

# Kuitulietteen ja lentotuhkan hyödyntämismahdollisuudet

Mikko Seppänen

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2015

Paperikoneteknologian koulutusohjelma  
Tekniikan ala





Tekijä(t) Seppänen Mikko	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 29.05.2015
	Sivumäärä 46	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty:
Työn nimi <b>Kuitulietteen ja lentotuhkan hyödyntämismahdollisuudet</b>		
Koulutusohjelma Paperikoneteknologian koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Kurki Matti, Leppä-aho Jaakko		
Toimeksiantaja(t) Stora Enso Oyj, Varkauden tehtaot		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Stora Enso Oyj:n Varkauden tehtaiden kuitulietteiden ja lentotuhkan hyödyntämismahdollisuuksia. Teoriaosuuden ja kokeellisen tutkimuksen perusteella Varkauden tehtaalle saataisiin selkeä kuva kuitulietteiden ja tuhkien ominaisuuksista.</p> <p>Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään metsäteollisuuden jätteiden tuottoa, kuitulietteitä ja tuhkia sekä niiden ominaisuuksia. Teoriaosuudessa perehdytään myös lainsäädäntöön, joka vaikuttaa tulevaisuudessa kuitulietteen käsittelyyn. Osuuden lopussa käsitellään Varkauden tehtaiden jätevedenpuhdistamon toimintaa.</p> <p>Opinnäytetyön tutkimusosuudessa kuitulietteistä valmistettiin arkkeja, joiden avulla kuitulietteen ominaisuuksia pyrittiin selvittämään. Tutkimuksessa käytetyt kuitulietteet saapuivat Varkauden tehtaailta. Saatuja tuloksia vertailtiin paperikuidusta valmistettujen arkkien ominaisuuksiin.</p> <p>Tutkimuksen tuloksista saatiin selville sekoittamisen vaikutus kuitulietearkkien loppulujuuteen sekä kuitulietteen käyttäytyminen arkin kuivauksen aikana. Kuitulietteilä on hyviä lujuusominaisuuksia, joita voitaisiin hyödyntää tulevaisuudessa kertakäyttöluonteisissa paperituotteissa.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) Kuituliete, lentotuhka, metsäteollisuus		
Muut tiedot		



Author(s) Seppänen, Mikko	Type of publication Bachelor's thesis	Date 29.05.2015
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 46	Permission for web publication:
Title of publication <b>The potential of using fiber sludge and fly ash</b>		
Degree programme Degree Programme in Paper Machine Technology		
Tutor(s) Kurki, Matti, Leppä-aho, Jaakko		
Assigned by Stora Enso Ltd, Varkaus Mill		
Abstract <p>The aim of this thesis was to determine the possibilities of using fiber sludge and fly ash at Stora Enso Varkaus Mill. The theoretical part and the experimental part gives Varkaus Mill a clear review on the properties of fiber sludge and ashes for the future.</p> <p>The theoretical part of the thesis deals with the forest industry waste, fiber sludge and ashes, as well as their properties. The theoretical part focuses also on the legislation that affects the future of fiber sludge. The end of the theoretical part describes how the waste water treatment plant in Varkaus Mill is working.</p> <p>The experimental part of the thesis explains how fiber sludge was used to prepare sheets, which are used to study the properties of fiber sludge. Fiber sludge used in research were from the Varkaus Mill. The results that were obtained were compared with sheets made of paper fibers.</p> <p>The study revealed how mixing affects the strength properties of the fiber sludge and fiber sludge behavior during the sheet drying process. Fiber sludge has good strength properties, which could be used in disposable paper products in the future.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> )  fiber sludge, fly ash, forest industry		
Miscellaneous		

## Sisältö

Johdanto .....	4
1 Stora Enso .....	5
1.1 Varkauden tehtaot .....	5
2 Metsäteollisuus ja ympäristö .....	6
3 Jätelainsäädäntö .....	8
3.1 Kaatopaikkadirektiivi .....	10
3.2 Euroopan unionin jätedirektiivi .....	11
3.3 Jäteverolaki .....	12
4 Tuhkat .....	13
4.1 Tuhkien ominaisuudet .....	14
4.2 Lentotuhkan rakeisuus .....	15
4.3 Optimivesipitoisuus ja tiheys .....	16
4.4 Kitkakulma, koheesio ja hehkutushäviö .....	16
4.5 Vedenläpäisevyys ja lämmönjohtavuus .....	17
4.6 Lentotuhkan lujittumisominaisuudet .....	17
4.7 Lentotuhkan käsittely .....	18
4.8 Lentotuhkan varastointi .....	18
4.9 Työturvallisuus .....	19
5 Metsäteollisuuden lietteet .....	19
5.1 Lietteiden muodostuminen .....	21
5.2 Lietteiden hyötykäyttö .....	23
5.3 Tutkimus kuitulietteistä .....	25
6 Lietteiden käsittely Varkaudessa .....	27
8 Tutkimusosa .....	32
8.1 Alkutilanne ja tavoite .....	32
8.2 Kuitulietemassan valmistus .....	32
8.3 Paperimassan valmistus .....	33
8.4 Arkkien valmistus .....	34
9 Kuivauskokeet .....	35
10 Vetokokeet .....	36

10.1	Vetokokeet 1.....	37
10.2	Vetokokeet 2.....	40
11	Pohdinta .....	43
	Lähteet.....	45

## Taulukot

Taulukko 1.	Erialaisten jätteiden biohajoavuuden arvoja .....	11
Taulukko 2.	Tuhkien muodostuminen eri polttoprosessityypeillä.....	14
Taulukko 3.	Tuhkien tyypillisiä geoteknisiä ominaisuuksia.....	15
Taulukko 4.	Massa- ja paperiteollisuuden jätteet Suomessa 2013 .....	20
Taulukko 5.	Massa- ja paperiteollisuuden jätteet Suomessa 2012 .....	20
Taulukko 6.	Erialaisten lietteiden ominaisuuksia.....	23
Taulukko 7.	Metsäteollisuuden lietteiden käyttökohteet Suomessa 2009 ja 2010.....	25
Taulukko 8.	Kuitulietteiden ominaisuuksia eri tehtailta .....	26
Taulukko 9.	Valmistettujen arkkien ominaisuuksia .....	26

## Kuviot

Kuvio 1.	Metsäteollisuuden investoinnit ja käyttökustannukset ympäristönsuojelussa 2004-2013 .....	6
Kuvio 2.	Metsäteollisuuden ravinnepäästöt vesistöihin tuotantomääriin verrattuna ..	7
Kuvio 3.	Paperin ja kartongin tuotannosta syntyvän jätteen määrä Suomessa .....	7
Kuvio 4.	EU:n jätedirektiiviin perustuva etusijajärjestys.....	9
Kuvio 5.	Lietteiden tuotto ja käsittely Suomessa .....	10
Kuvio 6.	Materiaalien kuivairtoteiheyksiä.....	16
Kuvio 7.	Materiaalien lämmönjohtavuuksia .....	17
Kuvio 8.	Jäteveden käsittelyprosessi.....	27
Kuvio 9.	Lietteen kulku loppusijoitukseen Varkaudessa .....	28
Kuvio 12.	Kuitulietemassa magneettisekoittimessa .....	33
Kuvio 13.	Kuitulietemassa arkkiensuunnittelussa .....	34
Kuvio 14.	Kuivauskokeiden tuloksia kolmella eri testiarkilla. ....	36
Kuvio 15.	Vetokokeissa käytetty vetolaite. ....	37
Kuvio 16.	Vetokokeissa olleiden luiskien murtopiste. ....	38
Kuvio 17.	Vetokokeiden venymät. ....	39
Kuvio 18.	Vetokokeissa olleiden arkkien lujuusindeksit. ....	39
Kuvio 19.	Kuitulieteluisikat eksikaattorissa.....	41
Kuvio 20.	Vetokokeiden maksimivoimat murtopisteessä.....	41
Kuvio 21.	Vetokokeiden venymät. ....	42
Kuvio 22.	Vetokokeiden lujuusindeksi. ....	42



## Johdanto

Metsäteollisuus on jatkuvasti kehittyvä teollisuuden haara ympäri maailmaa. Nykyään toimintalinjat pyritään optimoimaan mahdollisimman tuottaviksi sekä raaka-aineiden kulutus minimoidaan, jotta paras mahdollinen hyötysuhde saadaan tuotteista irti. Tässä opinnäytetyössä perehdytään paperi- ja sellutehtaissa syntyviin jätteisiin ja niiden hyötykäyttöön. Toimeksiantajana opinnäytetyössä toimii Stora Enso Oyj, Varkauden tehtaas.

Kuitulietteiden ja lentotuhkien hyödyntäminen tulee ajankohtaiseksi vuonna 2016, jolloin astuu voimaan orgaanisen aineen kaatopaikkakielto. Tällöin esimerkiksi kuitulietettä ei enää saisi kaatopaikoille sijoittaa. Nykyään kuituliete sijoitetaan kaatopaikoille, poltetaan energiana tai hyödynnetään maanrakennuksessa.

Opinnäytetyössä tutkitaan paperi- ja sellutehtaiden jätteistä kuitulietettä sekä lentotuhkaa, joista on tehty aikaisempia tutkimuksia esimerkiksi liittyen maanrakennusalaan ja lannoitteiden tuottamiseen. Opinnäytetyössä käydään läpi lakiasetuksia, jotka vaikuttavat metsäteollisuudessa syntyviin jätteisiin. Tutkimuksessa perehdytään tarkemmin kuitulietteen lujuusominaisuuksiin arkkikokeiden avulla.

Opinnäytetyön tavoitteena on antaa Stora Enson Varkauden tehtaalle tutkimustietoa kuitulietteistä ja lentotuhkista teoriassa sekä käytännön kokeiden avulla. Kokeellisia tuloksia voidaan myöhemmin hyödyntää jatkotutkimuksissa tai mahdollisesti jätteiden hyödyntämisessä.

# 1 Stora Enso

Stora Enso toimii yli 35 maassa ja sen palveluksessa on noin 28 000 henkilöä. Konserni valmistaa paperi-, biomateriaali-, puutuote- ja pakkausteollisuuden tuotteita keskittyen ympäristöystävällisiin ja innovatiivisiin ratkaisuihin. Vuosittainen tuotantokapasiteetti on 5,4 miljoonaa tonnia kemiallista sellua, 11,7 miljoonaa tonnia paperia ja kartonkia, 1,3 miljardia neliometriä aaltopahvia ja 5,6 miljoonaa kuutiometriä puutuotteita. Vuonna 2013 konsernin liikevaihto oli 10,5 miljardia euroa, josta operatiivinen liikevoitto oli 578 miljoonaa euroa. Suomessa Stora Enson yksiköissä työskentelee noin 6950 työntekijää 17:llä eri paikkakunnalla. Uusiutuvien raaka-aineiden kehittäminen ja hyödyntäminen ovat konsernin tavoitteita vastata maailmanlaajuisiin raaka-aineisiin liittyviin haasteisiin. (Stora Enso lyhyesti n.d.)

## 1.1 Varkauden tehtaot

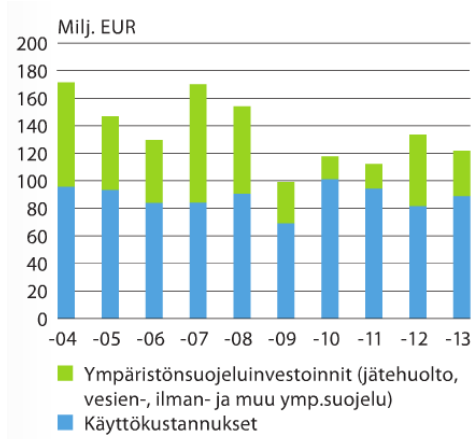
Varkauden tehtaot sijaitsevat Pohjois-Savossa suurten metsävarantojen keskellä. Metsäteollisuuden harjoittaminen aloitettiin Varkaudessa jo 1830-luvulla, jolloin sinne perustettiin ensimmäisen saha. Vuonna 1921 Varkaudessa käynnistyi ensimmäinen sanomalehtipaperikone A. Ahlström Oy:n toimesta ja vuoteen 1977 mennessä siellä oli toiminnassa neljä paperikonetta. A. Ahlström Oy myi metsäteollisuutensa Varkaudesta vuonna 1987 Enso-Gutzeitille, joka sitten vuonna 1998 fuusioitui ruotsalaisen Storan kanssa. (Jääskeläinen & Lovio 2003, 14, 22, 30, 44.)

