

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
LAPPEENRANTA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Teknillinen tiedekunta
LUT Energia

Faculty of Technology
LUT Energy

Tutkimusraportti Research Report 24

Mari Hupponen, Mika Luoranen, Mika Horttanainen

Mädätysjäännöksen rakeistus, terminen kuivaus ja energiahyötykäyttö



Open your m.
Lappeenranta Unive

of Technology

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknillinen tiedekunta. LUT Energia
Tutkimusraportti 24

Lappeenranta University of Technology
Faculty of Technology. LUT Energy
Research report 24

Mari Hupponen, Mika Luoranen, Mika Horttanainen

Mädätysjäännöksen rakeistus, terminen kuivaus ja energiahyötykäyttö

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknillinen tiedekunta. LUT Energia
PI 20
53851 LAPPEENRANTA

ISBN 978-952-265-286-7 (PDF)
ISSN 1798-1328

Lappeenranta 2012



TIIVISTELMÄ

Mari Hupponen, Mika Luoranen, Mika Horttanainen

Mädätysjäännöksen rakeistus, terminen kuivaus ja energiahyötykäyttö

Lappeenranta 2012

66 sivua, 59 kuvaa, 7 taulukkoa

Tutkimusraportti 24

ISBN 978-952-265-286-7 (PDF), ISSN 1798-1328

Tutkimuksen tavoitteena oli kartoittaa alueellisen jäteyhtiön Kymenlaakson Jäte Oy:n mahdollisuuksia rakeistaa ja termisesti kuivata mekaanisesti kuivattua mädätysjäännöstä sekä mahdollisuuksia toimittaa termisesti kuivattua materiaalia energiahyötykäyttöön. Tutkimuksessa selvitettiin myös kokemuksia lattialämmityksen käyttämisestä mädätysjäännöksen kuivaukseen.

Tutkimuksessa perehdyttiin erilaisiin rakeistus- ja kuivausmenetelmiin sekä termisen kuivurin valintaan vaikuttaviin asioihin. Kuvaukset perustuvat kirjallisuudesta ja internetistä saatuihin tietoihin. Tekniikkakuvausten pohjalta lähdettiin kyselemään tarjouksia termisiä kuivauslaitteistoja myyville yrityksille. Tarjoukset pyydettiin kuiva-ainepitoisuuden muutokselle 30 %:sta 90 %:iin ja oletettiin, että kuivaukseen on käytettävissä lämpöä viideltä kaatopaikkakaasua käyttävältä mikroturbiinilta. Tutkimuksen aikana saatiin tarjous kuudelta yritykseltä. Saadut tarjoukset esiteltiin tiivistetysti raportissa ja kokonaisuudessaan ne sisällytettiin Kymenlaakson Jäte Oy:n laajempaan raporttiin, joka ei ole julkinen. Yritykset antoivat hyvin erilaisia tietoja siitä, mitä tarjoukseen sisältyy, joten tarjoukset eivät olleet suoraan vertailukelpoisia. Tarjouksista myös havaittiin, että jos Mäkikylän biokaasulaitokselta vastaanotettaisiin enimmäismäärä (19 500 t/a) mädätysjäännöstä, mikroturbiineilta saatava lämpöenergia ei riittäisi kuivaamaan kaikkea mädätysjäännöstä 90 % kuiva-ainepitoisuuteen. Tutkimuksen aikana huomattiin myös, että sitovan tarjouksen saamiseksi mädätysjäännös tulee toimittaa testattavaksi, jolloin saadaan vahvistus kuivausmenetelmän soveltuvuudesta kyseiselle materiaalille.

Tutkimuksessa selvitettiin myös, minkälaisia kokemuksia löytyy lattialämmityksen käyttämisestä kuivaukseen niin Suomesta kuin maailmalta ja voiko menetelmää käyttää mädätysjäännöksen kuivaukseen. Kyseistä menetelmää on käytetty tehostamaan aurinkokuivausta, joten tutkimuksen aikana perehdyttiin erityisesti aurinkokuivaukseen liittyviin tieteellisiin artikkeleihin. Lattialämmityksen käytöstä löytyi niin heikkouksia kuin vahvuuksia. Suomessa aurinkokuivauksen ja lattialämmityksen yhdistelmä ei ole kuitenkaan päätenyt laajaan käyttöön ja syynä voidaan nähdä muun muassa kylmät ja pimeät vuodenaajat sekä suuri pinta-alan tarve.

Tutkimusraportissa selvitettiin lisäksi polttolaitosten edustajien kiinnostusta ja rajoituksia ottaa vastaan termisesti kuivattua mädätysjäännöstä. Tutkimuksen aikana otettiin yhteyttä

alle 100 km etäisyydellä Kymenlaakson Jäte Oy:stä sijaitsevien jätteenpolttoluvan omaavien yritysten edustajiin. Saatuja vastauksia käsiteltiin tiivistetysti raportissa ja vastaukset sisällytettiin kokonaisuudessaan Kymenlaakson Jäte Oy:n laajempaan raporttiin, joka ei ole julkinen. Puhelinhaastattelujen pohjalta nähtiin, että yrityksillä on kiinnostusta materiaalia kohtaan, mutta samalla vastauksiin vaikuttavat mädätysjäännöksen analyysitulokset. Polttoominaisuuksiin liittyvät analyysit tullaan toteuttamaan vuoden 2012 aikana. Laitoksilla oli myös vaihtelevia rajoituksia materiaalia kohtaan, mutta analyysituloksista riippuen materiaalia voidaan hyödyntää energiana tuhansia tai jopa kymmeniä tuhansia tonneja vuodessa alle 100 km etäisyydellä Kymenlaakson Jäte Oy:stä.

Hakusanat: aurinkokuivaus, energiahyötykäyttö, lattialämmitys, liete, terminen kuivaus, mädätysjäännös, terminen käsittely, poltto, rakeistus

ABSTRACT

Mari Hupponen, Mika Luoranen, Mika Horttanainen

Granulation, thermal drying and energy utilization of the digestate

Lappeenranta 2012

66 pages, 59 figures, 7 tables

Research report 24

ISBN 978-952-265-286-7 (PDF), ISSN 1798-1328

The aim of the study was to survey the possibilities for the regional waste management company Kymenlaakson Jäte Oy to granulate and thermally dry mechanically dried digestate and the possibilities to deliver the thermally dried material to energy utilization. The aim was also to gather experiences related to the drying of digestate by using floor heating.

Various granulation and drying methods and issues that affect the selection of the dryer are presented in the study. The descriptions were founded on the information from literature and the Internet. Based on the technology descriptions, invitations to make offers were sent to companies which sell thermal dryers. The companies were asked to place an offer for the dry matter content change from 30 % to 90 % with the assumption that heat is available for the drying from five microturbines that are using landfill gas. Six offers were received from the companies during the study. The offers were summarized in the report. In their entirety, the offers are presented in a more extensive, non-public report of Kymenlaakson Jäte Oy. The information given by the companies on what is included in the offers varied greatly, and therefore, the offers were not directly comparable. It was also noticed from the offers that if the maximum amount (19 500 t/a) of the digestate from the Mäkikylä biogas plant is received, the heat amount from the microturbines would not be large enough to dry all the material to the 90 % dry matter content. It was also found out that testing of the digestate is needed to confirm the suitability of the thermal dryer for the material and to get a binding offer.

In the study, experiences related to the drying of the digestate by using floor heating were gathered from Finland and abroad to find out whether it is possible to use the method for the drying of digestate. Floor heating has been used to improve the efficiency of solar drying, and therefore, the study focuses on the scientific articles related to solar drying. It was found out that there are both weaknesses and strengths in the using of the floor heating. However, the combination of the solar drying and the floor heating has not ended up in extensive use in Finland. Reasons for this can be for example the cold and dark seasons and the required large surface areas.

The report also considered the interests and limitations of the incineration plant representatives to receive thermally dried digestate. The representatives of the plants that have a

permit to incinerate waste within a 100 km distance from Kymenlaakson Jäte Oy were interviewed by telephone. The answers were summarized in the report. In their entirety, the offers are presented in the more extensive, non-public report of Kymenlaakson Jäte Oy. The interviews showed that the companies are interested in the material, but at the same time, the analysis results of digestate are influencing the answers. The analysis will be carried out during the year 2012. The plants had also variable limitations on the material, but depending on the analysis results, the energy utilization of the thermally dried digestate can be thousands or even tens of thousands of tonnes per year within a 100 km distance from Kymenlaakson Jäte Oy.

Keywords: digestate, energy utilization, floor heating, granulation, incineration, sludge, solar drying, thermal drying, thermal treatment

ALKUSANAT

Raportti on laadittu Lappeenrannan teknillisen yliopiston projektissa Jätehuollon alueellisten toimintastrategioiden kehittäminen tutkimuksen keinoin Kymenlaaksossa (JATKE KL). Tutkimus on toteutettu pääasiassa vuoden 2011 aikana. Projektin vastuuhenkilönä on toiminut professori (TkT) Mika Horttanainen, projektipäällikkönä (TkT) Mika Luoranen ja tutkimuksen tekemisestä on vastannut (DI) Mari Hupponen. Raportti on koostettu Kymenlaakson Jäte Oy:lle tehdystä laajemmasta raportista (ei julkinen).

Projektilla on ollut yhteinen ohjausryhmä Jätehuollon alueellisen toimintastrategian kehittäminen tutkimuksen keinoin Etelä-Karjalassa (JATKE EK) -projektin kanssa. Ohjausryhmään ovat kuuluneet

- Mika Suomalainen, Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy (puheenjohtaja)
- Kari Martikainen, Kymenlaakson Jäte Oy
- Leo Pyöriä, Kouvolan kaupunki
- Mika Horttanainen, Lappeenrannan teknillinen yliopisto
- Mika Luoranen, Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Kiitos projektin rahoittajille: Euroopan aluekehitysrahastolle (EAKR), Kymenlaakson Liitolle, Kouvolan kaupungille ja Kymenlaakson Jäte Oy:lle. Sujuvasta yhteistyöstä kiittäen Kymenlaakson Jäte Oy:n toimitusjohtaja Kari Martikaista, projekti-insinööri Esa Partasta sekä laatu- ja ympäristöpäällikkö Hanna Alataloa. Iso kiitos myös eri yritysten edustajille, jotka ovat antaneet tietoa tutkimuksen aikana.

Lappeenranta 31.1.2012

Mari Hupponen

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	3
1.1	Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset	4
1.2	Tutkimuksen toteutus	4
2	RAKEISTUS.....	5
2.1	Sekoitin (Mixer)	6
2.2	Pursotus (Extrusion)	7
2.3	Valssauspaine (Roll Press)	8
2.4	Tabletin puristus (Tablet Press).....	9
2.5	Matriisipuristus (Molding Press)	9
2.5.1	Rengasmatriisipuristin	10
2.5.2	Tasomatriisipuristin	11
2.5.3	Lineaarinen puristin	12
3	TERMINEN KUIVAUS	13
3.1	Kiekkokuivain (Disc Dryer).....	15
3.1.1	Stora Enso, Anjalankoski	17
3.1.2	Lakeuden Etappi Oy, Ilmajoki	17
3.2	Kuivaustorni (Tower Dryer)	19
3.3	Rumpukuivain (Drum Dryer)	21
3.4	Hihnakuivain (Belt Dryer)	23
3.4.1	Joensuun Vesi.....	26
3.4.2	Haapaveden Ympäristöpalvelut Oy	28
3.5	Leijupetikuivain (Fluidized Bed Dryer)	29
3.6	Flash-kuivain (Flash Dryer)	31
3.7	Kiertoleijukuivuri (Circulating Fluidized Bed)	32
3.7.1	Lapinlahti, Suoniemen puhdistamo	33
3.8	Ilmapäästöt ja rejektivedet	34
3.9	Termisen kuivurin valinta	36
4	AURINKOKUIVAUKSEN TEHOSTAMINEN	38
4.1	Aurinkokeräimien käyttö turpeen kenttäkuivauksessa - Vapo Oy, Kihniö	38
4.2	Lattialämmityksen käyttö lietteen kuivauksessa - Hydropress Huber Ab, Helsinki..	39
4.3	Lämpöpumppujen käyttö lietteen kuivauksessa - Ranska	40

4.4	Lattialämmityksen ja kivipedin käyttö lietteen kuivauksessa - Turkki.....	42
4.5	Infrapunalampan ja lattialämmityksen käyttö lietteen kuivauksessa - Puola	43
5	TERMINEN KÄSITTELY	45
5.1	Lietteen käsittely Euroopassa	46
5.2	Termiset käsittelylaitokset	47
5.2.1	Arinakattila ja massapolttolaitos	47
5.2.2	Leijupetikattila ja rinnakkaispolttolaitos.....	49
5.2.3	Rumpu-uuni	50
5.2.4	Kaasutuslaitos	52
5.3	Yhteydenotto käsittelylaitoksiin.....	54
6	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	56
	LÄHDELUETTELO	59

1 JOHDANTO

Alueellinen jäteyhtiö Kymenlaakson Jäte Oy on sitoutunut ottamaan vastaan vuoden 2011 alusta mädätysjäännöstä Kouvolan Mäkikylän biokaasulaitokselta vähintään 2000 t/a ja enintään 19 500 t/a. Mikäli mädätysjäännöstä otetaan vastaan myös muilta toimijoilta, vastaanotettavan mädätysjäännöksen määräksi muodostuu noin 38 000 t/a. Tutkimuksessa kartoitetaan Kymenlaakson Jäte Oy:n mahdollisuuksia rakeistaa ja termisesti kuivata mädätysjäännöstä sekä toimittaa kuivattua materiaalia energiahyötykäyttöön. Lopputuotetta on tarkoitus käyttää myös lannoitukseen, mutta kyseiseen näkökulmaan ei keskitytä tutkimuksessa, sillä mädätysjäännöksen hyötykäyttömahdollisuuksiin lannoitevalmisteena viljelykäytössä on keskitytty Partasen (2010) diplomityössä. Tutkimuksessa selvitetään myös kokeuksia lattialämmityksen käyttämisestä mädätysjäännöksen kuivaukseen.

Tutkimuksessa on lähdetty liikkeelle siitä, että mädätysjäännös kuivataan mekaanisesti biokaasulaitoksella noin 30 % kuiva-ainepitoisuuteen ennen toimitusta Kymenlaakson Jäte Oy:n Keltakankaan jätekeskukselle Kouvolaan. Termisen kuivauksen jälkeen toivottu kuiva-ainepitoisuus on 90 %. Mädätysjäännöksen syötteinä ovat

- yhdyskuntaliete (enintään 50 %)
- biojäte (enintään 40 %)
- kaupan ja teollisuuden biojäte (enintään 20 %)
- teollisuuden liete (enintään 30 %)
- peltobiomassa (enintään 30 %) ja
- ravintorasvat (enintään 30 %) (Etelä-Suomen aluehallintovirasto 2010, 4).

Tutkimuksessa on oletettu, että Kymenlaakson Jäte Oy:llä on viisi kaatopaikkakaasua käyttävää mikroturbiinia, joilta saatavalla energialla kuivaus halutaan toteuttaa. Näin ollen kuivauksen käsittelykapasiteettiin vaikuttaa hyödynnettävissä oleva palokaasujen lämpöenergia. Laitteiston käytön tulee onnistua nykyisellä henkilökunnalla (työaika 8 h/d ja 5d/vko), mutta yrityksen toiveena on, että käsittelyaika on 24 h/d. Lopputuotteen tulee soveltua sekä lannoitukseen että polttoon ja käsittelyn tulee olla hajutonta.

Tutkimus on toteutettu projektissa Jätehuollon alueellisten toimintastrategioiden kehittäminen tutkimuksen keinoin Kymenlaaksossa (JATKE KL). Tutkimus on toteutettu pääasiassa vuoden 2011 aikana.

1.1 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää,

- minkälaisia rakeistus- ja kuivaustekniikoita löytyy
- mikä on soveltuva laitteistokokoonpano termisen kuivauksen ja rakeistuksen osalta, jotta saadaan tuotettua soveltuva lopputuote lannoitukseen ja polttoon
- minkälaisia kokemuksia löytyy lattialämmityksen käyttämisestä kuivaukseen Suomesta ja maailmalta ja voiko menetelmää käyttää mädätysjäännöksen kuivaukseen
- ovatko polttolaitosten edustajat kiinnostuneita ottamaan vastaan termisesti kuivattua mädätysjäännöstä.

Tutkimuksessa on rajattu termisten kuivaustekniikoiden selvitys menetelmiin, joilla voidaan saavuttaa 90 % tai sitä suurempi kuiva-ainepitoisuus, mutta mukaan on valittu myös lattialämmitysvaihtoehto. Mädätysjäännöksen käsittelyalueella ei ole tarkoitus polttaa materiaalia.

1.2 Tutkimuksen toteutus

Rakeistus- (kappale 2) ja kuivaustekniikoiden (kappale 3) kuvaukset on tehty pääasiassa kirjallisuuden ja www-sivujen tietojen pohjalta. Soveltuvan laitteistokokoonpanon löytämiseksi on otettu yhteyttä kuivauslaitteistoja myyviin yrityksiin ja pyydetty tarjouksia (kappale 3.9) niin Suomesta kuin ulkomailta sekä kyselty samalla lisätietoa laitteistoista ja itse käsittelystä. Saadut tiedot on sisällytetty kokonaisuudessaan Kymenlaakson Jäte Oy:n erilliseen raporttiin (ei julkinen) ja tässä raportissa tietoja on esitetty tiivistetysti (kappale 6). Selvitettäessä lattialämmityksen käyttämistä kuivaukseen (kappale 4) on perehdytty erityisesti aurinkokuivauksen tehostamiseen liittyviin tieteellisiin artikkeleihin, mutta on myös etsitty tietoa liittyen menetelmän soveltuvuuteen Suomessa. Selvitettäessä polttolaitosten kiinnostusta kuivattua mädätysjäännöstä kohtaan (kappale 5) on otettu yhteyttä enintään 100 km etäisyydellä Kymenlaakson Jäte Oy:stä sijaitsevien jätteenpolttoluvan omaavien yritysten edustajiin. Saadut vastaukset on sisällytetty kokonaisuudessaan Kymenlaakson Jäte Oy:n erilliseen raporttiin (ei julkinen) ja tässä raportissa tietoja on esitetty tiivistetysti (kappale 6).

2 RAKEISTUS

Rakeistusprosessissa materiaali saadaan haluttuun raekokoon. Kyseessä on kiinteässä muodossa oleva, useamman kiintohiukkasen muodostama rae. (Pihkala 1998, 21.) Rakeistamisen etuina ovat muun muassa, että

- materiaali ei pölyä
- materiaali liukenee tasaisemmin
- materiaalin annostelu, käsiteltävyys ja levitys helpottuvat
- materiaali ei paakkuunnu niin helposti (Pihkala 1998, 21; Latvala 2009, 53).

Rakeistusta kutsutaan monella nimellä, riippuen toteutustavasta. Nimityksinä löytyy muun muassa granulointi, pelletointi ja briketointi. (Pihkala 1998, 21.) Rakeistamisessa voidaan käyttää rakeistamista tai rakeiden kestävyttä edistäviä aineita, mikä voi osaltaan vaikuttaa rakeiden sisältämien ravinteiden liukoisuuteen (Latvala 2009, 53). Samassa yhteydessä raakeeseen voidaan lisätä myös ravinteita.

Rakeistus voidaan suorittaa kuivauksen yhteydessä tai erikseen. Rakeistus voi tapahtua termisen kuivauksen jälkeen tai ennen kuivausta, jolloin liete on vielä muovautuvassa muodossa eli kuiva-ainepitoisuus on alle 40–50 % (Kutinlahti 2003, 26). Esimerkkejä rakeistuksen menetelmistä on esitelty taulukossa 1. Taulukosta on myös nähtävissä kappale, josta löytyy lisätietoa menetelmästä.

Taulukko 1. Rakeistuksen menetelmiä (Genskow (toim.) 2008, 12:61)

Menetelmä	Tuotteen koko [mm]	Tiheys	Toiminnan mittakaava	Muuta	Kappale
Rumpukäsittely (kiekko, rumpu)	0,2-20	Kohtalainen	0,5-800 t/h	Erittäin pallomainen rae	3.1, 3.3
Sekoitin (jatkuva)	0,1-0,5	heikko	Jopa 50 t/h	Käsittelee yhdenmu- kaisia materiaaleja	2.1
Leijuvat menetelmät (esim. leijupeti)	0,1-1	matala (puristettu) kohtalainen (kerroksittainen)	50 t/h	Joustava, helppo skaalata	3.5
Painepuristus					
- Pursotus	> 0,5	suuri –	Jopa 5 t/h	Erittäin kapea koko	2.2
- Valssauspaine	> 1	erittäin suuri	Jopa 50 t/h	jakauma	2.3
- Tabletin puristus	10		Jopa 1 t/h		2.4
- Matriisipuristus	-		-		2.5

Laitteita voidaan jakaa sekoittaviin rakeistuslaitteisiin (rumpukäsittely, sekoittimet ja leijupedit) sekä painepuristuslaitteisiin ja näiden risteymiin (Genskow (toim.) 2008, 12:73–74). Sekoituslaitteiden yhteydessä puhutaan kerrostavasta rakeistuksesta. Taulukosta 1 voidaan havaita, että lopputuotteiden tiheys kasvaa, jos rakeistukseen käytetään puristusta. Käytettävä puristusaine voi olla jopa 10 bar. Materiaalin koostumuksesta riippuen, puristus voidaan suorittaa myös ilman neste- tai sidosainelisiä. (Pihkala 1998, 22–23.)

Rakeistuslaitteen lisäksi prosessiin voi kuulua useita oheislaitteita kuten jauhatusta, sekoitusta, kuivausta ja lajittelua (Genskow (toim.) 2008, 12:73–74). Rakeistukseen käytettävän rumpukuivaimen edellä voi myös olla jo sekoitus/ rakeistus, jolla edesautetaan tasaisen rakeen muodostumista (Andritz b).

2.1 Sekoitin (Mixer)

Sekoittimia on useita erilaisia. Schugi-rakeistin on jatkuvatoiminen laite, jossa lavat on asennettu pystysuoraan akseliin, joka pyörii erittäin nopeasti (1000–3500 krs/min). Sekoituksen yhteydessä voidaan lisätä lisäaineita. Materiaalin viipymäaika laitteessa on vain muutaman sekunnin ja lopputuotteena saadaan pulveria. Käsittelyssä ei anneta aikaa tihentymiselle ja kasvulle, vaan niihin panostetaan jatkokäsittelyssä. Yleensä kyseisestä rakeistimesta materiaali jatkaa esimerkiksi suoraan leijupetikuivurille. Laitteen kapasiteetti voi olla jopa 50 t/h. Schugi-rakeistin on esitelty kuvassa 1. (Litster ja Ennis 2004, 225.)



Kuva 1. Schugi-rakeistin (Bepex)

Ruuvisekoittimella saadaan kuivaimen syöte, jossa on mahdollisimman vähän paakkuja, jotka voisivat vaikuttaa epäsuotuisasti kuivaimen suoritukseen (Andritz Sprout 2008). Kuvassa 2 on esitelty tuplasekoitin.

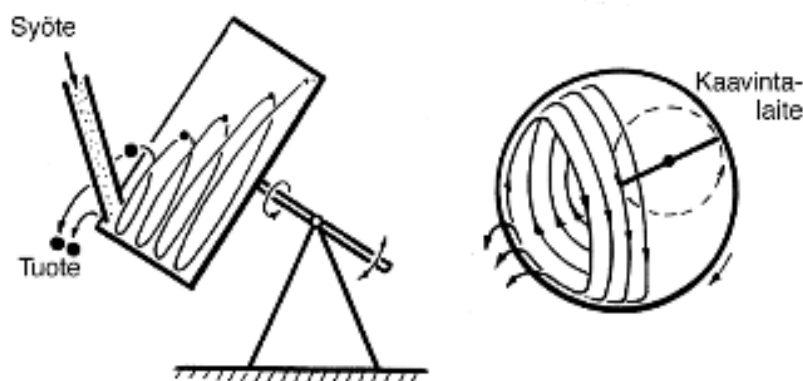


Kuva 2. Tuplasekoitin (Andritz Sprout 2008)

Lautasrakeistimessa on nimensä mukaisesti pyörivä lautanen, joka on noin 45 °:n kulmassa. Kuvassa 3 on nähtävissä lautanen, jonka halkaisija voi olla jopa 5 m. Lautasen koko vaikuttaa rakeiden vyörymismatkaan ja putoamiskorkeuteen, mitkä puolestaan vaikuttavat rakeiden lujuuteen. Lautasrakeistimen periaatetta on kuvattu kuvassa 4. (Pihkala 1998, 22.)



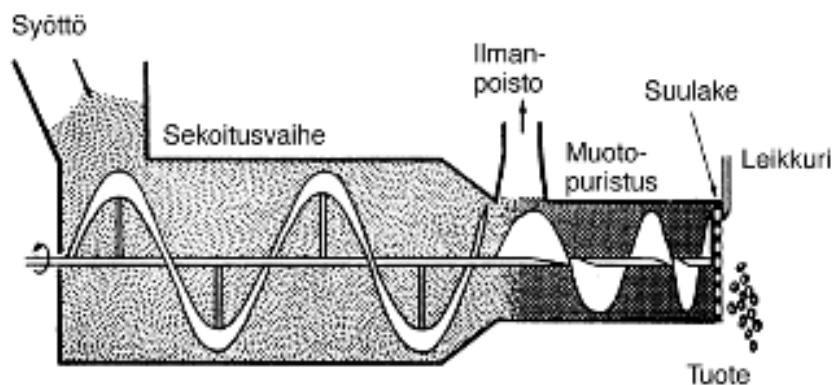
Kuva 3. Lautasrakeistin (Tekes 2005, 238)



Kuva 4. Lautasrakeistimen periaate (Pihkala 1998, 23)

2.2 Pursotus (Extrusion)

Ruuvisuulakepuristimessa materiaali syötetään syöttösuppilon kautta puristimeen, joka koostuu ruuvista, vaipasta, syöttölaitteistosta, vaihteistosta ja moottorista. Ruuvi kuljettaa materiaalin syöttöaukolta sekoitusvaiheen kautta puristusvyöhykkeelle ja kohti suulaketta, joka on isoreikäinen pyörivän liikkeen pysäyttävä taustalevy. Ulossyöttövaiheessa materiaali pursotetaan suulakkeen läpi. (Lipasti 2008, 21.) Kuvassa 5 on esitelty ruuvisuulakepuristin. Pursottamalla liete suulakkeen läpi saadaan valmistettua pellettejä tai spagettimaista nauhaa (ks. kuva 6), jos laitteen perässä ei ole leikkuria. Pursotus voi tapahtua esimerkiksi suoraan hihnakuivaimen hihnalle. (Lohiniva et al. 2001, 62 ja 66.) Laitteita on monenlaisia, kuten yksi-, kaksi- ja moniruuvisuulakepuristimia (Lipasti 2008, 21).



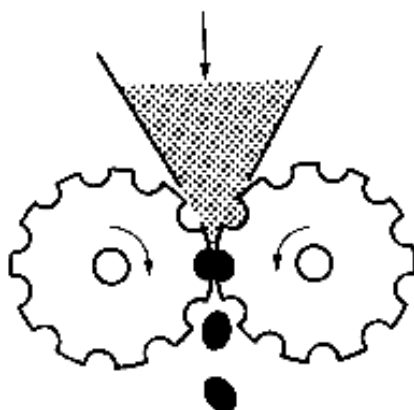
Kuva 5. Ruuvisuulakepuristin (Pihkala 1998, 24)



Kuva 6. Lietteen syöttö nauhalle (Huber 2010a, 2)

2.3 Valssauspaine (Roll Press)

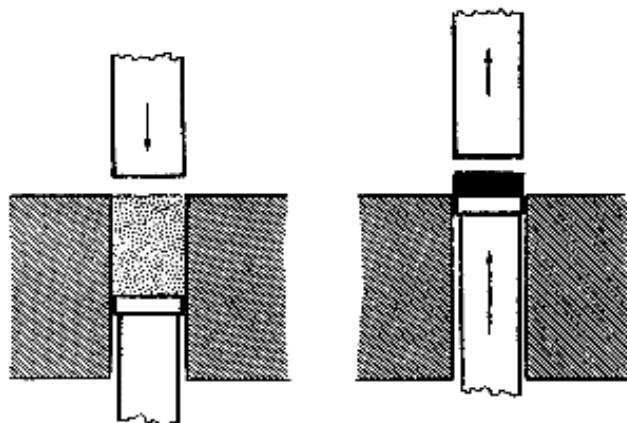
Nykyisten puristimien edeltäjät perustuivat valssirattaisiin. Laite koostui kahdesta rattaasta, jotka pyörivät vastakkaisesti suuntiin, kuten on esitetty kuvassa 7. Materiaali ohjautui valssien pykälien väliin, jolloin tapahtui puristuminen kappaleeksi. (Hokkanen 2009, 5.)



Kuva 7. Valssauspaine (Pihkala 1998, 23)

2.4 Tabletin puristus (Tablet Press)

Mäntäpuristimilla voidaan valmistaa tabletteja (Pihkala 1998, 24). Periaatteena on, että materiaali jää puristuksiin kahden kappaleen väliin muodostaen tabletin. Mäntäpuristin on esitetty kuvassa 8. Käyttämällä kahta pyörivää telaa materiaali voidaan tabletin sijaan puristaa telojen välissä levyksi (Lohiniva et al. 2001, 62).



