LÄHTEET .....	35

**LYHENNELUETTELO**

AOX	orgaanisesti sitoutuneet klooriyhdisteet
avl	asukasvastineluku
BOD <sub>7</sub>	biologinen hapenkulutus seitsemän vuorokauden aikana
CaCO <sub>3</sub>	kalsiumkarbonaatti, meesa
CO <sub>2</sub>	hiilidioksidi
COD	kemiallinen hapenkulutus
FAAS	flame atomic absorption spectroscopy
ICP	inductively coupled plasma
ka	kuiva-aine
m-%	massaprosentti
NaOH	natriumhydroksidi

## 1. JOHDANTO

Suomen metsäteollisuus tarvitsee vettä monissa erilaisissa prosesseissa, kuten jäähdytyksessä. Veden kulutusta ja jätevesimääriä on kuitenkin onnistuttu pienentämään tuotannon kasvusta huolimatta. Tämä on onnistunut lähes suljetun vesikierron ja uusien tekniikoiden avulla. Vuonna 2006 massa- ja paperiteollisuuden prosesseissa syntyi jätevesiä 735 703 000 m<sup>3</sup>, jotka käsiteltiin suurimmaksi osaksi ennen vesistöön johtamista lukuun ottamatta häiriötilanteita. (Suomen ympäristökeskus 2007). Jätevesien käsiteltävyyteen on osaltaan vaikuttanut myös muuttaman vuosikymmenen aikana kehittynyt ympäristölainsäädäntö. Sekä lainsäädännön että asiakkaiden muuttuvan suhtautumisen takia yritysten täytyy huolehtia päästöistään, mikä on johtanut erinäisiin investointeihin myös vesipäästöjen suhteen. Nykyään suomalaiset yritykset on veloitettu puhdistamaan jätevetensä ja huolehtimaan lietteistä huomioiden niin ympäristön kuin terveydenkin.

### 1.1 Taustaa

Metsäteollisuuden jätevesien puhdistuksen yhteydessä syntyy sivutuotteena monenlaisia lietteitä. Jätevedestä saadaan eroteltua puhdistamalla kuitu- eli primääri- lietettä sekä biolietettä, jota kutsutaan myös sekundäärilietteeksi. Kuitu- ja biolietettä käytetään hyödyksi eri tavoin. Kuitulietettä poltetaan esimerkiksi kuorikattilassa, kun taas biolietettä poltetaan esimerkiksi soodakattilassa. Biolietettä ei voida hyödyntää siinä muodossa, kuin se tulee jätevedenpuhdistamolta, vaan sitä pitää käsitellä monivaiheisessa prosessissa muun muassa jatkokäsittelyn varmistamiseksi. Lisäksi liete täytyy saattaa sellaiseen muotoon, ettei siitä ole haittaa ympäristölle tai terveydelle. (Metsämuuronen 2006, 10.) Käsittelyn jälkeen liete voidaan käyttää esimerkiksi maisemointiin tai energiantuotantoon.

Biolietteen käyttö energiantuotantoon onnistuu polton avulla. Tällöin biolietteen käytettävyys polttoon riippuu monista tekijöistä, kuten kuiva-ainepitoisuudesta

sekä tuhkapitoisuudesta. Tuhkapitoisuus saadaan määrittämällä lietteen sisältämän epäorgaanisen aineksen osuus, joka on normaalisti 15–20 % sellutehtaan käsittelemättömässä biolietteessä. (Liimatainen et al. 2000, 25.) Työssä tutkitun tehdasintegraatin bioliete omaa tavallista korkeamman tuhkapitoisuuden, noin 40 %. Jos tuhka siirtyy biolietteen käsittelyn jälkeen kuivatun lietteen mukana polttoon, saattaa se heikentää polttoprosessia. Korkea tuhkapitoisuus huonontaa lietteen lämpöarvoa ja palamaton aines voi kerääntyä kattilan pinnoille. Tällöin prosessissa olevien vierasaineiden määrä lisääntyy. Ylimääräinen epäorgaaninen aines voi siirtyä käsittelyn jälkeen myös lietteestä poistetun veden mukana takaisin jätevedenpuhdistamolle, jolloin prosessissa kiertävän ylimääräisen aineksen osuus voi kasvaa jatkuvasti. Tällöin tuhkapitoisuus voi heikentää jätevesien puhdistuksen kapasiteettia ja kuormittaa puhdistamon lietteenkäsittelyä.

## **1.2 Tavoitteet**

Tässä työssä keskitytään biolietteen tarkastelemiseen sen tuhkapitoisuuden osalta. Työn tarkoituksena on selvittää biolietteen suuren tuhkapitoisuuden aiheuttavat tekijät ja löytää ratkaisu lietteen tuhkapitoisuuden pienentämiseksi tutkitussa tehdasintegraatissa.

## **1.3 Työn sisältö**

Työssä käsitellään sellutehdasintegraatin biolietettä sen synnystä loppusijoitukseen. Tämän takia käydään läpi myös aktiivilietemenetelmä, joka on nykyään yleisin jätevesien puhdistustapa. Biolietteen koostumuksella on työssä tärkeä osa erityisesti tuhkapitoisuutta muuttavana tekijänä. Työn lopussa esitellään tehdasintegraatin biolietteen tuhkapitoisuustutkimukset sekä niistä tehdyt johtopäätökset. Tutkittava sellutehdas ei halua tuoda nimeään julki, minkä takia sitä kutsutaan tässä työssä tehdasintegraatiksi.

## 2. SELLUTEOLLISUUDEN JÄTEVEDET, NIIDEN ALKUPE- RÄ JA KOOSTUMUS

Tuotannon määrästä riippuen sellutehtaalla syntyy jätevesiä päivässä useita satoja tuhansia litroja. Vuonna 2007 massa- ja paperiteollisuudessa syntyi jätevesiä 725 350 000 m<sup>3</sup>, kun tuotanto oli 24 miljoonaa tonnia. (Suomen ympäristökeskus 2008). (Metsäteollisuus ry 2008). Jätevesien määrä suhteessa tuotettuun sellun määrään on siis suuri, noin 30 m<sup>3</sup> jätevettä tuotettua sellu- ja paperitonnia kohden. Vettä käytetään monissa eri tehtaan prosesseissa. Sitä tarvitaan tehtaalla kuljettamiseen, pesemiseen, lämmitykseen ja jäähdytykseen, tiivistykseen sekä kuitusidosten muodostamiseen. Vettä käytetään myös massojen ja kemikaalien laimennuksiin.

Sellutehtaan jätevedet koostuvat kuorimon ja sellun valmistuksen osaprosessien jätevesistä, sadevesistä sekä saniteettivesistä. Jätevedet sisältävät puuta joko alkuperäisessä tai muuttuneessa muodossa. Sellunvalmistuksesta pääsee kulkeutumaan jätevesien mukana puhdistamolle myös erilaisia apu- ja lisäaineita. (Valtonen 2005, 11.)

Suurin osa puhdistamolle ohjattavista jätevesistä on peräisin valkaisulinjalta, sillä valkaisun jätevedet muodostavat 50–60 % jätevedenpuhdistamon BOD-kuormasta (biologisesta hapenkulutuksesta). (Liimatainen et al. 2000, 17.) Myös valtaosa tehtaan happamista ja alkalisisista eli emäksisistä jätevesistä tulee valkaisusta. Happanta jätevettä syntyy ensisijaisesti valkaisulinjan happamissa vaiheissa, esimerkiksi klooridioksidi- ja otsonivaiheissa. Alkaliset jätevedet taas ovat peräisin valkaisun alkalisesta vaiheesta. Valkaisussa käytetään runsaasti vettä massan sisältämien reaktiotuotteiden ja jäännöskemikaalien laimennukseen sekä pesuun. Niiden hyötykäyttö on mahdollista happidelignifioinnin tai keiton jälkeisessä pesussa, jonka kautta emäksiset suodokset voidaan ohjata kemikaalikiertoon. Happidelignifiointi eli happivalkeaisu on sellun valmistusprosessin vaihe, jossa massan ligniini-

pitoisuutta pienennetään happikaasun avulla alkalisisessa ympäristössä Alkalisten vesien hyötykäyttöä kuitenkin rajoittaa niiden sisältämät kloridit, puusta ja valkaisu-kemikaaleista peräisin olevat suolat sekä kalsium, jotka aiheuttaisivat suuria ongelmia tehtaan talteenottolinjalla kertymällä lipeäkiertoon. (Valtonen 2005, 13–14)

Lipeälinjalta tulevat jätevedet muodostavat oman jakeensa. Suurin osa lipeälinjalta tulevista jätevesistä on alkalisia vesiä. Lipeälinjan jätevedet sisältävät muun muassa hiiltä, natriumia ja rikkiä. Myös meesaa voi päätyä jätevesiin. Meesaa on kiinteässä olomuodossa olevaa kalsiumkarbonaattia ( $\text{CaCO}_3$ ), joka syntyy valkolipeän valmistuksessa ja joka erotetaan valkolipeästä suodattamalla. Meesaa sisältävän jäteveden mukana kulkeutuu jätevedenpuhdistamolle muun muassa rautaa, mangaania ja alumiinia.

Osa puhdistamolle johdettavista jätevesistä on peräisin kuorimolta. Kuorimolla syntyvä jätevesi sisältää runsaasti pääosin kuoresta liuenneita väri- ja uuteaineita. Kuitujen irrotessa toisistaan puun sisältämiä ravinteita vapautuu veteen. Kuorimon aiheuttama orgaaninen kuorma on suuri verrattuna muihin jätevesijakeisiin: 30–50 % jätevesien sisältämästä BOD:sta ja 20–30 % COD:sta (kemiallisesta hapenkulutuksesta) on peräisin kuorimolta. (Valtonen 2005, 12.)