Nykyään Varkaudessa on toiminnassa paperikone, sellutehdas ja saha. Työntekijöitä tehtailla on noin 260. Tehtaiden tuotteita ovat hienopaperi, valkaistu havu- ja koivusellu sekä sahatuotteet rakennusteollisuuteen. Vuoden 2015 aikana Varkauden tehtailla tehdään muutostöitä, joiden vaikutuksesta PK3 muunnetaan tuottamaan aaltopahvin raaka-ainetta. Muutostyö vaikuttaa myös sellutehtaan toimintaan, joka alkaa valmistaa nykyisen valkaistun sellun sijasta valkaisematonta pitkäkuitusellua. (Nurmi & Lötjönen 2014)



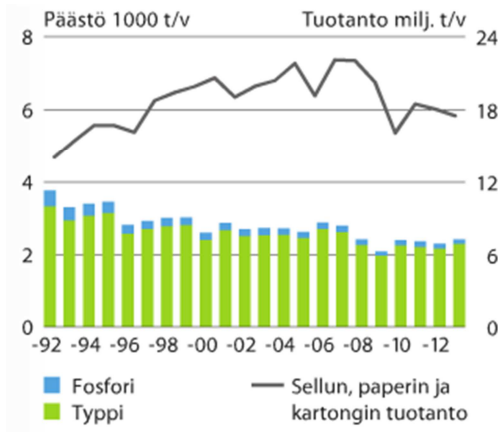
## 2 Metsäteollisuus ja ympäristö

Ympäristönsuojelu ja kustannustehokkuus ovat nykyään metsäteollisuuden päämääriä. Metsäteollisuuden kiinnostus ympäristöasioihin näkyy useina teetettyinä ympäristöselvityksinä vuosittain. Se on mukana UUMA2 – hankkeessa, jonka päämääränä on uusiomateriaalien käyttö maarakentamisessa esimerkiksi kuitulietteen ja lentotuhkien osalta. Metsäteollisuus investoi ympäristönsuojeluun runsaasti varoja vuosittain. Vuodesta 2004 asti ympäristönsuojeluun on käytetty yli 100 miljoonaa euroa joka vuosi. Esimerkiksi 2013 ympäristönsuojeluun käytettiin 122 miljoonaa euroa, joista ympäristönsuojeluinvestointien osuus oli 33 miljoonaa euroa ja käyttökustannusten osuus 89 miljoonaa euroa. Käyttökustannusten suuri osuus syntyy jätehuollosta, jätevedenpuhdistamoiden käytöstä sekä vesistöjen tarkkailuista. Nämä seikat ovat merkittävimpiä ympäristönsuojelun vaikutuskeinoja. (Metsäteollisuuden ympäristötilastot 2014, 5.)



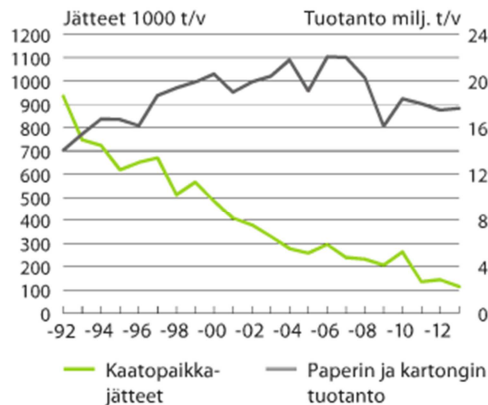
**Kuvio 1. Metsäteollisuuden investoinnit ja käyttökustannukset ympäristönsuojelussa 2004-2013. (Metsäteollisuuden ympäristötilastot 2014, 5.)**

Kasvaneen ympäristönsuojelun ansiosta massa- ja paperiteollisuuden päästöt eivät ole nousseet tuotantomäärien kasvaessa. Esimerkiksi päästöjen pienentämistä pyritään edes auttamaan vähentämällä päästöjä aiheuttavia häiriöitä tuotantoketjuissa. Vuodesta 1992 typpipäästöt ovat vähentyneet 50% ja fosforipäästöt 77% tuotettua tonnia kohden. Näihin päästöihin ovat merkittävimmin vaikuttaneet 90-luvun alusta alkaneet investoinnit jätevedenpuhdistamoihin. (Metsäteollisuuden ympäristötilastot 2014, 7.)



Kuvio 2. Metsäteollisuuden ravinnepäästöt vesistöihin tuotantomääriin verrattuna. (Metsäteollisuuden ympäristötilastot 2014, 7.)

Tuotannossa syntyvän jätteen määrä pysyy vähäisenä raaka-aineiden mahdollisimman tarkan hyödyntämisen ansiosta. Jätteiden alhainen määrä parantaa resurssitehokkuutta ja kaatopaikalle sijoitettavan jätteiden määrä vähentyy pitkällä aikavälillä murto-osaan. Metsäteollisuudessa syntyvät lietteet hyödynnetään nykyään pääasiasa energiana tehtaiden omissa voimalaitoksissa tai ne läjitetään kaatopaikoille. Polttomenetelmin syntyvät tuhkat hyödynnetään maarakentamisessa ja lannoitteissa. (Metsäteollisuuden ympäristötilastot 2014, 13.)



Kuvio 3. Paperin ja kartongin tuotannosta syntyvän jätteen määrä Suomessa. (Metsäteollisuus ry 2014, 13.)

Kaatopaikkajätteiden määrä on vähentynyt massa- ja paperiteollisuudessa noin 90 prosenttia tuotettua tonnia kohden 90-luvun alkuun verrattuna, vaikka tuotantomäärät ovat kasvaneet. (Metsäteollisuuden ympäristötilastot 2014, 13.)

Jätteiden määrän vähentyminen on tapahtunut pääasiassa ennen kuin jätteille on määritelty taloudellisia ohjaukeinoja muun muassa jäteveron muodossa. Jätteiden hyötykäytön sekä kaatopaikkasijoittamisen kustannuksia nostavat vuonna 2011 teollisuuden kaatopaikoille laajennettu jätevero. Esimerkiksi Ruotsissa metsäteollisuuden jätteistä ei tarvitse maksaa veroa, joten Suomessa jätevero heikentää metsäteollisuuden kilpailukykyä Ruotsiin verrattuna. Tämän vuoksi jätteiden uudelleenkäyttö ja hyödyntäminen on erittäin tärkeää ja ajankohtaista. (Metsäteollisuudesta jätteitä yhä vähemmän 2013.)

Tehokkaampi keino kaatopaikkojen jätevuorten alenemiseen jäteveron sijasta olisi jätteiden hyötykäyttömahdollisuuksien parantaminen. Lainsäädäntöä, joka rajoittaa jätteiden hyötykäyttöä, tulisi kehittää siten, ettei hyödylliseen käyttöön soveltuvaa jätettä jouduttaisi sijoittamaan kaatopaikoille. Näin säästettäisiin myös arvokkaita luonnonvaroja. (Metsäteollisuudesta jätteitä yhä vähemmän 2013.)

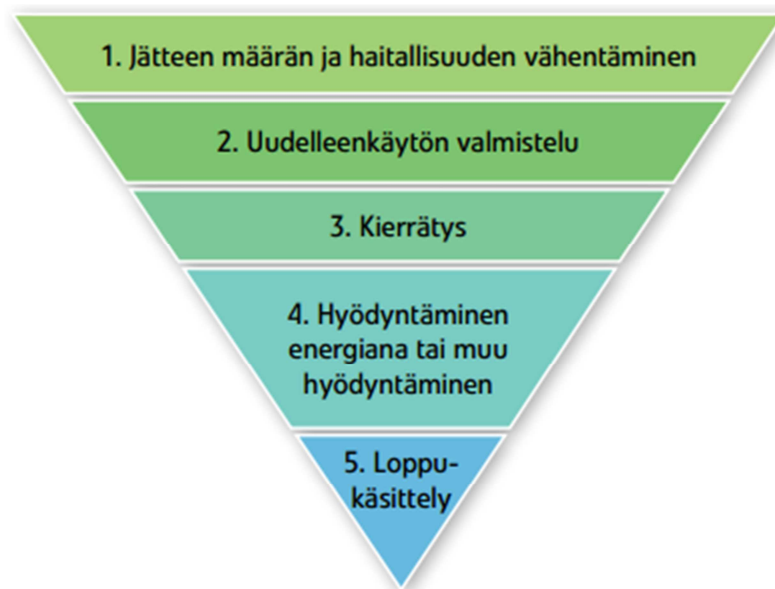
Metsäteollisuuden sivutuotteiden luokittelu jätteiksi ja lupamenettelyn hitaus ovat olleet suurimpia esteitä metsäteollisuuden tuotannosta syntyvien sivuvirtojen hyödyntämiselle. Järkevästi toteutettuna keväällä 2012 voimaan tullut jätelaki voi helpottaa sivutuotteiden ja jätteiden hyödyntämistä. Jätteitä ja sivutuotteita ei luokiteltaisi jätteiksi vaan tuotteiksi, jolloin niiltä ei vaadittaisi hyödyntämistä hidastavaa lupakäytäntöä. Uusiotuotteeksi jätteet pääsevät vasta kun jätteet ovat läpäisseet niin sanotut end of waste – kriteerit. Tämä menettely sisältyy uuteen jätelakiin ja määrittelee sen, milloin jäte lakkaa olemasta jätettä. (Metsäteollisuudesta jätteitä yhä vähemmän 2013.)

### **3 Jätelainsäädäntö**

Uusittu jätelaki (646/2011) tuli voimaan Suomessa 1.5.2012 ja vaikuttaa kaikkiin jätteiden tuottajiin, välittäjiin ja käsittelijöihin. Sen tarkoituksena on saada Suomen jätehuolto toimimaan vastuullisesti, hyödyntämään materiaalit tehokkaasti ja ennen

kaikkea toimimaan edistyksellisesti kokonaisuutena. Uusitun jätelain kanssa samaan aikaan tulivat voimaan myös valtion asetus jätteistä (179/2012) sekä ympäristösuojelulain (647/2011) ja ympäristöasetuksen (180/2012) muutokset. (Ajankohtaista jätelain uudistuksesta 2012, 1.)

Yksi voimaan astuneen jätelain merkittävimmistä periaatteista on EU:n jätedirektiiviin perustuva etusijajärjestys. Etusijajärjestys on kaikkia EU:n jäsenmaita sitova ja Suomen jätelainsäädännön ja -asetusten keskeisimpiä periaatteita. Esimerkiksi ympäristöluvan hakemisessa on tultava ilmi, miten etusijajärjestys on otettu huomioon lupamääräyksissä sekä jätteiden käsittelyssä. (Ajankohtaista jätelain uudistuksesta 2012, 2.)



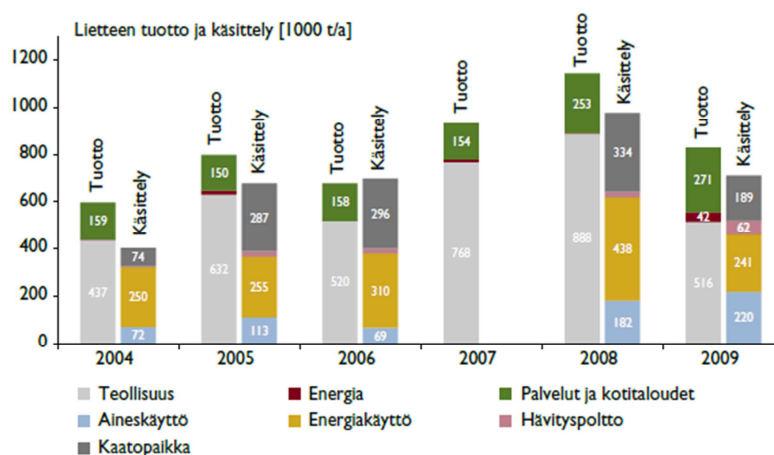
Kuvio 4. EU:n jätedirektiiviin perustuva etusijajärjestys. (Ajankohtaista jätelain uudistuksesta 2012, 2.)

Jätelaki käsittää myös jätevedet, jos niistä ei ole säädetty muissa laissa. Jätevesien hyödyntäminen puhdistuksen jälkeen on jätteen käsittelyä jätelain puitteissa. Jätelaissa on määrätty jätteiden tuottajat ilmoittamaan tarkat tiedot jätteidensä sisällöstä. Sama koskee myös jätteiden hyödyntäjiä ja tuottajia. Pääasiassa jätelailla on pyrkimys helpottaa jätteiden uudelleenkäyttöä. (Kinnunen, Matilainen, Pisto & Rinne 2014, 10.)

### 3.1 Kaatopaikkadirektiivi

Biohajoavan jätteen sijoittaminen kaatopaikoille aiheuttaa jätteen hajoamisen seurauksena metaania, joka on voimakas kasvihuonekaasu, jopa 20 kertaa voimakkaampi kuin hiilidioksidi. Orgaanista ainesta sisältävät jätteet voivat myös lisätä kaatopaikoilla suotovesien ravinnepitoisuutta ja myrkyllisiä rikkipäästöjä. EU:n määrittelemän etusijajärjestyksen mukaan jätteiden määrää pitäisi ensisijaisesti ehkäistä, hyödyntää uudelleen tai kierrättää ennen kuin jätteitä aletaan sijoittamaan kaatopaikoille. Yleisesti ottaen orgaanista jätettä pystytään hyödyntämään ainakin energianlähteenä, jos sen uudelleenkäyttö tai kierrättäminen ei ole järkevin vaihtoehto taloudellisesti. (Jermakka, Laine-Ylijoki & Walhström 2012, 7.)

Kaatopaikkadirektiivin tarkoituksena on vähentää kaatopaikoille sijoitettavien jätteen määrää vaiheittain. Direktiivin mukaan biohajoavan jätteen sijoittamista kaatopaikoille pitäisi pyrkiä vähentämään muutoinkin. Suomessa astuu voimaan orgaanisen aineen kaatopaikkakielto 2016. Tämä aiheuttaa muutoksia paperi- ja selluteollisuuden lietteiden jatkokäsittelylle. Saksassa orgaanisen jätteen sijoittaminen kaatopaikoille lopetettiin jo 90-luvun alussa ja Ruotsissakin vuonna 2005. (Jermakka ym. 2012, 8.)



Kuvio 5. Lietteiden tuotto ja käsittely Suomessa. Määrät ilmoitettu lietteen kuivapainona. (Jermakka ym. 2012, 25.)