Kuva 8. Mäntäpuristin (Pihkala 1998, 24)

2.5 Matriisipuristus (Molding Press)

Matriisipuristimessa mädätysjäännös puristetaan matriisin läpi (Lohiniva et al. 2001, 62). Matriisipuristusta voidaan käyttää esimerkiksi ennen hihnakuivainta, jolloin materiaali puristetaan suoraan hihnalle (Pöyry Environment Oy 2007, 50). Rakeistus voi tapahtua myös kuivauksen jälkeen, kuten Lakeuden Etappi Oy:llä (ks. kpl 3.1.2) (Ruippo 2008).

Materiaalin puristaminen tapahtuu rullien tai männän avulla reiälliseen matriisiin. Matriisissa materiaali tiivistyy reikiin ja aines työntää tiivistynyttä ainesta eteenpäin rei'issä. (Hautakoski 2011, 10.) Matriisin alapuolella leikkuriterät leikkaavat pelletit halutun mittaisiksi (Hokkanen 2009, 8). Mikäli laitetta ei ole varustettu terillä, pelletit leikkaantuvat painovoiman vaikutuksesta (Flyktman et al. 2011, 30).

Puristusvaiheen jälkeen pelletit jäädytetään, jotta ne saavuttavat lopullisen lujuutensa. Jäähdytys tapahtuu puhaltamalla kylmää ilmaa pellettikerroksen läpi. Jäähdytyksen jälkeen pelletit voidaan seuloa, josta seulottu materiaali palautetaan takaisin prosessiin. Seulonnalla saavutetaan tasalaatuisempi lopputuote. (Flyktman et al. 2011, 30.)

Matriisin paksuudella voidaan vaikuttaa pelletin kovuuteen. Mitä pidempi matka tiivistyneellä materiaalilla on ulos ja mitä suurempi puristusvoima on, sitä lujempi pelletti. (Hautakoski 2011, 10; Hokkanen 2009, 8.) Mikäli puristusvastus on liian suuri, materiaali ei enää liiku eteenpäin puristuskanavassa (Hokkanen 2009, 8).

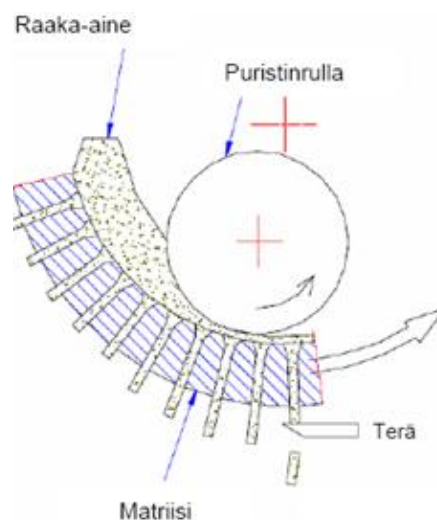
Matriisit ja puristusrollat valmistetaan korkealuokkaisista teräseoksista, jotta saavutetaan mahdollisimman pitkä kestoikä. Kulumisen lisäksi matriisit voivat murtua. Puristinrullien kestoikä kasvaa, jos rullat ovat isompia ja kehänopeus on hitaampi. Tyypillinen rullien halkaisija on 15–45 cm. (Hokkanen 2009, 9-10.)

Pelletin laatuun vaikuttavat:

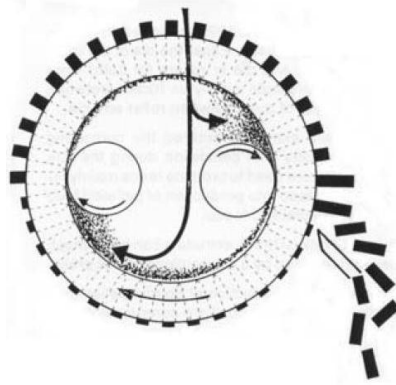
- puristimen kapasiteetti ja virtausnopeus puristuskanavassa
- puristuskanavan pituus ja muoto
- matriisin reikien lukumäärä, halkaisija, reikäjako ja kunto
- puristusrollan leveys
- matriisin ja puristinrollan välin koko
- lämpö ja kosteus
- materiaalin jakautuminen
- syötteen esikäsittely
- materiaalin koostumuksen muutokset
- pelletöinnin apuaineet
- jäähdytysaika (Hokkanen 2009, 11).

2.5.1 Rengasmatriisipuristin

Rengasmatriisipuristin kehitettiin jo 1920-luvulla ja se on tänä päivänä yleisin teollisuuden käyttämä pellettikone (Hokkanen 2009, 5). Puristimessa on rei'itetty putki, jonka sisällä on puristinrollat, jotka puristavat putken sisälle ohjatun materiaalin rei'istä ulos pelletteinä. Periaate on nähtävissä kuvassa 9. Puristimia löytyy kahta eri mallia, toisessa pyörii matriisi ja toisessa puristinrollat. Puristinrullien määrä vaihtelee. (Hautakoski 2011, 11.) Yleensä rullia on 2-3 kappaletta (Hautakoski 2011, 11; Hokkanen 2009, 10). Kuvassa 10 puristinrullia on kaksi kappaletta. Kuvassa 11 on puolestaan esitelty rengasmatriisipuristin ulkoapäin.



Kuva 9. Rengasmatriisi (Granö 2006, 1)



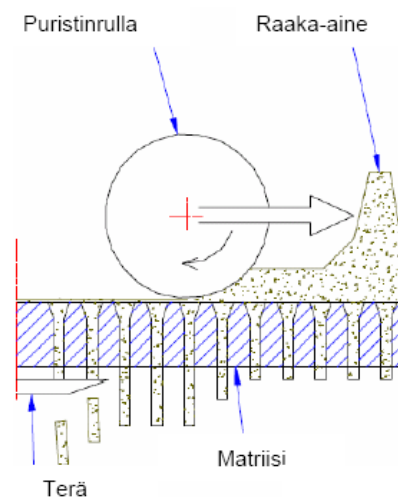
Kuva 10. Rengasmatriisi, jossa kaksi puristinrullaa (Hokkanen 2009, 7)



Kuva 11. Puristin, jossa pyörivä rengasmatriisi (Granö 2006, 1)

2.5.2 Tasomatriisipuristin

Tasomatriisissa on nimensä mukaisesti reikämatriisi vaakatasossa. Materiaali syötetään matriisiin päälle ja pyörät puristavat aineksen matriisiin läpi. (Granö 2006, 2.) Puristimia löytyy kahta eri mallia, toisessa pyörii matriisi ja toisessa puristinrullat (Hautakoski 2011, 10). Puristinrullia on tasomatriisipuristimessa yleensä 2-6 kappaletta (Hokkanen 2009, 10). Periaate on nähtävissä kuvassa 12. Kuvassa 13 on puolestaan esitetty esimerkkimalli tasomatriisista. Tasomatriisit ovat yleisiä etenkin Euroopassa rehuteollisuudessa, mutta niitä on käytetty myös energiapellettien tuotannossa (Hokkanen 2009, 6).



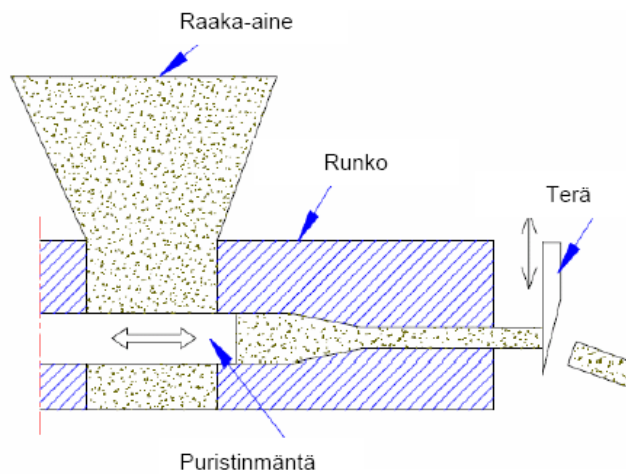
Kuva 12. Tasomatriisi (Granö 2006, 2)



Kuva 13. Esimerkki tasomatriisista (Granö 2006, 2)

2.5.3 Lineaarinen puristin

Matriiseista yksinkertaisin on lineaarinen puristin (Hautakoski 2011, 12). Puristimessa on puristinmäntä, jotka painavat materiaalin puristuskanaviin, joissa muodostuvat pelletit (Granö 2006, 3). Puristin voi olla kaksisuuntainen eli puristus voi tapahtua molemmissa päissä (Hautakoski 2011, 12). Periaate on nähtävissä kuvassa 14.

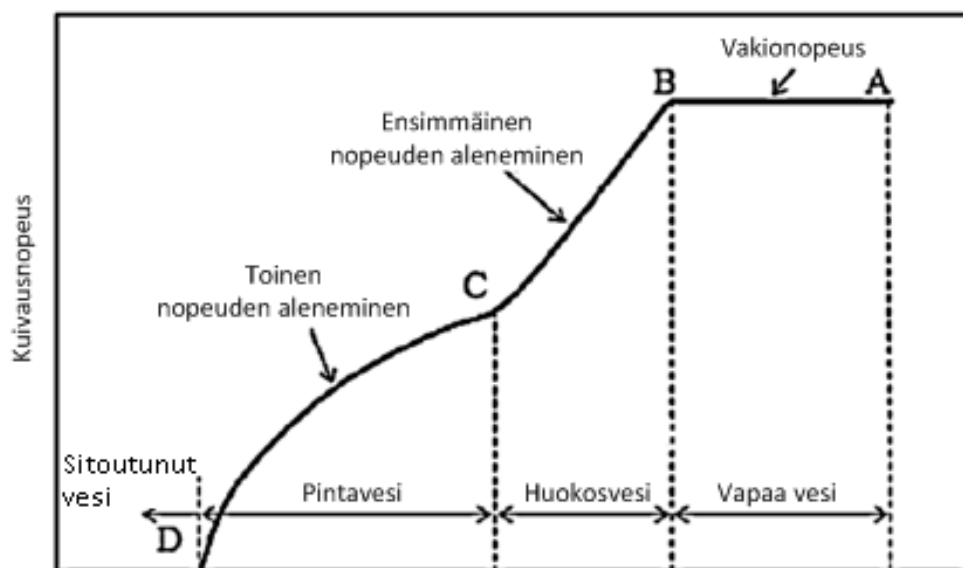


Kuva 14. Lineaarinen puristin (Granö 2006, 3)

3 TERMINEN KUIVAUS

Termisessä kuivauksessa haihdutetaan mädätysjäännöksestä vettä (H_2O) lämmön avulla. Termisellä kuivauksella saadaan näin ollen kasvatettua linkokuivatun mädätysjäännöksen (kuiva-ainepitoisuus noin 30 %) kuiva-ainepitoisuutta. Noin 90 % kuiva-ainepitoisuudessa mädätysjäännös on stabiilia. Mikäli halutaan tuote, joka ei homehdu varastoitaessa, kuiva-ainepitoisuuden tulisi olla yli 85 %. (Lohiniva et al. 2001, 61.) Polttoa varten voidaan Latvalan (2009, 25 ja 81) mukaan käyttää myös noin 30–60 % kuiva-ainepitoisuutta. Termistä kuivauksta käytetään yleensä lopputuotteen käytettävyyden ja markkinoitavuuden parantamiseksi (Latvala 2009, 24).

Jätevesilietteen käyttäytyminen kuivausprosessin aikana voidaan jakaa neljään osaan, kuten on esitetty kuvassa 15. Kyseessä on lietteen tyyppinen kuivumiskäyrä. (Bennamoun 2012, 1063.) Kuvassa ei ole kuitenkaan näkyvissä lietteen alkulämpenemisen vaihetta (Holmberg 2011, 57). Ensimmäisestä vaiheesta (AB) poistuvaa vettä voidaan pitää vapaana vetenä. Kyseistä vaihetta seuraa kaksi peräkkäistä nopeuden alenemista (BC ja CD). (Bennamoun 2012, 1063.) Materiaalin kosteuspitoisuuden laskiessa riittävän alhaiseksi, materiaalin pintalämpötila ei pysy enää vakiona, vaan se alkaa nousta. Tällöin alkaa mainittu hidastuvan kuivumisen vaihe. Kyseisen vaiheen alkamisen kosteussuhdetta kutsutaan yleensä kriittiseksi kosteussuhteeksi (kg/kg_{ka}). (Holmberg 2011 58–59.) Käyrän viimeisessä lyhyessä vaiheessa (D) poistuu sitoutunut vesi. Kuvaa lukiessa voidaan havaita, että kuivumisnopeuteen vaikuttaa, mikä on lietteen lähtöpaikka käyrällä kuivausprosessin aloitusvaiheessa. Esimerkiksi onko liete mekaanisesti kuivattu ja vapaa vesi jo poistettu lietteestä. (Bennamoun 2012, 1063.) Sitoutuneen veden poistaminen vaatii käytännössä aina termisen kuivauksen (Nevalainen 2006, 29).



Kuva 15. Tyyppinen lietteen kuivumiskäyrä (Bennamoun 2012, 1063)

Kuivauksessa 40–60 % kuiva-ainepitoisuus voi muodostua ongelmalliseksi, sillä liete muuttuu tahmaiseksi eli se tarttuu helposti kuivauspintaan aiheuttaen tukkeutumista. Tarttumisongelmaa vähennetään, jos osa kuivatusta tuotteesta kierrätetään takaisin kuivaimeen märän lietteen sekaan. (Kutinlahti 2003, 26.) Tarkasteltaessa materiaalin lämpötilan ja ajan suhdetta kuivurissa, voidaan todeta, että lämpötila nousee nopeasti alkulämpötilasta höyrystymislämpötilaan ja itse kuivumisprosessi on hitaampi, minkä jälkeen materiaalin lämpötila lähtee taas nopeampaan nousuun (McCabe et al. 2005, 799). Kuivumisen aikana voidaan myös havaita kaksi ilmiötä eli materiaalin kutistuminen ja halkeilu (Bennamoun 2012, 1063).

Termisen kuivauksen lämpö voidaan tuoda kuivaukseen niin konvektiolla, johtamalla kuin säteilemällä. Kontaktikuivauksessa nimensä mukaisesti mädätysjäännös on kontaktissa kuumien pinnan kanssa eli lämpö johtuu kuumasta pinnasta mädätysjäännökseen. (Lohiniva et al. 2001, 61–62.) Menetelmää käytetään erityisesti, jos lopputuote on herkästi pölyävää ja on saatavissa halpaa höyryä (Latvala 2009, 53). Konvektiokuivurissa kuuma kaasuvirta johdetaan mekaanisesti kuivatun mädätysjäännöksen läpi, jolloin kosteus siirtyy kaasuvirtaan (Lohiniva et al. 2001, 62). Menetelmää käytetään erityisesti, jos on saatavilla kuumia palokaasuja tai hukkaenergiaa (Latvala 2009, 53). Kuivaimessa voi olla useampia lämmön tuomistapoja.

Kaupallisia termisiä kuivaimia on lukuisia erilaisia, joista raportissa tullaan esittelemään osa. Kuivaustekniikoiden etuja ja haittoja on esitelty taulukossa 2.

Taulukko 2. Kuivaustekniikoiden etuja ja haittoja (Lohiniva et al. 2001, 68; Latvala 2009, 52–53)

Menetelmä	Edut	Haitat
Terminen kuivaus (yleistä)	+ Korkea kuiva-ainepitoisuus + Hygienisoituminen + Kuljetuskustannukset (massan pieneneminen)	- Pääomakustannukset - Ylläpitotarve/ puhdistuskustannukset - Korroosioriski - Rejektivedet ja hajukaasut
Kontaktikuivaus (esim. kiekkokuivain)	+ Poistokaasun määrä + Energiahyötysuhde	- Osittainen kuumentuminen ja vajanainen hygienisoituminen - Korkea kuumentuminen
Konvektiokuivaus (esim. rumpu- ja hihna-kuivaimet)	+ Kuiva-ainepitoisuus + Kuumien palokaasujen tai lämmönvaihtimien hyödyntäminen	- Pölyn määrä ja pölyräjähdysriski - Poistokaasun määrä - Kontaktikuivausta huonompi energiahyötysuhde
Flash-kuivain	+ Tilantarve + Yksinkertainen rakenne + Nopea	- Kallis investointi

Kuivauksen ympäristövaikutusten kannalta on merkittävää, mitä polttoainetta kuivauksessa käytetään (Lohiniva et al. 2001, 98). Latvalan (2009, 52) mukaan termisen kuivauksen sähköenergian kulutus on laitteistosta riippuen noin 4-5 kWh/m³ mekaanisesti esikuivattua lietettä. Lämpöenergian kulutus on puolestaan noin 3000–3500 kJ/kg haihdutettua H₂O. Lämpöenergian kulutukseen vaikuttaa kuitenkin lämmön talteenoton tehokkuus. Mikäli latentti-

lämpö saadaan talteen, energiantarve voi olla ainoastaan 500–700 kJ/kg haihdutettua H₂O. (Lohiniva et al. 2001, 61; Latvala 2009, 52–53.)

3.1 Kiekkokuivain (Disc Dryer)

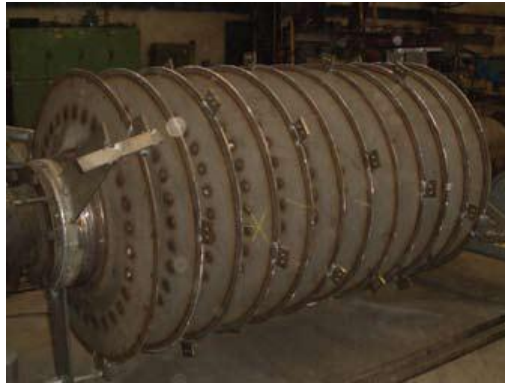
Sekoittavia kuivureita on markkinoilla useita erilaisia malleja, mukaan luettuna niin erän kuin jatkuvan käsittelyn versioita. Ideana kuivureilla on, että suljetun paikallaan olevan kotelonsisällä on mekaaninen sekoitin. Roottoriin kiinnitetään onttoja kiekkoja, lappoja tms. niin, että ne ovat hyvin lähellä paikallaan olevan vaipan seinää, luokkaa 3–6 mm seinästä. Lappojen päälle voidaan myös asentaa kaavin. (Genskow (toim.) 2008, 12:65 ja 12:67.) Kaapimet ja lavat estävät materiaalin kasautumisen kuumennetulle pinnalle kevyellä tuotteen sekoituksella (Haarslev Industries 2011a, 1). Roottorin, kiekkojen ja joissakin tapauksissa myös vaipan kuoren välissä kulkee esimerkiksi kuumaa höyryä tai termoöljyä. Lämpötila-alue on yleensä luokkaa 50–150 °C. Kuivaus voi tapahtua alipaineessa, joka saadaan aikaiseksi esimerkiksi alipainepumpulla. Pölyn vuoksi prosessit varustetaan pölysuodattimella. (Genskow (toim.) 2008, 12:65 ja 12:67.)

Nyt keskitytään kiekkokuivaimeen, mutta esimerkkinä mainittakoon myös spiraalikuivain, joka on kiekkokuivaimen sovellutus. Kiekoston sijasta kotelonsisällä on ontto spiraali, joka on nähtävissä kuvassa 16. Menetelmää on käytetty Suomessa muun muassa turpeen kuivaukseen. (Pöyry Environment Oy 2007, 49.) Laite on otettu käyttöön myös Stora Enso Anjalankosken tehtailla lietekuivaimena (Lohiniva et al. 2001, 63).



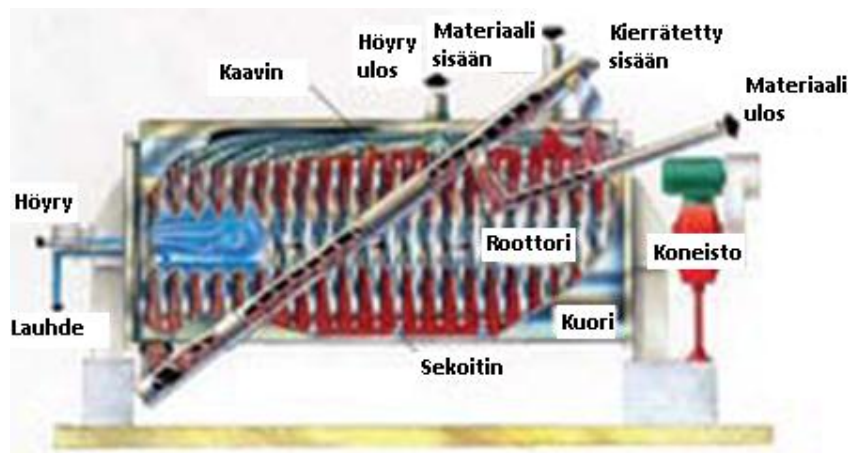
Kuva 16. Spiraalikuivain (Lohiniva et al. 2001, 63)

Maailmalla on paljon kiekkokuivauksen referenssikohteita ja menetelmän on sanottu olevan yksi kontaktikuivauksen perusmalleista. Kiekkokuivauksessa kontaktipintoina ovat kuumennetut kiekot, jotka on kiinnitetty roottoriin (ks. kuva 17). Kuuma öljy tai höyry on ontton roottorin ja kiekkojen sisällä. Kiekkojen pyöriessä liete etenee ja sekoittuu rummussa. (Pöyry Environment Oy 2007, 49.)



Kuva 17. Kiekkokuivaimen kiekot (Haarslev Industries 2011b, 2)

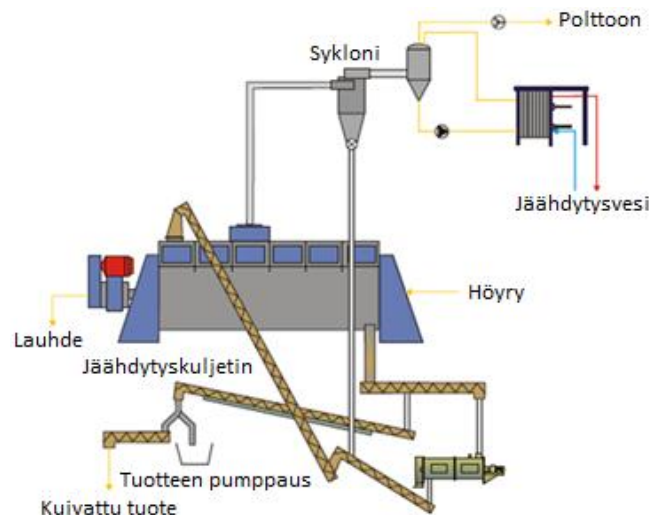
Kuivattua lietettä ohjataan takaisin rumpuun (ks. kuva 18), jotta estetään materiaalin pintaan palaminen sekä tehostetaan lämmönsiirtoa. Menetelmän lämmönsiirto on konvektiokuivausta hitaampaa. Heikkoutena voi olla liika paikallinen materiaalin kuumeneminen tai kuumennus voi olla puutteellista huonon kontaktin vuoksi. (Pöyry Environment Oy 2007, 49.) Lopputuote on hienojakeista ainesta tai pientä pellettiä, jonka kuiva-ainepitoisuus on 45–95 % (Lohiniva et al. 2001, 63). Kuvassa 19 on nähtävissä kiekkokuivaimen koko ja kuvassa 20 on puolestaan esitelty kuivauksen esimerkkiprosessi.



Kuva 18. Kiekkokuivain (Haarslev Industries 2011a, 2)



Kuva 19. Kiekkokuivaimen kuljetus kohteeseen (Haarslev Industries 2011c, 2)



Kuva 20. Kiekkokuivauksen esimerkkiprosessi (Haarslev Industries 2011c, 2)

3.1.1 Stora Enso, Anjalankoski

Anjalankosken Stora Ensolla on otettu käyttöön Kværner Eureka (NLI:n) spiraalikuivain vuonna 2000 (Lohiniva et al. 2001, 63). Ennen termistä kuivausta paperitehtaan jätevedenpuhdistamon lietteet kuivataan mekaanisesti n. 35 % kuiva-ainepitoisuuteen. Mekaanisesti kuivatut lietteet kuljetetaan autolla voimalaitokselle, jossa tapahtuu lietteen kuivaus. Termisellä kuivaimella kuivataan paperitehtaan lietteet noin 80 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. Kuivaukseen käytetään korkeapaineista höyryä. Kuivattu liete poltetaan leijupetikattilassa. (Itä-Suomen ympäristölupavirasto 2006b, 20 ja 23–24.)

3.1.2 Lakeuden Etappi Oy, Ilmajoki

Lakeuden Etappi Oy:n tuotanto on käynnistynyt v. 2008 (Jääskeläinen 2009, 2). Yritys käsittelee puhdistamolietettä, biojätettä, elintarviketeollisuuden biojätettä sekä rasvakaivojätettä n. 40 000 t/a. Käsittelyjäännöksestä (puhdistamolietteestä ja ruokajätteestä) valmistetaan termisesti kuivaamalla kuivaraetta. (Latvala 2009, 97 ja 99.) Yrityksen kiekkokuivaimen on toimittanut Haarslev Industries (entinen Atlas-Stord A/S) (Haarslev Industries 2011c, 1).

Mädätyslaitoksen biokaasun avulla tuotetaan höyryä ja lämmintä vettä. Höyryä käytetään termisen kuivurin lämmittämiseen. Muuta lämpöenergiaa termiseen kuivaukseen ei tarvita. Biokaasun tuotanto on ollut laitoksella noin 350–400 m³/h ja metaanipitoisuus 65–68 %. (Latvala 2009, 100.) Mikäli biokaasu menee jatkossa esimerkiksi ajoneuvopolttoaineeksi, mädätetty liete tullaan mahdollisesti lingon jälkeen (kuiva-ainepitoisuus noin 30 %) ohjaamaan jälkikäsittelyyn ulkopuoliselle toimijalle tai käsittelemään kompostoimalla (Pöyry Environment Oy 2009, 57; Ruippo 2008).

Lakeuden Etappi Oy:n vuoden 2004 ympäristölupapäätöksessä on todettu lietteen termisen kuivauksen ongelmaksi se, että laitos joudutaan rakentamaan jossain määrin koelaitoksena,

sillä suomalaisia käytännön kokemuksia laitteistolla ei ole tuolloin ollut (Länsi-Suomen ympäristökeskus 2004, 2). Termisellä kuivauksella nostetaan mädätetyn lietteen kuiva-ainepitoisuus noin 90 p-%:iin. Käsittelyn yhteydessä tapahtuu lopullinen hygienisointi (yli 100 °C). Termisellä kuivauksella ja rakeistuksella on kaksi erillistä linjaa, mikä mahdollistaa eri tuotteiden valmistuksen kunnallisesta puhdistamolietteestä ja biojätteestä. (Länsi-Suomen ympäristökeskus 2004, 9.) Termisen kuivauksen tietoja on esitelty taulukossa 3.

Taulukko 3. Lakeuden Etappi Oy:n biokaasulaitos ja mädätysjäätännöksen terminen kuivaus (Haarslev Industries 2011c, 2)

	Yksikkö	Lakeuden Etappi Oy
Laitoksen kapasiteetti (märkä materiaali, suunnitteluarvo)	t/d	93
Kuivuri		kiekkokuivain (Rotadisc Dryer) TST-1964
Kuivurin kapasiteetti	t/h	n. 11
Kuivan lietteen tuotanto (suunnitteluarvo)	t/h	1,162
Kuiva-ainepitoisuus ennen kuivuria	%	30
Kuiva-ainepitoisuus kuivurin jälkeen	%	90
Käyttöaika	h/a	> 8000

Termisen kuivauksen jälkeen liete on pölymäistä kuivajauhetta, joka johdetaan puristimelle (Ruippo 2008). Jauhe puristetaan matriisin läpi ja näin saadaan halkaisijaltaan noin 6 mm ja pituudeltaan noin 10 mm rae (Latvala 2009, 98; Lakeuden Etappi 2010). Kuivaraetta kaupataan maanparannusrakeena, jonka tiheys on 975 kg/m³ ja kuiva-ainepitoisuus 92 %. Rae on pellettimäistä, jonka kovuus on yli 10 Nm. (Lakeuden Etappi 2010.) Laitoksella voidaan tuottaa myös rakeistamatonta n. 70–75 p-%:n kuiva-ainepitoista polttoon menevää lopputuotetta (Länsi-Suomen ympäristökeskus 2004, 10).

Mekaanisesti kuivattua lietettä varastoidaan kahdessa 40 m³:n säiliössä. Lopputuotetta puolestaan varastoidaan varastohallissa. Muun muassa lannoitekäytön sesonkiluonteen vuoksi on varauduttu noin puolen vuoden tuotantokapasiteetin varastointiin. (Länsi-Suomen ympäristökeskus 2004, 5 ja 10.)

Laitoksen voimakkaimpia hajuja muodostuu muun muassa termisestä kuivauksesta, jonka yhteydessä muodostuu myös likaista pölyä (Latvala 2009, 100). Kyseiset hajukaasut johdetaan pesurin kautta biosuodattimeen (Latvala 2009, 100; Jääskeläinen 2009, 6). Biosuodatimessa on kerroksittain kuorikemassaa, karkeaa haketta, lekasoraa ja mursketta (Latvala 2009, 100). Biosuodatin on nähtävissä kuvassa 21. Latvalan (2009, 100) tutkimuksenteoai-koihin laitoksella ei saavutettu ympäristöluvan hajupäästön tavoitearvoa (1500 hajuyksikköä) päästöjen ollessa 2000–2800 hajuyksikköä.