Tehdasalueen sadevedet kerätään kanaaleihin, joita pitkin ne ohjataan vesistöön. Säiliöiden ylikaadot yms. poikkeukselliset vuodot ohjataan viemärien kautta prosessijätevesien verkostoon, jolloin haitalliset aineet päätyvät vesistön sijaan jätevedenpuhdistamolle. Sen sijaan tehtaan puhtaat jäähdytysvedet palautetaan sadevesiviemärien kautta vesistöön.

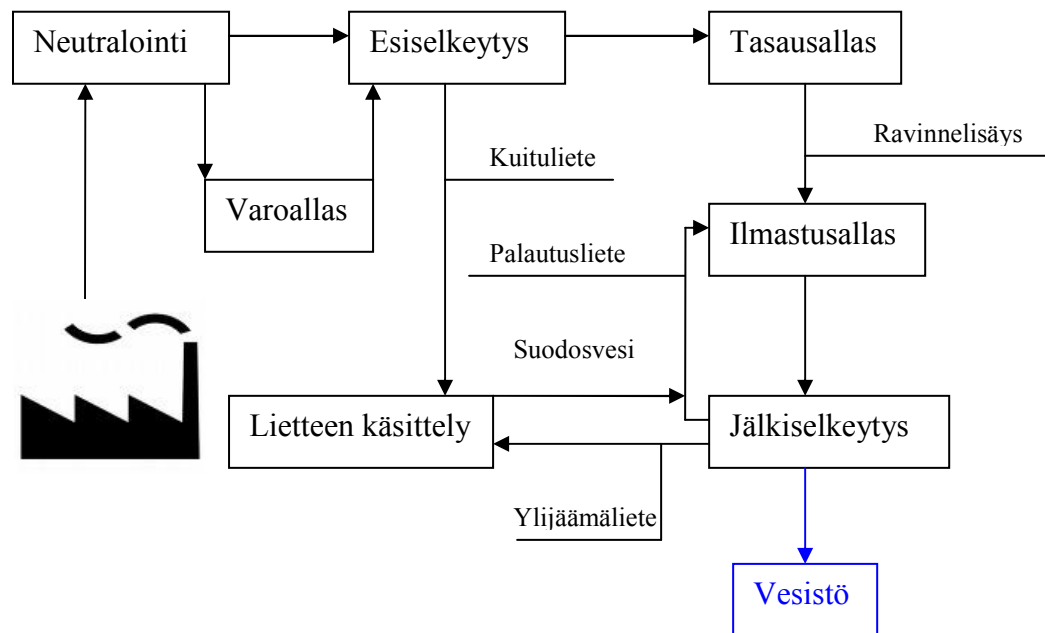
### **3. JÄTEVEDEN PUHDISTUS AKTIIVILIETEMENETELMÄLLÄ**

Aktiivilietemenetelmä on aerobinen puhdistusmenetelmä, jossa orgaaninen aines hajoaa mikro-organismien avulla hapellisissa olosuhteissa. Näin lopputuloksena syntyy hiilidioksidia, vettä sekä uutta biomassaa. Aktiivilieteprosessin tavoitteena on veteen liunneen, siinä kolloidisena olevan ja kiinteänä kulkeutuvan ympäristölle haitallisen aineksen poistaminen vedestä tai sen muuntaminen haitattomaan muotoon. Veteen sekoittuneen kolloidisen aineen partikkelikoko on välillä 0,01-1 µm eikä se sedimentoidu. Aktiivilietemenetelmän pääosat ovat ilmastus ja selkeytyminen, jotka määräävät prosessin toiminnan. Prosessissa aktiiviliete eli bioliete ja jätevesi pidetään sekoituksen avulla tasalaatuisena seoksena ilmastusaltaalla, jonne johdetaan happea. Seos johdetaan ilmastusaltaalta jälkiselkeytykseen, jossa liete laskeutetaan ja pääosin palautetaan takaisin ilmastusaltaalle. Ylimääräinen bioliete poistetaan prosessista. (Ojanen 2001a, 40.)

#### **3.1 Jätevesien kulku viemäreistä vesistöön**

Eri osastojen prosessivedet ohjataan viemärien kautta jätevedenpuhdistamolle, jossa vedet ohjataan normaalissa tehtaan ajotilanteessa neutraloinnin kautta esiselkeytinaltaalle. Tämän jälkeen vedet kulkevat tasausaltaalta ilmastukseen ja edelleen jälkiselkeyttimelle. Lopulta jätevedet johdetaan vesistöön. Häiriötilanteissa vedet voidaan ohjata varoaltaalle, jotta välttyttäisiin suuremmilta vahingoilta jätevedenpuhdistamolla. Jäteveden puhdistusprosessi näkyy selvemmin kuvassa 1.





Kuva 1. Jäteveden käsittely

Jätevedenpuhdistamolle tullessaan jätevedet johdetaan ensin väljän kautta, jossa vedestä poistetaan suurimmat lehdet ja hakkeen palaset. Sen jälkeen jätevesi kulkee neutralointialtaalle. Neutraloinnissa on tavoitteena säätää jäteveden pH ilmastusaltaan eliöstölle sopivaksi ja tämä tapahtuu esimerkiksi limeä, kalkin ja rikkihapon avulla. Neutraloinnista jätevedet ohjataan esiselkeytysaltaalle. Tässä osassa prosessia on tavoitteena vähentää ilmastuksen kuormitusta erottamalla jätevedestä kiintoainetta, josta muodostuu primääriete eli kuituliete. Liete ohjataan lietteenkäsittelyyn ja jätevesi jatkaa tasausaltaalle, joka on prosessissa mukana lähinnä jäteveden laadun tasausta varten. Tasausaltaan avulla voidaan esimerkiksi tasata puhdistamolle saapuvien vesien lämpötilaa. (Ojanen 2001a, 40–41)

Tasausaltaalta jätevesi kulkeutuu ilmastukseen, joka on kriittinen vaihe puhdistusprosessin tehokkuutta tarkasteltaessa. Ilmastusaltaassa sekoitetaan biomassaa ja jätevesi keskenään ja pyritään pitämään liete hapellisissa olosuhteissa. Bakteerimassa hajottaa jäteveden sisältämiä happea kuluttavia ainesosia (BOD, COD), josta tuloksena syntyy vettä ja hiilidioksidia. Eliöstö käyttää ravintonaan myös jäteveden sisältämää fosforia ja typpeä. Jos jätevedessä ei ole riittävästi ravinteita,

lisätään niitä veteen ennen ilmastusallasta. Jäteveden sisältämästä BOD:sta eliöstö käyttää hyväkseen 85–95 %, COD:sta noin 70–80 %, typestä noin 40 % ja fosforista 70–85 %. (Liimatainen et al. 2000, 8.) Ilmastuksesta jätevesi ohjataan jälkiselkeytykseen, jossa bioliete erotetaan jätevedestä. Tämä vaihe siis määrittää todellisen puhdistustuloksen. Suuri osa lietteestä palautetaan palautuslietteenä takaisin ilmastusaltaalle ja osa poistetaan prosessista ylijäämälietteenä lietteenkäsittelyyn. Selkeytetty vesi poistuu kanaalin kautta vesistöön. (Ojanen 2001a, 42.)

Aktiivilietemenetelmä on ollut 1990-luvun alusta yleisin puhdistusmenetelmä. (Liimatainen et al. 2000, 8.) Harvinaisempi menetelmä on anaerobikäsittely, jossa biolietettä syntyy vähemmän kuin aerobisessa käsittelyssä. Jos aerobisen käsittelyn lietteen tuotto normaalilla laitoksen kuormituksella on  $0,5 \text{ kg}_{\text{ka}}/\text{kg}_{\text{BOD}}$ , niin vastaavasti anaerobisessa käsittelyssä lietettä syntyy vain  $0,35 \text{ kg}_{\text{ka}}/\text{kg}_{\text{BOD}}$  eli 30 % vähemmän kuin aerobisessa käsittelyssä. (Puhakka et al. 1989, 2.)

### **3.2 Sellutehtaan jätevedenpuhdistuksessa syntyvät lietteet**

Selluteollisuuden jätevedenpuhdistuksessa syntyy primääri- eli kuitulietettä sekä sekundaarilietettä eli biolietettä. Bio- ja primäärilietteiden määrä oli vuonna 1999 noin 270 000 t ka (kuiva-ainetta) Suomen sellu- ja paperiteollisuudessa. (Lohiniva et al. 2001, 23.)

Primäärilietettä syntyy jäteveden mekaanisessa puhdistuksessa, kun vettä raskaammat kiintoainehiukkaset laskeutetaan esiselkeyttimen pohjalle. Kuitulietettä muodostuu sellutehtaassa noin 2 % tuotannon määrästä kuiva-aineena laskettuna. Primääriliete sisältää yleensä kaikkia puuperäisiä aineita, kuten pitkiä kuituja, ligniiniä, selluloosaa, hemiselluloosaa ja kuorimassaa. Liete voi sisältää lisäksi täyte- ja lisäaineita. (Miettinen 2008, 17.) Lietteiden tuhkapitoisuus on yleensä välillä 3–20 % kuiva-aineesta ja kuiva-ainepitoisuus ennen lietteenkäsittelyyn menoa on noin

0,5-3 %. Vedenerotuksen jälkeen kuiva-ainepitoisuus on noin 35–40 %. (Lohiniva et al. 2001, 24.)

Bioliete on mikrobimassaa ja kuollutta soluainesta, jotka syntyvät biologisessa puhdistuksessa. Bioliete on peräisin selkeytysaltaalta, jossa liete on laskeutettu gravitaation avulla. Aerobisessa käsittelyssä biolietettä muodostuu noin 40 % orgaanisesta aineksesta. Myös menetelmän kuormitus vaikuttaa syntyvän biolietteen määrään, kuten taulukosta 1 käy ilmi. (Ojanen 2001b, 9.) Uutta biolietettä syntyy ilmastusaltaan prosessissa, jossa aktiivinen liete käyttää hyväkseen jätevedessä olevaa biologisesti hajoavaa orgaanista ainetta. Vedestä biologisesti poistettu orgaaninen aine muodostaa uutta biomassaa. (Ojanen 2001a, 41.)