Kuviossa 5 on esiteltyä Suomessa syntyvät lietteet ja niiden käyttö. Suurimmat liete-määrät syntyvät teollisuudessa, jossa merkittävin haara on paperiteollisuus. Tilas-tot eivät ole täysin täsmällisiä, mutta niistä voidaan kuitenkin havaita, että kolmasosa lietteistä päätyy kaatopaikoille. Tämä osoittaa sen, että lietteiden loppukäyttöä jou-dutaan pohtimaan uudelleen, koska lietteitä ei saisi sijoittaa kaatopaikoille orgaani-sen aineen kaatopaikkakiellon myötä. (Jermakka ym. 2012, 26.)

Orgaanisen aineen määrittelyssä käytetään apuna kokonaisorgaanisen hiilen pitoi-suutta (TOC) aineessa. Raja-arvoksi on määritelty 10% ja kaikki sen ylittävät aineet lasketaan orgaaniseksi aineeksi. (Jermakka ym. 2012, 17)

Materiaali	DOC mg/ kg	Bio- massa- testi%	TOC %	LOI %	AT <sub>4</sub> mg O <sub>2</sub> /g TS	GB <sub>11</sub> N l/kg TS	ASTM D5210- 92,%
Muovipussi	125	0	81,0	96,8			
Pilaantunut maa-ainesjäte	195	0	2,4	5,7			
Tekstiili	800	77	44,0	99,9			
Metyyliseluloosa	1800	81	47,0	99,9			100
Puu	5300	81	48,0	99,7			
Kuituliete	5800	28	17,0				
Komposti	6300	61	40,0	80,9	9,72		2
Kartonki	9700	82	45,0	96,4			
Turve	24000	53	51,0	96,5			8
MB-rejekti 1	1400	24	24,0	56,7	6,53–10,75	21–29	
MB-rejekti 2, seulottu	1800	23	23,0	41,2	6,27		
MB-rejekti 3	10600	23	24,0	44,4	3,64–4,00		

Taulukko 1. Erilaisten jätteiden biohajoavuuden arvoja. (Jermakka ym. 2012, 17.)

### 3.2 Euroopan unionin jätedirektiivi

EU:n jätedirektiivi (2008/98/EY) tuli voimaan 19.11.2008 ja koskee kaikkia jäsenvalti-oita. Direktiivin tehtävänä on yhtenäistää EU:n jäsenvaltioiden jätepolitiikkaa viisi-portaisen etusijajärjestyksen mukaiseksi. Direktiivin avulla pyritään saavuttamaan mahdollisimman vähäinen ympäristön kuormitus sekä vähentämään ihmiselle aiheu-tuvia terveydellisiä haittoja. Näihin tavoitteisiin päästään hyödyntämällä jätteiden uudelleenkäyttöä, tehostamalla jätteiden kierrätystä ja noudattamalla etusijajärjes-tystä. (EU:n jätedirektiivi 2008, 3.)

*”Jätedirektiivissä määritellään keskeiset käsitteet, kuten jäte, jätteen hyödyntäminen ja jätteen loppukäsittely, ja siinä säädetään keskeiset jätehuoltoon sovellettavat vaatimukset, erityisesti velvoite, jonka mukaan jätehuoltotoimia suorittavalla laitoksella tai yrityksellä on oltava toimilupa tai se on rekisteröitävä, sekä jäsenvaltioiden velvoite laatia jätehuoltosuunnitelmia” (EU:n jätedirektiivi 2008, 3).*

Direktiivissä määritellään myös sivutuotteiden ja jätteiden ero sekä myös se, milloin jäte lakkaa olemasta jätettä. (EU:n jätedirektiivi 2008, 5.)

### **3.3 Jäteverolaki**

Uusittu jäteverolaki(1126/2010) tuli voimaan 1.1.2011 korvaamaan 1.9.1996 säädettyä lakia. Sen tarkoituksena on toimia taloudellisena ohjauksena kannustamalla yrityksiä vähentämään jätteiden määrää sekä parantamaan jätteiden hyödyntämistä. Jäteveroa tulee suorittaa valtiolle, jos kaatopaikalle varastoidaan jätelain 5 §:n 1 momentissa mainittuja esineitä tai aineita. Verotuksen toimittamista ja valvomista huolehtii tullilaitos ja veron maksamisen velvollisuus on kaatopaikan pitäjällä. (Jäteverolaki 2010.)

Kaatopaikalla jäteverolaissa tarkoitetaan *” jätteen käsittelypaikkaa, jossa jätettä loppusijoitetaan maan päälle tai maahan ja jonka pitäminen edellyttää ympäristönsuojelulain (527/2014) 27 §:n 1 momentin tai jätehuoltoon koskevan maakuntalain 28 b §:n 1 momentin mukaista ympäristölupaa”*( Jäteverolaki 2010).

Kaatopaikaksi ei lasketa aluetta, joka on selkeästi erotettu kaatopaikasta. Lisäksi on tarkentavia määrittäviä, joilla määritellään mikä ei ole kaatopaikka:

*”1) jossa säilytetään muista jätteistä erotettuna jätettä väliaikaisesti kolmea vuotta lyhyemmän ajan ennen sen käsittelyä tai hyödyntämistä;*

2) jonne sijoitetaan yksinomaan maan ja kallioperän aineksia;

3) jossa kompostoidaan tai muuten biologisesti käsitellään erikseen kerättyä biojätettä tai jäteveden puhdistamon lietettä; tai

4) jossa jäte hyödynnetään” (Jäteverolaki 2010).

Tällä hetkellä suoritettavan veron määrä kaatopaikoille toimitettavista jätteistä on 55 euroa tonnilta. Veroa ei tarvitse maksaa jätteistä, joita hyödynnetään kaatopaikan perustamiseen eikä jätteistä, joita hyödynnetään kaatopaikan käytön tai käytöstä poistamisen rakenteissa tai rakennuksissa. Veroa ei myöskään tarvitse maksaa kaatopaikalle sijoitettavasta keräyspaperin siistauslietteestä, kun se on eroteltuna muista jätteistä. (Jäteverolaki 2010.)

## 4 Tuhkat

Tuhkia muodostuu energiatuotannon polttoprosessien sivutuotteina ja ne luokitellaan lähtökohtaisesti jätteiksi. Niiden laadun luokittelu Suomessa tapahtuu keräyspaikan ja polttoprosessin polttoainekoostumuksen mukaan. Lentotuhkat ovat savukaasuista erotettavaa tuhka-ainetta ja ominaisuudeltaan hienojakoisempaa kuin pohjatuhka, jota kerääntyy polttokattilan pohjalle tai kattilasta poistettavan leijupetimateriaalin sekaan.

Polttotekniikka määrittelee, kuinka paljon lentotuhkaa tai pohjatuhkaa muodostuu suhteessa toisiinsa. Yleisempiä polttotekniikoita ovat leijukerros poltto ja arinapoltto. Taulukon 2 mukaan leijukerros poltossa syntyvä tuhka on pääosin lentotuhkaa, kun taas arinapoltossa suurin osa syntyvästä tuhkasta on pohjatuhkaa. (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012, 8.)



	<b>Leijukerros poltto</b>	<b>Arinapoltto</b>
<b>Lentotuhkan osuus</b>	80–100 %	5–40 %
<b>Pohjatuhkan osuus</b>	0–20 %	60–95 %
<b>Erityistä</b>	-rikinpoistoprosessi -mahdollista polttaa hyvin erilaisia polttoaineita -pohjatuhkassa leijukerros materiaalia eli luonnonhiekkaa -syötetään mahdollisesti kalkkia	-hehkutushäviö usein keskimääräistä suurempi

Taulukko 2. Tuhkien muodostuminen eri poltto prosessityypeillä. (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012, 9.)

#### 4.1 Tuhkien ominaisuudet

Tuhkien ominaisuuksia mitataan samankaltaisilla menetelmillä kuin luonnon kiviaineksia, koska niiden ominaisuudet ovat lähellä toisiaan. Geoteknisten ominaisuuksien lisäksi lentotuhkan lujittumisominaisuudet vaikuttavat merkittävästi tuhkien loppukäytön laadun määrittämiseen. Karkeamman rakenteensa vuoksi pohjatuhkien lujittumisominaisuudet ovat hyvin pieniä verrattuna lentotuhkan ominaisuuksiin. (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012, 12.)

Tuhkien geoteknisiä ominaisuuksia on esitelty taulukossa 3 tarkemmin. Taulukon antamat arvot ovat lähinnä viitteellisiä ja suuntaa-antavia. Tarkemmat ominaisuudet kannattaa selvittää käyttökohteen mukaan, koska esimerkiksi voimalaitoksen prosessiin voidaan tehdä muutoksia. Myös eri vuodenaikoina käytettävän polttoaineen ominaisuudet vaihtelevat ja vaikuttavat tuhkien loppulaatuun. (Tuhkarakentamisen käsikirja s.12)

Ominaisuus	Olosuhde	Lentotuhka
Rakeisuus [mm]		0,002–0,1 (siltti)
Optimivesipitoisuus [%]		20–50
Maksimikuivairtotei- heys [kg/m <sup>3</sup> ]		1100–1400
Märkäirtotei- heys tiivistettynä [kg/m <sup>3</sup> ]		1300–1500
Kitkakulma [°]	lujittumaton	28–36
	lujittunut	49–77
Koheesio [kPa]	lujittumaton	23–47
	lujittunut	64–490
Vedenläpäisevyys [m/s]	lujittumaton	10 <sup>-7</sup> –10 <sup>-6</sup>
	lujittunut	10 <sup>-8</sup> –10 <sup>-6</sup>
Hehkutushäviö [%]		1–15
Lämmönjohtavuus [W/mK]	sula	0,4–0,6
	jäätynyt	0,8

Taulukko 3. Tuhkien tyypillisiä geoteknisiä ominaisuuksia. (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012, 12.)

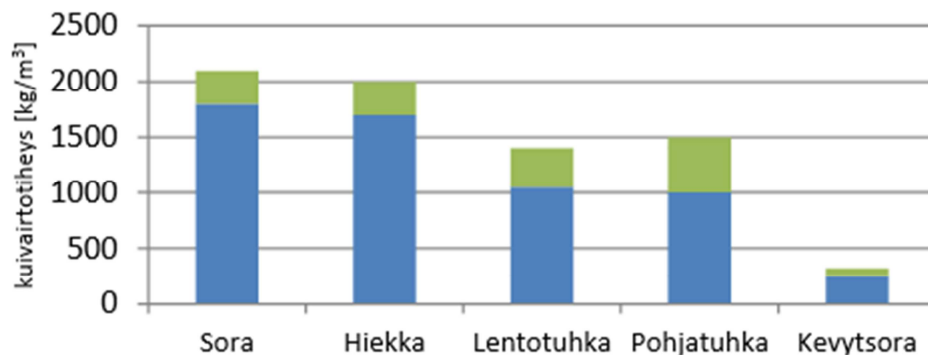
## 4.2 Lentotuhkan rakeisuus

Lentotuhkan keskimääräinen raekoko on noin 0,02–0,05mm. Hienoainesta eli alle 0,06mm halkaisijaltaan olevia rakeita löytyy lentotuhkasta 65–90 prosenttia. Lentotuhkaa voidaan vertailla luonnon kiviaineksista siltin ja hiekkaisen siltin välillä raekonsa mukaan. Hienoainesta on enemmän tuoreissa lentotuhkissa. Varastoituna kasoihin lentotuhkan rakeisuusjakauma muuttuu hieman suurijakoisempaan suuntaan. Pitkään varastoituna olleet tuhkat muodostavat merkittävästi suurempia kokkareita, jotka voidaan myöhemmin hajottaa hienojakoisemmiksi. (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012, 13.)

### 4.3 Optimivesipitoisuus ja tiheys

Optimivesipitoisuus tarkoittaa materiaalin suurinta kuivatilavuuspainoa vesipitoisuuden ollessa korkeimmillaan materiaalin sisällä. Lentotuhkilla optimivesipitoisuudet ovat suhteellisen korkeita eli 20–50 prosenttia. Lentotuhkien optimivesipitoisuus kannattaa tarkastaa ennen käyttöä, koska optimivesipitoisuus vaihtelee polttoprosessissa käytetyn polttoaineen ja lentotuhkan iän mukaan. Varastoituna olleiden vanhojen lentotuhkien optimivesipitoisuus on yleensä suurempi kuin tuoreiden lentotuhkien. Seospoltossa syntyvien tuhkien optimivesipitoisuus puolestaan on suurempi kuin kivihiilipoltossa syntyvien tuhkien.

Lentotuhkat ovat huokoisia materiaaleja, joten niiden tiheys on kiviaineksiin verrattuna pienempi. Lentotuhkien kuivatiheys vaihtelee 1100–1400 kg/m<sup>3</sup> välillä ja kiviaineksista hiekalla vastaava arvo on 1700–2000 kg/m<sup>3</sup>. Vaikka kiviaineksien tiheys on suurempi kuin lentotuhkilla niin lentotuhkien suuri optimivesipitoisuus tasoittaa materiaalien painoeroja normaaliolosuhteissa. (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012, 13.)



Kuvio 6. Materiaalien kuivairtitiheyksiä. Arvojen vaihteluväli kuvattu vihreällä. (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012, 14.)