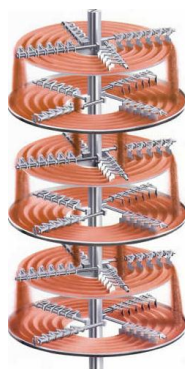
Kuva 21. Hajukaasujen siirtoputket ja biosuodatin (Latvala 2009, 101)

Hajupäästöjen kohdepoistossa tulee kiinnittää huomiota mitoitukseen ja mistä ilmaa poistetaan. Lakeuden Etappi Oy:llä imu on sijoitettu oletetun hajulähteen välittömään läheisyyteen. Automaation avulla on myös mahdollista aloittaa imu esimerkiksi heti, kun lietesäiliön luukku aukeaa. (Latvala 2009, 100.)

Kuivauksen jälkeisiltä rakeistus-, seulonta-, jäähdytys- ja kuljetinlaitteilta pöly poistetaan kohdepoistona syklonilla ja/tai pussisuodattimella, minkä jälkeen pöly palautetaan rakeistimelle (Länsi-Suomen ympäristökeskus 2004, 14). Kuivauksesta muodostuvat vedet käsitellään jäteveden esikäsittelylaitoksella, minkä jälkeen ne ohjataan joko tulevien lietteiden laimennukseen tai viemäriverkostoon eli kunnan jätevedenpuhdistamolle (Latvala 2009, 102; Länsi-Suomen ympäristökeskus 2004, 11).

3.2 Kuivaustorni (Tower Dryer)

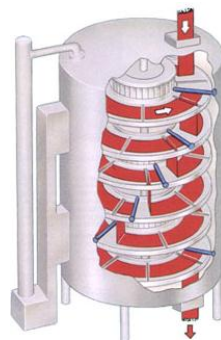
Kuivaustorni koostuu vaakatasossa olevista ympyränmuotoisista levyistä, jotka ovat asennettu päällekkäin pystysuoralle pyörivälle akselille. Torni on nähtävissä kuvassa 22. Materiaali syötetään tornin yläpäästä ylimmälle levyille, jossa se joutuu kosketuksiin kuuman ilman tai kaasun kanssa. Virtaus voi tapahtua vasta- tai myötävirtaan. (McCabe et al. 2005, 818.) On myös mahdollista lämmittää levyjä esim. suljetussa kierrossa olevalla höyryllä tai öljyllä, jolloin poistokaasujen määrä on vähäistä (Lohiniva et al. 2001, 64; Genskow (toim.) 2008, 12:61). Kuivaukseen voidaan siis käyttää muun muassa höyryä, savukaasuja, sähköä, öljyä ja termoöljyä. Käsittelylämpötila voi olla hyvin alhaisesta jopa 650 °C:een. (Wyssmont Inc..) Materiaali etenee alaspäin tasolta toiselle kaapimen avulla kunnes se tulee tornin pohjalle, jossa se poistuu laitteesta (McCabe et al. 2005, 818).



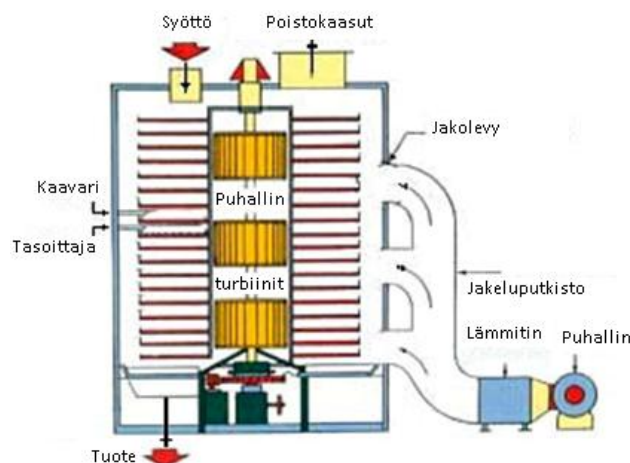
Kuva 22. Kuivaustorni (Process Engineering)

Levyjen lisäksi laitteessa voi olla haroja, joilla materiaalia saadaan sekoitettua. Materiaalin pyörimisen seurauksena lopputuotteena saadaan kuivattuja pellettejä ilman erillistä pellettikoneistoa. (JSIM 2002.) Kyseessä on jatkuvatoiminen kuivain. Materiaalin viipymäaika kuivauksessa on noin 5-40 min ja tyypillinen kuivaimen nopeus on 1-7 krs/min. Kuivaimen levyjen määrä riippuu laitteen koosta ja voi olla luokkaa 5-35 kappaletta. Isoimmat laitteet ovat kooltaan 3 m x 4 m x 10 m ja kuivauskapasiteetti voi olla jopa 5 t/h märkää tavaraa. (Genskow (toim.) 2008, 12:61.) Pelletin koko on käsittelyn jälkeen 1-4 mm ja kuiva-ainepitoisuus yli 90 % (Lohiniva et al. 2001, 64). Kuivausmenetelmää on käytetty niin yhdyskuntien kuin teollisuuden lietteiden käsittelyyn (Keppel Seghers).

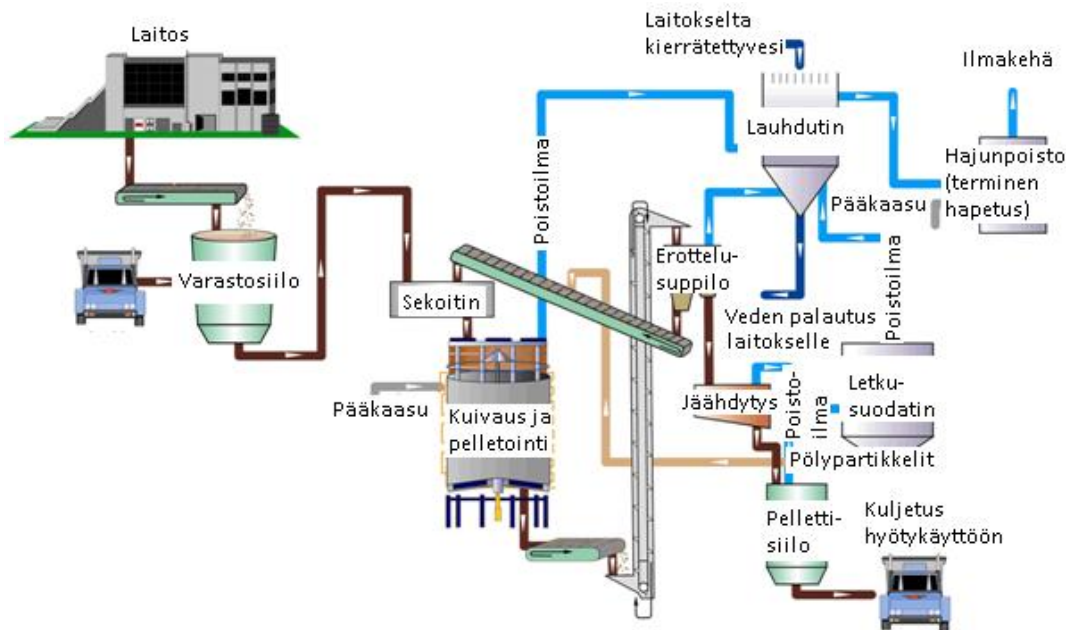
On myös olemassa turbokuivain, joka on lämmitysilmän sisäisellä kierrätyksellä varustettu kuivaustorni. Turbokuivain on esitelty kuvassa 23. Puhallinturbiinit kierrättävät ilmaa vuorotellen sisään- ja ulospäin tasojen välissä. Ulkokehällä ilma kulkee kuumennuselementin läpi. Virtausnopeudet ovat noin 0,6-2,4 m/s. Tornin alimmat tasot on varattu materiaalin jäähtymykseen. (McCabe et al. 2005, 818.) Materiaali voidaan rakeistaa ennen syöttöä kuivaimeen. Laitteita löytyy niin pieniä, joiden halkaisija on 1,5 m ja korkeus 2 m, kuin suuria, joiden halkaisija on 11 m ja korkeus 20 m. Kerrosten määrä vaihtelee noin 12–58 välillä. (Genskow (toim.) 2008, 12:60.) Turbokuivaimen osat ovat nähtävissä kuvassa 24 ja esimerkkiprosessi puolestaan kuvassa 25. Kuivaimen voi asentaa ulos tai sisälle (Wyssmont Inc.).



Kuva 23. Turbokuivain (Wyssmont Inc.)



Kuva 24. Turbokuivaimen osat (Wyssmont Inc.)



Kuva 25. Esimerkkiprosessi tornikuivauksesta (Barwon Water)

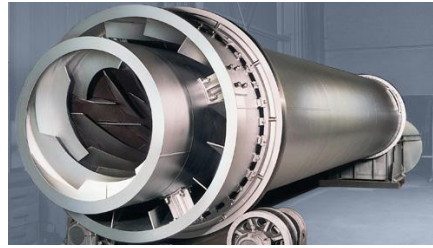
3.3 Rumpukuivain (Drum Dryer)

Ennen rumpukuivausta mekaanisesti kuivattu mädätysjäännös voidaan ohjata rakeistukseen (Andritz b). Mädätysjäännös syötetään (rakeistuksen jälkeen tai suoraan) vaakatasossa olevaan akselinsa ympäri pyörivään rumpuun (Lohiniva et al. 2001, 64). Rumpu, joka on nähtävissä kuvassa 26, on kallellaan 1-6° (Pihkala 1998, 93).

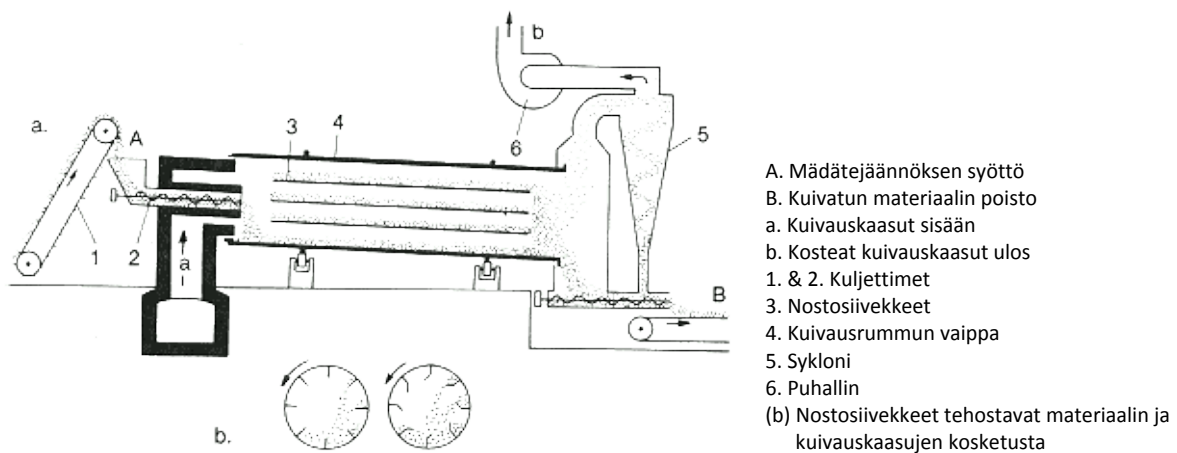


Kuva 26. Rumpukuivain (Andritz b)

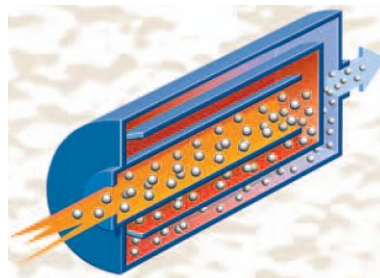
Mädätysjäännös etenee rumpun toista päätä kohti kuuman kaasuvirran ja pyörimisliikkeen vaikutuksesta (Lohiniva et al. 2001, 64). Rumpun pyöriessä sisällä olevat siivekkeet (esitelty kuvassa 27) nostavat kiintoainesta kuvassa 28 (b) esitellyllä tavalla (Pihkala 1998, 93). Samalla materiaali rakeistuu (Lohiniva et al. 2001, 62). Rumpukuivaimessa voi olla myös kolme saman keskeistä sylinteriä kiertämässä ympäri yhteistä akselia, kuten on nähtävissä kuvassa 29 (Andritz b).



Kuva 27. Rumpukuivaimen siivekkeet (Allgaier)



Kuva 28. Mädatējäännöksen eteneminen rumpukuivaimessa (Pihkala 1998, 93)

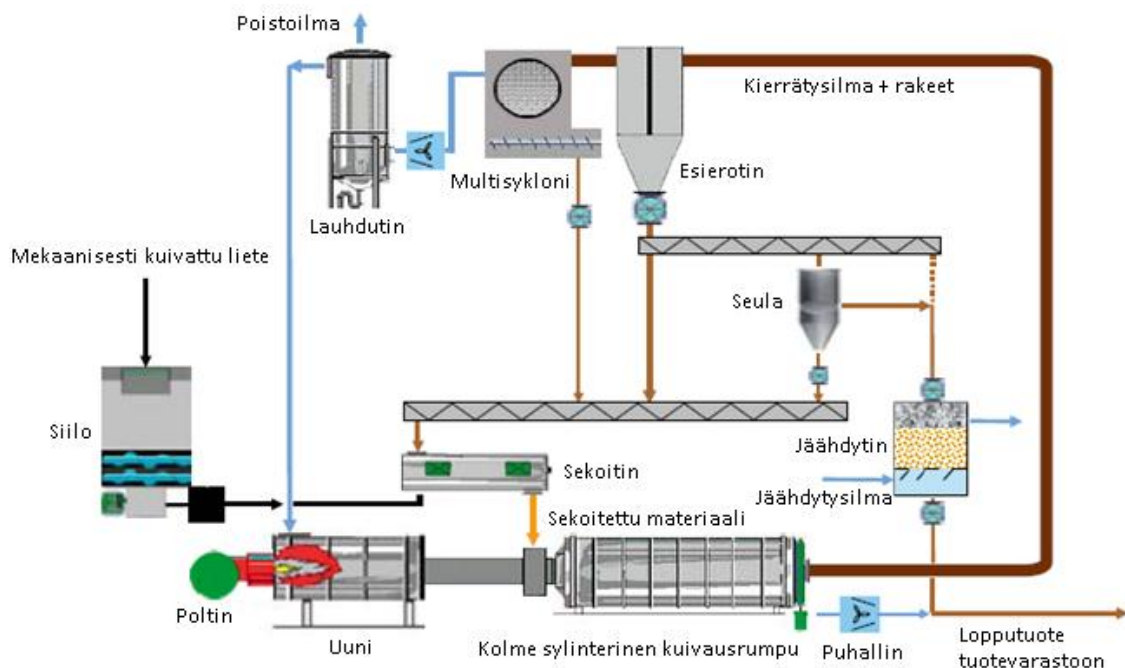


Kuva 29. Rumpukuivaimessa kolme sylinteriä (Andritz 2006c, 2)

Kuivausilman syöttö voi tapahtua niin myötä- kuin vastavirtaperiaatteella (Pihkala 1998, 93). Rummun lämpötila voi olla alkupäässä luokkaa 600–1100 °C, kun loppupäässä se on enää n. 80 °C (Lohiniva et al. 2001, 64). Rumpukuivauksen yhteydessä puhutaan pääasiassa konvektiokuivauksesta eli materiaali on suorassa kontaktissa kuuman ilman kanssa (Skinnott 2005, 430). Prosessissa voidaan hyödyntää niin moottorin kuin turbiinin pakokaasuja tai palamis-kaasuja polttoprosessista (Andritz b). Energian kulutukseksi on arvioitu 3000–3700 kJ/kg haihdutettua H₂O (Lohiniva et al. 2001, 64).

Rummun jälkeen kuivattu mädatējäännös (rakeet) erotetaan syklonissa, jonka jälkeen jäännös kuljetetaan pneumaattisesti tai mekaanisesti lajitteluun täryseulalle. Osa materiaalista palautetaan prosessin alkuun, osa ohjataan jäähdytyksen kautta varastoon ja loput ohjataan pölynpoistosuodattimelle. (Lohiniva et al. 2001, 64; Andritz b.) Varastoitava lopputuote, jonka kuiva-ainepitoisuus on yleensä yli 90 %, on homogeenistä ja hygieenistä (Lohiniva et

al. 2001, 64). Andritzin (b) antama kuiva-ainepitoisuus on 90–95 % ja materiaali on stabiilia, heikosti haisevaa ja tuhkatonta. Esimerkki käsittelyprosessista on esitelty kuvassa 30.



Kuva 30. Esimerkki prosessi rumpukuivauksesta (Andritz 2006b, 2)

Rumpukuivaimella voidaan kuivata niin kaupungin, teollisuuden kuin maatalouden lietteitä (Andritz b). Menetelmää on käytetty niin mädätysjäännöksen kuin jätevesilietteiden kuivaukseen 1970-luvulta alkaen (Pöyry Environment Oy 2007, 47). Kuivausmenetelmä on esitelty suosituimpana jätevesilietteiden käsittelymenetelmänä maailmassa ja referenssikohteita löytyy näin ympäri maailmaa (Andritz b).

Menetelmä soveltuu yhtäjaksoiseen käyttöön ja se omaa korkean lämpötehokkuuden. Menetelmän epäkohtina voidaan mainita muun muassa vaihteleva käsittelyaika ja melutaso. (Skinnott 2005, 431.) Prosessi on suljettu (Lohiniva et al. 2001, 64). Ulos menevä ilma ohjataan suodattimen kautta esimerkiksi polttoon polttimelle, jolloin prosessista ei muodostu hajukaasuja, tai hajukaasujen käsittely-yksikköön (Lohiniva et al. 2001, 64; Andritz b). Jätettä prosessista muodostuu lauhduttimesta (Andritz b).

3.4 Hihnakuivain (Belt Dryer)

Ennen hihnakuivainta mekaanisesti kuivattu mädätysjäännös voidaan rakeistaa. Käsittelyn seurauksena jäännöksen haihdutuspinta-ala kasvaa. (Lohiniva et al. 2001, 66.) Mekaanisesti kuivattu mädätysjäännös ohjataan yhdessä termisesti kuivatun jäännöksen kanssa syöttö-/sekoitusruuvikuljettimelle. Sekoitettua materiaalia kuiva-ainepitoisuus on noin 60 %, kun se jaetaan koko hihnan leveydelle annostus-/jakoruuvikuljettimen avulla, kuten on nähtävissä kuvasta 31. Homogeenisen kerroksen paksuus on noin 4-15 cm. (Andritz a.) Hihnakuivaimes-

sa mädätysjäännös kulkee vaakatasossa hitaasti liikkuvalla hihnalla eteenpäin (Lohiniva et al. 2001, 66). Kuvassa 32 on nähtävissä hihnakuivain ulkoapäin. Hihnoja voi olla useammassa kerroksessa, kuten on puolestaan nähtävissä kuvassa 33.



Kuva 31. Hihnakuivain (Andritz 2006a, 2)



Kuva 32. Hihnakuivain (Andritz a)

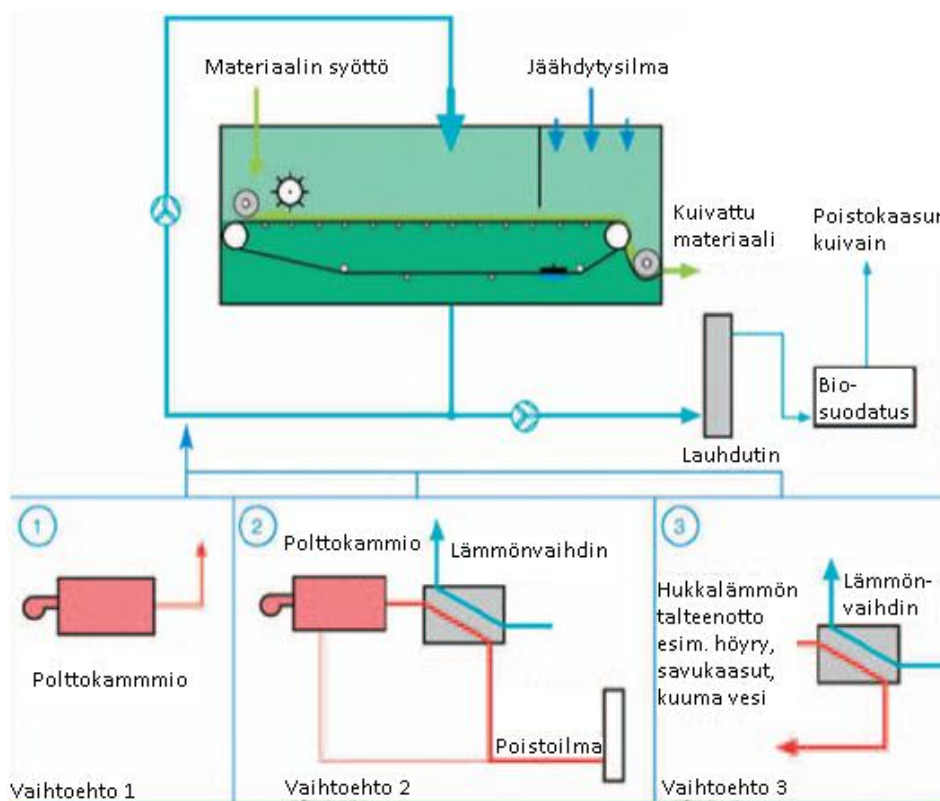


Kuva 33. Monikerroksinen hihnakuivain (ChangZhou HuaXia Drying & Granulation Equipment Co)

Mädätysjäännöksen kuumennus ja kuivaus tapahtuu kierrättämällä kuumaa ilmaa (120–150 °C) (Andritz a). Krüger on puolestaan ilmoittanut kuivausilman lämpötilaksi 180 °C ensimmäisellä hihnalla ja 80–100 °C loppuhihnalla ja käsittelyajaksi yli tunnin (Krüger 2009, 2). Ilmavirta virtaa mädätysjäännöskerroksen läpi imien itseensä materiaalin kosteuden. Isoa osaa kierrätettävästä ilmasta lämmitetään uudelleen. Jos on kyseessä suora lämmitys, jääh-

tynyt ilmavirta pääsee suoraan kontaktiin polttimen kuumien kaasujen kanssa. Hukkalämpöä käytettäessä ilmavirta lämmitetään lämmönvaihtimen avulla, joka yleensä sijoitetaan kuivurin yläosaan. Haihdutusprosessissa tuotettu ylimääräinen höyry puhdistetaan lauhduttimen ja pesurin avulla. (Andritz a.) Lohinivan et al. (2001, 66) mukaan poistokaasut ohjataan pesuriin tai suotimelle. Kuivausprosessi tapahtuu alipaineessa, jolla pyritään välttämään pöly- ja hajupäästöt (Andritz a).

Hihnakuivauksella voidaan saavuttaa jopa 90–95 % kuiva-ainepitoisuus (Jacobs et al. 2003, 9; Sevar; Stela). Kuivausvaiheen ohittamisen jälkeen materiaali voidaan jäähdyttää jäähdytysvaiheessa, joka on nähtävissä kuvassa 34 (Andritz a). Hinnan lopusta kuivattu materiaali puretaan ruuvikuljettimella ja siirretään jatkokäyttöön tai takaisin sekoitukseen (Andritz a).



Kuva 34. Mädätysjäätteen kuivaus hihnakuivaimella (Andritz 2006a, 2)

Hihnakuivaukseen voidaan käyttää monenlaista energialähdettä (ks. kuva 34), kuten jo edellä mainittua heikkoa hukkalämpöä (80–150 °C). Alhaisen käsittelylämpötilan vuoksi laite voi hyödyntää osittain tai kokonaan hukkalämpöä (savukaasut, kuuma vesi, vähäpaineinen höyry). (Andritz a; Jacobs et al. 2003, 3.) Mikäli hukkaenergiaa ei ole tarpeeksi tai sitä ei ole saatavilla, energia voidaan tuottaa myös suoraan esimerkiksi polttimella, jonka polttoaineena on öljy tai bio- tai maakaasu (Lohiniva et al. 2001, 66; Andritz a). Menetelmän lämpötehokkuus on korkea ja höyrylämmityksellä höyryn kulutus voi olla jopa niin pieni kuin 1,5 kg/kg haihdutettua H₂O (Skinnott 2005, 430).

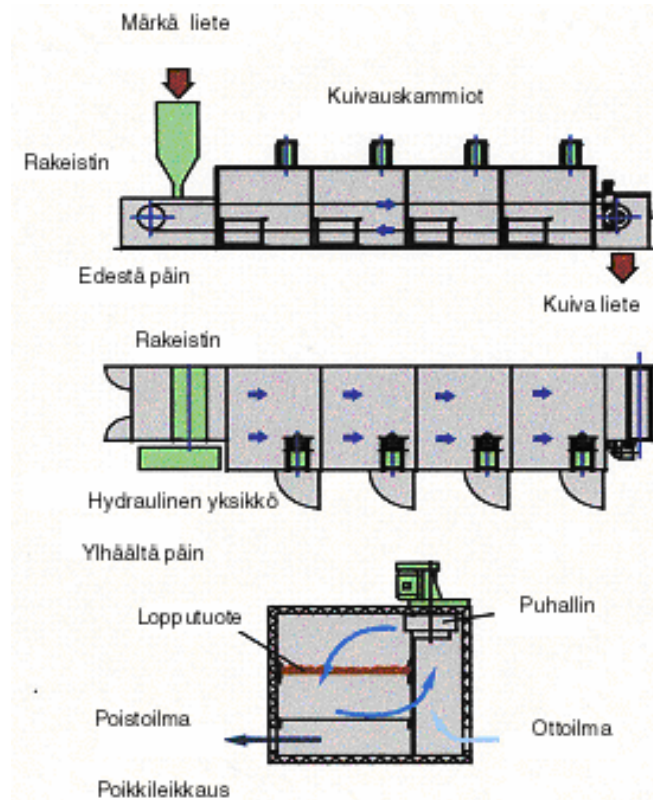
Laitetta pystyy joustavasti ajamaan osakuormalla. Laitteistoon on saatavissa täysautomaattinen pikapysäytys ja -käynnistys, joka helpottaa lyhyt aikaisten keskeytyksien tekemistä ilman, että koko prosessi tulee ajaa alas. (Jacobs et al. 2003, 3.) Kuivain voidaan pysäyttää ja käynnistää uudelleen 5-10 minuutissa. Isompiakaan hihnakuivaimia varten ei tarvita korkeahta hallia. (Andritz 2006a, 2.)

Hihnakuivaimella voidaan kuivata hyvin laajasti tuotteita kuten teollisuuden ja kaupungin lietteitä, lehmän lantaa ja biomassaa (Andritz a). Kuivaustapaa on käytetty Suomessa muun muassa Joensuun Vedellä ja Haapavedellä. Maailmalla menetelmä on tunnettu. (Pöyry Environment Oy 2007, 50.) Mekaaninen hihna lisää laitteen kunnossapitokustannuksia (Skinnott 2005, 430).

3.4.1 Joensuun Vesi

Joensuun Vesi on käyttänyt vuodesta 2000 alkaen saksalaisen Sevarin hihnakuivainta (Kettunen 2002, 18 ja 20). Termisen kuivauksen idea on lähtenyt siitä, että on haluttu hyödyntää tehokkaammin mädättämön metaanikaasua. Talvisin kaasu on hyödynnetty jätevedenpuhdistamolla lämpöenergiana, mutta muina aikoina kaasua on hävitetty polttamalla. Taloudellisten laskelmien perusteella on päädytty kaasugeneraattorin hankintaan (sähköä ja lämpöä). Kuivaimessa on kuitenkin käytetty suoraa lämmitystä polttoöljyllä eli kuivaus on tapahtunut öljypolttimen kuumien pakokaasujen avulla. Hygieenisen lietteen tiheys on ollut käsittelyn jälkeen noin 300 kg/m^3 , kun kuiva-ainepitoisuus on ollut 85 %. Kuiva-ainepitoisuutta on voitu säätää 25–95 % välillä. (Kettunen 2002, 18 ja 20.)

Mädätetyn lietteen käsittely alkaa siitä, kun liete syötetään käyttösuppilosta hydraulisella puristimella matriisilevyssä olevien 8-10 mm reikien läpi spagetiksi rei'itetyille lamellikuljettimille. Haihdutuspinta-alan kasvattamisella autetaan lietteen kuivumista. Kuivausalue on jaettu kammioihin, joissa liete joutuu kuumen kuivausilman vaikutuksen alaiseksi. (Kettunen 2002, 18–19.) Kammiot ovat nähtävissä kuvassa 35. Kaasun lämpötila on kammioissa 130–160 °C (Myllymaa et al. 2008, 21). Liete on kuivauskammioissa noin 40–80 min (Isoaho ja Vinnari 2003, 56). Liete kutistuu mustiksi pelleteiksi, jotka puretaan jäädytetyllä ruuvikuljettimella jakoruuville, joka puolestaan täyttää varastokontit (Myllymaa et al. 2008, 21; Kettunen 2002, 19). Suurinta osaa kammioista tulevasta kuivausilmasta kierrätetään lämmönvaihtimen ja lauhduttimen kautta takaisin kuivausprosessiin (Isoaho ja Vinnari 2003, 56). Savukaasut jäädytetään ja johdetaan happopesurille (Kettunen 2002, 19).