**Taulukko 1.** Biomassan kasvu ja biolietteen määrä aktiivilietemenetelmässä. (Ojanen 2001b, 9)

<b>Aktiivilietemenetelmä</b>	<b>Biomassan kasvu [kg<sub>ka</sub>/kg<sub>BOD</sub>]</b>	<b>Biolietteen määrä [kg<sub>ka</sub>/kg<sub>BOD</sub>]</b>
Normaali/matala kuormitteinen	0,4–0,6	0,5–0,7
Korkeakuormitteinen	0,6–0,7	0,6–0,7
Pitkä ilmastus	0,3–0,4	0,3–0,6

Muita sellu- ja paperitehtaalla syntyviä lietteitä ovat kemiallinen liete, pastaliete, siistausliete sekä viherlipeä eli soodasakka. Kemiallista lietettä syntyy jätevedenpuhdistamolla, jossa on mukana tertiäärivaihe. (Miettinen 2008, 16.) Tällöin lietettä muodostuu jätevettä saostettaessa kemikaaleilla ja erotettaessa jätevedestä peräisin olevaa sakkaa. Pastalietettä syntyy paperitehtailla, jotka valmistavat päällystettyjä paperi- ja kartonkilaatuja. Pastaliete koostuu lähinnä pigmenttiaineista (kalsiumkarbonaatti, kaoliini) sekä sideaineena käytetystä lateksista. (Soukka et al. 2000, 10.) Siistauslietettä syntyy paperiteollisuuden siistausprosessissa, kun jätepaperin sisältämät painoväri- ja kuitupartikkelit sekä täyteaineet poistetaan ja jäljelle jää uusiokuitu. Soodasakkaa syntyy sellutehtaalla mustalipeää hyödynnettyä. (Lohiniva et al. 2001, 25.)

### 3.3 Biolietteen tyypillinen koostumus

Bioliete sisältää muun muassa metalleja, puun uuteaineita, kuituja sekä ligniiniyhdisteitä. Ligniiniä voi olla 30–70 % lietteestä ja loppuosa on suurimmaksi osaksi valkuaisaineita, rasvoja ja hiilihydraatteja. (Miettinen 2008, 17.) Ennen lietteenkäsittelyä biolietteen kuiva-ainepitoisuus on noin 0,5–1,5 %. Käsittelyn jälkeen päästään yleensä 20–40 %:n kuiva-ainepitoisuuteen ja tuhkapitoisuus on sellutehtaan kohdalla tavallisesti 15–20 % kuiva-aineesta. (Lohiniva et al. 2001, 24.)

Bioliete sisältää myös epäorgaanisia aineita, joita lietteeseen tulee lähinnä puusta ja korvauskemikaaleista. Kloori on sitoutuneena epäorgaanisiin ja orgaanisiin yhdisteisiin. Kloorin käyttö sellun valkaisu-prosessissa on kuitenkin vähentynyt huomattavasti viimeisen kymmenen vuoden aikana, joten myös lietteiden klooripitoisuudet ovat laskeneet. Tämän ansioista AOX-pitoisuudet (Adsorbable Organic Halides, orgaanisesti sitoutuneet klooriyhdisteet) ovat pienentyneet. (Ojanen 2001b, 12.) Selluteollisuuden biolietteen ja primäärilietteen tyypilliset koostumukset on esitetty taulukossa 2. Taulukosta nähdään, että biolietteen ja primäärilietteen koostumukset eroavat toisistaan melkoisesti. Biolietteestä puolet on hiiltä ja neljännes happea, kun primäärilietteessä hiiltä on vain reilu neljännes ja happeakin vain 15–35 %. Biolietteessä ei kuituja ole lainkaan ja primääriliete koostuu suurimmaksi osaksi kuiduista.

**Taulukko 2.** Selluteollisuuden lietteiden tyypilliset koostumukset. (Liimatainen et al. 2000, 25)

	<b>Bioliete</b>	<b>Primääriliete</b>
Tuhka, % kuiva-aineesta	15 – 20	5 - 60
Kuidut, % kuiva-aineesta	-	40 – 65
Kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo (MJ/kg <sub>ka</sub> )	15,5 – 18,5	12 – 19
Hiili (%)	45 – 47	25 – 45
Vety (%)	5,4 – 6,5	3 - 5,5
Happi (%)	25 – 35	15 – 35
Typpi (%)	1,5 – 4,7	1,2 – 4,5
Rikki (%)	1,2 – 3,8	< 0,5
Natrium (%)	0,4 – 1,6	-
Fosfori (%)	0,3 – 0,8	< 0,1
Kloori (%)	0,1 – 0,7	0,2 – 0,5
Kalium (%)	0,1 – 0,3	-

Metsäteollisuuden lietteet eroavat yhdyskunnan lietteistä monessa suhteessa. Metsäteollisuudessa bioliete sisältää enemmän puusta peräisin olevia ainesosia kuten ligniiniä, selluloosaa, hiilihydraatteja ja tuhkaa kuin yhdyskunnan liete. Toisaalta yhdyskunnan biolietteessä on enemmän rasvaperäisiä ainesosia. Siten metsäteollisuuden bioliete eroaa niin koostumukseltaan kuin kuivausominaisuuksiltaan yhdyskunnan lietteestä. (Ojanen 2001b, 11.) Tämä vaikuttaa myös lietteiden tuhkapitoisuuksiin. Erilaisten metsäteollisuudessa esiintyvien lietteiden tuhkapitoisuudet on koottu taulukkoon 3. Kyseisestä taulukosta nähdään, että sellu- ja pape-ritehtaan välillä on suuriakin eroja tuhkapitoisuuksissa, esimerkiksi primäärilietteen kohdalla. Suuria eroja tuhkapitoisuuksissa on myös eri lietelajien välillä.

**Taulukko 3.** Lietteiden tuhkapitoisuuksia metsäteollisuudessa. (Lohiniva et al. 2001, 24–26)

	Tuhkapitoisuus [m-% ka:sta]
Bioliete (sellutehdas)	15–20
Primääriliete (sellutehdas)	3-20
Primääriliete (hienopaperitehdas)	50–60
Sellutehtaan sekaliete	13–21
Paperitehtaan sekaliete	12–20
Kuorimoliete	2,5
Siistausliete	n. 50

## 4. BIOLIETTEIDEN KÄSITTELY JA HYÖDYNTÄMINEN

Biolietteiden kaatopaikkasijoitusta on pyritty vähentämään viime vuosikymmeninä mm. sen kalleuden, lainsäädännön velvoitteiden ja imagosyiden takia, jolloin erilaiset lietteen käsittely- ja hyödyntämistekniikat ovat olleet tärkeässä asemassa. Metsäteollisuudessa on otettu laajemmin käyttöön biologis-kemiallisia jätevedenpuhdistamoita, minkä ansiosta jäteveden puhdistus on tehostunut ja tämän takia lietemäärät ovat olleet kasvussa. Myös ko. kehitys on lisännyt kiinnostusta erilaisiin tekniikoihin. (Lohiniva et al. 2001, 6.)

### 4.1 Biolietteitä koskeva lainsäädäntö

Biolietteiden käsittely on huomioitu niin Suomen kuin Euroopan unioninkin lainsäädännössä. Lainsäädäntö on kehittynyt 1990-luvulta lähtien ja ympäristönsuojelun normit ovat tiukentuneet mm. lietteiden kaatopaikkasijoituksen osalta. (Lohiniva et al. 2001, 6.) Lainsäädännön avulla pyritään siihen, että lietteet käsitellään turvallisuus ja ympäristö huomioiden.

#### 4.1.1 Suomen lainsäädäntö

Ympäristönsuojelulaki (86/2000) ja Ympäristönsuojeluasetus (169/2000) koskevat jäteveden käsittelyn yhteydessä syntyviä lietteitä ja niiden hyödyntämistä. Ympäristönsuojelulain 1 §:n mukaan lain yhtenä tavoitteena on ehkäistä ympäristön pilaantumista sekä poistaa ja vähentää pilaantumisesta aiheutuvia vahinkoja. Tätä tavoitetta toteutetaan lietteiden kohdalla siten, että kaatopaikkasijoitusta pyritään välttämään. Lain mukaan ympäristölupasäädökset koskevat myös lietteen käsittelyä ja hyödyntämistä esimerkiksi kompostoinnissa. Ympäristönsuojeluasetuksen 36 §:ssä vaaditaan puhdistamaan jätevedet niin, että lietteen käsittely ja hyödyntäminen tapahtuu turvallisen ja ympäristön kannalta hyväksyttävän käsittelyn avulla.

Jätelain (1072/1993) avulla pyritään ehkäisemään ja vähentämään jätteen syntyä. Lain 4 §:ssä säädetään yleisistä huolehtimisvelvollisuuksista, joiden mukaan on huolehdittava siitä, että jätettä syntyy mahdollisimman vähän ja ettei siitä aiheudu vaaraa tai haittaa ympäristölle tai terveydelle.