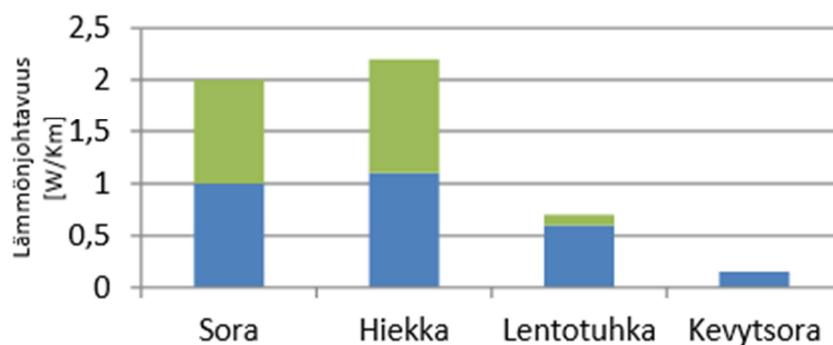
### 4.4 Kitkakulma, koheesio ja hehkutushäviö

Koheesiosta ja kitkasta johtuva leikkauslujuus määrittää lentotuhkan ominaisuudet lähelle välimaalajeja. Lujitettuna lentotuhkan koheesio ja kitkakulma ovat suurempia kuin lujittamattoman lentotuhkan arvot. Lentotuhkien lujittuvuuteen vaikuttaa hiili-jäännös, joka tarkoittaa palamattoman aineksen osuutta materiaalissa. Palamatto-

man aineksen pitoisuutta kutsutaan hehkutushäviöksi, jonka arvo tulisi olla alhainen parhaan mahdollisen lujittuvuuden saamiseksi. Esimerkiksi maarakennuksessa käytettävien materiaalien hehkutushäviö on alhainen sen ollessa 5 prosenttia tai vähemmän. (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012, 14.)

#### 4.5 Vedenläpäisevyys ja lämmönjohtavuus

Lentotuhkilla on suhteellisen pieni vedenläpäisevyys. Tiivistetyn lentotuhkan vedenläpäisevyys on yleisesti  $10^{-8}$ – $10^{-7}$  m/s. Esimerkiksi veden suodattaminen vähäisen vedenläpäisevyyden omaavan materiaalin läpi on vaikeaa. Lämmönjohtavuus tuhkillä on huokoisuutensa vuoksi alhaisempi kuin raekooltaan vastaavilla kiviaineksilla. Lämmönjohtavuuteen vaikuttavat myös materiaalin vesipitoisuus sekä lämpötila. Kylläisessä vesitilassa olevan tuhkan lämmönjohtavuus paranee hieman verrattuna kuivaan tuhkaan. Kuviossa 7 on vertailtu lentotuhkan lämmönjohtavuutta yleisiin kiviaineksiin. (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012, 14.)



Kuvio 7. Materiaalien lämmönjohtavuuksia. Arvojen vaihteluväli kuvattu vihreällä. (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012, 14.)

#### 4.6 Lentotuhkan lujittumisominaisuudet

Lentotuhkien lujittumisominaisuudet vaikuttavat merkittävästi materiaalin geotekniisiin ominaisuuksiin ja lopputuotteen laatuun. Lujittumisominaisuuksilla tarkoitetaan kostutetun materiaalin lujittumiskykyä sitä tiivistettäessä. Aktiivisella kalkilla (CaO) on todettu olevan merkittävä positiivinen vaikutus lentotuhkan lujittuvuuteen. Mitä

enemmän aktiivista kalkkia on sekoitettuna lentotuhkaan, sen lujempaa lopputuotteesta tulee. Lujittuvuusvaiheessa lopputuotteen lujuuteen vaikuttavat myös tiivistyshetken vesipitoisuus, toteutunut tiivistysaste, lujittumislämpötila ja lujittumisaika. (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012, 16.)

#### **4.7 Lentotuhkan käsittely**

Lentotuhkat ovat hienojakoisia ja sen vuoksi pölyävät runsaasti. Niihin voidaan lisätä vettä pölyämisen estämiseksi, mutta veden lisääminen ennen materiaalin välitöntä hyödyntämistä vähentää lentotuhkan lujittumisominaisuuksia. Tämän vuoksi olisi tärkeää selvittää laboratoriotesteillä, miten veden lisääminen vaikuttaa lentotuhkan lujittumisominaisuuksiin ennen kuin lentotuhkaa hyödynnetään jatkokäyttöön. Lujittumisominaisuuksien vuoksi kustutettua lentotuhkaa ei tulisi jättää pitkäksi aikaa kuljetusvälineisiin, eikä sitä saa tiivistää varsinkaan, jos lentotuhkaan on lisätty kaupallisia sideaineita. Kaupallisten sideaineiden sekoittamisen jälkeen materiaali olisi käytettävä mahdollisimman pian, sillä materiaalia ei voi käyttää seuraavana päivänä lujittumisen vuoksi. (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012, 46,47.)

#### **4.8 Lentotuhkan varastointi**

Varastoinnilla voidaan vaikuttaa lentotuhkien teknisiin ominaisuuksiin. Tuoreen ja kuivan tuhkan lujittumisominaisuudet ovat parempia, mikä vähentää sideainekustannuksia. Kuivan lentotuhkan ominaisuudet, kuten reaktiivisuus ja homogeenisuus, säilyvät useita vuosia. Reaktiivisuus vähenee lentotuhkan kostutuksen myötä. Vähenneminen alkaa välittömästi kostutuksen jälkeen ja suurin osa heikkenemisestä tapahtuu 1–2 viikon kuluessa.

Kuivavarastoinnin ongelmana on kuitenkin lentotuhkan pölyävyys, joka aiheuttaa ongelmia kuljetuksessa ja käsiteltävyydessä. Joissakin sovelluksissa kuivavarastoinnista saatava etu on kuitenkin niin suuri, että sitä suositellaan. Näitä sovelluksia ovat

esimerkiksi lentotuhkan käyttö asfaltoinnissa tai sementin sideaineena. (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012, 48.)

Kuivavarastoina voidaan käyttää suljettuja halleja tai siloja. Jos vuodessa syntyvä tuhkamäärä saadaan hyötykäyttöön kokonaisuudessaan, voi tuhkien kuivana säilyttämiseen tarkoitetun varaston rakentaminen olla taloudellisesti kannattavaa. Uudentyyppiseen varastoon voisi purkupään yhteyteen lisätä myös sekoittimen tarvittaville sideaineille tai kosteutukselle.

Tuhkan varastointi kostutettuna voi olla ainoa taloudellinen tapa, jos lentotuhkaa tulee tehtaalta runsaasti. Tuhkan varastointi tapahtuu tässä tapauksessa läjittämällä tai varastoaumoihin sijoittamalla. Läjittäminen on yksikertaisempi ja edullisempi tapa. Se soveltuu parhaaksi menetelmäksi, jos tuhka käytetään sellaisenaan tai se on laadultaan homogeenista. Jos tuhkaa joudutaan sekoittamaan suuria määriä, aumoihin sijoittaminen voi olla läjittämistä parempi keino varastoida tuhkaa. Tällöin materiaalin ylimääräiseltä siirtämiseltä vältytään. (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012, 49,51.)

#### **4.9 Työturvallisuus**

Pölyäminen tulee ottaa aina huomioon lentotuhkia käsiteltäessä. Osa tuhkista on syövyttäviä niiden korkean pH:n takia ja altistuminen tuhkalle voi vaurioittaa silmiä, hengitysteitä sekä ärsyttää ihoa. Kun käsitellään pölyävää tuhkaa, olisi suositeltavaa käyttää hengityssuojainta, suojalaseja, suojakäsineitä ja suojapukua. Kostutetun tuhkan käsittelyssä silmät, kädet ja iho tulisi suojata ihokosketuksen välttämiseksi. (Tuhkarakentamisen käsikirja 2012, 59.)

### **5 Metsäteollisuuden lietteet**

Lietteillä tarkoitetaan nesteen ja pienten ainehiukkasten muodostamaa heterogeenista seosta. Lietteet voivat olla lähes minkä tahansa nesteen ja kiinteän aineen

seosta, joten lietteitä syntyy hyvin erilaisissa ympäristöissä. Esimerkiksi luonnossa vesi ja savi muodostavat lietettä sekoittuessaan keskenään. (Sarkkinen 2012, 7.)

Sellu- ja paperiteollisuuden lietteet koostuvat pääosin kuidusta, kuoresta, epäorgaanisista paperin täyteaineista, mikrobimassasta ja tuhkasta. Lietteiden sijoittaminen kaatopaikoille on tulevaisuudessa rajoitettua, koska liete on orgaanista jätettä. Tämän takia lietteiden jatkokäytön mahdollisuuksia tutkitaan nykyään paljon, jotta lietteitä pystyttäisiin jatkossa hyödyntämään paremmin kaatopaikalle sijoittamisen tai polttokattiloissa polttamisen sijaan. (Lohiniva, Mäkinen & Sipilä 2001, 24.)

Suomessa syntyi vuonna 2013 kuitu- ja pastalietteitä 1300 tonnia. Jäteveden puhdistamoiden lietteitä syntyi 2400 tonnia. Kaatopaikkajätteen kokonaismäärä 114 500 tonnia on 22 prosenttia pienempi kuin vuonna 2012 ja kuitu- ja pastalietteiden määrä on vähentynyt noin 23 prosentilla vuoteen 2012 verrattuna. (Metsäteollisuuden ympäristötilastot 2014, 14.)

Jätteet	
Kaatopaikkajätteet (kuiva-aineena)	114 500 t
• tuhkat	37 200 t
• soodasakka ja meesa	56 600 t
• siistausliete- ja jäte	5 700 t
• kuitu- ja pastalietteet	1 300 t
• jätevedenpuhdistamojen lietteet	2 400 t
• puujäte	700 t
• muut jätteet <sup>*)</sup>	10 100 t

<sup>\*)</sup> lukuun sisältyy käsittelylaitokseen toimitettu ongelmajäte

**Taulukko 4. Massa- ja paperiteollisuuden jätteet Suomessa 2013. ( Metsäteollisuuden ympäristötilastot 2014, 14.)**

Jätteet	
Kaatopaikkajätteet (kuiva-aineena)	146 600 t
• tuhkat	24 200 t
• soodasakka ja meesa	64 200 t
• siistausliete- ja jäte	2 100 t
• kuitu- ja pastalietteet	1 700 t
• jätevedenpuhdistamojen lietteet	39 500 t
• puujäte	1 200 t
• muut jätteet <sup>*)</sup>	13 600 t

<sup>\*)</sup> lukuun sisältyy käsittelylaitokseen toimitettu ongelmajäte

**Taulukko 5. Massa- ja paperiteollisuuden jätteet Suomessa 2012. ( Metsäteollisuuden ympäristötilastot 2013, 14.)**

## 5.1 Lietteiden muodostuminen

Pääosa kuiduista tulee puhdistamoille paperitehtaiden jätevesien mukana. Paperitehtailla rainanmuodostuksen yhteydessä osa kuiduista suotautuu viiran läpi jätevesien sekaan ja siirtyy jäteveden mukana jätevedenpuhdistamolle. Muodostuvien lietteiden laatuun ja määrään vaikuttaa huomattavasti käytetyn puhdistustekniikan valinta. Suurimmat määrät lietettä muodostuu aktiivilietelaitoksilla, jossa syntyy kahdenlaista lietettä: primäärilietettä ja sekundäärilietettä. (Sarkkinen 2012, 8.)

Primääriliete, jota kutsutaan myös kuitulietteeksi, syntyy jätevedenpuhdistamoilla esiselkeytysvaiheessa, jolloin selkeytysaltaassa olevat kuidut laskeutetaan altaan pohjalle. Primääriliete on pääosin kuitua ja paperitehtailla käytettäviä täyte- ja lisäaineita. Sitä on yleensä helpompi käsitellä ja hyödyntää korkeamman kuiva-ainepitoisuutensa ansiosta. (Sarkkinen 2012, 8.)

Kuitulietteen kuiva-ainepitoisuus mekaanisen vedenerotuksen jälkeen on noin 30–40 prosenttia ja käyttökosteudessa sen tehollinen lämpöarvo on noin 4-6 MJ/kg. Primäärilietettä syntyy sellu- ja paperitehtailla yleensä noin kaksi prosenttia tuotannon määrästä. (Lohiniva ym. 2001, 24.)

Sekundääriliete eli bioliete syntyy jälkiselkeytysvaiheessa laskeuttamalla. Bioliete sisältää ilmastusaltaaseen lisättyjen mikrobien vuoksi mikrobimassaa, jonka sekaan on imeytynyt puun uuteaineita, ligniiniyhdisteitä ja klooriorgaanisia yhdisteitä. Kuiva-ainepitoisuus biolietteessä on 20–35 prosenttia. Kuiva-ainepitoisuudella on merkitystä silloin kun lietteitä hyödynnetään energiantuotannossa. Jo 18 prosentin kuiva-ainepitoisuudessa voidaan tuottaa energiaa lietteitä poltettaessa. (Lohiniva ym. 2001, 24.)

Prosessimuutosten ansiosta kuitujen hyötykäyttö on parantunut paperi- ja sellutehtailla, joten kuitujen osuus jätevesissä on pienentynyt. Tämä johtaa siihen, että biolietteen osuus kuitulietteen ja biolietteen muodostamassa sekalietteessä kasvaa.



Biolietteen osuuden kasvaessa sekalietteen vedenerotus huononee ja kuiva-aineen osuus sekalietteessä pienenee. Samalla pienenee myös energiantuotannossa saatava hyöty. (Sarkkinen 2012, 8.)

Kuitu- ja biolietteen lisäksi paperi- ja sellutehtailla voi syntyä myös muunlaisia lietteitä tehtaan prosesseista riippuen. Tehtaan kuorimon toimiessa märkäkuorintamennelmällä, syntyy tästä prosessista kuorilietettä sekä hiekanerottimella hiekkalietettä, jotka sekoitetaan kuoren sekaan ja poltetaan kuorikattilassa. Paperitehtaan käyttäessä kierrätysmassaa syntyy ohessa siistauslietettä. Siistausliete sisältää kuitujen lisäksi tuhkaa sekä kromia, kuparia ja nikkeliä, jotka ovat peräisin kierrätysmateriaalin painoväreistä. (Lohiniva ym. 2001, 25.)