Kuva 35. Sevar-kuivausprosessi (Isoaho ja Vinnari 2003, 57)

Prosessin koeajojen pohjalta laitteen valmistaja joutui valmistamaan uudet kammioiden ovien sarana- ja salpamekanismit, jotka olivat mitoitukseltaan riittämättömät. Lisäksi ilmeni pahoja hajuhaittoja, jotka johtuivat väärästä paineistuksesta. Aukkoja myös tiivistettiin ja matriisiin ympärille laitettiin sulkupellit. Hihnapyörien vaihdon jälkeen saatiin alipaineaikaiseksi ja kaasut johdettua hallitusti vesipesurin kautta ulos. Naapurien valitusten seurauksena piipun korkeutta lisättiin 5 m, jolloin saavutettiin 21 m korkeus ja pesuri muutettiin happopesuriksi. Piipun pidennyksen ja happopesurin käyttöönoton jälkeen naapurien valitukset vähentyivät. Alkuongelmien jälkeen kuivain on toiminut toivotusti automatiikan ohjaamana. Matriisia on kuitenkin jouduttu puhdistamaan lähes päivittäin suunnitellun 1-2 viikon sijasta. Lietteessä on ollut tuolloin runsaasti naudankarvoja, jotka ovat tukkineet reikälevyt. Lämmönvaihtimien ja kuivaimen pesu tehdään kerran viikossa ja uuni imuroidaan kuivapölystä kerran kuukaudessa. (Kettunen 2002, 19–20.) Uuden laitoksen kanssa oli aluksi säätämistä, mutta tänä päivänä ei ole ollut ongelmia hajun tai rakeistuksen suhteen (Kakkonen 2011).

Investointikustannukset happopesuri mukaan luettuna olivat noin 1 270 000€, alv 0 %. Käyttökustannukset olivat ensimmäiseltä vuodelta 27,64 €/m³ ilman pääomakuluja ja 130 €/t (kuiva-ainepitoisuus eli TS, engl. Total Solids, 25 %), alv 0 %. (Kettunen 2002, 20.) Myllymaan et al. (2008, 21) tietojen perusteella prosessin käyttökustannukset ovat tänä päivänä luokkaa 150 €/t, kun lämpö tuotetaan öljyllä, mikä nostaa käyttökustannuksia. Käsittelykapasiteetin ollessa 7200 t/a lietettä (TS 25 %) (Myllymaa et al. 2008, 21). Kuivaimen teknisiä tietoja on esitelty taulukossa 4.

Taulukko 4. Joensuun Veden kuivaimen teknisiä tietoja (Kettunen 2002, 20; Myllymaa et al. 2008, 21)

Terminen kuivaus – Joensuun vesi	
Tyyppi	BT 1500/6 DB, Sevar GmbH, lamellileveys 1,5 m, kammioita 6 kpl, lamellikuljettimia 2 kpl
Lämmitys	Suora polttoöljyllä
Vedenerotuskyky	630 kg/h
Raaka-aine	Mädätetty jätevesiliete
Lietteen syöttö	900 kg/h, kuiva-ainepitoisuus 25 %
Granulaattien saanti	270 kg/g, kuiva-ainepitoisuus 85 %
Käyttöaika	24 h/vrk

Lopputuotteita on vuonna 2002 käytetty viherrakentamiseen, mutta on myös tutkittu muita vaihtoehtoja kuten peltolannoitekäyttöä sekä polttoa (Kettunen 2002, 20). Tänä päivänä termisen kuivauksen jälkeen kuivattua lietettä aumakompostoidaan puoli vuotta (Virkkunen ja Turunen 2010, 1). Fa Forest Oy valmistaa tällä tavalla kompostia (Ecolan® Kompostit) (Fa Forest Oy). Aumat on todettu syttymisherkiksi ja niiden on kerrottu syttyvän muutaman kerran vuodessa (YLE Pohjois-Karjala 2012). Tästä aiheutuu savun hajua ympäristöön.

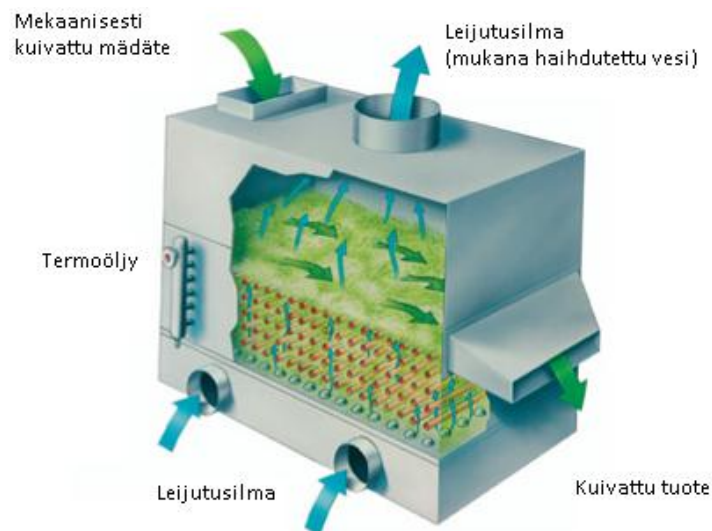
3.4.2 Haapaveden Ympäristöpalvelut Oy

Haapaveden laitoksella käsitellään pääasiassa Haapaveden kaupungin jätevedenpuhdistamoiden lietettä, jonka määrästä noin 90 % tulee Valio Oy:n meijerijätevesistä (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2011, 1). Liete (noin 13 000 t/a) on linkokuivattu noin 10 % kuiva-ainepitoisuuteen (Turunen 2007, 1). Liete puretaan umpinaisista säiliöautoista pumpulla ilmastoituihin lietsiiloihin, joista ilma johdetaan polttoon Vapo Oy Voiman pienvoimalaitokselle (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2011, 1). Kuivaus tapahtuu nauhakuivaimella, jonka ilma kuumennetaan kahden lämmönvaihtimen avulla pienvoimalaitokselta saatavalla höyryllä. Laitteiston on toimittanut I. Krüger Oy (nykyään Krüger A/S) ja se on maksanut rakennuksineen noin 3 000 000 €. Itse lietteen käsittely maksaa 48 €/t. (Turunen 2007, 1-2.)

Kuivausilman kondenssivesi johdetaan jätevedenpuhdistamolle ja kuivattu liete poltetaan pienvoimalaitoksella (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2011, 1). Laitoksella on leijupetikattila, jonka pääpolttoaineena käytetään turvetta ja lietteen osuus on noin 3 %. Kuivauksesta muodostuvat hajukaasut johdetaan puolestaan polttoilmaksi voimalaitokselle. Kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuus on yli 85 % ja lämpöarvo 3 MWh/t (noin 11 MJ/kg). Lietteen polton kerrotaan aiheuttaneen korroosio-ongelmia ja savukaasujen korkeita klooripitoisuuksia. (Turunen 2007, 2-3.)

3.5 Leijupetikuivain (Fluidized Bed Dryer)

Mädätysjäännös johdetaan leijupetikuivaimen, johon puhalletaan alhaaltapäin reikälevyn läpi kuumaa ilmaa (100–220 °C), kuten on nähtävissä kuvasta 36 (Kutinlahti 2003, 31; Lohiniva et al. 2001, 66). Jokainen kiintoainehiukkanen on kaasun ympäröimä, jolloin materiaalin ja kaasun välillä tapahtuu hyvin nopea lämmönsiirto. Tapahtuma on luonteeltaan materiaalin turbulentsista sekoittamista, johon voidaan vaikuttaa kaasun virtausnopeuden muuttamisella. (Pihkala 1998, 94.) Virtauksen voimakkuus säädetään niin, että liete pysyy suspensiona (heterogeenisenä seoksena, jossa nesteeseen on sekoittunut kiinteää ainesta) eikä lähde kulkeutumaan pneumaattisesti kaasun mukana (Kutinlahti 2003, 32). Kuivain on kontakti- ja konvektiokuivauksen yhdistelmä eli täytekappaleilla tehostetaan lämmön siirtymistä materiaaliin (Pöyry Environment Oy 2007, 50). Kuvassa 37 on nähtävissä leijupetikuivain ulkoapäin.



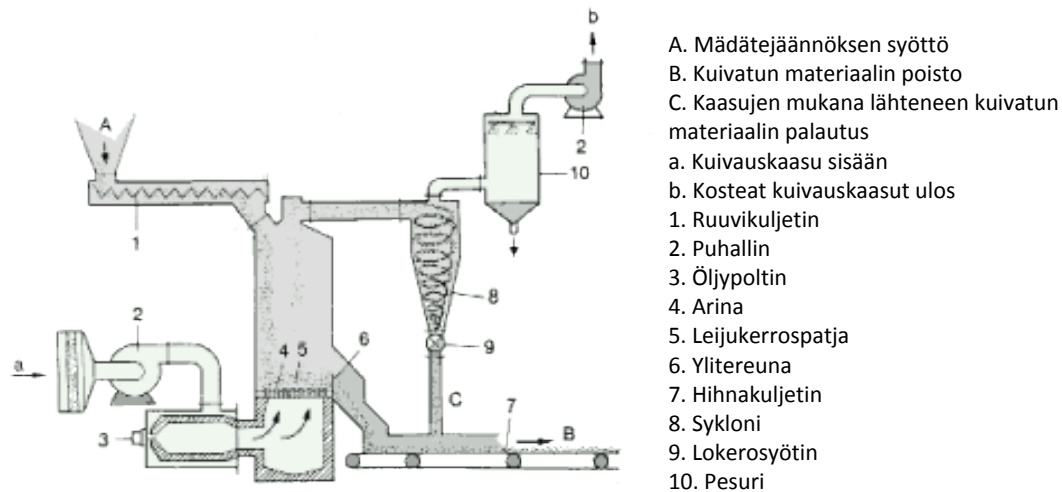
Kuva 36. Leijupetikuivaus (Andritz 2006d, 2)



Kuva 37. Leijupetikuivain (Andritz 2006d, 2)

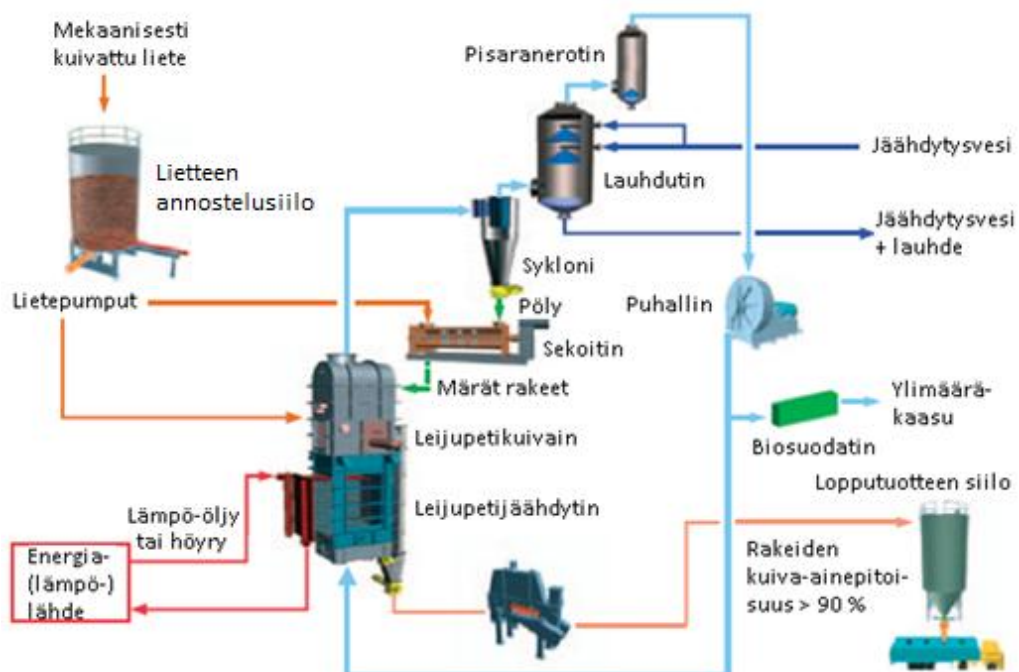
Materiaalin viipymäaika leijutuskuivaajassa on muutamasta minuutista tuntiin (Pihkala 1998, 94). Lietteen syötön tapahtuessa kuivaimen toisesta päästä leijukerroksen päälle, leijukerroksen alimmassa kerroksessa tapahtuu ylivuotoa, joka poistuu kuivaimen toisesta

päästä tuotteena (Kutinlahti 2003, 32). Ylitteen poistuminen on nähtävissä kuvan 38 esimerkkiprosessista. Kuivattu mädätysjäännös ohjataan seulalle, jolla erotetaan valmis tuote ja aines, joka ohjataan takaisin kiertoon. Hienot hiukkaset erotetaan kuivauskaasusta syklonissa tai kuitusuodattimessa ja haihtunut vesi ohjataan lauhduttimelle. (Lohiniva et al. 2001, 66.)



Kuva 38. Esimerkkiprosessi leijupetikuivauksesta (Pihkala 1998, 95)

Kuivauksessa lietteen tilavuus pienenee noin 30 %:iin. Kyseessä on suljettu systeemi, joten menetelmän ei pitäisi aiheuttaa hajuhaittoja. (Lohiniva et al. 2001, 66.) Kuvassa 39 on esitelty esimerkki käsittelyprosessista, jossa on mukana rakeistus/ sekoitin ennen leijupetikuivainta.



Kuva 39. Esimerkkiprosessi leijupetikuivauksesta (Andritz 2006d, 2)

Leijupetikuivauksessa voidaan käyttää lämmön lähteenä niin termoöljyä, höyryä kuin hukka-kaasua (Andritz 2006d, 2). Menetelmää on käytetty muun muassa metsäteollisuuden lietteiden kuivaukseen (Pöyry Environment Oy 2007, 50). Leijupetikuivaus on suunniteltu yhtäjaksoiseen sekä erän käsittelyyn. Menetelmän pääetuina ovat nopea ja tasainen lämmönsiirto, hyvällä kuivausolosuhteiden tarkkailulla lyhyt kuivausaika sekä pieni lattiapinta-alan tarve. Energiantarve on puolestaan korkea verrattuna muihin menetelmiin. (Skinnott 2005, 431.) Heikkoutena on myös pintojen likaantuminen käytön aikana ja epätasainen kuumeneminen saattaa aiheuttaa syttymisvaaran (Pöyry Environment Oy 2007, 50).

3.6 Flash-kuivain (Flash Dryer)

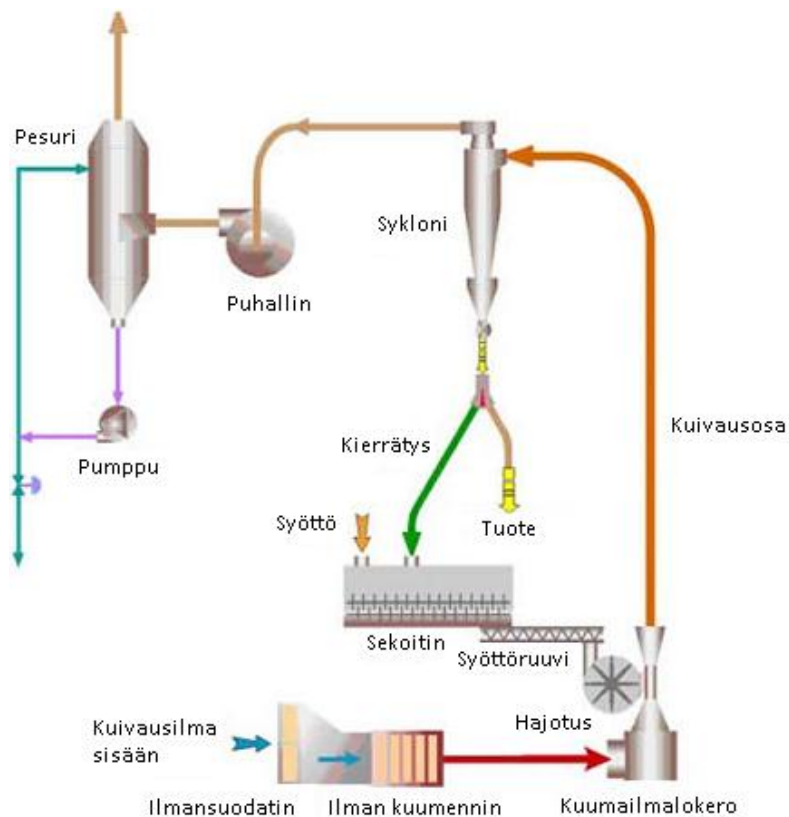
Flash-kuivain koostuu pääasiassa pystysuorasta putkesta, puhaltimesta ja syklonista. Kuivain on nähtävissä kuvassa 40. Materiaali syötetään putken alkupäästä sisään putkeen, jossa mädätysjäännös kulkeutuu pneumaattisesti kuumen kuivauskaasun mukana eteenpäin putkessa samalla kuivuen. Kuivausmenetelmä on erittäin nopea, sillä kuivauskaasun ja materiaalin lämpötilaero on suuri. Materiaalin viipymäaika kuivaimessa on noin 2-10 sekuntia. (Lohiniva et al. 2001, 67.) Kuivauskaasun lämpötila voi olla jopa 750 °C (Genskow (toim.) 2008, 12:98). Isommat kuivaimet haihduttavat yli 20 t H₂O/h (GEA Barr-Rosin). Materiaalin lämpötila ei kuitenkaan yleensä nouse yli 50–70°C:een (Pihkala 1998, 94; McCabe et al. 2005, 824). Systemi voi toimia alipaineessa, jotta vältetään pölyn ja kaasujen karkaaminen (Genskow (toim.) 2008, 12:98).



Kuva 40. Flash-kuivain (Peak Products Nig Limited)

Putkesta aines johdetaan sykloniin, jossa erotetaan kuivattu materiaali (Lohiniva et al. 2001, 67). Riittävän kuiva materiaali otetaan talteen ja kosteaksi luokiteltu materiaali palautetaan uudelleen kuivattavaksi (Pihkala 1998, 94; GEA Barr-Rosin). Tyypillisesti syklonin perässä on vielä pesuri tai pussisuodatin poistokaasujen puhdistamiseen (GEA Barr-Rosin; Genskow (toim.) 2008, 12:98). Kuivaimen yhteyteen voidaan liittää jauhatuslaite (McCabe et al. 2005, 824). Kuivausmenetelmän etuja ovat rakenteen yksinkertaisuus, nopea käynnistys ja sam-

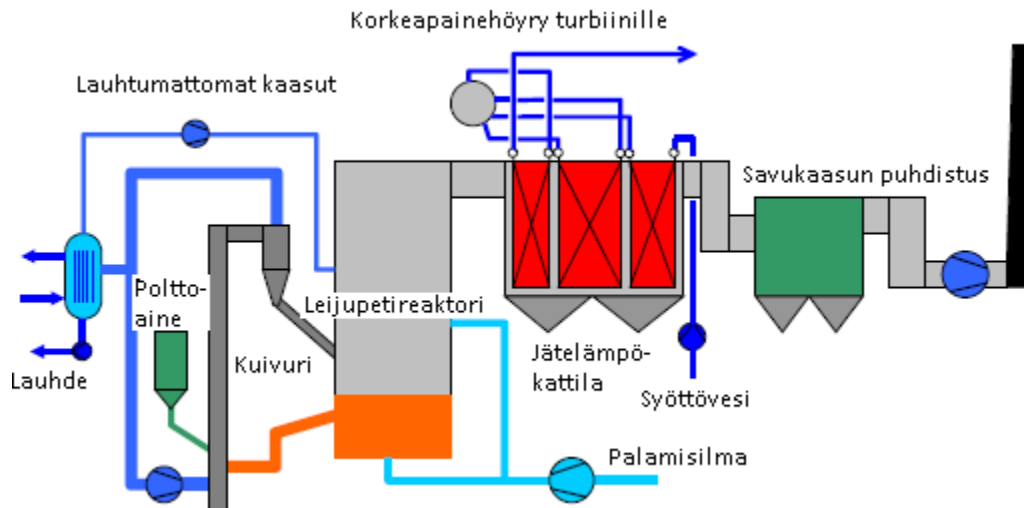
mutus sekä pieni tilantarve (Lohiniva et al. 2001, 67). Laitteen lämpötehokkuus on yleensä heikko (Skinnott 2005, 432). Flash-kuivauksen esimerkkiprosessi on nähtävissä kuvassa 41.



Kuva 41. Esimerkkiprosessi flash-kuivauksesta (GEA Barr-Rosin)

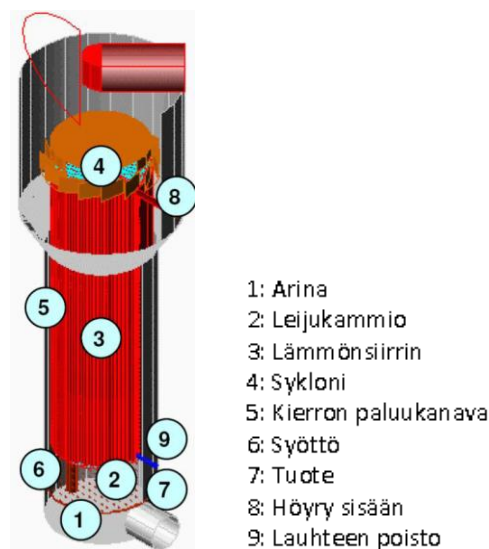
3.7 Kiertoleijukuivuri (Circulating Fluidized Bed)

Kiertoleijukuivurissa lämmönlähteenä voidaan käyttää esimerkiksi erotettua leijupedin kuumaa petimateriaalia, kuten on nähtävissä kuvassa 42. Kuivaus tapahtuu höyryllä, minkä seurauksena vapautuva latenttilämpö saadaan talteen haihdutusprosessissa. Itse kuivain on flash-kuivain, johon tulistettu höyry eli lietteen kuivauksesta muodostunut höyry, otetaan putken alaosaan. Kuuma petimateriaali (800–900 °C) sekoitetaan höyryyn ennen märän materiaalin lisäämistä höyryvirtaan. Höyry ohjaa kuivuvan materiaalin sekä jäähtyvän petimateriaalin hiukkaserotukseen, jossa tapahtuu kuivatun polttoaineen ja jäähtyneen petimateriaalin erotus höyryvirrasta ja ohjaus leijupetikattilaan. Osa höyrystä ohjataan takaisin kuivaimen alaosaan. Lämmönvaihtimella otetaan talteen latenttilämpö, jota voidaan käyttää esimerkiksi kaukolämmön tuotantoon. Menetelmään voidaan liittää tarvittavat savukaasunpuhdistuslaitteet. Mikäli kuivain on yhdistetty suoraan kattilaan, voidaan hajukaasut polttaa, mikä on hajuongelmien kannalta järkevää. Menetelmä on vaihtoehto, jossa lietteitä ei tarvitse enää kuljettaa muualle, vaan ne voi myös polttaa suoraan kattilassa, mutta tällöin tulee tutkia tuhkan hyötykäyttömahdollisuudet. Esiteltyä menetelmää on testattu paperitehtaiden lietteiden käsittelyyn. (Lohiniva et al. 2001, 67 ja 95.)



Kuva 42. Fortumin kuivuri (Lohiniva et al. 2001, 67)

Kuvassa 43 on kiertoleijukuivuri, jossa on sisäänrakennettu sykkloni. Lämpö voidaan tuottaa niin suorana kuin epäsuorana, jolloin epäsuorassa vaihtoehdossa käytetään apuna lämmönvaihdinta. Menetelmä on tarkoitettu muun muassa lietteiden kuivaukseen. (Einco.) Endevin (aiemmin Einco) kuivuria on käytetty Lapinlahdella, Suoniemen puhdistamolla.



Kuva 43. Kiertoleijukuivuri (Marttila et al. 2008, 38)

3.7.1 Lapinlahti, Suoniemen puhdistamo

Lapinlahden Suoniemen puhdistamolle on rakennettu vuonna 2007 terminen kuivaus- ja polttolaitos. Vielä vuonna 2010 käsittely ei toiminut suunnitellulla tavalla. Prosessi perustuu leijukerroskuivaukseen. Varsinaisena jätteenpolttokattilana toimii 2,5 MW leijukerroskattila ja varakattilana toimii 3,5 MW arinakattila. Laitoksen teoreettinen käsittelykapasiteetti on 15 000 t/a, mutta koeajoissa lietettä on onnistuttu käsittelemään 1,6 t/h. Epäilynä on, että

laitoksen kapasiteetti ei riitä kasvavan lietemäärän käsittelyyn, vaikka saavutettaisiin teoreettinen kapasiteetti. (Iivari 2010, 4-5.)

Jätevedenpuhdistuksesta syntyvän lietteen määrä on 13 000-14 000 t/a ja kuiva-ainepitoisuus on noin 10 %. Lieite muodostuu niin elintarviketeollisuuden (noin 85 %) kuin yhdyskunnan jätevesistä. Kyseessä on jatkuvatoiminen alipaineistettu kuivauslaitos, jonka suunniteltu käyttöaika on 7000 h/a. Mekaanisesti kuivattu lieite ohjataan kuivuriin pumpaamalla. Kuivurissa lieite leijuu pystyputkilämmönsiirtimen putkien sisällä. Putkien ulkopuolelle ohjataan kuumaa vettä, joka on tuotettu leijukerroskattilassa. Alkupanoksena käytetään hiekkaa, mutta ajon aikana lieite leijuu itsestään eikä muuta leijumateriaalia tarvita. Leijutuskaasuna toimii lietteen kuivauksesta syntyvä höyry, jota kierrätetään kierto kaasulinjan kautta kuivuriin, osa johdettaessa kattilaan polttoon. Poistettavan kaasun määrä on noin 3000 m³/h. Kattilassa poltetaan lietteen lisäksi muun muassa puuperäisiä polttoaineita. (Itä-Suomen ympäristölupavirasto 2006a, 3-6.)

Pääosa lietteestä saadaan kuivurin alaosasta talteen, mutta osa poistuu höyryn mukana polttoon. Kuivattu lieite ohjataan ruuvikuljettimella tai pneumaattisesti kattilaan, mutta laitteesta on myös mahdollisuus ottaa lieite ulos. Leijukerrosreaktorista poistuvat kaasut johdetaan jälkipolttokammioon. Savukaasut puhdistetaan vielä syklonilla ja letkusuoitimella, minkä jälkeen savukaasut johdetaan 40 m korkeaan savupiippuun. Prosessista muodostuu tuhkaa, josta noin 90 % on lentotuhkaa. (Itä-Suomen ympäristölupavirasto 2006a, 3-4 ja 7.)

3.8 Ilmapäästöt ja rejektivedet

Termisestä kuivauksesta vapautuu hajukaasuja, minkä vuoksi käsittelytilan tulee olla suljettu. Käsittelytiloista kerättävät hajukaasut on tarvittaessa johdettava hajukaasujen käsittelyyn. Termisessä kuivauksessa syntyy hajukaasujen lisäksi myös muita kaasuja ja pölyä. Kuivauksen yhteydessä höyrystyy myös orgaanisia aineita, joista monet aiheuttavat hajuja jo pieninä pitoisuuksina. Muodostunut höyry voidaan lauhduttaa ja lauhtumattomat kaasut johtaa kaasujen käsittelyyn. Lauhteiden käsittelyssä kannattaa varautua rejektivesien esikäsittelyyn ennen niiden ohjausta viemäriverkkoon. Tarvittava esikäsittely määräytyy rejektiveden laadun ja määrän mukaan. (Latvala 2009, 56–57, 60–61.)

Termisen kuivauksen yhteydessä muodostuu vahvoja rejektivesiä. Vesi on konsentroitunutta (väkevöitynyttä), jossa erityisesti orgaanisen aineksen ja typen pitoisuudet ovat suuria. Vedен koostumukseen vaikuttaa muun muassa syötteen koostumus ja kuivausprosessi, kuten prosessin lämpötila. Muuttuva syöte voi aiheuttaa rejektiveden laadussa vaihteluja ja näin hankaloittaa puhdistamista. Syötteen sisältävät yleensä paljon orgaanista ainesta ja ravinteita. Näin ollen rejektiveden typpi- ja fosforipitoisuuden, kiintoaineen ja kemiallisen hapenkulutuksen pienentäminen tai poisto voi olla haastavaa. Mikäli käytössä on ylijäämäenergiaa, on mahdollista ohjata tämä energia rejektiveden haihdutukseen, millä vähennetään rejekti-

veden määrää. (Latvala 2009, 55–56, 79.) Mahdollisuutena on myös erottaa rejektivedestä tyypeä ja lisätä sitä mädätysjäännökseen termisen kuivauksen jälkeen ennen rakeistusta (Partanen 2010, 50).