Lietteet on huomioitu myös Valtioneuvoston päätöksessä yleisestä viemäristä ja eräiltä teollisuudenaloilta vesiin johdettavien jätevesien sekä teollisuudesta yleiseen viemäriin johdettavien jätevesien käsittelystä (365/1994). Asukasvastineluvun (avl) avulla kuvataan jätevesipäästöjen aiheuttamaa vuorokausikuormitusta ja se lasketaan puhdistamolle vuoden aikana tulevan suurimman viikkokuormituksen vuorokautisesta keskiarvosta poikkeuksellisia tilanteita lukuun ottamatta. Kun avl on 1, tarkoittaa se sellaista vuorokausikuormitusta, jonka seitsemän vuorokauden biokemiallinen hapenkulutus ( $BOD_7$ ) on 70 g happea. Kun asukasvastineluku (avl) ylittää rajan 4000, on teollisuuslaitoksen haettava jätevesipäästöilleen vesioikeuden lupa. Kyseisessä valtioneuvoston päätöksessä esitetty vaatimus jätevesien esikäsittelystä koskee myös metsäteollisuuden laitosta asukasvastineluvun ollessa suurempi kuin 4000. Vaatimuksen mukaan vedet on esikäsiteltävä asianmukaisella tavalla jäteveden ja lietteen käsittelyprosessien toiminnan vaikeutumisen

estämiseksi sekä lietteen turvallisen, ympäristön kannalta hyväksyttävän sijoituksen varmistamiseksi.

Lain eräistä naapuruussuhteista (26/1920) 4 §:ssä kielletään jätevesien johtaminen ja jätteiden sijoitus paikkaan, jonka kautta aiheutuisi naapurille tai muulle lähellä asuvalle haittaa. Terveysuojelulaki (763/1994) säätelee 22 §:ssään siten, että jätteiden säilyttäminen, käsittely ja hyödyntäminen sekä jäteveden johtaminen ja puhdistus on toteutettava niin, ettei niistä aiheudu terveydelle haittaa. Lietteiden turvallisuudesta lannoituskäytössä säädetään Lannoitevalmistelaissa (539/2006), jonka 5 §:n mukaan lannoitevalmiste ei saa sisältää sellaisia määriä haitallisia aineita, tuotteita tai eliöitä, että sen käyttöohjeiden mukaisesta käytöstä voi aiheutua vaaraa turvallisuudelle, ihmisten, kasvien tai eläinten terveydelle tai ympäristölle. Lisäksi kyseisessä pykälässä säädetään toiminnanharjoittajan velvollisuuksista, joita ovat mm. asianmukaisten tilojen, laitteiden ja kaluston hallinta lannoitevalmisteiden ja niiden raaka-aineiden valmistukseen, säilytykseen ja kuljetukseen.

#### **4.1.2 Lietteitä koskeva lainsäädäntö EU:n tasolla**

EU:n lainsäädännössä on direktiivejä, jotka koskettavat teollisuuden lietteitä. EU:n jätelainsäädännössä on tavoitteena ensisijaisesti jätteiden synnyn välttäminen. Seuraavina pyrkimyksinä on jätteen hyödyntäminen materiaalina tai energiana. Lietteiden hyödyntäminen materiaalina tarkoittaa lähinnä lannoituskäyttöä sekä viherrakentamista. Viimeisenä vaihtoehtona jätteelle on sen kaatopaikkasijoitus. Kaatopaikkadirektiivi (1999/31/EY) astui voimaan vuonna 1999 ja siinä määritellään mm. kaatopaikkakelpoisuus, joka on osana myös Valtioneuvoston päätöksiä 861/97 ja 1049/99. Kaatopaikkakelpoisuuden yhtenä kohtana on jätteen esikäsittely: vuoden 2005 alusta lähtien ei ole saanut läjittää kaatopaikalle sellaista yhdyskuntajätettä ja vastaavaa teollisuusjätettä, josta suurinta osaa biohajoavasta osasta ei ole kerätty erilleen hyödyntämistä varten. Lisäksi vuoden 2002 alusta lähtien kaatopaikalle on saanut sijoittaa vain lietettä, joka on esikäsitelty eli kuivattu esi-



merkiksi suotonauhapuristimella. Tämä siis tarkoittaa sitä, ettei vuoden 2001 jälkeen ole saanut läjittää kaatopaikalle jätettä, jota ei ole lajiteltu tai esikäsitelty.

EU:n Jätteenpolttodirektiivi (2000/76/EY) koskee myös jäteveden käsittelystä peräisin olevia puhdistamolietteitä, mikäli ne poltetaan tehdasintegraatin ulkopuolella ja syntyvää lämpöä ei hyödynnetä. Kyseisen direktiivin asettamien vaatimusten mukaan metsäteollisuuden primääri- ja biolietteiden polton yhteydessä on huolehdittava päästöille asetetuista raja-arvoista ja niiden toteutumisesta sekä otettava käyttöön mittausmenettelyt, joiden avulla voidaan seurata päästöparametreja ja päästöjen raja-arvoja.

Puhdistamolietteiden käytöstä maanviljelyksessä säädetään lietedirektiivissä (1986/278/EEC) ja Valtioneuvoston päätöksessä (282/1994) puhdistamolietteen käytöstä maanviljelyksessä. Sekä direktiivi että valtioneuvoston päätös koskevat kuitenkin vain yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilta peräisin olevia lietteitä. Lietedirektiivin uusimista on valmisteltu, mutta uusiminen on kuitenkin tähän asti lykkääntynyt. Jos lietedirektiivin uusiminen onnistuisi, tulisi se mahdollisesti koskemaan myös metsäteollisuuden puhdistamolietteiden maatalouskäyttöä. (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2008)

Kaatopaikkadirektiivin tavoitteiden toteutumiseksi on laadittu kansallinen strategia biohajoavan jätteen kaatopaikkakäsittelyn vähentämisestä, jonka avulla pyritään vähentämään kaatopaikoille sijoitettavan biohajoavan jätteen määrää noin miljoonalla tonnilla vuodessa ja samalla vähentämään kaatopaikkoja. (Ympäristöministeriö 2004). Teollisuus on täyttänyt tai täyttämässä strategiassa asetetut tavoitteet, joten strategian tavoitteet kohdistuvat lähinnä yhdyskuntien jätehuoltoon. (Ympäristöministeriö 2003)

## 4.2 Biolietteiden käsittely

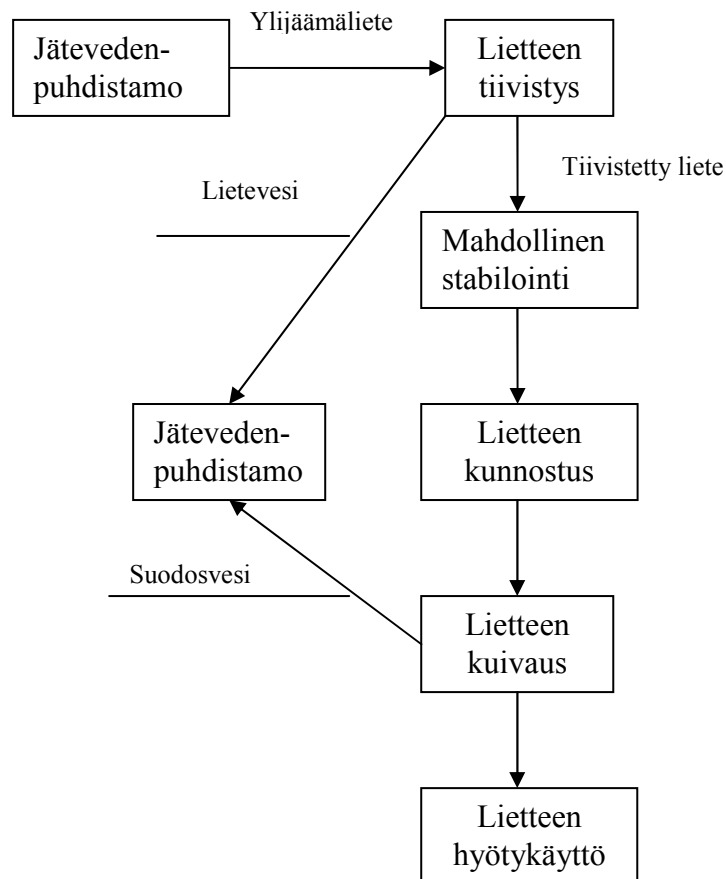
Biolietteen käsittely on oleellinen tekijä ennen lietteen lopullista hyödyntämistä, sillä lietteen eri käyttömahdollisuudet eivät olisi käyttökelpoisia ilman kyseistä vaihetta. Lietettä kuivataan useissa vaiheissa, jotta sen tilavuutta saataisiin pienemmäksi, lämpöarvo paranisi ja jatkokäsittely onnistuisi paremmin. Lainsäädännön vaatimusten takia liete täytyy myös saada sellaiseen muotoon, ettei siitä aiheudu vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. (Metsämuuronen 2006, 10.) Muita syitä lietteen käsittelylle ovat kuljetus- ja käsittelykustannusten mahdollinen pienentäminen, kuljetuksessa ja loppusijoituksessa syntyvien hajuhaittojen minimointi, ympäristölle haitallisten aineiden määrän vähentäminen, arvokkaiden aineiden (fosfori ja typpi) talteenotto sekä turvallisen loppusijoituksen tekeminen mahdolliseksi. (Lohiniva et al. 2001, 37.) Bioliete käsitellään useimmiten yhdessä kuitulietteen kanssa, mutta seuraava tarkastelu koskee biolietteen erilliskäsittelyä.

### 4.2.1 Bioliete selkeytyksestä lietteen käsittelyyn

Aktiivilietemenetelmän viimeisestä vaiheesta eli selkeytyksestä poistuessaan liete jakautuu palautus- ja ylijäämalietteeksi. Palautuslietepumppauksen avulla siirretään selkeytyksestä erotettu liete pääosin takaisin ilmastukseen ja ylijäämalietepumppauksella poistetaan ylimääräinen liete lietteenkäsittelyyn. Ilmastuksessa vaikuttavan eliöstön toteuttamaa puhdistusprosessia hallitaan ylijäämä- ja palautuslietepumppauksen avulla, sillä palautuslietteen määrää kasvattamalla voidaan lisätä ilmastuksessa olevan lietteen määrää suhteessa selkeytyksessä olevaan lietemäärään eli lietemassajakoon. Lietteenkäsittelyyn pumpattavaa ylijäämalietteen määrää muuttamalla voidaan taas vaikuttaa lietteen määrään ja viipymään jäteveden puhdistusprosessissa. (Räsänen et al. 1999, 20.)