Kemiallista lietettä syntyy jäteveden saostamisen yhteydessä, kun jätevettä saostetaan kemikaaleilla. Syntynyt kemiallinen liete on haurasta ja vaikeasti kuivattavissa. Syntyneen lietteen määrään vaikuttavat erilaiset tuotantoprosessit sekä jätevedenkäsittely. Esimerkiksi kemihierretehtaalla syntyy 85 kiloa lietettä tuotettua tonnia kohden ja toisaalta sellua ja puuvapaata paperia tuottava tehdas tuottaa 5,7 kiloa lietettä tuotettua tonnia kohden. (Lohiniva ym. 2001, 25.)

Ominaisuus	Yks.	Primääri- liete	Bioliete	Paperi- tehtaan sekaliete	Sellu- tehtaan sekaliete	Siistaus- liete	Kuorimo- liete
Hiili	m-%	44	47	44–46	40–42	25–45	50
Vety	m-%	6	5,2	5,5–6,0	4,5–5,0	4–5,5	6
Rikki	m-%	0,1	1,2	0,05–0,1	0,4–1,3	0,1–0,3	0,02
Typpi	m-%	0,4	1,6	0,5–0,7	1,3–2,9	0,1–0,3	0,8
Happi	m-%	25	30		25–29	22	34
Tuhka	m-%	25–60	16	12–20	13–21	30–60	2,5
Kloori	m-%		0,04–1,5	0–0,1	0,1–0,8	0,2–0,6	
Teholl. lämpö- arvo kuiva- aineessa	MJ/kg		17,4		14–18	8–13	
Teholl. lämpö- arvo saapumis- tilassa	MJ/kg	2,3			0,9–2,4	2,9	3,0
Kosteus	m-%	70	85		75–80	60	70
Cd	mg/kg	0–2,5	0,6–0,9			0,03–0,1	
Cr	mg/kg		16–22		38,4	17–116	
Cu	mg/kg	3,4–31	25–43		22,9	38–253	
Hg	mg/kg	0–0,2	0,6		0,09	<1,0	
Pb	mg/kg	0–15,5	0,3–4,3		13,5	1,2–5,5	
Ni	mg/kg	7–26,7	6–11			10–231	

Taulukko 6. Erilaisten lietteiden ominaisuuksia. (Lohiniva ym. 2001, 26.)

## 5.2 Lietteiden hyötykäyttö

Metsäteollisuuden lietteitä käytetään nykyään moniin eri käyttökohteisiin sen ominaisuuksien mukaan. Lietteitä käytetään maa- ja viherrakentamiseen, maisemointiin, maa- ja metsätalouden lannoittamiseen ja energiana tehtaan omissa polttokattiloissa tai sitten lietteet sijoitetaan kaatopaikoille. Hyötykäyttöön vaikuttaa erityisesti lietteen kuiva-ainepitoisuus. Lietteen hyödyntäminen energiaksi vaatii korkeaa kuiva-ainepitoisuutta ja nykyään lisääntynyt biolietteen osuus sekalietteessä aiheuttaa kuiva-ainepitoisuuden alenemista. Lietteen kaatopaikalle sijoittamista tulevaisuudessa rajoittaa uudistunut jätelainsäädäntö. (Kaivola 2013, 12.)

Maanparannus- ja lannoitekäyttöön sovellettavan lietteen täytyy läpäistä Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista. Asetuksessa (1784/14/2011) ja sen muutosasetuksessa (1034/14/2012) veloitetaan ilmoittamaan tuotteen ravinnepitoisuudet ja tärkeimmät ominaisuudet, kuten happamuus, johtokyky, kosteus ja

orgaaninen aines. Asetuksessa on myös määritelty lietteen sisältämien raskasmetallipitoisuuksien rajat. Lietteiden käyttämistä lannoitteina pidetään hyödyllisenä, koska tällöin teollisesti valmistettujen lannoitteiden käyttöä voidaan vähentää ja lietteistä saatavia ravinteita kierrättää. Metsäteollisuuden lietteet ovat hyviä lannoitteita, jos niihin on lisätty typpeä lannoitteiden asettamien arvojen mukaisesti. Esimerkiksi metsälannoitukseen käytetyt bio- ja kuituliete neutraloivat happamia maita sekä parantavat metsän kasvualustan tiheyttä ja vedenpitävyyttä. (Kaivola 2013, 18,19.)

Maisemoinnissa ja viherrakentamisessa säädetyt asetukset eivät ole yhtä tiukkoja kuin lannoitekäyttöön sovellettavissa lietteissä. Kaatopaikkarakenteissa säädöksinä käytetään yleisiä kaatopaikkojen pysyvien jätteiden määrittelemiä raja-arvoja. Kaatopaikkarakenteiden maisemoinnissa käytetään yleisimmin savea, mutta samankaltaisen tiivistysominaisuuden omaava liete ei halkeile sen sisältämän orgaanisen aineen ansioista. Lietteitä käytetään myös tierakentamisessa, jossa niiden ominaisuuksia hyödynnetään päällysteissä, rakennekerroksissa, pengerryksessä, meluvalleissa ja pakkaseristyksissä. Tierakentamisessa lietteeltä vaaditaan rasituksenkestoa, vedenpitävyyttä ja -läpäisevyyttä, ja sen täytyy olla turvallista ympäristön kannalta. (Kaivola 2013, 19.)

<b>Liete</b>	<b>Käyttökohde</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>
<b>Kuitu- ja pasta lietteet (t)</b>	Maanrakennus	34 000	30 000
	Muu materiaalikäyttö	13 000	-
	Energiakäyttö	25 000	10 000
	Kaatopaikka / muu loppusijoitus	4 000	8 000
	<b>Yhteensä</b>	<b>76 000</b>	<b>48 000</b>
<b>Bio- ja sekalietteet (t)</b>	Maanrakennus	39 000	39 000
	Kompostointi	35 000	20 000
	Lannoitus	-	16 000
	Muu materiaalikäyttö	3 000	3 000
	Energiakäyttö	232 000	272 000
	Kaatopaikka / muu loppusijoitus	40 000	67 000
	<b>Yhteensä</b>	<b>349 000</b>	<b>417 000</b>

Taulukko 7. Metsäteollisuuden lietteiden käyttökohdeet Suomessa 2009 ja 2010. Painot ilmoitettu kuivina lietteina. (Kaivola 2013, 13.)

### 5.3 Tutkimus kuitulietteistä

Jesús A.G. Ochoa de Alda on tehnyt tutkimuksen Espanjassa useiden eri Euroopan paperi- ja massatehtaiden kuitulietteistä. Tutkimukseen lietteitä saapui kahdestakymmenestä eri tehtaasta sisältäen valkaistua sellua tuottavia tehtaita, erilaisia sellu- ja paperitehtaiden integraatteja sekä kierrätyskuitua käyttäviä tehtaita. Taulukossa 8 on esiteltyä eri tehtaista saapuneiden lietteiden ominaisuuksia. Tutkimuksessa Ochoa de Alda valmisti testiarkkeja kuitulietteistä ja mittasi arkkien eri ominaisuuksia, kuten murtolujuutta, repäisyindeksiä ja jäykkyyttä. Mittaustuloksia Ochoa de Alda vertasi käyttämättömästä kuidusta valmistettuihin arkkeihin. (Ochoa de Alda 2008, 4.)

Tuloksissa Ochoa de Alda toteaa, etteivät lietteiden lujuus- ja väriominaisuudet ilman ominaisuuksia muokkaavia käsittelyjä ole riittävän hyviä, jotta niitä voitaisiin käyttää

uudelleen erityisesti lujuusominaisuuksia ja valkoisuutta vaativissa paperilaaduissa. Lujuusominaisuuksien puolesta osaa lietteistä voitaisiin käyttää muun kuidun täytteenä tietyissä paperilaaduissa mekaanisesti valmistetun kuidun tapaan. Paremmiin kuitulietteisiin voitaisiin soveltaa kartongin valmistukseen, jossa kuitulietettä voitaisiin käyttää flutingin tai linerin valmistuksessa. (Ochoa de Alda 2008, 5.)

Characteristics	Mill code											
	IK1	IK2	IBK1	IBK2	IBK3	IBK4	IBKR	IKR	P1	P2	P3	PR4
Color	Brown	Brown	Wood	White	Brown	Brown	White	Grey	Wood	Wood	Wood	White
% Moisture (w/w)	78	70	61	60	63	75	55	70	56	74	43	55
°SRsludge	<b>31</b>	<b>8</b>	13	15	<b>8</b>	32	29	69	41	63	<b>14</b>	<b>38</b>
pH	7.5	8	9	8	8	5	7	7	7	7	7	7
Abrasiveness (g/y)	<b>16</b>	—	—	<b>12</b>	—	—	<b>15</b>	<b>6</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	24	<b>14</b>
O <sub>2</sub> uptake (μg g <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	<b>88</b>	<b>71</b>	—	<b>6</b>	—	—	<b>40</b>	—	<b>10</b>	—	<b>38</b>	<b>44</b>
% Ash (w/w)	<b>15</b>	43	<b>0</b>	36	45	14	51	42	<b>58</b>	52	51	54
% Fiber (w/w)	<b>29</b>	<b>16</b>	76	42	<b>57</b>	11	<b>13</b>	<b>16</b>	27	19	14	14
* % Fines	<b>37</b>	54	10	36	45	<b>40</b>	<b>34</b>	<b>52</b>	<b>14</b>	<b>33</b>	<b>57</b>	46
† Fiber length (mm)	1.9	1.3	0.9	0.9	1.9	0.8	1.0	1.1	0.8	0.9	1	0.9
°SR fiber	<b>16</b>	<b>30</b>	<b>13</b>	<b>34</b>	10	17	19	44	30	<b>42</b>	<b>34</b>	45

**Taulukko 8.** Kuitulietteiden ominaisuuksia eri tehtailta. Sellu- ja peritehtaan integraatti (IK), valkaistu kuitu (-B), paperitehdas (P) sekä kierrätysmateriaalia käyttävä tehdas (-R). (Ochoa de Alda 2008, 4.)

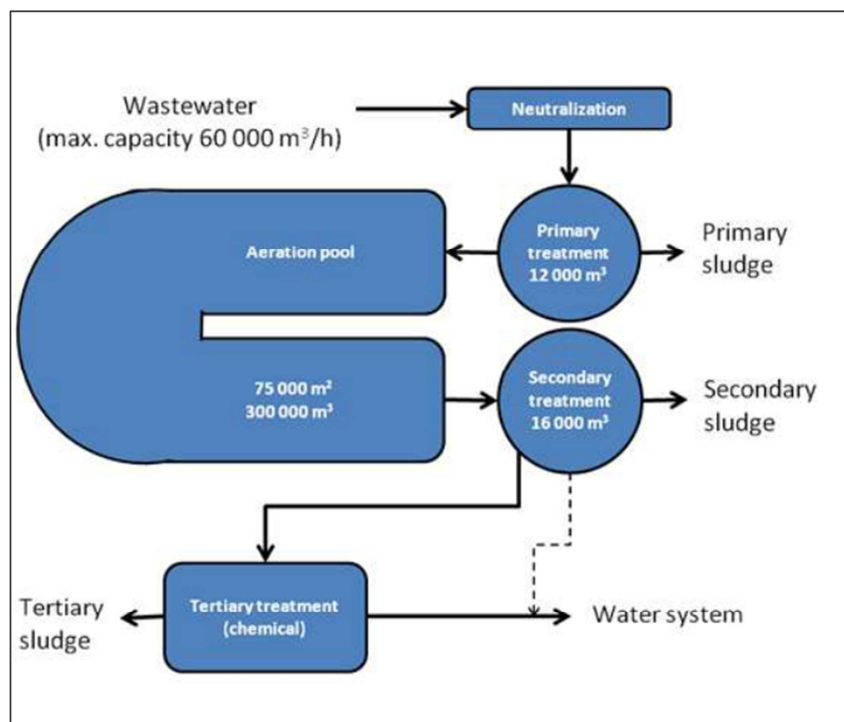
	Marketpulp		Sludges					
	Mechanical	Chemical	BK1	MB	IK1	BK5	P1	P2
Caliper (mm)	0.18	0.11	0.14	0.30	0.27	0.20	0.17	0.14
Porosity (ml/min)	4725	2030	5280	6140	2050	6060	2635	685
Whiteness	51	87	76	38	14	43	44	71
Opacity (%)	91.5	72.0	83.0	89.1	98.9	97.9	92.1	94.5
Stiffness (mNm)	0.16	0.25	0.25	0.15	0.16	0.08	0.02	0.14
Burst strength (kPa)	12.3	226.0	124.6	0.7	141.0	0.4	9.6	49.0
Elongation (%)	0.60	2.70	1.50	0.77	2.16	1.07	1.20	1.90
Breaking length (km)	0.9	5.4	2.1	0.4	2.9	0.3	1.0	1.7
Tear index (mNm <sup>2</sup> /g)	2.1	8.6	5.4	1.6	7.9	0.5	1.2	4.7

**Taulukko 9.** Valmistettujen arkkien ominaisuuksia. Neliöpaino 80±8 g/m<sup>2</sup>. (Ochoa de Alda 2008, 5.)

## 6 Lietteen käsittely Varkaudessa

Stora Enson Varkauden tehtailla on oma jätevesilaitos, jossa tehtailta tuleva jätevesi voidaan käsitellä kokonaisuudessaan. Kuviossa 8 on esitelty jätevesilaitosprosessi kokonaisuudessaan. Jäteveden puhdistamolle saapuva jätevesi neutralisoidaan pH:n arvoon 7, jonka jälkeen jätevesi johdetaan esiselkeyttimeen. Esiselkeyttimessä raskaimmat jätevedessä olevat partikkelit vajoavat altaan pohjalle, josta ne kaapimen avustuksella erotellaan muusta lietteestä. Tässä vaiheessa saadaan primääriliete erotettua jätevedestä. Esiselkeyttimen pinnalle jäävä jätevesi johdetaan tämän jälkeen ilmastusaltaaseen, jossa mikrobit hajottavat jätevedestä siihen jäänyttä orgaanista ainetta. (Hynninen 2014, 24.)