Kuivauksen poistokaasujen käsittelyyn on kiinnitettävä erityistä huomiota (Lohiniva et al. 2001, 61). Hajukaasujen käsittelyyn voidaan käyttää bio- tai aktiivihiilisuodatinta, pesuria, otsonointijärjestelmää tai näiden yhdistelmää tai johtamalla hajukaasut imuilmaksi biokaasun hyödyntämislaitteistoon, kuten yhdistetylle lämmön ja sähkön tuotantolaitokselle eli CHP (engl. Combined Heat and Power) -laitokselle. Tyypillisin ratkaisu on biosuodatin, joita on niin katettuja kuin avonaisia (ks. kuva 21). Katettu biosuodatin on nähtävissä kuvassa 44 ulkoapäin. Saatavilla on myös pesureita, joissa hajukaasujen pesu tapahtuu vesisumun ja rikkihapon avulla. (Latvala 2009, 62.) Parhaiten hajuhaittoja estetään kuitenkin polttamalla hajukaasut (Lohiniva et al. 2001, 110). Käsittelyn lisäksi hajujen vaikutusta voidaan pienentää johtamalla ne korkeaan poistoilmapiippuun (Latvala 2009, 62). Pölyn talteenottoon käytetään usein sykklonia (Lohiniva et al. 2001, 61). Syklonin lisäksi tai tilalla käytetään myös letkusuodatinta.



Kuva 44. Hajukaasujen siirtoputket ja biosuodatin (Latvala 2009, 105)

Kappaleen 3 taulukossa 2 on esitelty eri kuivausmenetelmien etuja ja haittoja. Taulukosta voidaan nähdä, että kontaktikuivauksen etu on poistokaasujen pieni määrä, kun taas konvektiokuivauksen haitaksi on luettu poistokaasujen ja pölyn suuri määrä, mikä tarkoittaa isompia puhdistusvirtoja.

Biokaasulaitoksilta on edellytetty muun muassa enintään $1500\text{--}4000\text{ OU/m}^3$ hajukaasupitoisuuksia (Latvala 2009, 62). Latvala (2009, 62) kuitenkin toteaa, että alimpien raja-arvojen saavuttaminen on todettu teknisesti haasteelliseksi. Raja-arvojen määrittäminen on haasteellista, sillä tieto biokaasulaitosten hajupäästöistä ja puhdistusmenetelmien tehokkuuksista on vähäistä. Toiminnan vakiinnuttua on yleensä selvitettävä ulkopuolisten asiantuntijoiden toimesta hajukaasujen käsittelylaitteiston teho. Laitoksen ympäristön hajuhaittaa on myös tarvittaessa selvitettävä esimerkiksi hajupaneelitutkimuksen avulla. (Latvala 2009, 62 ja 65.)

Mädätysjäännös on poikkeuksetta huomattavasti hajuttomampaa kuin käsittelemätön liete (Latvala 2009, 59). Termisellä kuivauksella lopputuotteen hajuhaittoja voidaan pienentää lisää. Huomioitavaa myös on, että ilmapäästöjä/ hajuhaittoja muodostuu termisen kuivauksen lisäksi kattamattomasta loppuvarastoinnista ja peltolevityksestä (Latvala et al. 2009, 59). Termisellä kuivauksella saadaan siis pienennettyä kyseisistä päästölähteistä aiheutuvia hajuhaittoja.

3.9 Termisen kuivurin valinta

Terminen kuivaus on todettu suhteellisen kalliiksi investoinniksi, joka on aina edullisempi suuremmassa kokoluokassa (Lohiniva et al. 2001, 92). Investointikustannusten vuoksi kannattaa panostaa laitteiston valintaan ja lopputuotteen soveltuvuuteen haluttuihin hyötykäyttökohteisiin. Tulee myös muistaa, että lannoituskäyttöä rajoittaa kausiluonteisuus ja energiahyötykäyttöä polttolaitosten seisokit (Lohiniva et al. 2001, 92 ja 94).

Termisiä kuivureita on tarjolla runsaasti ja usein on haasteellista selvittää, mikä kuivuri on paras vaihtoehto tiettyyn tapaukseen. Seuraavaksi on listattu asioita, joita hyvän kuivurin tulisi täyttää käyttäjän ja/tai ostajan näkökulmasta:

- edulliset investointikustannukset
- alhaiset käyttökustannukset
- toimintavarmuus
- pieni huollettavuustarve
- laadukas lopputuote
- hyvä säädettävyys.

Huomioitavaa on, että mainituista kriteereistä löytyy vastakkainasettelua. Esimerkiksi lämmönkulutuksen vähentäminen voi johtaa investointikustannusten nousuun. (Holmberg 2011, 185.) Käyttökustannuksia voidaan puolestaan pienentää hyödyntämällä kaatopaikka-kaasua.

Kuivuria/ kuivausprosessia valitessa tulee huomioida

- materiaalille asetetut laatuvaatimukset (esim. loppukosteus, loppukosteuden vaihteluväli, muoto ja fysikaalinen rakenne)
- materiaalin kuivumisominaisuudet (esim. materiaalin laatu, sisääntulolämpötila ja alkukosteus)
- prosessi, johon kuivaus liittyy (esim. haihdutuksen tarve aikayksikössä, kuivurin vuotuiset käyttötunnit ja kuivausvaiheen tärkeys muun prosessin kannalta)
- lämmönlähteet, jotka ovat käytettävissä
- aiheutuvat päästöt (vaikuttaa ympäristölupa/ -lainsäädäntö). (Holmberg 2011, 185–187.)

Hyvä on myös huomioida, mitä yrityksen antama tarjous ei sisällä ja mitä materiaaleja kuivaimeen on käytetty. Holmberg (2011, 187) on todennut, että huomioidessa kaikki valintaan vaikuttavat tekijät jää yleensä jäljelle tietty määrä vaihtoehtoja, joista valinta voidaan tehdä pyrkien valitsemaan omaan prosessiin sopiva kuivausmenetelmä sekä mahdollisesti keinot parantaa kuivauksen energiataloutta (esim. poistokaasun kierrätys). Onnistuneeseen kuivurin valintaan tarvitaan sekä teoreettista tietoa että aiempia käyttökokemuksia (esim. toimintavarmuuden selvittäminen) (Holmberg 2011, 187).

Tutkimuksen aikana on pyydetty tarjoukset taulukossa 5 esitellyistä yrityksistä. Tavoitteena on ollut saada tietoa siitä, kuinka paljon mädätysjäännöstä voitaisiin kuivata tuotetulla lämpö määrällä ja kuinka paljon kuivausprosessi tulisi maksamaan. Tarjouskyselyjä lähetettäessä on annettu seuraavat lähtötiedot, mutta osalle yrityksistä on myös täytetty heidän omia lähtötietolomakkeita:

- Haetaan sopivaa termistä kuivauslaitteistoa Kymenlaakson Jäte Oy:lle Kouvolaan.
- Kyseessä on mekaanisesti kuivattu mädätysjäännös (kuiva-ainepitoisuus 30 %).
- Haluttu kuiva-ainepitoisuus on käsittelyn jälkeen 90 %.
- Mädätysjäännöksen pääsyötteinä ovat puhdistamoliete, biojäte ja peltobiomassa, mutta osalle yrityksistä on annettu myös tarkemmat tiedot, jotka on esitelty kappaleessa 1.
- Lopputuotteeksi toivotaan raetta, pellettiä tai vastaavaa, mikä soveltuu niin lannoitukseen kuin polttoon.
- Kuivauskapasiteettiin vaikuttaa viideltä mikroturbiinilta hyödynnettävissä oleva lämpö määrä (lisätietoa Kymenlaakson Jäte Oy:n erillisessä raportissa, ei julkinen).
- Koneen käyttäjä on töissä 8 h/d ja 5 d/vko, mutta toiveena on, että käyttöaika on 24 h/d.

Taulukko 5. Tarjousten pyytäminen termisiä kuivauslaitteistoja myyvistä yrityksistä

Yritys	Yrityksen sijainti	Kuivain
Allgaier Process Technology GmbH	Saksa	Pyörivä petikuivain
Degremont Technologies Ltd/ Innoplana	Sveitsi	Ohufilmihaihdutin + Hihnakuivain
Hydropress Huber AB	Helsinki	Hihnakuivain
NLI	Norja	Spiraalikuivain
Tamflow Oy/ Haarslev Industries A/S	Tampere/ Tanska	Kiekkokuivain
Wyssmont Company, Inc.	Yhdysvallat	Turbokuivain

Tarjousten kyselyn yhteydessä yrityksiltä on kyselty myös lisätietoa muun muassa laitteistoista, käsittelyprosessista sekä referenssikohteista. Saadut tarjoukset ja lisätiedot on sisällytetty kokonaisuudessaan Kymenlaakson Jäte Oy:n erilliseen raporttiin (ei julkinen) ja tässä raportissa tietoja on tiivistetty kappaleeseen 6.

4 AURINKOKUIVAUKSEN TEHOSTAMINEN

Aurinkokuivauksessa materiaalia voidaan pitää joko katetussa tilassa (kasvihuone) tai tivasalla. Tutkimuksessa on etsitty tietoa siitä, voiko lattialämmitystä käyttää mädätysjäähdytyksen kuivaukseen ja minkälaisia kokemuksia kyseisestä kuivauksesta löytyy niin Suomesta kuin maailmalta. Tietoa etsittäessä on havaittu, että lattialämmitystä on käytetty tehostamaan aurinkokuivausta.

Bennamoun (2012, 1072) on esitellyt useita erilaisia vaihtoehtoja, joita on lisätty tehostamaan aurinkokuivausta kuten lämpöpumput (kasvihuoneen ilman ja lattian lämmitys), infrapunalamput, kasvihuoneen lattian lämmitys lämmittämällä vettä auringon avulla tai kivi-peti lämpöenergian varastona. Tutkimustulosten ja käyttökustannusten pohjalta kaikissa tapauksissa ei ole taloudellista käyttää toista energialähdettä ilmaisen aurinkoenergian rinnalla. Kuivauksen suoritukset vaihtelevat käyttöajanjakson, maantieteellisen käsittelypaikan vaikutuksesta ja mikä merkittäväntä oma vaikutuksensa on, missä vaiheessa materiaalia kuivataan, esimerkiksi onko kyseessä jo mekaanisesti kuivattu materiaali (lisätietoa kappaleessa 3). Tutkimusten pohjalta on kuitenkin vahvistettu, että aurinkokuivauksella voidaan säästää EPA (Environmental Protection Agency) -luokan B patogeenivaatimukset ja jopa EPA-luokan A patogeenivaatimukset tietyissä tapauksissa, kuten käyttämällä vähän kalkkia. (Bennamoun 2012, 1072.)

4.1 Aurinkokeräimien käyttö turpeen kenttäkuivauksessa - Vapo Oy, Kihniö

Vuonna 2005 on tutkittu turve-erien kuivumista lämmittämättömällä ja aurinkolämmöllä lämmitetyllä kuivaus-/ asfalttikentällä. Tutkimuksessa on saatu maaliskuun lopun ja syyskuun alun välillä 26 onnistunutta satokiertoa (Nevalainen 2006, 51). Nevalainen (2006, 51) on valinnut tulosten esittelyyn satokierron 13.7.2005 ilta-15.7.2005 iltapäivä, joka kuvasti mahdollisimman hyvin kesäaikana saatuja tuloksia. Materiaalia on levitetty kentille n. 12 kg/m². Kentillä turpeen alkuvaiheen kosteus on ollut n. 87 % ja loppuvaiheen kosteus ennen karheamista noin 60 %. Kuivumista on seurattu aumaan vientiin asti, mutta kuivumiskäyriä on esitetty karheamiseen asti. Tutkimuksessa on oletettu, että turpeen alta tapahtuvan lämmityksen merkitys on suurempi kuivumisen alkuvaiheessa, kun turve on levitetty kentälle tasaisesti. (Nevalainen 2006, 52–53.) Esimerkkitapauksesta voidaan nähdä, että suotuisalla säällä haluttuun kuivumistulokseen on päästy alle kahdessa päivässä.

Esimerkin ajanjaksona kentän alle on johdettu aurinkolämpöä noin 1,6 kWh/m²_{kenttä}. Tutkimuksessa 70–80 % kenttään johdetusta lämmöstä on arvioitu kuluneen häviöihin. Auringon säteilyenergia on puolestaan ollut noin 12,4 kWh/ m²_{kenttä}, josta on ajateltu 50 % (vrt. turpeen peittävyys kentällä kuvassa 45) saatavan käytettyä turpeen kuivaukseen (6,2 kWh/ m²_{kenttä}). Haihdutetun vesimäärän eroksi on saatu lämmitetyn ja lämmittämättömän kentän

välillä odotettua pienempi eli 6-8 %. Suurimmaksi syyksi on epäilty kentän eristyksen puutumista. (Nevalainen 2006, 64–65 ja 69.)



Kuva 45. Turpeen kenttäkuivaus aurinkopaneelien avulla (Vapo)

Tutkimuksessa on todettu, että keskikesällä luonnollisen haihdunnan ja auringon säteilyn vaikutus kuivumiseen on merkittävä, joten kuivumisen tehostaminen on mahdollista siihen aikaan vuodesta ja vuorokaudesta, kun auringon säteilyn vaikutus on pienempää ja ilma on kylmempää. Kuivumista on mahdollista tehostaa erityisesti siis yöaikaan, jolloin saadaan pidennettyä vuorokautista kuivumisaikaa. Tutkimuksen perusteella on myös perusteltua käyttää melko kevyttä (sääoloista riippuen n. 13–17 kg/m²_{kenttä}), mutta peittävää kuormitusta, jossa turvepalat on eroteltu tai leikattu toisistaan. Näin saadaan tehostettua ilmankiertoa ja kosteuden siirtoa eli nopeutettua kuivumista. (Nevalainen 2006, 66 ja 69–70.) Menetelmä ei ole päätyntä Vapo Oy:llä laajempaan käyttöön (Korpi 2011).

4.2 Lattialämmityksen käyttö lietteen kuivauksessa - Hydropress Huber Ab, Helsinki

Hydropress Huber Ab kauppa aurinkokuivausta, joka tapahtuu kasvihuoneessa (ks. kuva 46). Kuivaus perustuu auringon säteilyyn ja keinotekoisesti tuotettuun tuuleen. Kasvihuoneessa on lietteen käänin, joka hoitaa muun muassa levityksen, rakeistuksen ja sekoituksen. Lietteiden syöttö kasvihuoneeseen voi tapahtua manuaalisesti tai automaattisesti. Kuivattu liete voidaan varastoida kuivaushallin perällä tai se voidaan mekaanisesti kuljettaa lastauspaikalle. Menetelmässä voidaan hyödyntää myös muita lämpölähteitä kuten pakokaasuja. Lattialämmityksellä voidaan edesauttaa kuivausta, jolloin voidaan suunnitella vähemmän pinta-alaa vievä systeemi. (Huber 2010b, 2 ja 4.) Kyseisellä lisälämmöllä menetelmää voidaan yrityksen www-sivujen perusteella käyttää ympäri vuoden eli aurinkokuivain ei pysty ilman lisälämpöä kuivaamaan materiaalia talvella. (Hydropress Huber AB a.) Yrityksen ranskalaisella www-sivulla on ilmoitettu lisälämmöllä varustetulla aurinkokuivauksella saavutettavan jopa yli 65 % kuiva-ainepitoisuus (Huber France). Menetelmän haasteena voi-

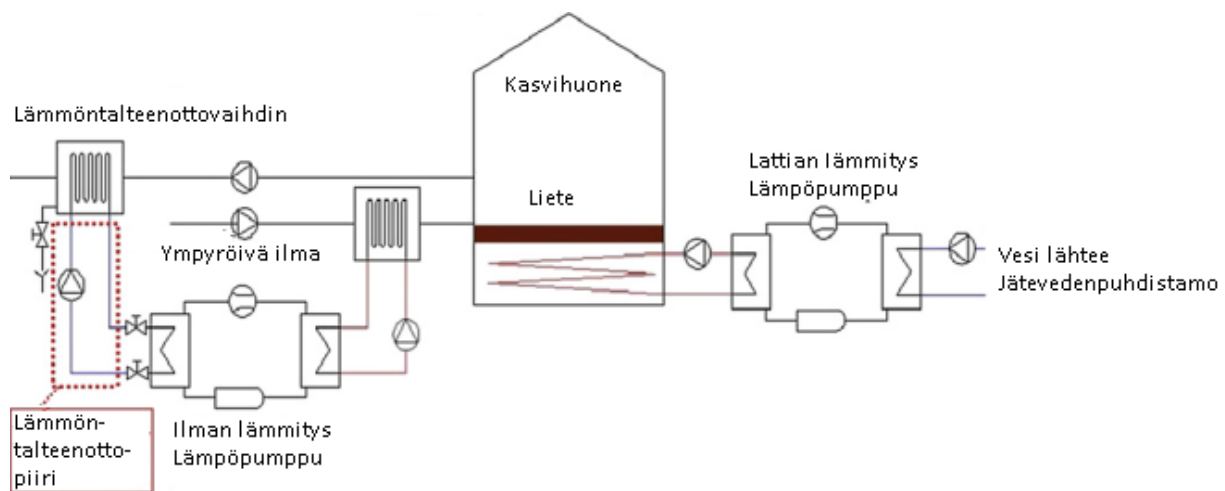
daan kuitenkin nähdä Suomen maantieteellinen sijainti sekä se, että kuivattavan mädätysjäännöksen määrä on yhteydessä menetelmän tarvitsemaan pinta-alaan ja näin myös muodostuviin kustannuksiin.



Kuva 46. Lietteen aurinkokuivaus kasvihuoneessa (Hydropress Huber AB b)

4.3 Lämpöpumppujen käyttö lietteen kuivauksessa - Ranska

Slim et al. (2008, 1158) on tutkinut kasvihuonekuivausta, jossa lämmitystä on tehostettu lämmittämällä kasvihuoneeseen tulevaa ilmaa ja kasvihuoneen lattiaa (lämpöpumput, kaksi vesikiertoa). Periaate on nähtävissä kuvassa 47.



Kuva 47. Kasvihuoneen lämmitys (Slim et al. 2008, 1158)

Tutkimuksessa tavallinen terminen kuivaus todetaan teknisesti monimutkaiseksi, missä vaaditaan merkittäviä käsittelykustannuksia ja samanaikaisesti rasitetaan merkittäville investointikustannuksilla. Kyseinen menetelmä on kuitenkin sopiva isompiin jätevedenkäsittelylaitoksiin (yli 100 000 asukasta), mutta jättää pienemmät ja keskikokoiset jätevedenkäsittelylaitokset ilman mitään taloudellisesti mahdollista vaihtoehtoa. (Slim et al. 2008, 1156.)

Osittaisena ratkaisuna on ollut kasvihuone, jossa hyödynnetään aurinkoenergiaa ja voidaan saavuttaa noin 70 % kuiva-ainepitoisuus ilman minkäänlaista lämpöenergian avustusta, mut-

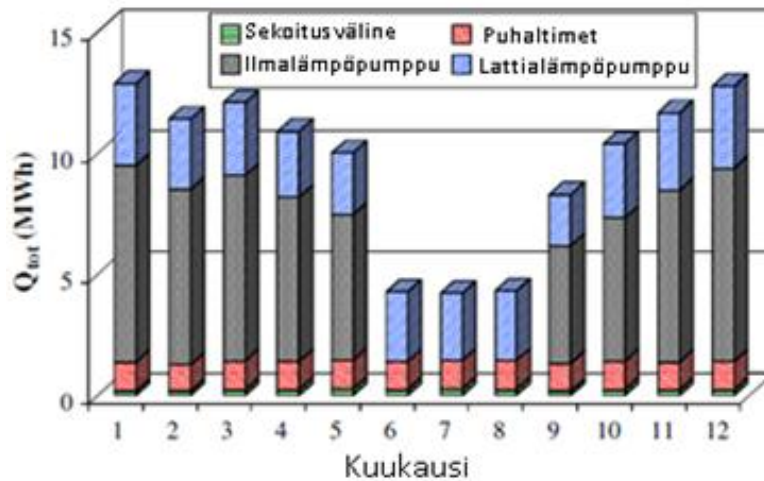
ta menetelmä vaatii merkittävän pinta-alan (noin 700 m² per 200 t/a kuiva-ainetta eli vastaten noin 10 000 asukkaan jätevedenkäsittelylaitosta). Kyseistä kuivausta käytetään laajasti Saksassa ja Australiassa. Menetelmässä liete levitetään kasvihuoneen pohjalle ja huolehditaan tuuletuksesta ja kääntelystä. Huolimatta taloudellisesta mielikuvasta ja alhaisista käyttökustannuksista, kasvihuonekuivauksen markkinat ovat vuonna 2008 rajoittuneet pienille jätevedenkäsittelylaitoksille (alle 20 000 asukasta). Alkuinvestointia on nimitetty merkittäväksi eli noin 350–500 €/m², osittain rakentamiskustannusten, mutta myös apulaitteiden kustannusten vuoksi (sekoitusväline, tuulettimet jne.). (Slim et al. 2008, 1157.)

Kasvihuonekuivaukseen vaikuttaa merkittävästi sääolosuhteet. Lisäenergiaa tarvitaan, jotta voidaan saavuttaa lähes samanlaista kuivaustasoa ympäri vuoden ja, jotta kasvihuone voidaan tehdä pienempään tilaan. On ehdotettu kasvihuonekuivausta, jossa apuna on lämpöpumppu. Menetelmä soveltuisi pienille ja keskikokoisille jätevedenkäsittelylaitoksille (noin 5000–50 000 asukasta). (Slim et al. 2008, 1157–1158.)

Lämpöpumppuja on asennettu suhteellisen vähän teollisuuteen. Tutkimus perustuu prototyyppiin, joka on asennettu Länsi-Ranskaan. Katetun hallin leveys on 4,6 m, pituus 20 m ja korkeus 4-5 m. Lattia on tehty kolmesta kerroksesta, joista

- ylimmäisenä on betonikerros, jonka paksuus (10 cm) ja koostumus on valittu kestämään vaihtelevat lämpötilat ja mekaanisen rasituksen (50–60 °C ja noin 1 t/m² märkää lietettä)
- keskimmäisenä on verkosto polyeteeniputkia (kiinnitettynä polystyreenipaneeliin), jotka takaavat tasaisen virtauksen ympäri kasvihuoneen lattiaa
- alimmaisena on polystyreenipaneeleita, jotka vähentävät lämmön karkaamista maaperään. (Slim et al. 2008, 1158–1159.)

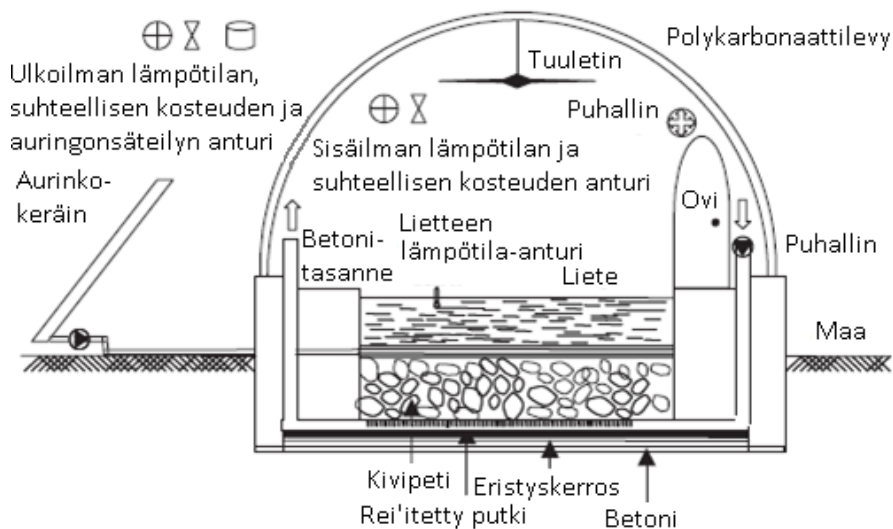
Lietettä on käännetty automaattisesti 12 tunnin välein. Lietekerroksen paksuutena on käytetty 20 cm. Tutkimuksen aikana on kuivattu 30 t märkää lietettä/kk (kuiva-ainepitoisuus 20 %), jota on tuotu viikoittain kasvihuoneeseen. Mallintamiseen on käytetty säätietoja vuodelta 2006. Kuivausta on jatkettu ympäri vuoden. Kesäaikaan lämpötila on ollut noin 18–25 °C, kevätaikaan noin enintään 20 °C (syksyllä vähän alempi) ja talviaikaan noin 5 °C. (Slim et al. 2008, 1159–1161.) Sääolosuhteiden vaikutus veden haihtumismäärään neliometriä ja päivää kohden on selvästi havaittavissa, kun vaihteluväli on noin 0,5 kg/d, m² (talvi)-5,5 kg/d, m² (kesä). Tutkimuksessa on myös todettu, että kuivumista saadaan tehostettua lisälämmöllä, mutta samanaikaisesti kasvatetaan energiankulutusta. Kuvassa 48 on nähtävissä eri tekijöiden energiankulutukset eri vuodenaikoina. Kuvasta voi havaita, miten lisälämpö lisää energiankulutusta. Tutkimuksessa on todettu, että tarvitaan lisää taloudellisia tarkasteluja vahvistamaan saadut tulokset. (Slim et al. 2008, 1165–1166.)



Kuva 48. Energiankulutus esimerkkipisteessä (Slim et al. 2008, 1165)

4.4 Lattialämmityksen ja kivipedin käyttö lietteen kuivauksessa - Turkki

Turkissa on tutkittu aurinkokuivausta niin katetussa tilassa (kasvihuone, ks. kuva 49) kuin taivasalla. Katettu kasvihuone on ollut tunnelityyppinen kasvihuone, jonka korkeus on ollut 2,5 m. Se on suljettu kahdella seinällä, 10 mm paksuilla läpinäkyvillä polykarbonaattilevyillä, joiden valonläpäisy on 80 %. Kasvihuoneessa on käytetty tuuletinta ja kahta puhallinta. Betonilattiaa on lämmitetty kuumavesiputkilla, jotka on liitetty aurinkokeräimiin. Betonilattian alle on rakennettu kivipeti, joka on toiminut lämpövarastona. Kivipeti on koostunut halkaisijaltaan 16–48 mm kivistä ja syvyyttä pedillä on ollut 50 cm. Kuumaa sisäilmaa on kierrätetty kivipetiin. Peti on eristetty alta ja sivuilta läpäisemättömällä betonilattialla ja eristysmateriaalilla. Lietekerroksen paksuutena on käytetty 25 cm. Lietettä on sekoitettu manuaalisesti kaksi kertaa päivässä niin kasvihuoneessa kuin taivasalla. Taivasalla lietteen ilmastus on tapahtunut tuulen avulla ja lämmitys on tapahtunut suorasta kontaktista auringon säteilyyn. (Salihoglu et al. 2007, 1665 ja 1667.)



Kuva 49. Kaaviokuva katetusta aurinkokuivauslaitoksesta (Salihoglu et al. 2008, 1666)

Tutkimuksen aikana on tarkkailtu kuiva-aineessa ja ilmassa tapahtuvia muutoksia (sademäärä, auringon säteily, lämpötila, suhteellinen kosteus ja tuulen nopeus) kesä- ja talvijaksona. Katetussa tilassa on päästy niin talvella kuin kesällä korkeampaan kuiva-ainepitoisuuteen kuin taivasalla. 20 % kuiva-ainepitoisuudesta 35 % kuiva-ainepitoisuuteen (kaatopaikkavaatimus) on päästy kesällä 15 päivässä ja talvella 30 päivässä. Kuivauksen aikana lietteen määrä on vähentynyt 255 kg/m²:stä 145 kg/m²:iin. Kesällä 55 päivässä on päästy yli 80 % kuiva-ainepitoisuuteen. Katetussa tilassa olevan lietteen lämpötila on ollut noin 11 °C korkeampi kuin ulkolämpötila. Kuumennetun kivipedin vuoksi lietteen lämmöstä on hävinnyt vain pieni osa, vaikka ulkolämpötila on laskenut. Katettu tila on toiminut myös kuivatun lietteen välivarastona. (Salihoglu et al. 2007, 1667, 1669, 1672 ja 1674.)

Kalkituksen käyttö aurinkokuivauksen kanssa on todettu tutkimuksessa tehokkaaksi ja taloudelliseksi esikuivausvaihtoehdoksi verrattuna pelkkään kalkitukseen. Jotta käsittelyllä on saavutettu nopeammin patogeenivaatimukset, mekaanisesti kuivattuun lietteeseen on sekoitettu kalkkia ennen aurinkokuivausta. Haluttu kuiva-ainepitoisuus 35 % on saavutettu kesällä 5 päivää nopeammin eli 10 päivässä. (Salihoglu et al. 2007, 1668, 1670–1671.)

4.5 Infrapunalamppun ja lattialämmityksen käyttö lietteen kuivauksessa - Puola

Puolassa on vuonna 2005 selvitetty infrapunalamppun ja lattialämmityksen vaikutusta aurinkokuivauksen tehostamiseen. Tarkoituksena on ollut selvittää kunkin vaikutusta erikseen. Laitteisto on sijoitettu kevyen teräsrakennelman sisälle, joka on peitetty polykarbonaattilevyillä ja rakennettu betonilaatalle. Rakennelmaan on asennettu tuuletussysteemi ja lietteen sekoitussysteemi. (Krawczyk ja Babyda 2011, 37.)