#### 4.2.2 Biolietteen esikäsittely

Lietteen esikäsittely koostuu useista vaiheista, joiden avulla pyritään pienentämään käsiteltävän lietteen määrää, parantamaan sen laatua ja minimoimaan loppusijoituksesta aiheutuvia haittoja. Kyseisessä lietteenkäsittelyn vaiheessa vähennetään biologista aktiivisuutta ennen lietteen johtamista muuhun käsittelyyn sekä nostetaan lietteen kuiva-ainepitoisuutta, joka on tärkeä tekijä etenkin mahdollisen polton kannalta. (Lohiniva et al. 2001, 38.) Lietteen esikäsittelyn pääkohdat selviävät kuvasta 2.



**Kuva 2.** Periaatekuva lietteen esikäsittelystä ennen lopullista hyödyntämistä.

Esikäsittelyn ensimmäinen vaihe on lietteen tiivistys, jossa nostetaan lietteen kuiva-ainepitoisuutta 4-5 %:iin. Samalla pyritään nostamaan lietteen sakeutta. Erilai-

sia tiivistysmenetelmiä ovat laskeutus- ja flotaatiotiivistys, suodatinrummut sekä kaariseulat. Näistä menetelmistä yleisin on laskeutustiivistys, joka perustuu liete-partikkelien laskeutumiseen painovoiman vaikutuksesta. Lietevesi poistetaan imu- tai teleskooppiputkien avulla takaisin jätevedenpuhdistamolle ja tiivistynyt liete pumpataan säiliön pohjalta jatkokäsittelyyn. Laskeutustiivistyksellä päästään biolietteen kohdalla 2,5-3 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. Kyseisen menetelmän etuina ovat sen helppohoitoisuus, soveltuminen erityyppisille lietteille sekä alhaiset käyttökustannukset. Laskeutustiivistyksen huonoja puolia ovat suurehko tilantarve ja mahdolliset hajuongelmat. (Lohiniva et al. 2001, 38–39)

Puunjalostusteollisuudessa tiivistetään lietettä jonkin verran myös flotaatiotiivistyksen avulla. Tämä menetelmä on kuitenkin käyttökustannuksiltaan kalliimpi kuin laskeutustiivistys. Menetelmässä sekoitetaan tulevaan lietteeseen kierrätysvettä, johon on liuotettu ilmaa paineenalaisena. Paineen laskiessa ilma vapautuu kuplina, jotka tarttuvat lietehiukkasiin. Tämän seurauksena hiukkaset nousevat pintaan, josta ne kaavitaan lietekouruun ja eteenpäin jatkokäsittelyyn. (Lohiniva et al. 2001, 39.)

Lietettä hyödynnettäessä esimerkiksi kompostoimalla, tulisi liete stabiloida tiivistyksen jälkeen. Stabiloinnissa liete saatetaan haitattomampaan tilaan kuljetusta, levitystä tai loppusijoitusta varten. Jos liete menee polttoon, ei tätä vaihetta tarvita. (Lohiniva et al. 2001, 39.)

Lietteen kunnostus edeltää lietteenkäsittelyn viimeistä vaihetta eli kuivausta, sillä se parantaa lietteen käsiteltävyyttä kuivausprosessissa. Lietteeseen syötetään kemikaaliliuos lietteen kemiallisessa kunnostuksessa, jonka tarkoituksena on sitoa liete-partikkeleita toisiinsa ja tehostaa niiden veden luovutusta. Kemiallinen kunnostus parantaa lietteen mekaanisen kuivauksen tehoa, sillä tämän vaiheen avulla pystytään tasoittamaan lietteen laadun vaihteluita ja näin helpottamaan lietteenkäsittelyn hallittavuutta. Kemiallisessa kunnostuksessa käytetään kemikaaleina yleensä alumiini- ja rautasuoloja. Jos lietteen kuivausmenetelmänä käytetään lin-

koja, on silloin käytetyin kemikaali orgaaniset polyelektrolyytit. Kunnostuskemikaali voi aiheuttaa haitallisia päästöjä tai lisätä lämpöpintojen korroosioriskiä, mikäli käsiteltävä liete menee polttoon. (Lohiniva et al. 2001, 49–50)

Viimeisenä esikäsittelyn vaiheena on lietteen kuivaus, jossa nostetaan kuiva-ainepitoisuutta tavallisesti 5 %:sta 20–25 %:iin. Lietteiden laatu on merkittävä tekijä kuivattavuuden kannalta. Biolietteelle on ominaista, että se sisältää enemmän so-lunsisäistä nestettä kuin muut lietalajikkeet. Tästä syystä biolietteiden kuivattavuus on usein vaikeampaa kuin esimerkiksi primäärilietteiden, jotka sisältävät runsaasti kuituja. Tämä aiheuttaa myös sen, että kuivauskoneistoa valittaessa pitää huomioida mm. lietteiden laatu ja määrä. Muita huomion arvoisia asioita ovat kuivatun lietteiden kuiva-ainepitoisuus, suodosveden kiintoainepitoisuus, erotusaste ja kuivatun lietteiden kuljetuskustannukset. (Lohiniva et al. 2001, 52.)

Lietteiden kuivausmenetelmänä mekaaninen vedenerotus on yleensä varmatoiminen ja kohtuullinen investointikustannustensa suhteen. Mekaanisen vedenerotuksen avulla voidaan päästä kuiva-ainepitoisuudessa 10–40 %:iin, kun lietettä poltettaessa omassa kattilassa sallitaan 20–45 %:n kuiva-ainepitoisuus. Mekaaninen vedenerotus voidaan toteuttaa esimerkiksi linkojen avulla, jolloin kuivausprosessi perustuu keskipakovoimalla kiihdytettyyn laskeutumiseen. Tällöin kiintoaine laskeutuu pohjalle ja erotettu vesi jää sen yläpuolelle. Esimerkkinä linkotyypistä mainittakoon dekantterilinko, joka on käytössä myös tässä työssä tutkimuksen kohteena olevalla tehtaalla. Dekantterilinko on rumputyyppinen pyörivä sentrifugi, jonka toiminta perustuu raskaimpien aineksien erottumiseen keskipakovoiman vaikutuksesta. (Lohiniva et al. 2001, 52–53)

Toinen kuivaustapa on suotonauhapuristimen käyttö, joka soveltuu lähinnä sekalietteelle eli kuitu- ja biolietteiden sekoitukselle. Kyseisessä menetelmässä lietettä kuivataan ensin gravitaatiovoiman avustuksella, jolloin lietteestä poistuu vettä ja sen jälkeen lietettä puristetaan suotonauhojen välissä. Sekalietteiden kuivaukseen soveltuu myös ruuvipuristin, jossa pyörivä ruuvi puristaa lietettä sylinteriä vasten.

Tämän seurauksena vesi erottuu lietteestä puristimen seinämän reikien läpi. (Liimatainen et al. 2000, 13.)

### **4.3 Biolietteiden hyödyntäminen**

Biolietteen sijoitus kaatopaikalle on vähentynyt lainsäädännön vaikutuksesta sekä imago- ja kustannussyiden takia, joten muut sijoitusmahdollisuudet ovat nousseet tärkeämmiksi vaihtoehtoiksi. Sellutehtaan kohdalla bioliete hyödynnetään yleisimmin energiana eli polttamalla. Bioliete voidaan hyödyntää myös maanparannusaineena, kompostoimalla tai maisemoinnissa. (Ojanen 2001a, 72.) Hyödyntämistapaan vaikuttavat erilaiset tekijät. Näitä tekijöitä ovat orgaanisen aineen, ravinteiden, patogeenien, tuhkan ja raskasmetallien pitoisuudet. Jos lietettä käytetään esimerkiksi maanparannusaineena, nousee tärkeiksi tekijöiksi lietteen typpi-, fosfori- ja kaliumpitoisuudet. Jos taas lietettä käytetään energian tuottamiseen, tärkeimmät ominaisuudet ovat tuhkapitoisuus sekä kiintoainepitoisuus ja siinä erityisesti orgaanisen aineksen osuus. (Ojanen 2001b, 11.)

#### **4.3.1 Biolietteen hyödyntäminen polttamalla**

Lietteen polton tarkoituksena on lähinnä jätteen hävittäminen, ei niinkään energian tuottaminen. Bioliete omaa melko alhaisen lämpöarvon, minkä takia se on lähes merkityksetön energian tuotannon kannalta. (Tehtaan henkilöstön haastattelu). Lietteiden polttoon voidaan käyttää esimerkiksi leijukerroskattilaa, arinakattilaa tai soodakattilaa. Kaikissa kattilatyypeissä liete poltetaan yleensä yhdessä pääpolttoaineen kanssa. (Lohiniva et al. 2001, 68.)