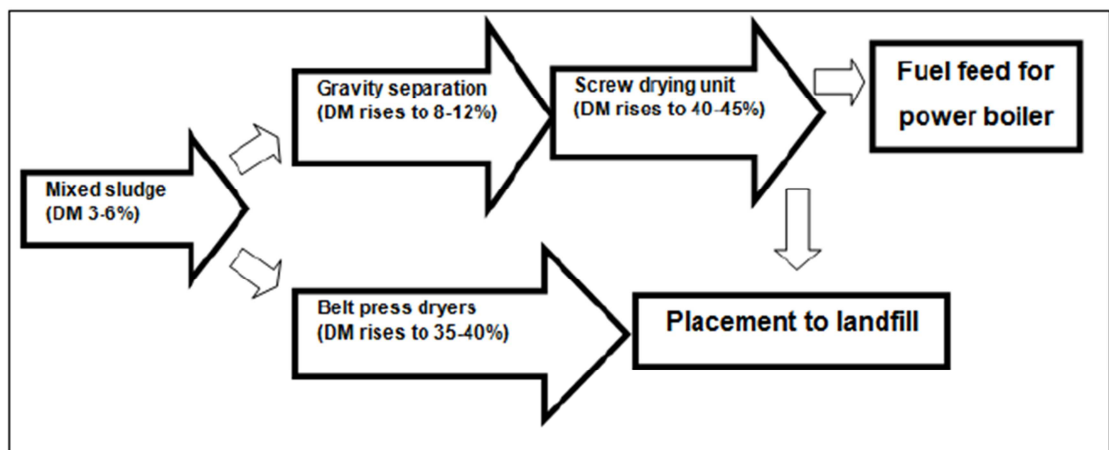
Ilmastusaltaassa on noin 40 ilmastinta, jotka sekoittavat jätevettä antaen näin lisää happea mikrobeille. Ilmastusaltaan suuri koko antaa mikrobeille useita päiviä aikaa hajottaa jäteveden partikkeleita ennen kuin käsitelty jätevesi johdetaan jälkiselkeyttimeen. Jälkiselkeyttimessä raskaimmat ainesosat vajoavat jälleen altaan pohjalle, josta saatava liete on biolietettä. Bioliete sisältää pääosin ilmastusvaiheessa kuolleita mikrobeja. (Hynninen 2014, 25.)



Kuvio 8. Jäteveden käsittelyprosessi. (Hynninen 2014, 24.)

Jälkiselkeytsaltaan jälkeen on vielä yksi vaihe, jossa jäljelle jäänyttä jätevettä käsitellään kemikaalien ja vaahdonestoaineen avulla. Käsittelyn jälkeen puhdistettu jätevesi johdetaan paikalliseen vesijärjestelmään ja kemiallinen liete jatkokäsittelyyn. Kemiallista puhdistusta käytetään harvoin, koska vesi on yleensä jo riittävän puhdasta aikaisempien käsittelyvaiheiden jälkeen. (Hynninen 2014, 26.)

Puhdistuksesta tulevat lietteet kuivatetaan noin 40 prosentin kuiva-ainepitoisuuteen. Ensimmäisessä kuivauksen vaiheessa käytetään gravitaatiopöytää. Gravitaatiopöydän tarkoitus on suodattaa vesi pois lietteen seasta. Poistettu vesi johdetaan takaisin esiselkeyttimeen ja suodatettu liete ruuvipuristimelle, jossa lopullinen kuiva-ainepitoisuus muodostuu. Varajärjestelmänä toimivat kaksi nauhapuristinta, jos gravitaatiopöytä ja ruuvipuristin ovat jostain syystä pois käytöstä tai niiden kapasiteetti ei riitä. (Hynninen 2014, 21.)



Kuvio 9. Lietteen kulku loppusijoitukseen Varkaudessa. (Hynninen 2014, 22.)

Kuivauksen jälkeen liete on yleensä läjitetty tehtaan omalle kaatopaikalle. Liete voidaan myös polttaa tehtaiden omissa voimalaitoksissa, mutta lietteen huonojen palamisominaisuuksien ja lietteen sisältämän runsaan tuhkamäärän vuoksi näin ei kuitenkaan tehdä. (Hynninen 2014, 22.)









## 8 Tutkimusosa

### 8.1 Alkutilanne ja tavoite

Tutkimuksen lähtökohtana on tutkia kuitulietteiden ja niihin sekoitettujen materiaalien ominaisuuksia koearkeista. Arkkikokeissa käytetyt kuitulietteet saapuivat Stora Enson Varkauden tehtailta. Tutkimukset tehdään Jyväskylän ammattikorkeakoulun laboratoriotiloissa, jossa on tutkimukseen tarvittava laitteisto. Tutkimuksen tavoitteena on saada pohjatietoa Varkauden tehtaille kuitulietteiden ominaisuuksista ja toimia pohjana tuleville jatkotutkimuksille. Tulevaisuudessa kuitulietteiden sijoittaminen kaatopaikoille kielletään ja näin ollen tarvitaan uusia menetelmiä kuitulietteen jatkokäsittelyyn.

### 8.2 Kuitulietemassan valmistus

Massan valmistus aloitetaan tekemällä kuitulietteestä ja vedestä seos, jonka sakeus on 2 prosenttia. Kaikki valmistetut kuitulietearkit pyritään valmistamaan niin, että valmistetusta massasta saatavien arkkien neliöpaino olisi  $400\text{g/m}^2$ . Kuituhäviötä arkkien suodatuksen aikana on kuitenkin vaikea arvioida yksittäisiä arkkeja valmistettaessa, joten valmiit arkit eivät saavuta haluttua neliöpainoa.

Kuitulietteen kuiva-ainepitoisuus selvitetään ennen kuin aletaan valmistaa arkkeihin käytettävää kuitulietemassaa. Punnittu määrä kosteaa kuitulietettä laitetaan kupissa uuniin kuivumaan kahdeksi tunniksi. Kun kuitulietteestä on kaikki neste haihtunut, liete punnitaan uudelleen ja saadaan selville kuitulietteen kuiva-ainepitoisuus alku- ja lopputilanteen massojen välisellä erotuksella.

Kuiva-ainepitoisuuden selvittämisen jälkeen voidaan laskea sopiva määrä kuitulietettä valmistettavaa massaa varten. Tämän jälkeen kuitulietteeseen lisätään tarvittava määrä vettä, jotta saavutetaan sakeudeltaan 2 prosenttinen massa. Valmistettu massa laitetaan magneettisekoittimeen, johon lisätään kalsiumoksidia ( $\text{CaO}$ ). Kalsiumoksidin lisäämisellä pyritään massan pH-arvoksi saamaan noin 12,5. Massan korkea pH

tuhoaa massassa olevat bakteerit. Kalsiumoksidin määrän optimointi suoritettiin myös kokeellisesti ennen arkkien valmistusta.

Kalsiumoksidin avulla saavutetun korkean pH:n annetaan vaikuttaa 1,5 tuntia, jonka jälkeen pH-arvo tiputetaan lisäämällä massan sekaan peretiikkahappoa. Massan pH:n ollessa neutraali, eli pH:n arvolla 7, massan sekoitus magneettisekoittimessa lopetetaan ja voidaan aloittaa arkkien valmistus.



Kuvio 12. Kuitulietemassa magneettisekoittimessa. Astiassa näkyvät pH:n mittausanturi ja lämpötila-anturi.

### 8.3 Paperimassan valmistus

Vertailuarkkeina käytetään kopiopaperista valmistettuja arkkeja. Kopiopaperista valmistetaan massa repimällä tarvittava määrä kopiopaperia pieniksi palasiksi ja laittamalla revityt palaset yöksi vesihauteeseen. Vesihauteessa olevat paperin kuidut erkaantuvat helpommin toisistaan kun ne ovat imeytettynä veden sekaan. Vesihauteessa olleet paperisuikaleet sekoitetaan seuraavana päivänä sauvasekoittimella taiseksi massaksi.

Vesihautteen veden määrä on laskettu myös etukäteen valmiiksi, jotta saavutettaisiin sama sakeus kuin kuitulietemassalla, eli 2 prosenttia. Kopiopaperista valmistetut arkit valmistettiin niin, että niiden tavoitteellinen neliöpaino olisi  $400\text{g/m}^2$  ja  $800\text{g/m}^2$ .

#### 8.4 Arkkien valmistus

Arkit valmistetaan Rapid-Köthen arkkienvalmistus laitteella. Valmistettu massa kaadetaan laitteen säiliöön. Säiliöön tulee vettä laitteen omista letkuista arkkien valmistuksen ensimmäisessä vaiheessa. Kun säiliössä on yhteensä noin 7 litraa vettä, veden lisääminen lopetetaan ja siirrytään seuraavaan vaiheeseen.

Seuraavassa vaiheessa massa seisautetaan hetkeksi ja sitä sekoitetaan laitteeseen tulevien ilmakuplien avulla. Sekoittaminen kestää noin kymmenen sekuntia, jonka jälkeen ilmakuplien tuleminen massan sekaan lopetetaan. Massan seisahtuessa muutamana sekunnin, aloitetaan massan suodatus laitteen viiran läpi. Vesi valuu viiran läpi pienen imuvoiman avustamana ja massassa olleet kuidut jäävät viiran päälle muodostaen kuituverkoston.



Kuvio 13. Kuitulietemassa arkkienvalmistuslaitteessa. Taustalla näkyy arkkien kuivaukseen käytetty kuivausgrilli.

Arkinvalmistuslaitteen säiliö avataan, kun kaikki vesi on suotautunut viiran läpi. Viiran päällä olevan kuituverkoston päälle asetetaan kuivauskartonki, joka kevyesti huoparullalla rullaten painetaan arkkiin kiinni. Tämän jälkeen kuituverkosto irroteetaan viirasta poistamalla viira laitteesta.

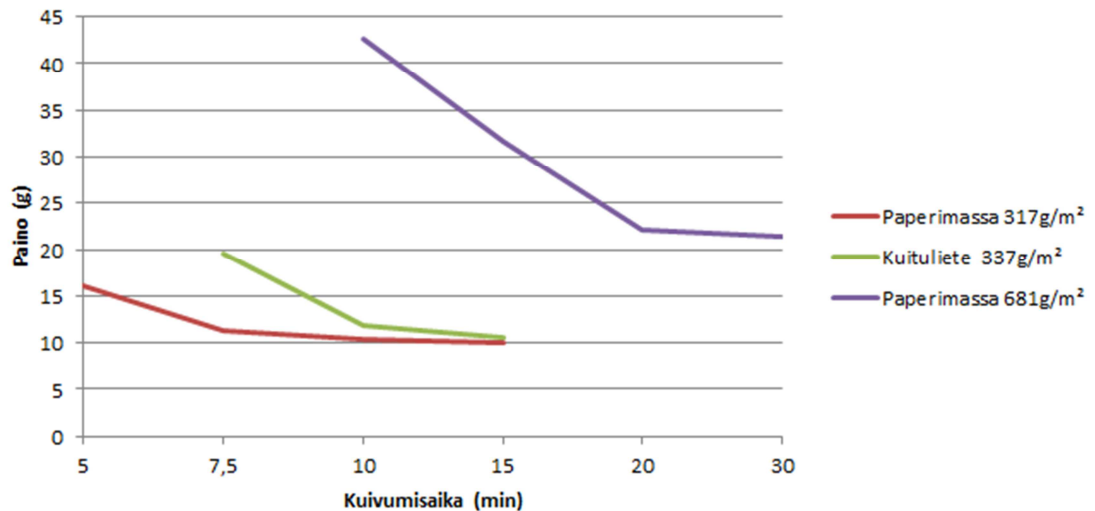
Viira käännetään ylösalaisin, samalla kun kuivauskartonki pitää kuituverkostoa viiraa vasten. Viira napautetaan pöytää vasten, jolloin kuituverkosto irtaantuu viirasta kuivauskartongin päälle muodostaen kuitulietearkin. Arkin päälle laitetaan kuivauspapery ja sen jälkeen arkki laitetaan 88 asteiseen grilliin kuivumaan halutun ajan verran, joista lisää kuivauskokeita käsittelevässä kappaleessa. Kuivuttuaan arkit ovat valmiita jatkotutkimuksia varten.

## 9 Kuivauskokeet

Kuivauskokeiden tarkoituksena on tutkia kuitulietteestä valmistettujen arkkien kuivumisaikoja ja vertailla niitä paperimassasta valmistettujen arkkien kuivumisaikoihin. Kuivauskokeista saatuja tuloksia voidaan hyödyntää jatkossa, kun saadaan tietoon arkin kuivamiseen käytetty aika. Samalla saadaan selville kuitulietteen ja paperikuidun välisiä eroja.