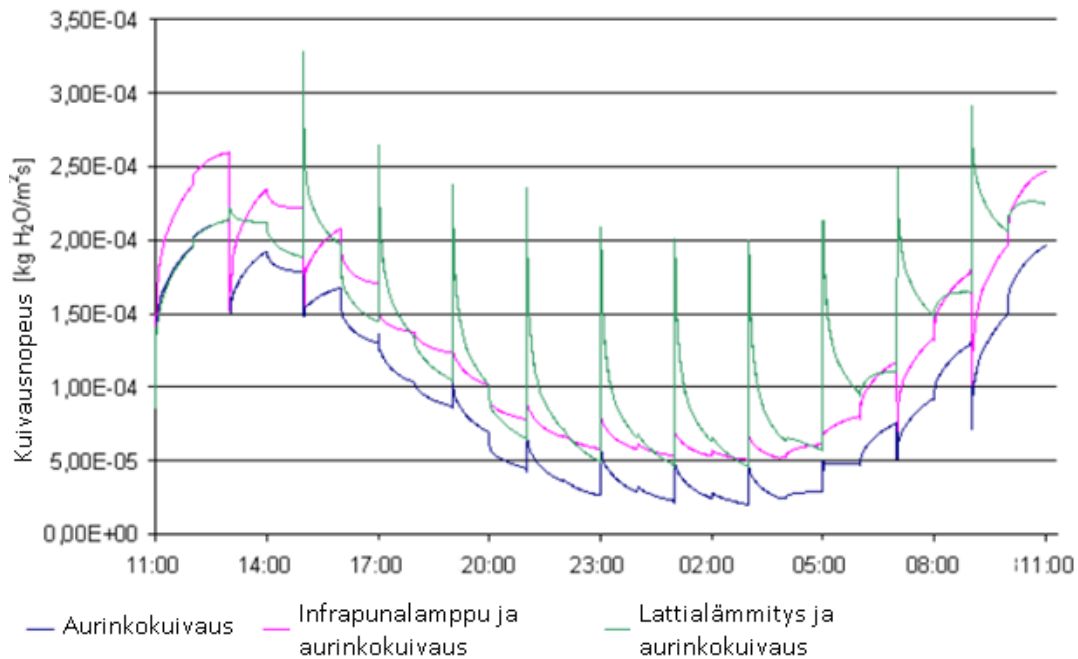
Eri tekijöiden vaikutuksen selvittämiseksi on tutkittu eri muunnelmia (24 h):

- pelkkä aurinkokuivaus (referenssi)
- aurinkokuivaus lisättynä infrapunalamppun lämmityksellä (150 W/m²)
- aurinkokuivaus lisättynä lattialämmityksellä (50 °C, 225 W/m²).

Lukuina on käytetty oikeita säätietoja tietynä päivänä kesäkuussa. Kaikkiin tapauksiin on sisällytetty lietteen kääntely kahden tunnin välein. (Krawczyk ja Babyda 2011, 38–39.)

Infrapunalamppulla on saatu kuivausta tehostettua referenssiarvosta 8,12 kg H₂O/m²d:stä 11,11 kg H₂O/m²d:ssä ja lattialämmityksellä referenssiarvosta 11,71 kg H₂O/m²d:ssä. Hyötysuhteeksi on saatu ensin mainitussa 57,7 % ja jälkimmäisessä 46,2 %. Lisälämmöntarve on ensin mainitussa noin 4,3 GJ/t haihduttua H₂O ja jälkimmäisessä noin 5,4 GJ/t haihdutettua H₂O. Näin ollen tutkimuksessa on todettu lattialämmitys infrapunalamppua tehottomammaksi menetelmäksi, vaikkakin molemmissa tapauksissa on päädytty hetkellisesti merkittävään kuivausnopeuden kasvuun. Lattialämmityksen tuloksena lietekerroksen keskimääräi-

nen lämpötila nousi merkittävästi verrattuna pelkkään aurinkokuivaukseen ja infrapunalamppuun, kuten on nähtävissä kuvassa 50, mutta kääntelyn seurauksena lämpötila laski. (Krawczyk ja Babyda 2011, 38–40.)



Kuva 50. Lietteen kuivaus (Krawczyk ja Babyda 2011, 38)

Infrapunalamput ovat suhteellisen edullisia ja tehokkaita ratkaisuja, mutta lämmitykseen tarvitaan kallista lämmönsiirtoainetta kuten maakaasua, biokaasua, polttoöljyä tai sähköä, mikä voi johtaa merkittävään käyttökustannusten nousuun. Yhtenä mahdollisuutena etulyöntiasemaan lattialämmityksellä infrapunalamppun ohi on, jos on pääsy matalan lämpötilan lämpölähteeseen, vaikka se väistämättä kasvattaa investointikustannuksia. Tutkimuksessa on myös todettu, että lisälämmön käytön tehokkuus on merkittävästi alhaisempi kuin muissa kuivauslaitteistoissa. Tämän vuoksi energiatasapainon näkökulmasta ei ole järkevää rakentaa lietteen aurinkokuivaimia korkealla lisälämpökapasiteetilla. Tällöin voidaan neutraloida ilmaisen aurinkoenergian edut. (Krawczyk ja Babyda 2011, 40.)

5 TERMINEN KÄSITTELY

Termistä käsittelyä harkittaessa on hyvä huomioida, että energiahyötykäyttö tulee vasta materiaalihyötykäytön jälkeen (L 3.12.1993/1072, 6 §). Jätteiden anaerobisessa käsittelyssä syntyvät jätteet (esim. mädätysjäännös) luetaan jätteeksi (YMa 22.11.2001/1129, liite). Koska mädätysjäännös luokitellaan jätteeksi, sitä voidaan polttaa vain jätteenpolttomääräykset täyttävissä laitoksissa. Esimerkiksi poltettaessa jätettä poltto- tai rinnakkaispolttolaitoksessa savukaasun lämpötila tulee nostaa vähintään kahdeksi sekunniksi 850 °C:seen (VNa 15.5.2003/362, 8 §). Jättemateriaaleja polttavat laitokset on myös varustettu vaatimukset täyttävällä savukaasujen puhdistusprosessilla (Vesanto 2006, 36). Huomioitavaa myös on, että metsäteollisuuden omien lietteiden polttoa omissa rinnakkaispolttolaitoksissa ei koske valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta (VNa 15.5.2003/362, 1 §).

Jätteenpolttoluvan omaavilla laitoksilla on ympäristöluvassa määritelty muun muassa, mitä ja miten paljon jätteitä voidaan laitoksella polttaa ja miten paljon voi aiheutua päästöjä (Saarinen ja Leikoski 2009, 10 ja 28). Jos toimintaa muutetaan niin, että siihen on haettava lupaa (saattaa aiheuttaa eräistä naapurussuhteista annetun lain 17 §:n 1 momentin kohtuutonta rasitusta), lupahakemuksesta on käytävä ilmi, miten muutos vaikuttaa aiempaan toimintaan sekä aiheutuviin ympäristövaikutuksiin (A 18.2.2000/169, 14 §; L 4.2.2000/90, 17 §; L 4.2.2000/86, 28 §). Lupahakemuksen käsittelyaikaan vaikuttaa erityisesti, miten täydellisenä hakemus toimitetaan viranomaiselle (Saarinen ja Leikoski 2009, 22). Vaihtoehtona on myös hakea aluksi määräaikaista koetoimintalupaa, jos jae ei sisälly ympäristölupaan.

Ympäristölupapäätöksistä voi valittaa Vaasan hallinto-oikeuteen ja tarvittaessa edelleen korkeimpaan hallinto-oikeuteen. Jätteenpolttoa koskevista lupapäätöksistä valitetaan usein. (Saarinen ja Leikoski 2009, 9 ja 34.) Saarinen ja Leikoski (2009, 34) ovat tehneet yhteenvedon, että kaikista Suomen polttolaitosten ja noin puolesta rinnakkaispolttolaitosten ympäristölupapäätöksistä on valitettu. Kahdessa tapauksessa Vaasan hallinto-oikeuden muutokset koskivat lietteiden polttamista. Molemmissa tapauksissa lietteiden poltto kiellettiin. Syinä oli mainittu muun muassa, että ei ollut tietoa lietteen koostumuksesta ja soveltuvuudesta polttoon ja siitä onko hyödyntäminen järjestettävissä kohtuullisin kustannuksin muulla tavoin kuin polttamalla. (Saarinen ja Leikoski 2009, 27 ja 34.)

Suomessa rinnakkaispoltto on tänä päivänä pääasiassa polttoa leijupetikattilassa tai teollisuuden rumpu-uunissa (prosessiuunissa) yhdessä tavanomaisen polttoaineen kanssa. Hyvälaatuisia jätteitä voidaan yleensä polttaa leijupetikattiloissa materiaalin laadusta riippuen jopa muutaman kymmenen prosentin polttoaineosuuteen saakka. (Vesanto 2006, 35.) Polttoaineiden hinnat vaikuttavat siihen, poltetaanko rinnakkaispolttolaitoksissa jätettä vai vaihtoehtoista polttoainetta (Saarinen ja Leikoski 2009, 19).

Jyrsinturpeen ja mädätysjäännöksen eroja on esitelty taulukossa 6. Taulukosta voidaan havaita, että termisen kuivauksen seurauksena turvetta voidaan korvata ilman tehon menetyksiä. Merkille pantavaa on kuitenkin, että tuhkamäärässä on havaittavissa merkittävä ero. Merkille pantavaa on myös, että esimerkiksi kuivatun lietteen lämpöarvo olisi suurempi ilman mädätystä, sillä mädätyksessä osa orgaanisesta aineksesta muuttuu metaaniksi ja hiilidioksidiksi (Lohiniva et al. 2001, 43). Huomioitavaa myös on, että muutokset mädätysjäännöksen koostumuksessa vaikuttavat lämpöarvoon (Turovskiy ja Mathai 2006, 291). Lämpöarvoon vaikuttavat myös eri laitosten erilaiset vaatimukset kuiva-aine- ja tuhkapitoisuudelle sekä laadulle (Lohiniva et al. 2001, 68). Jotta polttoaine voi ylläpitää palamista, tehollisen lämpöarvon tulee olla vähintään 5 MJ/kg (Alakangas 2000, 124).

Taulukko 6. Jyrsinturpeen ja termisesti kuivatun mädätysjäännöksen eroja (Partanen 2010, 114; Lohiniva et al. 2001, 43 ja 68; Alakangas 2000, 89)

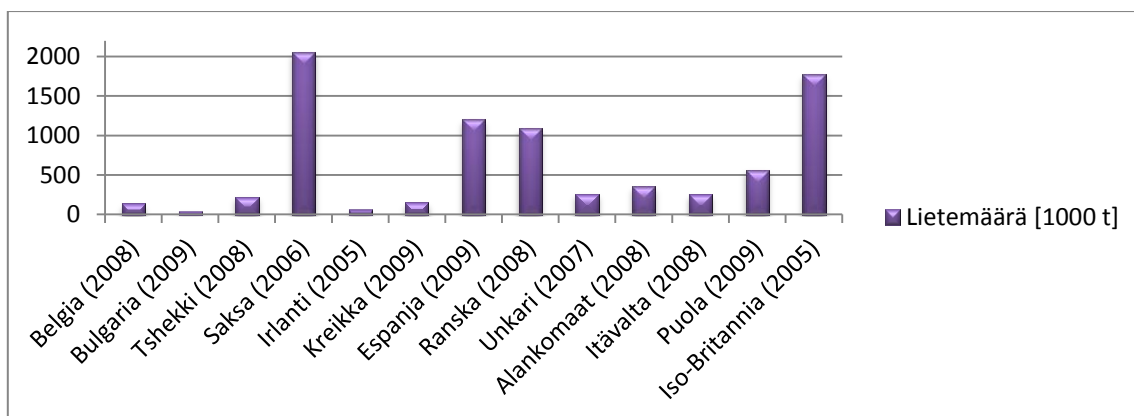
Menetelmä	Yksikkö	Termisesti kuivattu mädätysjäännös (TS 90 %)	Jyrsinturve (TS 49 %)
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa	MJ/kg	n. 10,5	n. 9,6
Tuhkan osuus kuiva-aineesta	%	lähes 50	n. 5

Yhdyskuntalietteiden energiakäyttö on todettu yhdeksi varteenotettavaksi vaihtoehto, mutta samalla on todettu, että käsittelyprosessille ja savukaasunpuhdistuslaitteistolle lisävaatimuksia tuovat kuitenkin lietteiden korkeammat raskasmetallipitoisuudet (Hg, Cd, Cr) ja typipitoisuus. Patogeenit ja hygieniaoingelmat voivat vaatia lietteen käsittelyn (esimerkiksi termisen kuivauksen) ennen polttoa. Lietteiden polton mahdollisina kattilan haittavaikutuksina ja näin huomioon otettavina asioina on listattu muun muassa

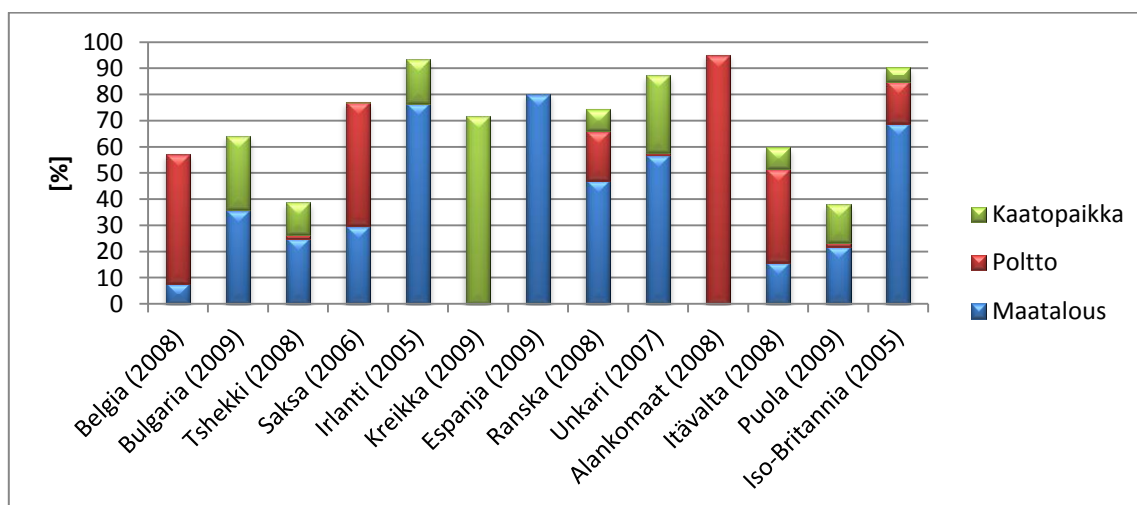
- kerrostumien muodostuminen lämpöpinnoille
- savukaasumäärän lisääntyminen
- korroosio
- höyryntuotannon pieneneminen. (Lohiniva et al. 2001, 68 ja 93.)

5.1 Lietteen käsittely Euroopassa

Euroopan yhdyskuntajätevedestä tuotetun jätevesilietteen määriä on nähtävissä kuvassa 51. Euroopan tavallisimmat lietteenkäyttötavat ovat viherrakentaminen ja maatalouskäyttö. Lietteen poltto (ml. sementin valmistus Britanniassa ja Alankomaissa) on myös tavallista. Lietteitä poltetaan massapolttolaitoksissa sekoitettuna muuhun jätteeseen tai erillisissä lietalaitoksissa (pohjautuvat useimmiten leijukerrostekniikkaan) (Lohiniva et al. 2001, 92–94). Alankomaista lietettä viedään jopa ulkomaille poltettavaksi. Termistä kuivausta käytetään myös ennen polttoa esim. Belgiassa. Kaatopaikkasijoitusta käytetään erityisesti Kreikassa. (Rantanen et al. 2008, 18.) Suosituimpien jätevesilietteen käsittelytapojen osuuksia on nähtävissä kuvassa 52.



Kuva 51. Yhdyskuntajätevedestä tuotetun jätevesilietteen määriä Euroopassa (Bennamoun 2012, 1062)



Kuva 52. Jätevesilietteen käsittely Euroopassa (Bennamoun 2012, 1062–1063)

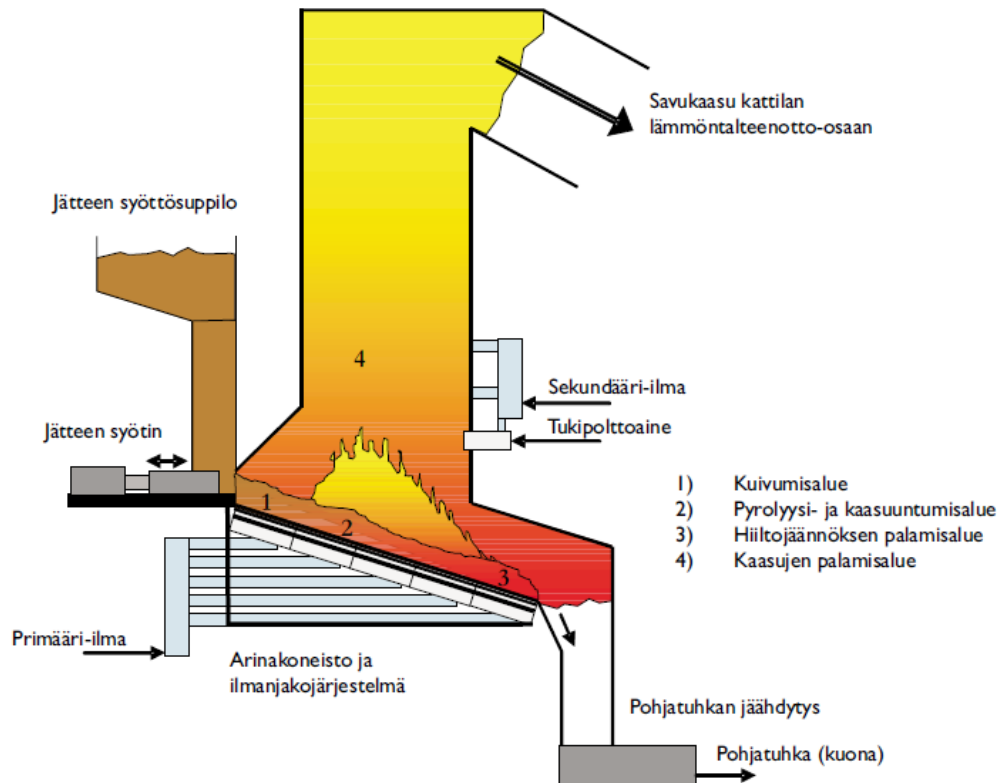
Lietetuotteiden käyttöä maataloudessa estää liian korkeat raskasmetallipitoisuudet, taudinaiheuttajat, liian korkea typpipitoisuus, orgaaniset haitta-aineet, kuljetuskustannukset ja ennakkoluulot. Muina tekijöinä on mainittu muun muassa kausittainen käyttö (varastointitarve), vaihtoehtoiset käyttömahdollisuudet, kiinnostuneiden asiakkaiden puute sekä viranomaisten toimet. Mainittuna on myös, että fosforin käyttökelpoisuus kasveille voi olla liian pieni. (Rantanen et al. 2008, 7.)

5.2 Termiset käsittelylaitokset

5.2.1 Arinakattila ja massapolttolaitos

Arinapoltto on pitkään käytössä ollut tekniikka, jossa polttoaine syötetään kahmarilla syötösuppiloon, josta se edelleen syötetään arinalle (ks. kuva 53). Uusien jätteenpolttolaitosten arinat ovat yleensä vinoja, joissa jätettä sekoitetaan eri menetelmin polton aikana. (Vesanto 2006, 30.) Polttoaine syötetään arinalle kattilan toiselta reunalta ja toiselta reunalta poistuu tuhka. Arinan alkupäässä tapahtuu polttoaineen kuivuminen ja lämpiäminen, joita seuraa polttoaineen kaasuuntuminen. Kaasuuntuneiden komponenttien syttyessä palamaan ne

luovuttavat lämpöä, joka sytyttää palaamaan myös kaasuuntumatta jääneet kiinteät polttoainepartikkelit. Palamistapahtuma voidaan siis jakaa kuivumis-, kaasuuntumis- ja palamisalueeseen. (Huhtiniemi et al. 2004, 152–153.) Kuvassa 53 on nähtävissä jako neljään alueeseen. Karkea tuhka ja palamattomat materiaalit poistuvat arinan alapäästä pohjatuhkajärjestelmään. Savukaasun mukana poistuu puolestaan hienojakoinen tuhka ja höyrystyneitä epäorgaanisia aineita, jotka johdetaan puhdistusprosessiin. (Vesanto 2006, 30.)



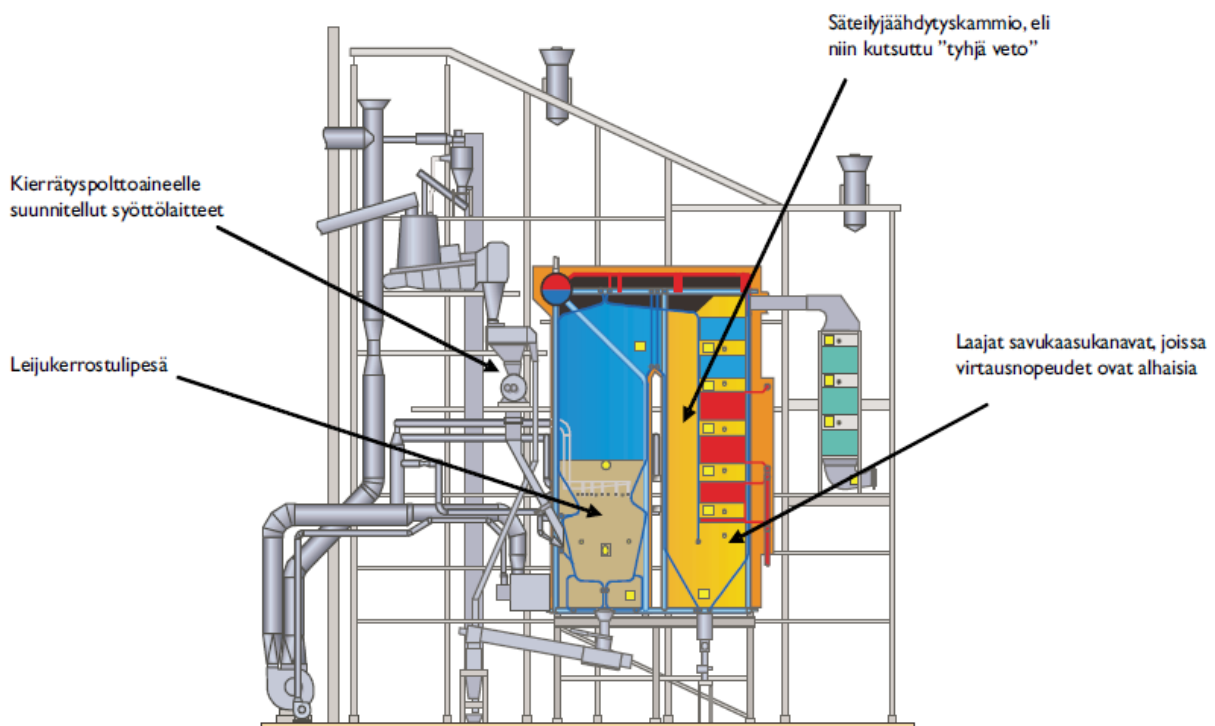
Kuva 53. Arinakattila (Vesanto 2006, 31)

Arinatekniikka soveltuu monenlaisen jätteen polttoon ja yhdyskuntajäte ei vaadi esikäsittelyä ennen polttoa. Prosessi sietää melko hyvin jätteen kosteuden, lämpöarvon ja tuhkapitoisuuden vaihtelua. (Vesanto 2006, 30). Vesanto (2006, 30) toteaa, että menetelmä ei sovellu mm. nestemäisten ja jauhemaisten jätteiden polttoon. Muun jätteen seassa voidaan kuitenkin polttaa pieniä määriä kuivahkoa lietettä (Vesanto 2006, 30). Riihimäen jätevoimalassa on mekaanisesti kuivatulle (kuiva-ainepitoisuus n. 20 %) yhdyskuntien ja teollisuuden jätteenpuhdistuksen lietteille siilo, jonka pohjasta materiaali pumpataan arinakattilaan muiden jätteiden joukkoon (Hämeen ympäristökeskus 2006, 11).

Lietteiden polttoa massapolttolaitoksissa on kuvattu mielenkiintoiseksi vaihtoehdoksi, varsinkin jos polttolaitos on lähellä ja laitoksella on ylimääräistä kapasiteettia. Liete tulee sekoittaa laitoksella hyvin jätteen sekaan. Kyseisissä laitoksissa savukaasupäästöt hallitaan hyvin. (Lohiniva et al. 2001, 93.)

5.2.2 Leijupetikattila ja rinnakkaispolttolaitos

Leijupetikattilassa (ks. kuva 54) on ilmvirran avulla leijutettava kuuma hiekan ja tuhkan muodostama kerros, josta käytetään nimeä peti (Vesanto 2006, 31). Jätteen syöttö kattilaan tapahtuu polttoainesilosta mekaanisesti kuljettamalla sulkusyöttimen kautta pudotusputkeen ja petin päälle. Kuumaan hiekkakerrokseen sekoittuva kostea polttoaine kuivuu ja lämpenee syttymislämpötilaan. Petin suuren lämpökapasiteetin ansiosta menetelmä soveltuu hyvin kosteiden polttoaineiden polttoon ja samalla lämpökapasiteetti tasaa polttoaineen mahdollisia laatuvaihteluja. Menetelmä soveltuukin useille polttoaineille, myös lietteiden polttoon. (Huhtinen et al. 2004, 157–158.)



Kuva 54. Leijupetikattila (Vesanto 2006, 32)

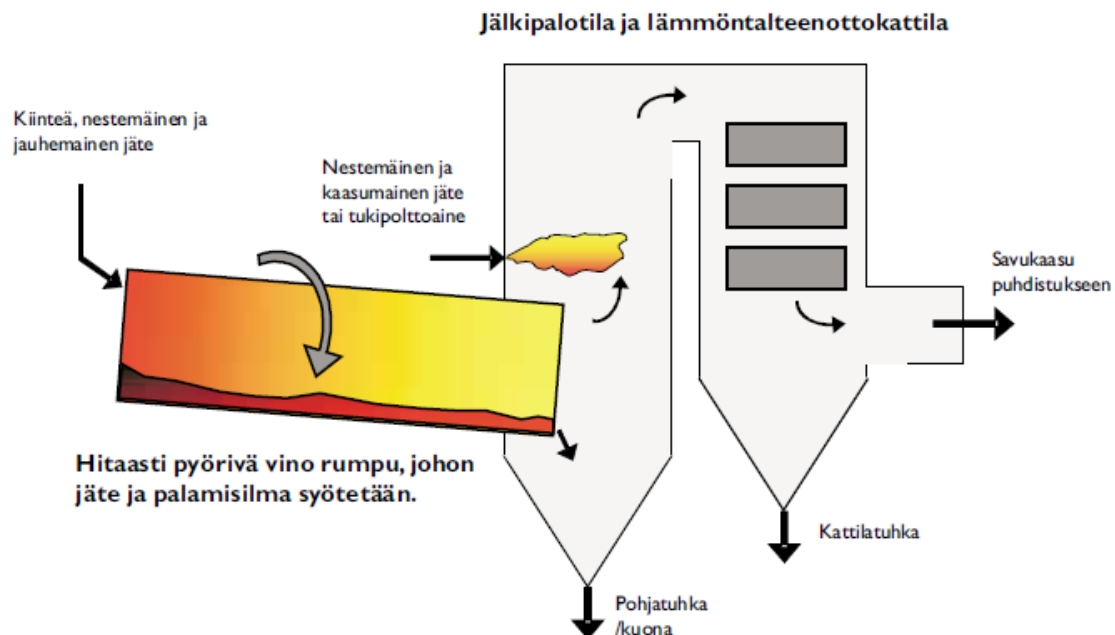
Kotimaisia polttoaineita poltettaessa pedin lämpötila on noin 900 °C. Lämpötila pidetään niin alhaisena, että polttoaineen tuhka ei pääse sulamaan. Muodostuva tuhka poistetaan kattilan pohjalta ja hienojakoinen tuhka poistuu puolestaan savukaasujen mukana. (Huhtinen et al. 2004, 158.) Savukaasut johdetaan puhdistusprosessiin.

Lietteiden poltto pääpolttoaineen seassa on suosittua metsäteollisuudessa, jossa lietteitä voidaan syöttää kattilaan hyvinkin kosteana (kuiva-ainepitoisuus 10–50 %) (Lohiniva et al. 2001, 94). Kyseisissä tapauksissa lietettä sekoitetaan pieniä määriä (alle 10 til.-%) pääpolttoaineen sekaan (Pipatti et al. 1996, 50). Rinnakkaispolttolaitoksissa voidaan polttaa kierrätyspolttoainetta (REF) pääpolttoaineeseen sekoitettuna. Lietteiden polton ei nähdä kasvattavan merkittävästi rinnakkaispolttolaitoksen päästöjä, jos lietteiden raskasmetallipitoisuudet ovat pienet ja lietettä poltetaan pienellä osuudella pääpolttoaineen seassa. Tarkastelut ovat kui-

tenkin tapauskohtaisia. Tulee myös huomioida laitosten seisokit, jolloin lietteelle tulee olla varattuna välivarastointi- tai muu hyötykäyttömahdollisuus. (Lohiniva et al. 2001, 94.)