Biolietettä poltetaan yleisimmin kuorikattilassa yhdessä kuoren ja hakkeen kanssa. Puristetun lietteen ja biomassan polttoon soveltuu parhaiten leijukerrosoltto, joka on korvannut suurelta osin arinapolton. Kuorikattilapolton onnistumisen kannalta

on tärkeää saavuttaa riittävä kuiva-ainepitoisuus ja lämpöarvo, minkä takia bioliete poltetaan kuitulietteen kanssa. Mikäli biolietteen osuus kasvaa sekalieteseoksessa, polton energiataloudellinen kannattavuus huononee. Leijukerros poltto perustuu nimensä mukaisesti kattilan pohjalla olevan hiekkakerroksen (petimateriaalin) leijuttamiseen pedin alta puhallettavan ilman avulla. Arinapolton eräässä tyyppissä, viistoarinassa, polttoaine syötetään kattilan yläosasta, minkä jälkeen palaminen tapahtuu kolmessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa eli kattilan yläosassa polttoaine kuivaa, keskiosassa tapahtuu pyrolyysi ja siitä syntyvien tuotteiden palaminen. Pyrolyysi tarkoittaa kuivatislausta eli kemiallista reaktiota, jossa orgaanisia aineita hajotetaan hapen vaikuttamatta prosessiin. Lopuksi kattilan alaosassa tapahtuu jäännöshiilen lopullinen palaminen. (Ojanen 2001b, 36–38)

Biolietteen ja kuitulietteen yhteiskäsittely voi vaikeutua biolietteen osuuden kasvaessa sekalietteessä. Tällöin on kannattavaa käsitellä bioliete omana jakeenaan, jolloin käyttökelpoinen käsittelyvaihtoehto on soodakattilapoltto. Kun bioliete aiotaan polttaa soodakattilassa, täytyy biolietteestä ensin erottaa vesi mekaanisesti ja sen jälkeen vettä haihdutetaan mustalipeähaihduttamossa. Tällä tavalla voidaan parantaa polton lämpötaloutta. Biolietteen lipeälinjakäsittelyn ensimmäisenä vaiheena on esikäsittelylaitteisto, jossa lingottu liete sekoitetaan mustalipeään ja käsitellään sopivassa lämpötilassa. Tämän vaiheen ansiosta liete sulautuu lipeään ennen varsinaista haihdutusta. Haihduttamossa nostetaan seoksen kuiva-ainepitoisuutta, minkä jälkeen se pumpataan soodakattilaan poltettavaksi. (Liimatainen et al. 2000, 80–84.) Palamisen kannalta tärkeitä tekijöitä ovat happimäärä, polttoaineen läsnäolo sekä riittävä lämpötila. Lietteen poltossa huolehditaan riittävästä happimäärästä puhaltamalla palamisilmaa, kun polttoaineen riittävyys varmistetaan syöttämällä seospolttoainetta. Sopiva lämpötila luodaan palamisilman esilämmityksellä ja polttoaineseoksella, joka omaa riittävän tehollisen lämpöarvon. (Soukka et al. 2000, 25.)

### 4.3.2 Tuhkapitoisuuden vaikutus polttoprosessiin

Kuorikattilassa bioliete poltetaan yhdessä kuitulietteen, kuoren, hakkeen ja usein myös turpeen kanssa, jolloin biolietteen ja kuitulietteen muodostaman sekalietteen osuus massavirrasta on yleensä 5-10 %. Leijukerrospolton yhteydessä haasteellisia tekijöitä ovat lietteen kosteus ja tuhkapitoisuus, jotka saattavat aiheuttaa ongelmia petilämpötilan pitämisessä oikealla tasolla. Pedin lämpötilan on oltava riittävän alhainen, jotta tuhkan pehmeneminen tai sulaminen estyy. Jos poltto ei onnistu suunnitellusti, voi kattilan kapasiteetti heiketä. (Ojanen 2001b, 36.) Arinapolton yhteydessä liian suuri tuhkapitoisuus ja sitä kautta huonompi polttoaineen laatu voivat vaikuttaa kattilahiötysuhteeseen alentamalla sitä. (Ojanen 2001b, 38.)

Kun bioliete poltetaan soodakattilassa, syötetään se yhdessä mustalipeän kanssa kattilaan. Tällöin biolietteen kuiva-aineen massavirta on 1-2 % lipeän kuiva-aineen massavirrasta. (Ojanen 2001b, 39.) Korkean tuhkapitoisuuden omaavan biolietteen poltto lisää kattilassa syntyvää tuhkamäärää ja nuohouksen tarvetta, tuhkan käsittelyä ja savukaasujen puhdistusta. (Soukka et al. 2000, 24.) Lisäksi liete vaatii rinnalleen tukipolttoaineen suuren tuhkapitoisuutensa sekä kosteutensa takia. Jos tuhkapitoisuus on suuri, saattaa se aiheuttaa kattilan kapasiteetin heikkenemistä lämpöpintojen likaantuessa sekä korroosiota. (Metsämuuronen 2006, 10.)

## 5. ERÄÄN METSÄTEOLLISUUDEN INTEGRAATIN BIOLIETTEEN TUHKAPITOISUUS

Tutkittava sellutehdas puhdistaa vuorokaudessa noin 60 480 m<sup>3</sup> jätevesiä, joista saadaan sivutuotteena noin 2 160 m<sup>3</sup> biolietettä. Tehdas puhdistaa jätevedet edellä kuvatulla aktiivilietemenetelmällä ja käsittelee biolietteen erillään primäärilietteestä. Primääriliete kuivataan suotonauhapuristimen avulla ja poltetaan ulkopuolisessa yrityksessä, kun bioliete ohjataan jätevedenpuhdistamolta tiivistykseen,



jolloin lietteen kuiva-ainepitoisuus on 0,5–1,5 %. (Ojanen 2001b, 10.) Tämän jälkeen liete kulkee polymeerin avulla suoritettavan kunnostuksen kautta kahdelle dekanterilingolle kuivattavaksi. Kuivattu liete menee haihduttamolle ja sieltä poltettavaksi tehtaan soodakattilaan yhdessä mustalipeän kanssa.

Biolietteen tuhkapitoisuus ei ole tehtaalla jatkuvan tarkkailun alla, vaan se analysoidaan tehtaalla satunnaisesti esimerkiksi erilaisia selvityksiä varten. Tehtaan laboratorion aiempien määritysten mukaan tiivistimelle menevän biolietteen tuhkapitoisuus on noin 40 %, kun tuhkapitoisuus on normaalisti 15–20 %. (Liimatainen et al. 2000, 25.) Tuhkapitoisuus on siis kaksinkertainen verrattuna normaaliin tuhkapitoisuuden tasoon. Tutkimusten tavoitteena oli löytää tuhkapitoisuutta nostavat tekijät ja mahdollisesti rajoittaa niitä, jotta saavutettaisiin normaali tuhkapitoisuuden taso. Tutkimukset suoritettiin kesällä 2008 käyttäen tukena tehtaalla tehtyjä aiempia biolietetutkimuksia.

## 5.1 Tutkimusmenetelmä

Tutkittavan tehdasintegraatin tuhkapitoisuus oli aiemmin määritetty haihdutus/hehkutus-menetelmällä standardin SFS 3008 mukaan, joten myös tutkimukset päätettiin tehdä samaa menetelmää käyttäen vertailtavuuden takia. Haihdutus/hehkutus-menetelmässä 50 ml:n näytteestä ensin haihdutetaan vesi pois. Tämän jälkeen näyte hehkutetaan kahdessa eri lämpötilassa. Ensimmäisessä hehkutuksessa lämpötila on 600 °C, jolloin näytteestä poistuu orgaaninen aines. Seuraava hehkutus tehdään noin 800 °C:ssa, jotta lietteen mahdollisesti sisältämät karbonaatit hajoavat. Edellä kuvailtu analyysi toistettiin kahden viikon välein tiivistimelle menevästä biolietteestä, jolloin tuloksia saatiin yhteensä kahdeksasta liete-näytteestä.

Haihdutus/hehkutus-menetelmän lisäksi tutkimuksissa tehtiin yhdelle lietenäytteelle suolahappokoe, jossa bioliete ensin suodatettiin ja tuhkattiin. Lopuksi näyte

hapotettiin suolahapolla. Kokeen avulla kyettiin tunnistamaan silmämääräisesti karbonaatit. Kokeen yhteydessä kuitenkin todettiin, ettei menetelmä ole tarpeeksi luotettava karbonaatin toteamiseen.

Haihdutus/hehkutus-menetelmällä analysoitiin tuhkapitoisuus myös valkaisulinjan ja lipeälinjan jätevesinäytteistä. Näin saatiin lisätietoa suurimpien jätevesimäärien lähteiden vaikutuksesta tuhkapitoisuuteen.

## 5.2 Mittaustulokset

Haihdutus/hehkutus-menetelmän eri vaiheet ja lietteen käyttäytyminen tutkimuksessa käyvät ilmi kuvista 3-9.



**Kuva 3.** Bioliete ennen haihdutusta.



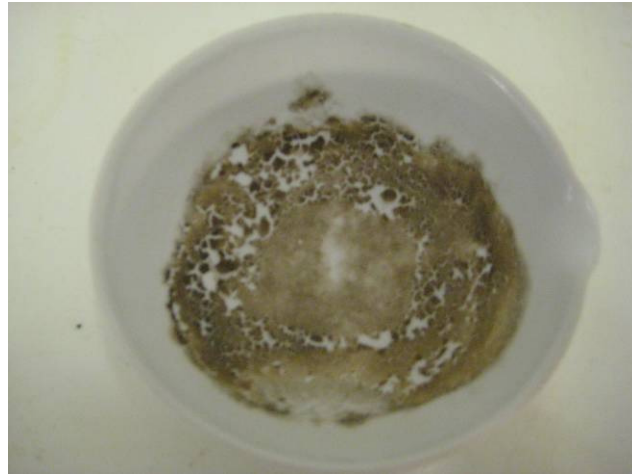
**Kuva 4.** Bioliete haihdutuksen jälkeen.