Kuivauskokeissa käytetään kolmea eri arkkityyppiä. Kahta paperimassasta valmistettua arkkiä, joiden tavoitellut neliöpainot ovat  $400\text{g/m}^2$  ja  $800\text{g/m}^2$ , sekä kuitulietearkkiä, jonka tavoiteltu neliöpaino on  $400\text{g/m}^2$ . Valmistuneiden arkkien neliöpainot jäivät hieman tavoite neliöpainoja pienemmiksi, koska suotautumisen aikana osa kuiduista suotautui viiran läpi.

Jokainen arkki pyritään kuivamaan mahdollisimman kuivaksi kuivausgrillissä. Arkkeja kuivataan halutun ajan verran, jonka jälkeen arkki punnitaan ja laitetaan takaisin grilliin yleensä viideksi lisäminuutiksi. Tätä jatketaan kunnes arkki on täysin kuiva, eli sen paino ei enää muutu kuivausta lisäämällä.



Kuvio 14. Kuivauskokeiden tuloksia kolmella eri testiarkilla.

Kuviossa 14 on esitelty kuivauskokeiden tuloksia. Kuvioista voidaan havaita, että kuivumisajat samankaltaisilla neliöpainoilla, paperimassalla ja kuitulietteellä, ovat samat. Eroja myös löytyy. 7,5 minuutin kohdalla kuitulietearkin massa on lähes kaksi kertaa suurempi kuin paperimassasta valmistetun arkin, vaikka 10 minuutin kohdalla massat ovat melkein samat. Tämä johtuu siitä, että kuitulietearkissa olevat kuidut ovat kooltaan pienempiä ja näin ollen arkki on tiiviimpi. Kuituliete arkki on myös sisältänyt enemmän vettä arkinmuodostamisen jälkeen, koska vesi ei ole suotautunut yhtä hyvin tiheämmän kuitulietearkin läpi. Veden haihduttaminen tällaisesta arkista on aluksi vaikeampaa kuin huokoisemmasta arkista.

Vertailuna käytetty neliöpainoltaan painavampi paperimassa-arkki noudattaa samankaltaista käyrää kuin kuitulietearkki ja ohuempi paperimassa-arkki. Sen neliöpaino on noin kaksi kertaa suurempi ja kuivumisaika myös kaksi kertaa suurempi kuin vertailtavilla arkeilla.

## 10 Vetokokeet

Vetokokeiden tarkoituksena on tutkia kuitulietteestä valmistettujen arkkien lujuusominaisuuksia. Vetokokeissa käytetään kuivauskokeisiin valmistettuja arkkeja ja niitä vertaillaan paperimassasta valmistettuihin arkkeihin. Vetokokeita varten arkit

täytyy leikata vetolaitteeseen sopiviksi vetoluiskiksi. Arkit leikataan 155mm pitkiksi ja 15mm leveiksi luiskiksi arkkileikkurilla. Vetokokeissa arkkeja testataan vetolaitteen avulla, jonka on valmistanut SDL Atlas.



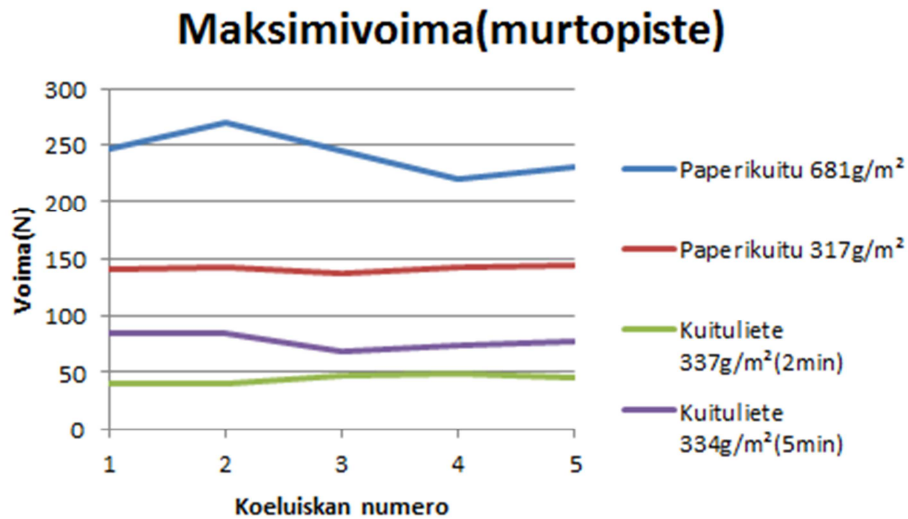
Kuvio 15. Vetokokeissa käytetty vetolaite.

## 10.1 Vetokokeet 1

Ensimmäisissä vetokokeissa vertaillaan paperikuiduista valmistettuja luiskia sekä kuitulietteestä valmistettuja luiskia. Tähän kokeeseen valmistettujen kuitulietearkkien kuitulietteen kuiva-ainepitoisuus oli 42,1. Kuitulietteet valmistettiin kappaleessa 8.2 mainitun kaltaisesti. Lisäksi näytteitä sekoitettiin sauvasekoittimella ennen arkiksi suotauttamista. Ensimmäistä kuitulietenäytettä sekoitettiin 2 minuuttia ja toista näytettä 5 minuuttia. Paperimassoja sekoitettiin sauvasekoittimella 2 minuuttia.



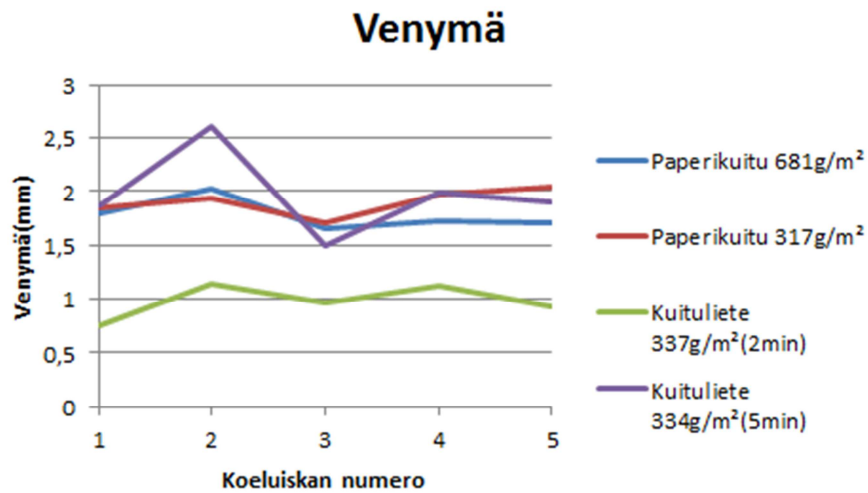
Sauvasekoituksen määrää vaihtelemalla pyrittiin saamaan selville kuitulietteen lujuusominaisuuksia.



Kuvio 16. Vetokokeissa olleiden luiskien murtopiste.

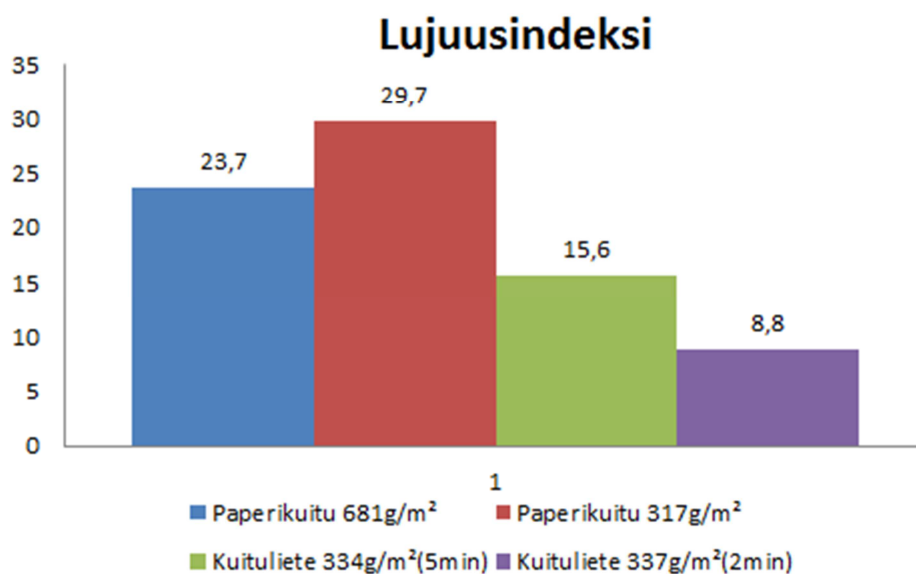
Kuviossa 16 on esitelty vetokokeiden tuloksia. Käyristä selviää neljän eri näytteen maksimivoima murtopisteessä. Jokaisesta arkista testattiin viisi eri luiskaa. Kuviosta voi havaita, että lähes saman neliöpainon omaava paperikuidusta valmistettu arkki on huomattavasti lujempaa kuin kuitulietteestä valmistettu arkki. Lujuuden paperiar-kille antaa kuitulietettä pidemmät kuidut, joita kuitulietteessä ei ole paljon.

Kuviosta voidaan havaita myös, että pidempään sekoitettu kuituliete on huomatta-vasti lujempaa kuin vähemmän sekoitettu kuituliete. Pidempi sekoitusaika lisää arkin lujuutta kuitulietteissä.



Kuvio 17. Vetokokeiden venymät.

Kuviossa 17 nähdään vetokokeista saadut luiskien venymät. Pidempään sekoitettu kuitulieteluiska venyy huomattavasti enemmän kuin vähemmän sekoitettu kuitulieteluiska. Pidemmällä sekoittamisella on saatu aikaan parempaa kuitujen välistä sitoutumista kuitulietearkissa, joka havaittiin myös aiemmasta maksimivoimakuvios- ta. Pitempään sekoitetun kuitulietteen venymän arvo on saatu pidemmällä sekoitus- ajalla samankaltaiseksi kuin paperimassasta valmistettujen arkkien.



Kuvio 18. Vetokokeissa olleiden arkkien lujuusindeksit.

Lujuusindeksin arvot on laskettu kaikkien samasta arkista valmistettujen koeluiskien lujuuden keskiarvoista. Kuviossa 18 on esitelty vetokokeissa saadut lujuusindeksit. Lujuusindeksin arvot kuitulietteellä ovat pienempiä kuin paperikuiduilla. Enemmän sekoitetun kuitulietteen lujuusindeksi on lähes kaksi kertaa suurempi kuin vähemmän sekoitetun kuitulietteen, mutta paremman lujuusindeksin omaava kuituliete on melkein kaksi kertaa heikompi kuin paremman paperikuidun lujuusindeksi, joka on pienemmän neliöpainon omaava paperiarkki.

Lujuusindeksi on laskettu kaavasta:  $\frac{F}{n}$ , jossa  $F$ =maksivoima murtopisteessä,  $d$ =luiskan leveys,  $n$ =arkin neliöpaino.

## 10.2 Vetokokeet 2

Toisien vetokokeiden näytteet ovat kaikki kuitulietteestä valmistettuja arkkeja. Käytetty kuituliete on hieman kosteampaa kuin ensimmäisissä vetokokeissa. Kuitulietteen kuiva-ainepitoisuus on 33.9 % jätevedenkäsittelylaitoksessa havaittujen ongelmien vuoksi.

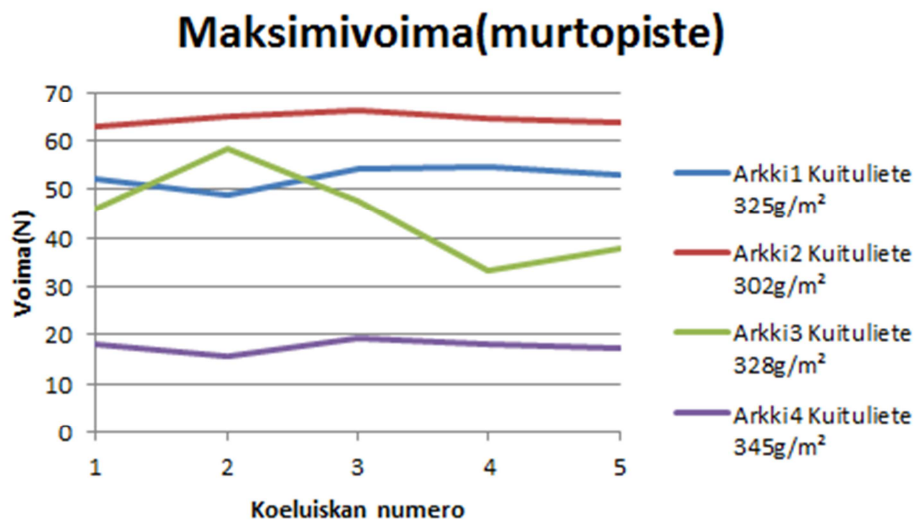
Näiden arkki valmistus poikkeaa hieman edellisistä kuitulietearkeista. Kolmea näytettä sekoitetaan 5 minuuttia sauvasekoittimella, mutta kahta näytettä sekoitetaan pH:n ollessa korkealla ja yhtä pH:n ollessa neutraali. Yksi näyte sekoitetaan pelkästään kevyesti ja pyritään hajoittamaan vain suurimmat kuitukimput. Näillä pyritään selvittämään sekoituksen vaikutusta emäksisessä ja neutraalissa pH:n arvossa.