5.2.3 Rumpu-uuni

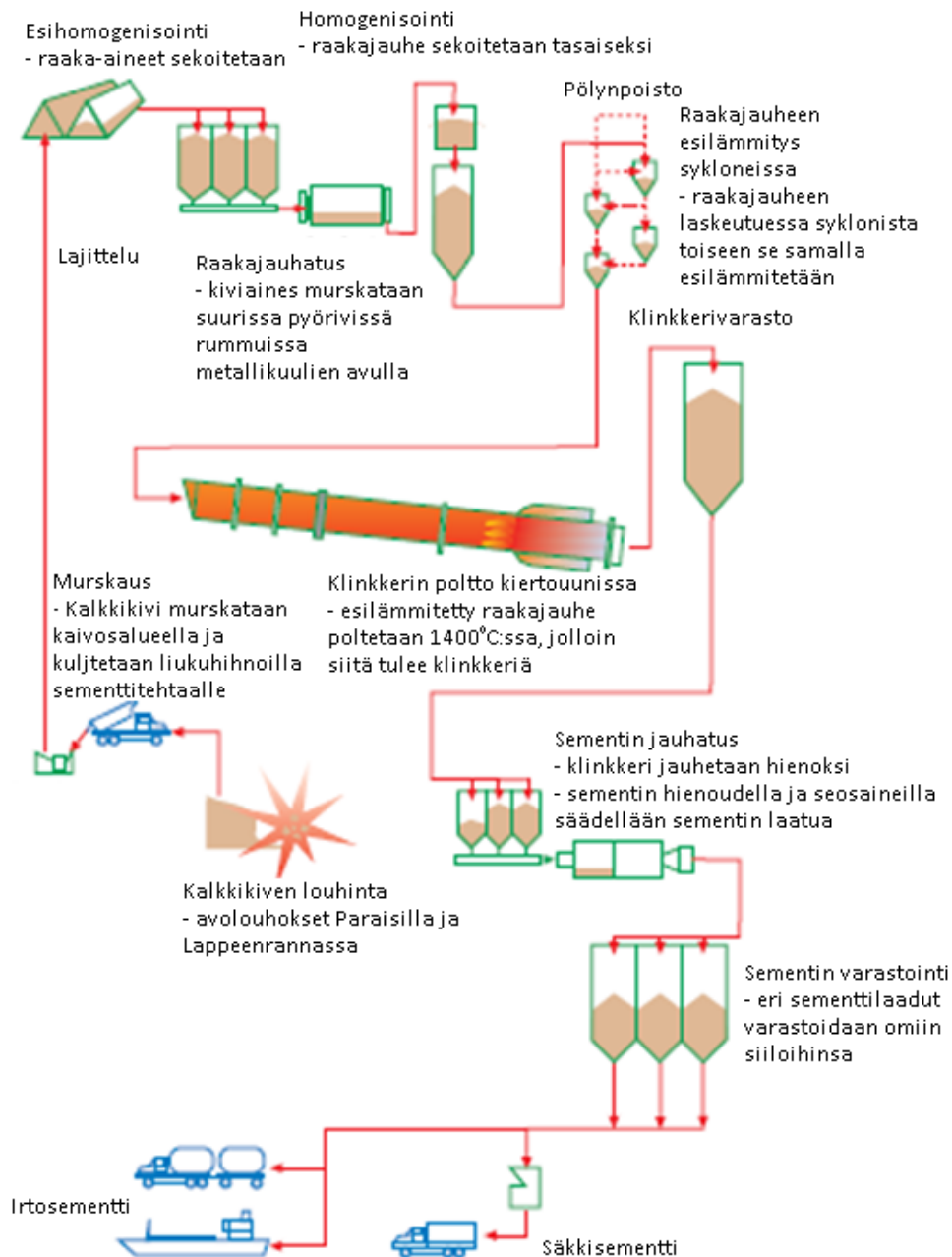
Rumpu-uunit soveltuvat niin kiinteiden, nestemäisten, pastamaisten kuin kaasumaisten materiaalien polttoon ja niitä käytetään yleisesti ongelmajätteiden polttoon. Rumpu-uuni on yleensä 10–15 m (sementtitehtaalla n. 100 m) pitkä loivasti vinoon asennettu rumpu, joka pyörii hitaasti esim. 5-40 kierrosta tunnissa. Jätteen syöttölaitteisto riippuu jätteen koostumuksesta, mutta se voi olla esim. murskaava sulkusyötin, syöttöruuvi tai suppilo. Laitteistoon voi sisältyä myös suuttimet nesteiden tai kaasujen syöttöön sekä pneumaattinen syöttösuutin jauhemaisia jätteitä varten. Usein kuitenkin jauheet ja nesteet syötetään suoraan jälkipolttoon. Jäte ja palamisilma syötetään rummun yläpäähän, josta se siirtyy rummussa eteenpäin pyörimisliikkeen ja rummun vinon asennon vaikutuksesta. Samalla tapahtuu jätteen sekoittumista. Rummun alapäästä palokaasut ja tuhka poistuvat yleensä jälkipalotilaan, jossa poltetaan uunissa muodostuneet kaasut. Karkea tuhka poistetaan jälkipalotilan pohjalta joko kiinteänä tai sulana ja savukaasut johdetaan puhdistettavaksi. Kyseisten uunien lämpötila voidaan suunnitella hyvin korkeaksi (n. 850–1400 °C) ja jätteen viipymäaika voi tarvittaessa olla pitkä. Rumpu-uunit voidaan suunnitella myös tuhkaa sulattaviksi uuneiksi. (Vesanto 2006, 34.) Rumpu-uunin periaate on esitelty kuvassa 55.



Kuva 55. Rumpu-uuni (Vesanto 2006, 35)

Sementin valmistuksessa kalkkikivi ja muut sementin raaka-aineet jauhetaan aluksi jauheeksi, joka poltetaan sementtiklinkkeriksi rumpu-uunissa. Materiaalin lämpötila nousee polttoyöhykkeessä yli 1400 °C:een. Pääpolttoaineina käytetään kivihiiltä ja petrokoksia, mutta laitoksella voidaan käyttää myös vaihtoehtoisia polttoaineita. Tavoitteena on, että uuni on

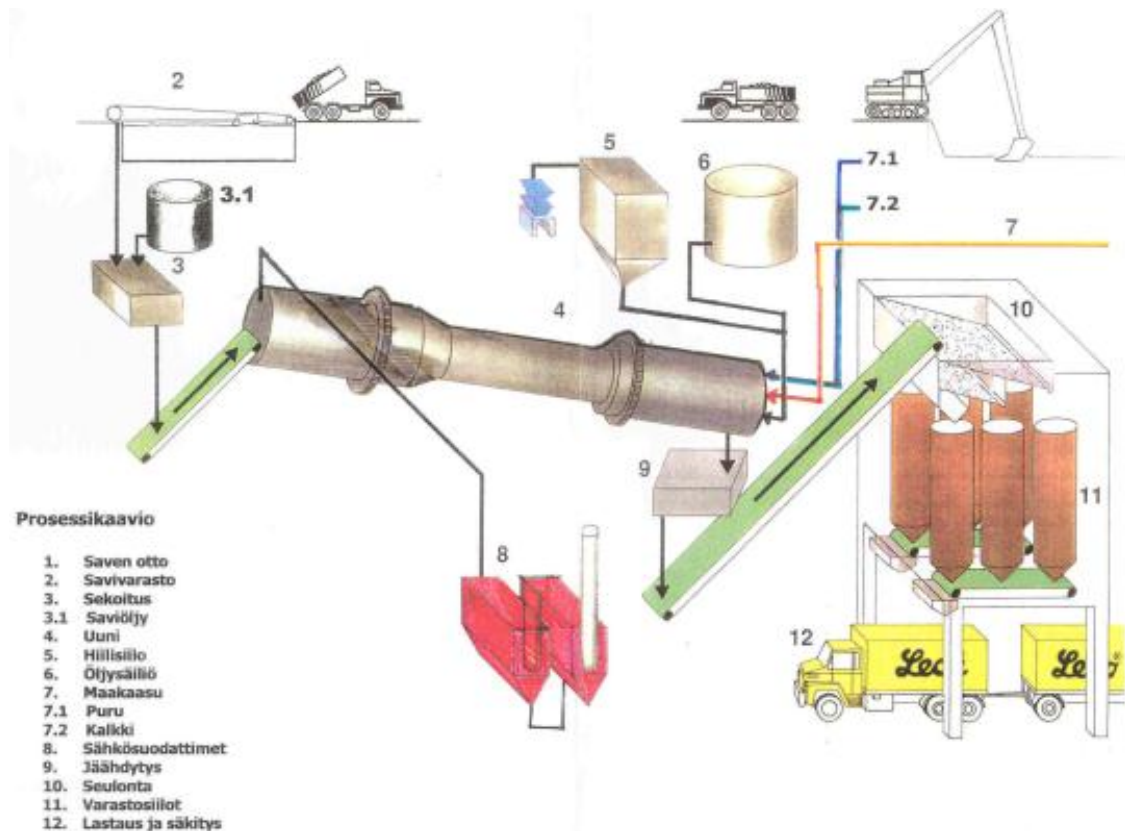
jatkuvasti käynnissä, sillä klinkkerintuotanto on sementtitehtaan keskeisin prosessi. Seisokkeja on kuitenkin 1-2 kappaletta vuodessa. Polttovyöhykkeen jälkeen tapahtuu klinkkerin jäähtytys. Muodostuvat savukaasut johdetaan uunilta puhdistusprosessiin. Sementin valmistus tapahtuu jauhamalla klinkkeriä kipsin ja muiden seosaineiden kanssa. (Kaakkois-Suomen ympäristökeskus 2006b, 3-6.) Lietettä voidaan polttaa sementtiuunissa, jolloin haitalliset komponentit stabiloidaan klinkkeriin (Lohiniva et al. 2001, 93). Sementin valmistusta on kuvattu kuvassa 56.



Kuva 56. Sementin valmistus (Finnsementti 2007, 14)

Kevytsoraa valmistettaessa sekoittimen kautta tullut savi ym. aines kuivataan ja poltetaan noin 70 m pitkässä pyörivässä rumpu-uunissa, jossa polttovyöhykkeen lämpötila on prosessin aikana 1100–1200 °C. Uunissa materiaali muotoutuu pinnaltaan sintrautuneiksi rakeiksi.

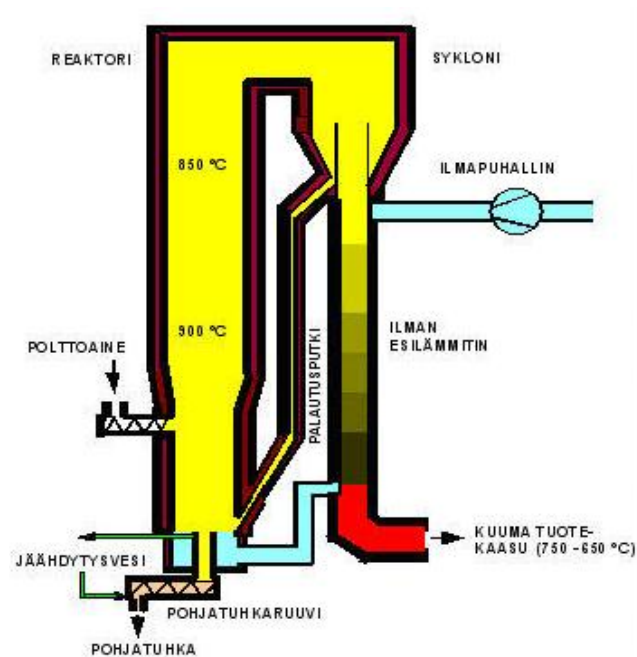
Muodostunut kuori estää rakeiden sisällä muodostuvien kaasujen karkaamisen. Kaasumuodostuksen seurauksena saviraie paisuu kevytsoraksi. Polton jälkeen materiaalia jäähdytetään ja se siirretään seulomolle tai välivarastoon. (Kaakkois-Suomen ympäristökeskus 2004a, 3.) Kevytsoran valmistusta on kuvattu kuvassa 57. Poltosta muodostuvat savukaasut johdetaan puhdistusprosessiin ja muodostuvaa tuhkaa voidaan käyttää tuotteen raaka-aineena. Kevytsoratehtaan uuni soveltuu erilaisten jätteiden/ polttoaineiden polttamiseen. (Kaakkois-Suomen ympäristökeskus 2008, 14–15.)



Kuva 57. Kevytsoran valmistus (Kaakkois-Suomen ympäristökeskus 2004a, 4)

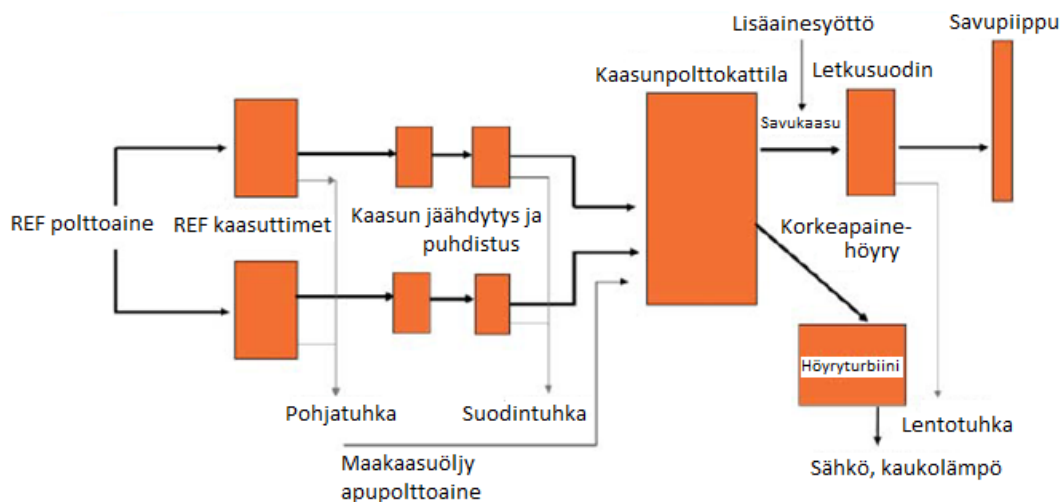
5.2.4 Kaasutuslaitos

Jätepolttoaineen sisältämä energia voidaan vapauttaa kaasuttamalla polttoaine kaasuttimessa. Kiinteän polttoaineen kaasutus voi tapahtua kiertoleijukattilassa. (Lahti Energia Oy 2004, 18 ja 20.) Kyseisessä kattilassa käytetään suurempia leijutusnopeuksia ja hienojakoisempaa petimateriaalia kuin leijupetikattilassa (ks. kappale 5.2.2) (Huhtinen et al. 2004, 159). Polttoaineen syöttö tapahtuu reaktorin alaosaan arinan yläpuolelle (Lahti Energia Oy). Peti ei muodosta selvää pintaa, vaan osa petimateriaalista tempautuu savukaasujen mukaan (Huhtinen et al. 2004, 159). Reaktoriin on kuvan 58 mukaisesti kytketty sykloni, jossa tapahtuu petimateriaalin erotus kaasuista. Palautus tapahtuu reaktorin alaosaan palautusputkea pitkin. Materiaali jatkaa kiertämistä syklonin kautta takaisin petiin (n. 830–860 °C) kunnes materiaali on kaasuntunut tai partikkelikoko on niin pieni, että se läpäisee syklonin. (Lahti Energia Oy.)



Kuva 58. Kiertopetikaasutin (Lahti Energia Oy)

Bio- ja jättepolttoaineet sisältävät paljon haihtuvia aineita, joten suuri osa polttoaineesta voidaan muuttaa kaasuksi. Raakakaasu sisältää pölyä, joka koostuu kaasuntumattomasta hiilestä, petimateriaaleista ja polttoaineen tuhkasta. Karkea tuhka jää kaasuttimen pohjalle. Kuuma raakakaasu jäähdytetään ja puhdistetaan. Puhdistimella erotettu hiilipitoinen tuhka johdetaan tuhkanpolttoyksikköön. Puhdistettu tuotekaasu johdetaan puolestaan tuotekaasun polttoon suunnitellun kaasunpolttokattilan tuotekaasupolttimille. Muodostuvat savukaasut johdetaan puhdistettavaksi. (Lahti Energia Oy 2004, 20–21.) Kaasutinlaitoksen prosessikaavio on esitetty kuvassa 59. Kaasutusta käytetään pääasiassa jätemateriaaleista kiertäyspolttoaineelle, mutta kaasuttaa voidaan myös kuivattua lietettä (JLY).



Kuva 59. Kaasutinlaitos (Lahti Energia Oy 2004, 20)

5.3 Yhteydenotto käsittelylaitoksiin

Taulukosta 7 on nähtävissä alle 100 km etäisyydellä Kymenlaakson Jäte Oy:stä sijaitsevat jätteenpolttoluvan omaavat laitokset, niiden etäisyydet Kymenlaakson Jäte Oy:stä ja laitosten pääasialliset jättepolttoaineet sekä käsittelykapasiteetit. Laitokset on jaettu kolmeen luokkaan: rinnakkaispolttolaitokset, teollisuuden prosessiuunit ja jätteenpolttolaitokset. Kuivattua lietettä voidaan markkinoida polttoaineeksi edellä mainittuihin laitoksiin. (Lohiniva et al. 2001, 92.)

Taulukko 7. Jätteenpolttoluvan omaavat laitokset alle 100 km:n etäisyydellä Kymenlaakson Jäte Oy:stä (Fonecta Oy 2011; Aluehallintovirasto Etelä-Suomi 2010, 2; Saarinen ja Leikoski 2009, 21; Itä-Suomen ympäristölupavirasto 2008, 4, 13 ja 18; Kaakkois-Suomen ympäristökeskus 2008, 2-3; Kaakkois-Suomen ympäristökeskus 2006a, 4-5; Kaakkois-Suomen ympäristökeskus 2006b, 9 ja 24; Hämeen ympäristökeskus 2005, 6, 13 ja 32; Itä-Suomen ympäristölupavirasto 2005, 9, 10 ja 38; Kaakkois-Suomen ympäristökeskus 2004b, 3-4)

Laitos	Etäisyys [km]	Tekniikka	Pääasiallinen jättepolttoaine	Kapasiteetti [t/a]
RINNAKKAISPOLTTO LAITOS				
Stora Enso Oyj, Anjalankosken tehtaat ¹	6	Leijukerroskattila	PDF (Package Derived Fuel), REF (Recovered Fuel) 1 (SFS 5875) ²	135 000
Vamy Oy, Myllykosken voimalaitos	6	Leijukerroskattila	(Ympäristölupa REF 1 ³)	25 000
Kotkan Energia Oy, Hovinsaaren voimalaitos	39	Leijukerroskattila	REF 1	18 000
Lahti Energia Oy, Kymijärven voimalaitos	78	Kiertopetikaasutin	REF (erilliskerätty yhdyskuntajäte)	35 500
TEOLLISUUDEN PROSESSIUUNI				
Saint-Gobain Weber Oy Ab, Leca-soratehdas	25	Rumpu-uuni	REF 1 (SFS 5875)	n. 2800 (max. 10 t/d)
Finnsementti Oy, Lappeenrannan tehdas	92	Rumpu-uuni	REF 1 (öljyjäte, suunniteltu 2006 kompostituote ⁴ , kumirouhe 2010–2011 ⁵)	
JÄTTEENPOLTTO LAITOS				
Kotkan Energia Oy, Hyötyvoimalaitos	34	Arinakattila	Syntypaikkalajiteltu yhdyskuntajäte (+ teollisuuden energiajäte)	100 000
Lahti Energia Oy, KYVO 2 (alkaen 2012)	78	Kiertoleijukaasutin	REF 1-3, RDF (Refuse Derived Fuel) (teollisuudesta, kaupoista, kotitalouksista)	300 000

¹ = Raporttia kirjoitettaessa on vireillä ilmoitus koeluonteisesta toiminnasta koskien RDF-jätteen polttamista (Aluehallintovirasto 2011).

² = Yhtiön kriteerinä on, että polttoaineen kuiva-ainepitoisuus on 80–90 % (Kaakkois-Suomen ympäristökeskus 2008, 13).

³ = Kyseisen polttoaineen käsittely on lopetettu laitoksella vuonna 2005 (Tynys 2011, 14). Merkille pantavaa on myös, että Myllykosken tehtaalla loppuu paperin tuotanto vuoden 2011 loppuun mennessä (YLE Kymenlaakso 2011b). On todettu, että voimalaitoksen ajaminen ilman paperitehdasta ei ole järkevää (YLE Kymenlaakso 2011a).

⁴ = Lämpöarvo on kompostilla noin 13 MJ/kg (kosteus noin 21 %) ja puhdistamolietekompostilla noin 9 MJ/kg (kosteus noin 43 %) (Kaakkois-Suomen ympäristökeskus 2006b, 10).

⁵ = Laitokselle on annettu useampia koeluonteista toimintaa koskevia päätöksiä vuosien saatossa (Aluehallintovirasto Etelä-Suomi 2010, 2).

Selvitykseen on otettu mukaan myös Lahti Energia Oy:n Heinolan voimalaitos, johon raportin kirjoitushetkellä haetaan lupaa muun muassa energiakompostin käsittelyyn (Itä-Häme 2011). Laitos sijaitsee noin 90 km päässä Kymenlaakson Jäte Oy:stä (Fonecta Oy 2011). Laitoksella on arinakattila (Hämeen ympäristökeskus 2003, 3).

Kierrätyspolttoaineiden (REF 1-3) laatuluokitusten raja-arvot on esitelty standardissa SFS 5875. Standardissa on annettu raja-arvot seitsemälle haitta-aineelle. (SFS 5875: 2000, 10.) Kyseinen standardi on kumottu 18.4.2011 (SFS-verkkokauppa 2011). Vuonna 2006 on vahvistettu tekninen spesifikaatio CEN/TS 15359, jossa kierrätyspolttoaineiden luokittelu perustuu kolmeen polttoaineominaisuuden raja-arvoon: tehollinen lämpöarvo, Cl ja Hg. Kukin ominaisuus on jaoteltu viiteen luokkaan. (CEN/TS 15359: 2006, 12 ja 14.) Raportin kirjoittamishetkellä teknistä spesifikaatiota ollaan muuttamassa standardiksi EN 15359: 2011 (CEN 2011).

Tutkimuksen aikana on otettu yhteyttä taulukon 7 yritysten edustajiin (pois lukien Vamy Oy). Yhteydenotto on toteutettu pääasiassa puhelinhaastatteluna, jolla on haluttu selvittää yritysten kiinnostusta mädätysjäännöstä kohtaan sekä laitosten rajoituksia. Yritysten edustajille on kerrottu, että Kymenlaakson Jäte Oy harkitsee mädätysjäännöksen termisen kuivauksen aloittamista. Lähtötietona on myös kerrottu, että termisesti kuivatun (kuiva-ainepitoisuus 90 %) mädätysjäännöksen lämpöarvoksi on kirjallisuudessa annettu noin 10 MJ/kg, jotta on saatu suuntaa, minkälaisesta materiaalista voi olla kyse. Osassa keskusteluisa on käyty läpi myös tuhkapitoisuutta (arvio lähes 50 % kuiva-aineesta).

Esimerkkejä esitetyistä kysymyksistä:

- Onko laitoksellanne ympäristölupa termisesti kuivatun mädätysjäännöksen (muodostuu pääasiassa puhdistamolietteestä, biojätteestä ja peltobiomassasta) polttoon?
- Olisitteko kiinnostuneita ottamaan vastaan termisesti kuivattua mädätysjäännöstä, jos materiaali täyttää rajoituksenne?
- Mikä materiaalin kuiva-ainepitoisuuden/ lämpöarvon tulisi vähintään olla, jotta voisitte ottaa materiaalia vastaan?
- Minkälaisia (analyysi)tietoja tarvitsisitte materiaalista ja mitä rajoituksia teillä on materiaalin suhteen (esim. tuhka-, raskasmetalli- ja klooripitoisuus)?
- Minkälaisia rajoituksia on materiaalin olomuodon/ palakoon suhteen?
- Miten paljon olisitte valmiita ottamaan materiaalia vastaan vuoden aikana?
- Miten paljon olisitte valmiita maksamaan materiaalin sisältämästä energiasta?
- Onko teillä tulossa käsittelyyn vaikuttavia muutoksia lähitulevaisuudessa?

Saadut vastaukset on sisällytetty kokonaisuudessaan Kymenlaakson Jäte Oy:n erilliseen raporttiin (ei julkinen). Tässä raportissa tietoja on tiivistetty kappaleeseen 6.

6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksessa on kartoitettu Kymenlaakson Jäte Oy:n mahdollisuuksia rakeistaa ja termisesti kuivata mädätysjäännöstä sekä toimittaa materiaalia energiahyötykäyttöön. Tutkimukseen on myös kerätty kokemuksia lattialämmityksen käyttämisestä mädätysjäännöksen kuivaukseen.

Raportissa on kuvattu erilaisia rakeistuksen ja termisen kuivauksen tekniikoita sekä perehdytty termisen kuivurin valintaan vaikuttaviin tekijöihin. Tekniikkaselvityksen pohjalta on lähdetty kyselemään tarjouksia termisiä kuivauslaitteistoja myyville yrityksille niin Suomesta kuin ulkomailta. Tarjoukset on pyydetty kuiva-ainepitoisuuden muutokselle 30 %:sta 90 %:iin ja on oletettu, että kuivaukseen on hyödynnettävissä palokaasuja viideltä kaatopaikka-kaasua käyttävältä mikroturbiinilta.

Tutkimuksen aikana on saatu tarjous kuudelta yritykseltä. Saatujen tarjousten vertailu ei ole aivan yksinkertaista, sillä vaikuttavia tekijöitä on useita. Esimerkkinä mainittakoon hinta. Yritykset ovat antaneet hyvin erilaisia tietoja siitä, mitä hintaan sisältyy, joten niitä ei voi verrata suoraan keskenään. Hinnat vaihtelevat muutamasta sadasta tuhannesta noin puoleen toista miljoonaan euroon. Kuivausprosessit ovat myös erilaisia ja energiantarpeissa on eroja. Osa yrityksistä on myös antanut hyvin alustavia arvioita käytössä olevasta lämpömäärästä, joka on hyödynnettävissä mikroturbiineilta ja joka vaikuttaa kuitenkin käsittelykapasiteettiin. Käsittelykapasiteetit ovat tarjouksissa noin 500–1000 kg/h ja käyttöajasta 7500–8500 h/a riippuen noin 3750–7500 t/a. Mikäli Kymenlaakson Jäte Oy:n alueella olisi siis viisi mikroturbiinia ja vastaanotettava mädätysjäännöksen määrä olisi enimmäismäärä Mäkikylän biokaasulaitokselta eli 19 500 t/a, tuotettu lämpömäärä ei riittäisi kuivaamaan kaikkea mädätysjäännöstä 90 % kuiva-ainepitoisuuteen. Kuivauslaitteiston referenssikohteissa on myös eroa, että onko suomalainen vai ulkomainen käyttökohde tai laitteisto on vasta lähiaikoina kehitetty ja kokemusta ei ole vielä mädätysjäännökseen rinnastettavasta materiaalista. Kaikissa menetelmissä tulee myös huolehtia päästöjen käsittelystä, vaikka laitteistot eivät aina sisälly tarjoukseen. Käsittelytarvetta selvitetään myös laboratoriotestien avulla.

Oma vaikutuksensa materiaalin käsittelyyn on käyttäjän työajalla (8 h/d, 5 d/vko). Termiseen käsittelyyn liittyy materiaalin syttymisvaara, joten vähimmäisvaatimuksena voidaan nähdä, että henkilö on hälytysvalmiudessa, jos kestoa halutaan kasvattaa pidemmäksi kuin, mitä on käyttäjän työaika. Itse laitteistot ovat saatavissa automaattisiksi, mutta vaativat huoltoa tietyn väliajoin. Laitteiston käynnistysajat vaihtelevat noin 15 minuutista pariin tuntiin. Eroja laitteistoilla on myös siinä, onko laitteisto suunniteltu varta vasten hankalasti käsiteltävälle irtotavaralle (raekoko voi olla jopa 10 cm) vai tuleeko materiaali seuloa ennen käsittelyä niin, että palakoko on enintään esimerkiksi noin 10 mm. Lopputuotteen koko vaihtelee myös laitteistoilla jauheesta muutamien senttimetrin rakeeseen. Tarvittaessa laitteistoon voi liittää esimerkiksi matriisin, kuten on Lakeuden Etappi Oy:llä (jauheen muuttami-

nen pelletiksi), kun on tiedossa haluttu lopputuotteen koko. Huomioitavaa myös on, että sitovan tarjouksen saamiseksi mädätysjäännöstä tulee yleensä lähettää yritykselle testattavaksi, jolloin saadaan vahvistus kuivurin soveltuvuudesta. Tämä on seuraava vaihe, jolla Kymenlaakson Jäte Oy voi halutessaan jatkaa asian viemistä eteenpäin.

Tutkimuksen aikana on selvitetty kokemuksia niin Suomesta kuin maailmalta lattialämmityksen käyttämisestä kuivaukseen. Lattialämmitystä on käytetty tehostamaan aurinkokuivauksia. Maailmalta saatavista käyttökokemuksista aurinkokuivauksen ja lattialämmityksen yhdistelmästä löytyy niin positiivisia kuin negatiivisia näkökulmia. Lattialämmityksen etuna on erityisesti nähty, jos on käytettävissä edullista lämpöenergiaa ja menetelmän on todettu nopeuttavan materiaalin kuivumista. Menetelmän heikkoutena on lämpöenergian käytön tehokkuus verrattuna muihin termisiin kuivaimiin ja pinta-alan tarve. Kuivauksessa tulee huolehtia hyvästä lämpöeristyksestä, mahdollisesti rakentaa kivipeti lämpövarastoksi ja täyttää katettua tilaa vain parin kymmenen sentin kerroksella sekä huolehtia materiaalin kääntelystä ja tilan tuuletuksesta. Oma vaikutuksensa on materiaalin alkukosteudella ja siihen loppukosteuteen menetelmällä pyritään sekä menetelmän käyttöajanjaksolla ja maantieteellisellä käsittelypaikalla. Suomessa aurinkokuivauksen ja lattialämmityksen yhdistelmä ei ole päätenyt laajaan käyttöön ja syynä voidaan nähdä muun muassa kylmät ja pimeät vuodenaajat sekä pinta-alan tarve, millä on vaikutusta aiheutuviin kustannuksiin.