**Kuva 5.** Lingoille menevä bioliete 600 °C:n hehkutuksen jälkeen.



**Kuva 6.** Lingoille menevä bioliete 800 °C:n hehkutuksen jälkeen.



**Kuva 7.** Lingoille menevä, kostutettu biolietenäyte 800 °C:n hehkutuksen jälkeen..



**Kuva 8.** Ensimmäisen lingon jälkeisen biolietteen hehkutusjäännös 800 °C:n jälkeen.



**Kuva 9.** Toisen lingon jälkeisen biolietteen hehkutusjäännös 800 °C:n jälkeen.

Biolietteen tuhkapitoisuudeksi saatiin tutkimusten aikana taulukon 4 osoittamat tulokset. Huomattavaa tuloksissa on se, että tuhkapitoisuus pienenee 800 °C:n hehkutuksessa vain joillakin prosenteilla 600 °C:n hehkutukseen verrattuna. Saa-  
 duista tuloksista nähdään myös se, että lietteen tuhkapitoisuudet kasvoivat tutki-  
 musten edetessä. Kaiken kaikkiaan tuhkapitoisuus vaihteli välillä 39,7–47,3 %,  
 joten vaihtelu oli suurta. Tämä selittyy osaksi sillä, että tehtaan ajotilanne muuttui  
 tutkimusten aikana ja samalla jätevesimäärät vaihtelivat ja jätevesipäästöjen koos-  
 tumuksessa tapahtui muutoksia eli eri osastoilta tulevien jätevesien määrät vaihte-  
 livat. Tuhkapitoisuuteen mahdollisesti vaikuttavia tekijöitä ovat siis jätevesien  
 koostumus (erilaiset tuotannon ajoparametrit, mahdolliset poikkeustilanteet) sekä  
 jätevesien määrä. Myös se vaikuttaa, onko kyseessä sellu- vai paperitehdas, sillä  
 paperitehtaan lietteiden tuhkapitoisuus on yleensä korkeampi kuin sellutehtaalla.  
 Edellä mainituilla syillä ei kuitenkaan voida kokonaan selittää tuhkapitoisuuden  
 nousun tasaisuutta. Tasaisen kasvun on saattanut aiheuttaa esimerkiksi se, että  
 epäorgaaninen aines jää yksinkertaisesti pyörimään lietekiertoon poistuessaan  
 suodoksen mukana lietteen käsittelystä. Tämä siis tarkoittaa epäorgaanisen ainek-  
 sen osuuden jatkuvaa kasvua lietekierrrossa ja biolietteessä.

**Taulukko 4.** Biolietteen tuhkapitoisuus tutkittavassa tehdasintegraatissa.

Näyte	Tuhkapitoisuus-% 600 °C	Tuhkapitoisuus-% 800 °C
1	39,7	-
2	40,4	32,0
3	43,9	-
4	44,7	36,5
5	40,1	31,4
6	44,8	34,7
7	47,3	38,3
8	47,0	40,2

Analyysien yhteydessä todettiin, että näytteeseen jäi hehkutuksen jälkeen mustaa ainesta (kuvat 5 ja 6), jota epäiltiin palamattomaksi hiileksi. Tämän takia näyte kostutettiin vedellä, minkä jälkeen musta aines hävisi (kuva 7). Tämän testin jälkeen näytteen paino oli vain kymmenesosia pienempi kuin ennen kostutusta, mistä voitiin päätellä, ettei palamattoman hiilen osuus ollut merkittävä.

Tuhkapitoisuusanalyysien lisäksi yhdestä lietenäytteestä analysoitiin metallit ja saadut tulokset käyvät ilmi taulukosta 5. Listan alkuaineista metalleja ovat kalium, natrium, kalsium, magnesium, sinkki, alumiini, barium, kromi, kupari, rauta ja nikkeli. Kyseisten analyysien tavoitteena oli selvittää, olisiko jonkin metallin osuus tavanomaista suurempi ja voisi näin selittää poikkeuksellisen suuren epäorgaanisen aineen osuuden lietteessä. Metallianalyysit tehtiin yhdestä näytteestä, jonka tuhkapitoisuus oli 47 % 600 °C:n hehkutuksen jälkeen. Käytetyt analyysimenetelmät olivat natriumin ja kaliumin kohdalla FAAS-tekniikka ja muiden metallien kohdalla ICP-tekniikka. FAAS- eli liekkitekniikassa näyte syötetään kuumaan liekkiin, jossa näytteen sisältämät metallit atomisoituvat. (Katholieke Universiteit Leuven 2002). ICP-tekniikka taas perustuu magneettikentän muutoksiin: laite tuottaa plasmaa, jonka kaasussa atomit ovat ionisoituneessa muodossa. Tämän seurauksena tietyt metallit lähettävät tietyllä aallonpituudella erityistä valoa, joka voidaan mitata. (Bradford 1997)

**Taulukko 5.** Biolietteelle tehdyn metallianalyysin tulokset.

	Tuhka 600 °C [g/kg tuhkaa]	Tuhka 800 °C [g/kg tuhkaa]
Natrium (Na)	240	210
Alumiini (Al)	4,1	4,8
Barium (Ba)	0,6	0,7
Kalsium (Ca)	66	78
Kromi (Cr)	0,07	0,08
Kupari (Cu)	0,03	0,14
Rauta (Fe)	3,9	4,6
Kalium (K)	15	9,4
Magnesium (Mg)	16	19
Mangaani (Mn)	7,5	8,8
Nikkeli (Ni)	0,05	0,07
Fosfori (P)	11	13
Rikki (S)	130	150
Pii (Si)	24	29
Titaani (Ti)	0,16	0,19
Sinkki (Zn)	0,29	0,37

Edellä olevien tulosten perusteella merkittävimmät metallit ovat natrium, kalsium, sinkki, magnesium, kalium ja fosfori. Natriumin kohdalla ei voida nimetä yksittäisiä lähteitä, sillä sitä tulee kaikkialta, missä vaan on putkistoja. Kalsium voi olla peräisin puunkäsittelystä ja valkaisuusta, samoin sinkki ja magnesium. Kalium on lähes yksinomaan peräisin puusta. Muita kaliumin lähteitä ovat raakavesi, make-up NaOH (natriumhydroksidi) sekä make-up kalkki. Make-up kalkki (tai vastavasti NaOH) tarkoittaa korvauskalkin lisäämistä kiertoon, jotta tarpeellinen kalkkimäärä saavutetaan. Fosfori voi olla lähtöisin valkaisuusta, kaustisoinnista tai puunkäsittelystä. (Tehtaan henkilöstön haastattelu)

Tutkimuksissa suoritettiin myös tuhkapitoisuustutkimukset seuraaville näytteille: kuivattu eli lingottu liete sekä valkaisu- ja lipeälinjan jätevedet. Valkaisu- ja li-

peälinjan jätevesien tuhkapitoisuustulokset ilmenevät taulukosta 6. Valkaisun happamien ja alkalisten jätevesien kohdalla tuhkapitoisuus pieneni useammalla kymmenellä prosentilla hehkutusten aikana, joten kyseisen osaston jätevedet sisälsivät runsaasti orgaanista ainesta ja epäorgaanisen aineksen suhteellinen osuus ei ole merkittävä tuhkapitoisuutta kasvattavana tekijänä. Lipeälinjan jäteveden tuhkapitoisuus pysyi suhteellisen suurena hehkutusten aikana, joten epäorgaanisen aineksen osuus on suhteellisen suuri kyseisen osaston jätevesissä. Aiemmin kuitenkin todettiin, että valkaisu- ja lipeälinjan jätevesistä. Tutkitun tehtaan kohdalla lipeälinjan jätevesipäästöt ovat vain 6 %:n luokkaa kokonaisjätevesipäästöistä, joten valkaisu on todellisuudessa suurempi tuhkapitoisuutta kasvattava tekijä kuin lipeälinja.

**Taulukko 6.** Valkaisu- ja lipeälinjan jätevesien sisältämän kuiva-aineen tuhkapitoisuudet.

	Valkaisu hapan, tuhka, %	Valkaisu alkalinen, tuhka, %	Lipeä hapan, tuhka, %	Lipeä alkalinen, tuhka, %
<b>600 °C hehkutus</b>	56,6	59,2	79,3	94,0
<b>800 °C hehkutus</b>	26,4	33,5	58,2	87,4

Lingotun lietteen tuhkapitoisuuden analyysitulokset selviävät taulukosta 7, johon on liitetty myös samana päivänä analysoidun esikäsittelyyn menevän lietteen tuhkapitoisuus. Molempien linkojen hehkusjäännökset näkyvät kuvissa 8 ja 9. Eroa lingoille menevien ja lingoilta tulevien (eli kuivattujen) lietenäytteiden tuhkapitoisuuksien välillä on huomattavasti, useita kymmeniä prosentteja. Tuloksista voidaan päätellä, että lietteen kuivauksen yhteydessä poistuu lietteen sisältämästä epäorgaanisesta aineksesta suuri osa suodoksen mukana takaisin jäteveden puhdistusprosessiin. Näin ollen soodakattilalle menevän biolietteen tuhkapitoisuus on normaaleissa rajoissa eli välillä 5-20 %.



**Taulukko 7.** Lingotun lietteen ja esikäsitteilyyn menevän lietteen tulokset samalta päivältä.

	<b>Tiivistimelle menevä liete, tuhka, %</b>	<b>Lingottu eli kuivattu liete, Tuhka %</b>
<b>600 °C hehkutus</b>	47,3	14,5
<b>800 °C hehkutus</b>	38,3	14,3

Suolahappokokeen yhteydessä todettiin, että näyte ei reagoanut mitenkään suolahapon kanssa. Esikäsiteltäväksi menevä liete ei siis sisältänyt karbonaattia. Silmäääräinen tulos varmistettiin vielä lisäämällä näytteeseen karbonaattia ja suorittamalla suolahappokoe uudelleen, jolloin näyte reagoi silmin havaittavalla tavalla suolahapon kanssa. Havaittiin siis selvä ero alkuperäiseen näytteeseen, mikä varmisti sen, ettei karbonaatti aiheuta korkeaa tuhkapitoisuutta.

Edellä mainittujen tulosten lisäksi tutkimuksissa tehtiin eräs suhteellisen merkittävä huomio. Saman selluteollisuuden yrityksen tehdasintegraattien väliltä löytyi eroavaisuuksia analyysimenetelmien suhteen, minkä takia eri tehtaiden saamia tuloksia ei voitu verrata keskenään.