Sekoituksen vaikutus arkin suotautumiseen oli huomattava. Kevyesti sekoitettu arkki 4, suotautui alle minuutissa, kun taas pidempään sekoitettujen arkki suotautumisaika oli 30–60 minuutin välillä. Heikoimmin suotautuivat arkit, joita oli sekoitettu pH:n ollessa korkealla.



Kuvio 19. Kuitulieteluisikat eksikaattorissa.

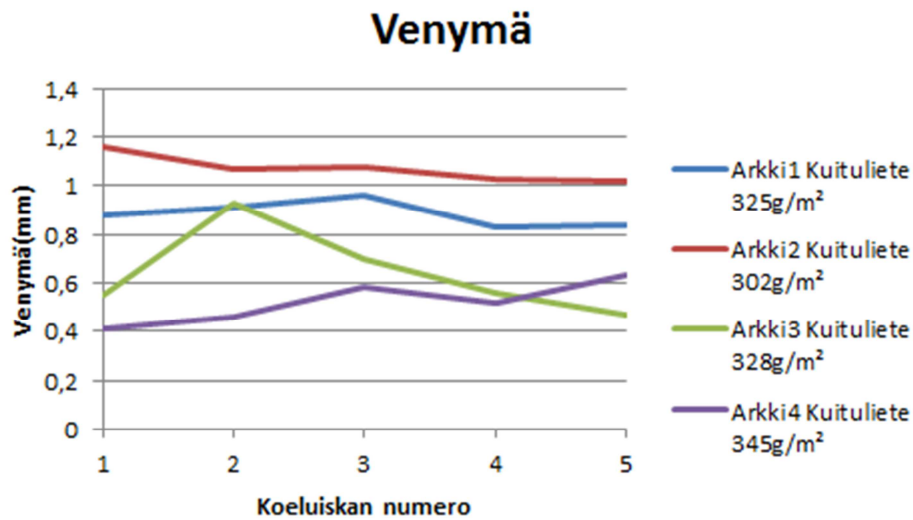
Vetokokeissa käytettävät liuskat ovat samankokoisia kuin ensimmäisissä vetokokeissa. Leikattuja luisia on tällä kertaa pidetty vuorokausi ennen vetokokeita eksikaattorissa luisissa olevan kosteuden tasaamiseksi.



Kuvio 20. Vetokokeiden maksimivoimat murtopisteessä.

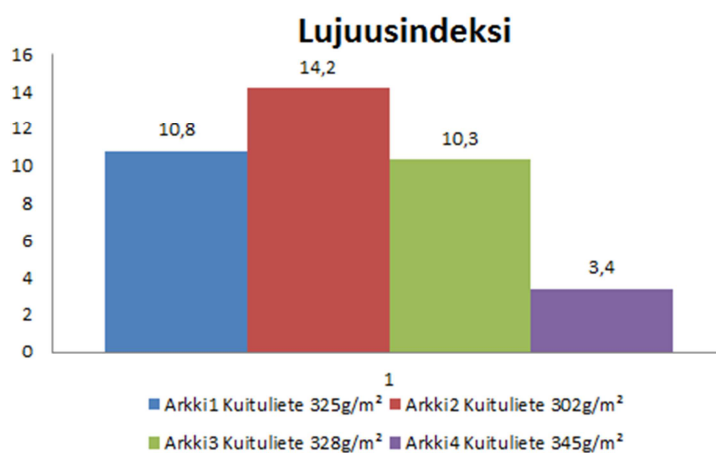
Kuviossa 20 on esitelty vetokokeiden tuloksia eri tavoilla sekoitetuille kuitulietearkeille. Arkit 1 ja 2 ovat sekoitettu pH:n ollessa vahvasti emäksinen. Arkki 3 on sekoitettu pH:n ollessa neutraali ja arkkia 4 sekoitettu vain kevyesti. Tuloksista voidaan havaita, että arkit, joita on sekoitettu pH:n ollessa korkea, ovat saavuttaneet suurempia lu-

juusarvoja. Arkin 3 koeluisikat 4 ja 5 olivat hieman vaurioituneet, joten luiskan lujuusarvoja tarkasteltaessa huomio kiinnitetään kolmeen ensimmäiseen luiskaan. Nämä arvot ovat lähes yhtä suuria kuin pidempään sekoitettujen arkkiarvojen arvot. Kevyesti sekoitettu arkki on huomattavasti heikompaa kuin sauvasekoittimella sekoitetut arkkit.



Kuvio 10. Vetokokeiden venymät.

Samankaltaisia tuloksia kuin kuviosta 20, saadaan myös kuviosta 21, jossa on esitelty venymän arvoja. Arkit 1 ja 2, joita on sekoitettu pH:n ollessa korkea, ovat saavuttaneet korkeimmat venymän arvot. Tällä kertaa myös arkki 3:sen luiskien venymät ovat pienempiä kuin arkin 1 ja 2. Tästä voidaan päätellä, että sekoittaminen korkeassa pH:ssa antaa kuitulietearkille hieman lisää lujuutta.



Kuvio 11. Vetokokeiden lujuusindeksi.

Kuviossa 22 esitetyistä lujuusindekseistä voidaan havaita, että sekoittamisella on vaikutusta kuitulietteen lujuuteen. Arkin 3 lujuusindeksin laskemisessa käytettävään maksimivoiman keskiarvoon ei ole otettu huomioon vaurioituneita koeluisia. Arkin 2 lujuusindeksi on suurempi kuin muiden arkkien ja arkin 1 lujuusindeksi on hieman suurempi kuin arkin 3, joka sekoitettiin pH:n ollessa neutraali. Arkin 4 lujuusindeksi on huomattavasti pienempi kuin muiden arkkien. Tästä voidaan päätellä, että kunollinen sekoittaminen vaikuttaa huomattavasti kuitulietearkkien lujuuteen. Arkki 1 omaa yli neljä kertaa suuremman lujuusindeksin kuin sekoittamaton arkki 4, joka on huomattavasti heikompaa kuin yksikään vetokokeissa ollut arkki.

## 11 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia kuitulietteen ja lentotuhkan ominaisuuksia niistä valmistetuista arkeista. Arkkikokeissa hyödynnettiin Jyväskylän ammattikorkeakoulun laboratoriolaitteistoa sekä kokeissa oli avustamassa laboratorion ja oppilaitoksen henkilökuntaa.

Laboratoriokokeiden aikana käytössä oli kahta eri aikana otettua kuitulietenäytettä. Toinen näyte oli hieman heikkolaatuisempaa ja kosteampaa jätevedenkäsittelyssä havaittujen ongelmien vuoksi, joten esimerkiksi vetokokeiden 1 ja 2 vertailu keskenään on hieman hankalaa lähtötilanteen vuoksi. Lisäksi tarkoituksena oli myös tutkia lentotuhkaa sekoitettuna kuitulietteeeseen ja niistä valmistettujen arkkien ominaisuuksia, mutta aikatauluongelmien takia näin ei päästy tekemään. Samalla oli myös tarkoitus sekoittaa muita aineksia kuitulietteeeseen ja tarkastella myös näistä valmistettujen arkkien ominaisuuksia.

Kuituliettesteistä arkkeja saatiin kuitenkin valmistettua ja niistä saatiin hyviä tuloksia tulevaisuuden kannalta. Havaittiin, että kuitulietteen voimakkaalla sekoittamisella voidaan parantaa kuitulietteen lujittumisominaisuuksia sekä se, kuinka eri vaiheessa tehdyt sekoitukset vaikuttavat kuitulietteen ominaisuuksiin.

Tehdyt tutkimukset voivat toimia hyvänä pohjana samankaltaisille tutkimuksille kuitulietteistä. Kuitulietteitä on tutkittu jonkin verran aikaisemminkin, mutta samankaltaisia tutkimuksia ei ole tehty. Jesús A.G. Ochoa de Aldan tekemä tutkimus, josta on kerrottu kappaleessa 5.3, on samankaltainen, mutta siinä testatut kuitulietteen ominaisuudet ovat hieman erilaisia kuin tässä tutkimuksessa testattavana olleet ominaisuudet.

Kuitulietteestä valmistetut arkit olivat hyvälaatuisia ja kohtuullisen lujia, jotta niitä voitaisiin esimerkiksi käyttää materiaalina rakennuksilla käytettävissä suojapapereissa. Lisätutkimuksia esimerkiksi kyseiseen käyttöön tarvittaisiin lisää. Täytyisi selvittää kuinka kuitulietteestä saataisiin valmistettua kyseistä tuotetta ja millaisia koneita ja välineitä se vaatisi. Yleisesti ottaen kuitulietteestä tehdyt kokeet olivat lupaavia ja tulevaisuudessa kuitulietettä voitaisiin hyödyntää tuotteissa, eikä polttaa energiana kattiloissa.

## Lähteet

Hynninen P. 2014. Implementation of pulp and paper sludge in anaerobic wetdigestion. Opinnäytetyö. Savonia ammattikorkeakoulu, tekniikan ja liikenteen ala, energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma. Viitattu 3.12.2014.

[https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/86246/hynninen\\_pasi.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/86246/hynninen_pasi.pdf?sequence=1)

Jermakka, J., Laine-Ylijoki, J. & Wahlström M. 2012. Taustamuistio kaatopaikoista annetun valtioneuvoston päätöksen muuttamista varten. Helsinki: Ympäristöministeriön raportteja 11/2012. Viitattu 15.12.2015.

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=136851&lan=fi>

Jääskeläinen J. & Lovio R. 2003. Globalisaatio saapui Varkauteen. Helsinki: Elinkeinoelämän tutkimuslaitos. Viitattu 16.2.2015. <http://www.etla.fi/wp-content/uploads/2012/09/B201.pdf>

Kaivola A. 2013. Metsäteollisuuden lietteiden biokaasutus biojätteen kanssa. Opinnäytetyö. Savonia ammattikorkeakoulu, tekniikan ja liikenteen ala, ympäristötekniikan koulutusohjelma. Viitattu 28.11.2014.

[http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/58712/Kaivola\\_Anna.pdf?sequence=1](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/58712/Kaivola_Anna.pdf?sequence=1)

Kinnunen N., Matilainen M., Pisto S. & Rinnepelto P. 2014. Metsäteollisuuden ravinteet. Apila Group. Viitattu 9.12.2014.

<http://www.apilagroup.fi/data/Mets%E4teollisuuden%20ravinteet%20Selvitys.pdf>

Lohiniva E., Mäkinen T. & Sipilä K. 2001. Lietteiden käsittely. VTT Energia. Helsinki. Viitattu 28.11.2014. <http://www2.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2001/T2081.pdf>

Nurmi R. & Lötjönen K. 2014. Stora Enso investoi 110 miljoonaa euroa Varkauteen. Yle uutinen. Viitattu 16.2.2015.

[http://yle.fi/uutiset/stora\\_enso\\_investoi\\_110\\_miljoonaa\\_euroa\\_varkauden\\_tehtaan/7117132](http://yle.fi/uutiset/stora_enso_investoi_110_miljoonaa_euroa_varkauden_tehtaan/7117132)

Ochoa de Alda Jesús A.G. 2008, Feasibility of recycling pulp and paper mill sludge in the paper and board industries. Espanja. Artikkelijulkaisussa Resources Conservation Recycling 2008. Viitattu 4.3.2015.

[http://www.academia.edu/541809/Feasibility\\_of\\_recycling\\_pulp\\_and\\_paper\\_mill\\_sludge\\_in\\_the\\_paper\\_and\\_board\\_industries](http://www.academia.edu/541809/Feasibility_of_recycling_pulp_and_paper_mill_sludge_in_the_paper_and_board_industries)

Sarkkinen J. 2012. Savon sellu Oy:n lietteen käsittelyn kehittäminen. Opinnäytetyö. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu, ympäristötekniikan koulutusohjelma. Viitattu 26.11.2014.

[http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/38866/Sarkkinen\\_Jouko\\_2012\\_01\\_26.pdf?sequence=1](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/38866/Sarkkinen_Jouko_2012_01_26.pdf?sequence=1)



Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2008/98/EY. 2008. Euroopan unionin virallinen lehti. Viitattu 5.12.2014. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:312:0003:0030:FI:PDF>

Jäteverolaki. 2010. Ajantasainen lainsäädäntö Finlexin sivustolla. Viitattu 5.12.2014. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2010/20101126>

Metsäteollisuudesta jätteitä yhä vähemmän. 2013. Artikkelin Metsäteollisuus ry:n sivustolla. Viitattu 11.11.2014  
<http://www.metsateollisuus.fi/painopisteet/ymparisto/tehtaiden-ymparistoasiat/Metsateollisuudesta-jatteita-yha-vahemman--97.html>

Metsäteollisuuden ympäristötilastot. 2013. Metsäteollisuus ry:n julkaisu 2012 ympäristötilastoista. Viitattu 13.2.2015.  
<https://www.metsateollisuus.fi/mediabank/606.pdf>

Metsäteollisuuden ympäristötilastot. 2014. Metsäteollisuus ry:n julkaisu 2013 ympäristötilastoista. Viitattu 11.11.2014 <https://www.metsateollisuus.fi/epaper/epaper-MT-ymparistotilastot-2013/page13.html#/0>

Stora Enso lyhyesti. n.d. Yrityksen esittely Stora Enso Oyj:n sivuilla. Viitattu 6.11.2014  
<http://www.storaenso.com/lang/finland/stora-enso-lyhyesti>

Tuhkarakentamisen käsikirja. 2012. Tuhkarakentamiseen keskittyvä verkkojulkaisu. Viitattu 18.11.2014.  
[http://energia.fi/sites/default/files/tuhkarakentamisen\\_kasikirja.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/tuhkarakentamisen_kasikirja.pdf)