### **5.3 Johtopäätökset**

Tutkimusten tavoitetta ei saavutettu eli yksittäisiä korkean tuhkapitoisuuden aiheuttavia tekijöitä ei löydetty. Tehtyjen tutkimusten tai metallianalyysien perusteella ei voitu päätellä, mikä metalli tai toisaalta mikä tuotantoprosessin osa nostaa tehtaassa biolietteen tuhkapitoisuutta. Jotta tavoitteeseen olisi päästy, olisi täytynyt mm. toteuttaa laajempia tutkimuksia eri osastojen jätevesistä. Tärkeä löytö itse lietteen polton kannalta oli se, ettei soodakattilalle päädy tavallista suurempaa tuhkakkuormaa. Asian kääntopuolena oli kuitenkin se, että aktiivilieteprosessin kiertoon palautuu suurehko osuus epäorgaanisesta aineksesta. Tästä voisi päätellä sen, että epäorgaanisen aineksen määrä lisääntyy jatkuvasti aktiivilietekierrossa.

Biolietteen sisältämän epäorgaanisen aineksen osuus määritetään yleensä ilmastuksen tai tiivistyksen jälkeisestä lietteestä (riippuu tehtaan omista tarpeista) ja tämä antaakin puhdistamon kannalta hyvää tietoa. Jos halutaan tietää soodakattilalle päätyvän tuhkan määrä, tulisi analyysit tehdä vasta linkojen jälkeisestä lietteestä. Todellisuutta kuvaisi paremmin se, että näytteet otettaisiin vasta kuivauksen jälkeen.

## 6. YHTEENVETO

Erään sellutehdasintegraatin tuhkapitoisuus oli 40 %:n tietämällä tehtaalla tehtyjen aikaisempien määritysten mukaan, joten epäorgaanisen aineksen osuus poikkesi normaalista 15–20 %:n tuhkapitoisuudesta. Korkea tuhkapitoisuus saattaa vaikuttaa mm. heikentävästi soodakattilan polttoon. Toisaalta vaikutukset saattavat heijastua myös jätevedenpuhdistamoon kiertoon lisääntyvänä epäorgaanisena aineksena ja tämän takia kesän 2008 aikana suoritettiin tuhkapitoisuustutkimukset biolietteelle. Tutkimusmenetelmänä käytettiin haihdutus/hehkutus-menetelmää, jonka mukaan tuhkapitoisuus vaihteli tutkimusten aikana välillä 39,7–47,3 % ja tuloksissa oli havaittavissa nouseva trendi. Tämä tarkoittaisi sitä, että puhdistamon kierrossa lisääntyy epäorgaanisen aineksen määrä. Biolietteelle tehdyssä metallianalyysissä merkittävimmiten metalleiksi osoittautuivat natrium, kalsium, magnesium ja fosfori.

Valkaisu- ja lipeälinjan jätevesille suoritettujen tuhkapitoisuusanalyysien mukaan lipeälinjan jätevesissä on korkeampi tuhkapitoisuuden suhteellinen osuus verrattuna valkaisun jätevesiin. Todellisuudessa valkaisun jätevedet muodostavat suurimman osan puhdistamolle ohjattavista jätevesistä, joten valkaisu on todennäköisempi tuhkapitoisuuden aiheuttaja. Yksittäistä tekijää ei kuitenkaan voitu osoittaa lietteelle ja jätevesille tehdyistä tutkimuksista huolimatta. Tutkimuksissa todettiin, ettei biolietteen tai lipeälinjan jätevesien korkeaa tuhkapitoisuutta aiheuta meesa.

Tutkimusten aikana suoritettiin tuhkapitoisuusanalyysi yhdelle näytteelle, joka otettiin kuivatusta biolietteestä. Saadut tulokset antoivat tärkeää tietoa lietteen polton kannalta: soodakattilalle ei päädy tavallista suurempaa tuhakuormaa, vaan merkittävä osa epäorgaanisesta aineksesta päätyy kuivauksen jälkeen suodosveden mukana takaisin jäteveden puhdistukseen. Toisaalta tämä tarkoittaa jäteveden puhdistusprosessin kannalta sitä, että epäorgaanisen aineksen määrä lisääntyy puhdistamon kierrossa jatkuvasti.

## LÄHTEET

Bradford Traci, Cook M. Nicole. Inductively Coupled Plasma (ICP). [verkkojulkaisu]. 22.12.1997. [Viitattu 21.11.2008]. Saatavissa: <http://www.cee.vt.edu/ewr/environmental/teach/smprimer/icp/icp.html>

Jätelaki 1072/1993

Jätteenpolttodirektiivi 2000/76/EY

Kaatopaikkadirektiivi 1999/31/EY

Katholieke Universiteit Leuven. 2002. Flame Atomic Absorption Spectroscopy. [verkkojulkaisu]. 18.1.2002. [Viitattu 21.11.2008]. Saatavissa: <http://www.mtm.kuleuven.be/Research/Equipment/Chemical/FAAS.html>

Laki eräistä naapuruussuhteista 26/1920

Lannoitevalmistelaki 539/2006

Lietedirektiivi 1986/278/EEC

Liimatainen Pasi et al. 2000. Metsäteollisuuden jätevedenpuhdistamon lietteiden vaihtoehtoiset käsittelymenetelmät. Tutkimusraportti. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu: Energiatekniikan osasto. 152 s.

Lohiniva Elina, Mäkinen Tuula, Sipilä Kai. 2001. Lietteiden käsittely, uudet ja käytössä olevat tekniikat. Espoo: Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus. 146 s. ISBN 951-38-5795-6.

Metsämuuronen Niko. 2006. Sellutehtaan lietteiden termokemiallinen prosessointi. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto: Energiatekniikan osasto. 111 s.

Metsäteollisuus ry. Suomen metsäteollisuus vuonna 2007. [verkkajulkaisu]. 19.5.2008. [Viitattu 26.1.2008]. Saatavissa: [www.metsateollisuus.fi/tilastopalvelu/TilastokuviotVanhat/Perustietoa/Julkinen-FI/a10SuomenMetsateollisuus.ppt](http://www.metsateollisuus.fi/tilastopalvelu/TilastokuviotVanhat/Perustietoa/Julkinen-FI/a10SuomenMetsateollisuus.ppt)

Miettinen Esa. 2008. Lietteenkäsittelyn toimintaan vaikuttavien muutosten hallinta. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto: Energia- ja ympäristötekniikan osasto. 91 s.

Ojanen Pekka. 2001a. Metsäteollisuuslaitosten jätevedenpuhdistuksen vaihtoehdot sekä niiden toimintaan ja energiankulutukseen vaikuttavat tekijät. Alueelliset ympäristöjulkaisut, Kaakkois-Suomen ympäristökeskus. s. 86. ISBN 952-11-0791-X

Ojanen Pekka. 2001b. Sellu- ja paperitehtaiden lietteiden käsittely ja hyötykäyttö sekä niitä rajoittavat tekijät. Alueelliset ympäristöjulkaisut, Kaakkois-Suomen ympäristökeskus. s. 64. ISBN 952-11-2153-X (PDF).

Puhakka Jaakko, Alavakeri Matti. 1989. Sellutehtaan lietteiden anaerobikäsittelyn ja sen vaikutukset lietteen kuivattavuuteen. Tampereen teknillinen yliopisto: Rakenustekniikan osasto. 127 s.

Räsänen Juha et al. 1999. Metsäteollisuuden merkittävimpien sivuainevirtojen tarkastelu hyötykäytön kannalta. Tutkimusraportti. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu: Energiatekniikan osasto. 130 s.

SFS 3008. 1990. Veden, lietteen ja sedimentin kuiva-aineen ja hehkutusjäännöksen määrittäminen. 2. painos. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS. 3 s.

Soukka Risto et al. 2000. Materiaalivirrat ja energiankäyttö metsäteollisuusintegraatissa ja niihin liittyvät toimintastrategiat ympäristövaikutuslähtökohtaisesti. Loppuraportti. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu: Energiatekniikan osasto. 46 s.

Suomen ympäristökeskus. Teollisuuden päästöt vesistöön vuonna 2006. [verkkopublication]. 26.9.2007. [Viitattu 9.6.2008]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=21635&lan=fi>

Suomen ympäristökeskus. Teollisuuden päästöt vesistöön vuonna 2007. [verkkopublication]. 29.10.2008. [Viitattu 26.1.2009]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=23373&lan=fi>

Tehtaan henkilöstön haastattelu.

Terveysuojelulaki 763/1994

Valtioneuvoston päätös puhdistamolietteen käytöstä maanviljelyksessä 282/1994

Valtioneuvoston päätös yleisestä viemäristä ja eräiltä teollisuudenaloilta vesiin johdettavien jätevesien sekä teollisuudesta yleiseen viemäriin johdettavien jätevesien käsittelystä 365/1994

Valtonen Marja. 2005. Yhdyskuntajätevesien yhteispuhdistus sellu- ja paperitehtaan aktiivilietelaitoksella. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto: Energia- ja ympäristötekniikan osasto. 109 s.

Vesi- ja viemäriulaitosyhdistys. Ajankohtaista lietteestä: lietedirektiivin uusiminen. [verkkopublication]. [viitattu 21.11.2008]. Saatavissa: [http://www.vvy.fi/index.phtml?146\\_m=250&s=104](http://www.vvy.fi/index.phtml?146_m=250&s=104)

Ympäristöministeriö. Ehdotus kansalliseksi biojätestrategiaksi on valmistunut. [verkkojulkaisu]. 25.4.2003. [viitattu 21.11.2008]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=14819&lan=FI>

Ympäristöministeriö. Biohajoavaa jätettä koskeva strategia. [verkkojulkaisu]. 2.12.2004. [viitattu 21.11.2008]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=27183&lan=SV>

Ympäristönsuojeluasetus 169/2000

Ympäristönsuojelulaki 86/2000