Tutkimuksen aikana on lisäksi selvitetty polttolaitosten kiinnostusta ottaa vastaan termisesti kuivattua mädätysjäännöstä. Yhteyttä on otettu enintään 100 km etäisyydellä Kymenlaakson Jäte Oy:stä sijaitsevien jätteenpolttoluvan omaavien yritysten edustajiin. Haastattelujen pohjalta on nähtävissä, että yrityksillä on kiinnostusta materiaalia kohtaan, mutta samanaikaisesti vastauksiin vaikuttavat mädätysjäännöksen analyysitulokset. Tuloksista kiinnostaa muun muassa kuivatun mädätysjäännöksen lämpöarvo, tuhkapitoisuus, tuhkan koostumus, elementaarianalyysi (CHNSO) ja eri haitta-aineiden pitoisuudet. Elementaarianalyysi eli alkuaineanalyysi (%) on polttoaineen C, H, O, N ja S määritys täydellisen polton avulla. Tulokset vaikuttavat muun muassa poltosta aiheutuviin päästöihin kuin tuhkan koostumukseen. Huomioitavaa myös on, että kaikilla laitoksilla mädätysjäännös ei sisälly ympäristöluvan polttoaineiden listaan eli todennäköisesti kyseisillä laitoksilla materiaalin polttoa varten tulee hakea koetoimintalupa. Jos poltto onnistuu ja on kannattavaa, tulee toteuttaa muutoksenhaku ympäristölupaan.

Yritysten haastattelutuloksista merkille pantavaa on, että osalla yrityksistä mädätysjäännöksen tuhkapitoisuudella, joka voi olla lähes 50 % kuiva-aineesta, on vaikutusta laitokselle aiheutuviin kustannuksiin. Samanaikaisesti osalla yrityksistä tuhka voidaan käyttää tuotteen raaka-aineena. Osasta yrityksistä löytyy myös jo kokemusta saman tai vastaavan materiaalin käsittelystä. Kuiva-ainepitoisuuden raja-arvo on laitokohtaista. Pääasiassa kuiva-ainepitoisuuden tulee olla korkea, jopa noin 90 %, mutta kohteesta riippuen ongelmana voi jo tällöin olla pölyvyys. Toivottu lopputuotteen koko myös vaihtelee ja pienimmällään ma-

teriali voi olla jauhetta. Rahan vaihtoon Kymenlaakson Jäte Oy:n ja yritysten välillä vaikuttaa toki polttoaineen kokonaiskilpailukyky ja analyysitulokset, mutta tarkemmat tiedot on sisällytetty Kymenlaakson Jäte Oy:n erilliseen raporttiin (ei julkinen). Kuivatun mädätysjännöksen analyysitiedoista riippuen materiaalia voidaan hyödyntää energiana tuhansia tai jopa kymmeniä tuhansia tonneja vuodessa alle 100 km etäisyydellä Kymenlaakson Jäte Oy:stä. Mädätysjännöksen poltto-ominaisuuksiin liittyviä analyysejä tullaan toteuttamaan projektissa vielä vuoden 2012 aikana.

LÄHDELUETTELO

A 18.2.2000/169. Ympäristönsuojeluasetus [FINLEX – Valtion säädöstietopankki]. [Viitattu 12.10.2011]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000169>.

Alakangas Eija. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia [verkkodokumentti]. Julkaistu loka-kuussa 2000 [viitattu 5.10.2011]. VTT: Espoo. 172 s. + liitt. 17 s. VTT Tiedotteita 2045. ISBN 951-38-5740-9 (Painettuna: ISBN 951-38-5699-2), ISSN 1455-0865 (Painettuna: ISSN 1235-0605). Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf>.

Allgaier. Screening, grading, drying, cooling, granulating [Allgaierin www-sivulla]. [Viitattu 30.3.2011]. Saatavissa: http://www.taumelsieb.com/gfx/pic/drum_drier.jpg.

Aluehallintovirasto. 2011. Vireillä olevat ympäristölupa-asiat [Aluehallintoviraston www-sivulla]. [Viitattu 7.10.2011]. Saatavissa: <http://www.avi.fi/fi/virastot/etelasuomenavi/Ymparistojavesitalousluvat/Ymparistoluvat/Sivut/Vireillaolevatymparistolupa-asiat.aspx>.

Aluehallintovirasto Etelä-Suomi. 2010. Päätös [verkkodokumentti]. Annettu julkipanon jälkeen 17.11.2010 [viitattu 7.10.2011]. Nro 51/2010/1, Dnro ESAVI/567/04.08/2010. 152 s. + liite 1 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.avi.fi/fi/virastot/etelasuomenavi/Ymparistojavesitalousluvat/Ymparistoluvat/Documents/P%C3%A4%C3%A4t%C3%B6kset/Vuosi%202010/esavi_paatos_51_2010_1-2010-11-17.pdf.

Andritz. 2006a. Belt Drying System BDS – Sewage Sludge Drying and Granulation Using Waste Heat [verkkodokumentti]. Päivitetty 13.11.2006 [viitattu 1.4.2011]. 3 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://grz.g.andritz.com/c/www/00/03/60/ep-thermal-brochure-bds-e_70212559_36024_1_1_1.pdf.

Andritz. 2006b. Drum Drying System DDS – Single-step Drying and Granulating of Sludge [verkkodokumentti]. Päivitetty 13.11.2006 [viitattu 1.4.2011]. 3 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://grz.g.andritz.com/c/www/00/03/60/ep-thermal-brochure-dds-e_291417641_36025_1_1_1.pdf.

Andritz. 2006c. Drying Technologies – Integrated Systems for Solid-/liquid Separation from liquid Suspensions to dry Products [verkkodokumentti]. Päivitetty 13.11.2006 [viitattu 5.4.2011]. 5 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://grz.g.andritz.com/c/www/00/03/60/ep-thermal-brochure-overview-e_399350462_36029_1_1_0.pdf.

Andritz. 2006d. Fluid Bed Drying System FDS – Single-Step Drying and Granulation [verkkodokumentti]. Päivitetty 13.11.2006 [viitattu 5.4.2011]. 3 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://grz.g.andritz.com/c/www/00/03/60/ep-thermal-brochure-fds-e_-125501393_36027_1_1_0.pdf.

Andritz a. Belt Dryer for Sludge [Andritzin www-sivulla]. [Viitattu 1.4.2011]. Saatavissa: <http://www.andritz.com/ANONID41B17C496C77B11F/ep-thermal-bds>.

Andritz b. Drum Drying System [Andritzin www-sivulla]. [Viitattu 1.4.2011]. Saatavissa: <http://www.andritz.com/ANONID67B867924A31AB8D/ep-thermal-dds>.

Andritz Sprout. 2008. Double Agitator Mixer / Pug Mills [Andritz Sproutin www-sivulla]. [Viitattu 11.4.2011]. Saatavissa: <http://www.andritzsproutbauer.com/pug-mills.asp>.

Barwon Water. How will the facility work? [Barwon Waterin www-sivulla]. [Viitattu 8.4.2011]. Saatavissa: <http://barwonwater.plenaryprojects.com/how-will-the-facility-work.html>.

Bennamoun Lyes. 2012. Solar drying of wastewater sludge: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16:1, S. 1061–1073. ISSN 1364-0321.

Bepex. Wet agglomeration [Bepexin www-sivulla]. [Viitattu 12.4.2011]. Saatavissa: <http://www.bepex.com/schugi.htm>.

- CEN. 2011. EN 15359:2011 [Euroopan standardointikomitean www-sivulla]. Päivitetty 12.2.2011 [viitattu 2.12.2011]. Saatavissa: <http://esearch.cen.eu/esearch/Details.aspx?id=5373847>.
- CEN/TS 15359: 2006. Kiinteät kierrätyspolttoaineet, vaatimukset ja luokat. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 32 s.
- ChangZhou HuaXia Drying & Granulation Equipment Co. DW series mesh-belt dryer [ChangZhou HuaXia Drying & Granulation Equipment Co:n www-sivulla]. Saatavissa: <http://www.huaxiadrying.com/e017.htm>.
- Einco. CFB-Dryers [Eincon www-sivulla]. [Viitattu 9.4.2011]. Saatavissa: <http://www.einco.fi/dryer.htm>.
- Etelä-Suomen aluehallintovirasto. 2010. Päätös [verkkodokumentti]. Annettu julkipanon jälkeen 22.10.2010 [viitattu 5.12.2011]. Nro 66/2010/2, Dnro ESAVI/278/04.08/2010. 16 s. + liite 1 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.avi.fi/virastot/etelasuomenavi/Ymparistojavesitalousluvut/Ymparistoluvat/Documents/P%C3%A4%C3%A4t%C3%B6kset/Vuosi%202010/esavi_paatos_66_2010_2-2010-10-22.pdf.
- Fa Forest Oy. Ecolan® Kompostit [Fa Forest Oy:n www-sivulla]. [Viitattu 20.6.2011]. Saatavissa: <http://www.faforest.fi/tuotteet/orgaaniset/komposti>.
- Finnsementti. 2007. Suomalainen sementti [verkkodokumentti]. Julkaistu 3.12.2007 [viitattu 11.10.2011]. 51 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.finnsementti.fi/Sementti-opas.pdf>.
- Flyktman Martti et al. 2011. Kivihiilen korvaaminen biomassoilla yhteistuotannon pölypolttokattiloissa [verkkodokumentti]. Päivitetty 24.3.2011 [viitattu 11.4.2011]. Espoo: VTT. 68 s. + liitt. 41 s. VTT Tiedotteita. ISBN 978-951-38 (Painettuna: 978-951-38), ISSN 1455-0865 (Painettuna: 1235-0605). Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.tem.fi/files/29530/Kivihiilen_korvaaminen_biomassoilla_yhteistuotannon_polypolttokattiloissa_VTT.pdf.
- Fonecta Oy. 2011. Kartat ja reitit [Fonecta Oy:n www-sivulla]. [Viitattu 9.11.2011]. Saatavissa: <http://www.fonecta.fi/reittihaku.html?bottomLeftLatitude=56.37203&bottomLeftLongitude=12.43652&topRightLatitude=67.64414&topRightLongitude=38.84766&mapLevel=5>. Valittu nopein reitti.
- GEA Barr-Rosin. Flash Dryer [GEA Barr-Rosinin www-sivulla]. [Viitattu 9.4.2011]. Saatavissa: <http://www.barr-rosin.com/products/flash-dryer.asp>.
- Genskow Larry R. (toim.). 2008. Psychrometry, Evaporative Cooling, and Solids Drying. Teoksessa: Perry Robert H. (toim.). Perry's chemical engineers' handbook. 8. painos. New York: McGraw-Hill. s. 12:1–12:109. ISBN 978-0-07-142294-9.
- Granö Ulf-Peter. 2006. Bioenergiaa metsästä 2003–2007, Projekti-INFO [verkkodokumentti]. Julkaistu 8.12.2006 [viitattu 11.4.2011]. Jyväskylän yliopisto, Chydenius-instituutti – Kokkolan yliopistokeskus. 3 s. Saatavissa PDF-tiedostona: https://ciweb.chydenius.fi/project_files/FI-INFO-pdf-b/INFO-F108.pdf.
- Haarslev Industries. 2011a. Haarslev Sludge Drying Concept [verkkodokumentti]. Julkaistu 21.2.2011 [viitattu 7.4.2011]. 4 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.haarslev.com/media/SludgeDryingConcept_GB.pdf.
- Haarslev Industries. 2011b. Haarslev Steam Drying Concept [verkkodokumentti]. Julkaistu 21.2.2011 [viitattu 7.4.2011]. 4 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.haarslev.com/media/SteamDryingConcept_GB.pdf.
- Haarslev Industries. 2011c. Rotadisc® Sludge Drying Plant, TST 1964 - Lakeuden Etappi OY, Biogas Plant [verkkodokumentti]. [Viitattu 6.4.2011]. 2 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.haarslev.com/media/LakeudenFinland_GB.pdf.
- Hautakoski Jani. 2011. Traktorikäyttöisen pellettipuristimen suunnittelu [verkkodokumentti]. Julkaistu 20.1.2011 [viitattu 11.4.2011]. AMK:n opinnäytetyö. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu, Kone- ja tuotan-

totekniikan koulutusohjelma. 30 s. Saatavissa PDF-tiedostona:

https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/25017/Hautakoski_Jani.pdf?sequence=1.

Hokkanen Matti. 2009. BT Biopresser-25:n soveltuvuus eräiden korsibiomassojen pelletöintiin [verkkodokumentti]. Tehty 20.4.2009 [viitattu 11.4.2011]. AMK:n opinnäytetyö. Bioenergiakeskuksen julkaisusarja nro 43. Jyväskylän ammattikorkeakoulu, Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma. Jyväskylä. 32 s. Saatavissa PDF-tiedostona: https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/20519/Matti_43.pdf?sequence=3.

Holmberg Henrik. 2011. Kuivausluennot. Teoksessa: Holmberg Henrik ja Ramm-Schmidt Leif. Ene-59.4130, Kuivatus- ja haihdutusprosessit teollisuudessa [verkkodokumentti]. Julkaistu 1.6.2011 [viitattu 5.10.2011]. Aalto-yliopisto. s. 1-187. Saatavissa PDF-tiedostona: https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/ene-59.4130/materiaali/Ene-59_4130_luentomoniste.4130_moniste_2011.pdf.

Huber. 2010a. HUBER Belt Dryer BT^{plus} [verkkodokumentti]. Julkaistu 6.9.2010 [viitattu 5.12.2011]. 4 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.huber.fi/res/Pdf/btplus_en.pdf.

Huber. 2010b. HUBER Solar Active Dryer SRT [verkkodokumentti]. Julkaistu 6.9.2010 [viitattu 22.9.2011]. 4 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.huber.fi/res/Pdf/srt_en.pdf.

Huber France. HUBER Solutions for Sludge Drying [Huber France:n www-sivulla]. [Viitattu 5.10.2011]. Saatavissa: <http://www.huber.fr/fr/solutions/traitement-des-boues/sludge-drying.html>.

Huhtinen Markku et al. 2004. Höyrykattilatekniikka. 6. painos. Helsinki: Oy Edita Ab. 379 s. ISBN 951-37-3360-2.

Hydropress Huber AB a. Lietteen lämpökuivaus ja hyötykäyttö [Hydropress Huber AB:n www-sivulla]. [Viitattu 28.9.2011]. Saatavissa: <http://www.huber.fi/Lietteen-laempeokuivaus-ja-hyoetykaeyttoa.htm>.

Hydropress Huber AB b. Lietteen aurinkokuivain SRT [Hydropress Huber AB:n www-sivulla]. [Viitattu 22.9.2011]. Saatavissa: <http://www.huber.fi/Lietteen-aurinkokuivain-SRT.htm>.

Hämeen ympäristökeskus. 2003. Ympäristölupapäätös [verkkodokumentti]. Annettu julkipanon jälkeen 5.12.2003 [viitattu 9.11.2011]. Nro YLO/lup/89/03, Dnro HAM-2003-Y-215-111. 23 s. + liite 1 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.miljo.fi/download.asp?contentid=11809&lan=fi>.

Hämeen ympäristökeskus. 2005. Ympäristölupapäätös (epävirallinen) [verkkodokumentti]. Annettu julkipanon jälkeen 4.11.2005 [viitattu 7.10.2011]. Nro YLO/lup/167/05, Dnro HAM-2005-Y-169-111. 47 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=43264&lan=sv>.

Hämeen ympäristökeskus. 2006. Ympäristölupapäätös (epävirallinen) [verkkodokumentti]. Annettu julkipanon jälkeen 20.4.2006 [viitattu 10.10.2011]. Nro YSO/59/2006, Dnro HAM-2004-Y-443-111. 67 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=49833&lan=fi>.

Iivari Pekka. 2010. Kiuruveden kaupunki, Iisalmen kaupunki ja Lapinlahden kunta. Yhteispuhdistamon lietteiden jatkokäsittely – Vaihtoehtoselvitys, P10205, Liite 5 [verkkodokumentti]. Muokattu 13.9.2010 [viitattu 9.4.2011]. FCG Finnish Consulting Group Oy. 14 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.ely-keskus.fi/fi/ELYkeskukset/pohjoissavonely/Ymparistonsuojelu/YVA/Vireill%C3%A4/vesihuolto/ylasavonjatevedet/Documents/selostus_liitteet/Liite%205%20Lietteen%20k%C3%A4sittely,%20Vaihtoehtoselvitys.pdf.

Isoaho Simo ja Vinnari Eija. 2003. Pirkanmaan biojätehuollon järjestelmä- ja kustannustarkastelu [verkkodokumentti]. Julkaistu 20.5.2003 [viitattu 5.4.2011]. Tampereen teknillinen yliopisto, Ympäristötekniikan osasto, Bio- ja ympäristötekniikan laitos. Tampere. 95 s. + 9 liitettä. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.tut.fi/units/ymp/bio/reports/PirkanmaanBiojatehuollonTarkastelu.pdf>.

Itä-Häme. 2011. Kattilaan uusia biopolttoaineita [Itä-Hämeen www-sivulla]. Julkaistu 11.2.2011 [viitattu 4.11.2011]. Saatavissa: <http://www.itahame.fi/?article=314133>.

Itä-Suomen ympäristölupavirasto. 2005. Päätös [verkkodokumentti]. Annettu julkipanon jälkeen 16.12.2005 [viitattu 9.11.2011]. Nro 135/05/1, Dnro ISY-2004-Y-213. 50 s. + liite 1 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=44530>.

Itä-Suomen ympäristölupavirasto. 2006a. Päätös [verkkodokumentti]. Annettu julkipanon jälkeen 12.5.2006 [viitattu 9.4.2011]. Nro 39/06/2, Dnro ISY-2005-Y-211. 25 s. + liite 1 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=50835>.

Itä-Suomen ympäristölupavirasto. 2006b. Päätös [verkkodokumentti]. Annettu julkipanon jälkeen 2.6.2006 [viitattu 9.4.2011]. Nro 61/06/1, Dnro ISY-2004-Y-266. 71 s. + liite 1 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=51601>.

Itä-Suomen ympäristölupavirasto. 2008. Päätös [verkkodokumentti]. Annettu julkipanon jälkeen 8.4.2008 [viitattu 7.10.2011]. Nro 59/08/1, Dnro ISY-2007-Y-257. 26 s. + liite 1 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=83294>.

Jacobs U., Haintz J. ja Kappel J. 2003. Selection Criteria for Sludge Drying Plants - Belt, Drum and Fluidised Bed Dryers [verkkodokumentti]. Pidetty 13–14.2.2003 [viitattu 29.3.2011]. VDI Meeting. 12 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.esi-projekte.de/selection_criteria_for_sludge_drying_plants.pdf.

JLY. Jätteiden kaasutus ja kaasun poltto [Jätelaitosyhdistys ry:n www-sivulla]. [Viitattu 11.10.2011]. Saatavissa: <http://www.ily.fi/energia35.php?treeviewid=tree3&nodeid=35>.

Jääskeläinen Ari. 2009. Tutustumiskierros keskitetyille biokaasulaitoksille 14.9.–15.9.2009 [verkkodokumentti]. [Viitattu 6.4.2011]. Savonia-ammattikorkeakoulu. 17 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://gate.savonia-amk.fi/img/amk/sisalto/teknologia_ja_ymparisto/ymparistotekniikka/Biokaasulaitoskierros%20syyskuu%2009.pdf.

Kaakkois-Suomen ympäristökeskus. 2004a. Päätös [verkkodokumentti]. Annettu julkipanon jälkeen 2.7.2004 [viitattu 11.10.2011]. Nro A 1092, Dnro KAS-2004-Y-11-111. 31 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=20100&lan=fi>.

Kaakkois-Suomen ympäristökeskus. 2004b. Päätös [verkkodokumentti]. Annettu julkipanon jälkeen 15.10.2004 [viitattu 7.10.2011]. Nro A 1146, Dnro KAS-2003-Y-706-111. 34 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=24976&lan=fi>.

Kaakkois-Suomen ympäristökeskus. 2006a. Ympäristölupapäätös [verkkodokumentti]. Annettu julkipanon jälkeen 12.9.2006 [viitattu 7.10.2011]. Nro A 1095, Dnro KAS-2005-Y-493-111. 28 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=56438&lan=fi>.

Kaakkois-Suomen ympäristökeskus. 2006b. Päätös [verkkodokumentti]. Annettu julkipanon jälkeen 21.12.2006 [viitattu 7.10.2011]. Nro A 2023, Dnro KAS-2006-Y-101-111. 35 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=60870&lan=fi>.

Kaakkois-Suomen ympäristökeskus. 2008. Päätös [verkkodokumentti]. Annettu julkipanon jälkeen 16.12.2008 [viitattu 7.10.2011]. Nro A 1132, Dnro KAS-2007-Y-175-111. 21 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.miljo.fi/download.asp?contentid=96422&lan=fi>.

Kakkonen Pasi. 2011. Käyttöpäällikkö, Joensuun Veden puhdistamo, Joensuu. Puhelinkeskustelu 2.11.2011.

Keppel Seghers. Sludge drying & HARDpelletising [Keppel Seghersin www-sivulla]. [Viitattu 8.4.2011]. Saatavissa: <http://www.keppelseghers.com/sludgedrying>.

Kettunen Erkki. 2002. Lietteen terminen kuivaus Joensuussa [verkkajulkaisu]. Julkaistu 12.4.2010 [viitattu 5.4.2011]. Vesitalous, XLII: 2. s. 18–20. ISSN 0505-3838. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.vesitalous.fi/upload/lehtiarkisto/2002/2-2002.pdf>.

Korpi Juha. 2011. Projektipäällikkö, Liiketoiminnan kehitysosasto, Vapo Oy, Jyväskylä. VS: RE: Kenttäkuivaus aurinkopaneelien avulla [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Mari Hupponen. Lähetetty 30.9.2011 klo 10:30.

Krawczyk Piotr ja Babyda Krzysztof. 2011. Modeling of thermal and flow processes in a solar waste-water sludge dryer with supplementary heat supply from external sources. Journal of Power Technologies, 91:1. S. 37-40. ISSN 2083-4187.

Krüger. 2009. BioCon – Sludge Drying Solutions [verkkodokumentti]. Julkaistu 21.4.2009 [viitattu 1.4.2011]. 4 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.kruger.dk/lib/krugeras/brochurer/C5D8p6BojqR3N04HXx1S1Qy3.pdf>.

Kutinlahti Timo. 2003. Biologisessa jätteenkäsittelyssä syntyvän lopputuotteen terminen kuivaus. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, kemiantekniikan osasto. Kitee. 69 s. + 13 liitettä.

L 3.12.1993/1072. Jätelaki [FINLEX – Valtion säädöstietopankki]. [Viitattu 7.12.2011]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1993/19931072>.

L 4.2.2000/86. Ympäristönsuojelulaki [FINLEX – Valtion säädöstietopankki]. [Viitattu 12.10.2011]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000086>.

L 4.2.2000/90. Laki eräistä naapuruussuhteista annetun lain muuttamisesta [FINLEX – Valtion säädöstietopankki]. [Viitattu 12.10.2011]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2000/20000090>.

Lahti Energia Oy. Kiertopetikaasutin [Lahti Energia Oy:n www-sivulla]. [Viitattu 11.10.2011]. Saatavissa: <http://www.lahtienergia.fi/lahti-energia/energian-hankinta-ja-tuotanto/50/kaasutinprosessi>.

Lahti Energia Oy. 2004. Jätepolttoaineen energiahyötykäyttöhankkeen Ympäristövaikutusten arviointiohjelma [verkkodokumentti]. Julkaistu 6.10.2004 [viitattu 11.10.2011]. 51 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.roskatenergiaksi.fi/content/download/479/2509/file/YVA-ohjelma.pdf>.

Lakeuden Etappi. 2010. Biokaasulaitoksen tuottama maanparannusrae on EVIRA:n hyväksymä ja MTT:n tutkima tuote [Lakeuden Etappi Oy:n www-sivulla]. Julkaistu 15.9.2010 [viitattu 28.3.2011]. Saatavissa: http://www.lakeudenetappi.fi/?page=lue_uutinen&id=66.

Latvala Markus. 2009. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) - Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä [verkkodokumentti]. Päivitetty 4.8.2009 [viitattu 21.3.2011]. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 88 s. + liitt. 23 s. Suomen ympäristö 24/2009. ISBN 978-952-11-3498-2 (Painettuna: ISBN 978-952-11-3497-5), ISSN 1796-1637 (Painettuna: ISSN 1238-7312). Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=106756&lan=fi>.

Lipasti Ville. 2008. Valmistusprosessissa ylijäävän kumimateriaalin määrän vähentäminen [verkkodokumentti]. [Viitattu 15.3.2012]. AMK:n opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu, Logistiikan koulutusohjelma. Rauma. 42 s. + liitt. 5 s. Saatavissa PDF-tiedostona: https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/1096/Lipasti_Ville.pdf?sequence=1.

Litster Jim ja Ennis Bryan. 2004. The science and engineering of granulation processes. Alankomaat: Kluwer Academic Publishers. 253 s. ISBN 1-4020-1877-0.

Lohiniva, Elina, Mäkinen, Tuula ja Sipilä, Kai. 2001. Lietteiden käsittely - Uudet ja käytössä olevat tekniikat [verkkodokumentti]. Julkaistu maaliskuussa 2001 [viitattu 15.3.2011]. Espoo: VTT. 146 s. + liitt. 11 s. VTT:n tiedotteita 2081. ISBN 951-38-5796-4 (Painettuna: ISBN 951-38-5795-6). ISSN 1455-0865 (Painettuna: ISSN 1235-0605). Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2001/T2081.pdf>.

Länsi-Suomen ympäristökeskus. 2004. Ympäristölupapäätös [verkkodokumentti]. Dnro LSU-2003-Y-489 (111). Annettu julkipanon jälkeen 22.3.2004 [viitattu 21.3.2011]. 42 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.ymparistokeskus.fi/download.asp?contentid=18028&lan=fi>.

Marttila Esa et al. 2008. Hajautetun energiantuotannon modulaarinen yhdyskunnan sivuainevirtoja hyödyntävä CHP-laitos. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto, LUT Energia. 118 s.

McCabe Warren L., Smith Julian C. ja Harriott Peter. 2005. Unit operations of Chemical engineering. 7. painos. New York: McGraw-Hill. 1140 s. ISBN 007-124710-6.

Myllymaa Tuuli et al. 2008. Jätteiden kierrätyksen ja polton käsittelyketjujen ympäristökuormitus ja kustannukset. Inventaarioraportti [verkkodokumentti]. Muokattu 1.10.2008 [viitattu 5.4.2011]. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 82 s. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 28/2008. ISBN 978-952-11-3251-3, ISSN 1796-1726. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=92262&lan=fi>.

Nevalainen Olli. 2006. Aurinkokeräimien käyttö turpeen kenttäkuivauksessa. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energia- ja ympäristötekniikan osasto. Jyväskylä. 73 s. + liitt. 4 s.

Partanen Esa. 2010. Mädätysjäännöksen tuotteistamismahdollisuudet Kymenlaaksossa. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Ympäristötekniikan koulutusohjelma. 140 s. + liitt. 14 s.

Peak Products Nig Limited. Flash Dryer [Yrityksen www-sivulla]. [Viitattu 9.4.2011]. Saatavissa: http://peakproduct.en.tradeee.com/product_view/11573231/Flash%20Dryer.html.

Pihkala Juhani. 1998. Prosessitekniikan yksikköprosessit. Helsinki: Opetushallitus. 120 s. ISBN 952-13-0268-2.

Pipatti Riitta et al. 1996. Jätteiden käsittelyvaihtoehtojen vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin [verkkodokumentti]. [Viitattu 15.3.2011]. Espoo: VTT. 85 s. VTT Julkaisuja 811. ISBN 951-38-5420-6, ISSN 1235-0613. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/julkaisut/1996/J811.pdf>.

Pohjois-Suomen aluehallintovirasto. 2011. Ympäristölupahakemuksen tiedoksiantokuulutus [verkkodokumentti]. Annettu 26.1.2011 [viitattu 1.4.2011]. Dnro PSAVI/313/04.08/2010. 2 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.avi.fi/fi/virastot/pohjoissuomenavi/Ymparistojavesitalousluvut/Ymparistoluvat/Documents/Kuulutukset/2011/psavi_kuulutus_313_04.08_2010-2011-02-02.pdf.

Process Engineering. Centrifuges – Filters – Dryers – Heat Exchangers [Process Engineeringin www-sivulla]. [Viitattu 13.4.2011]. Saatavissa: <http://www.processengineering.com.au/>.

Pöyry Environment Oy. 2007. Lietteenkäsittelyn nykytila Suomessa ja käsittelymenetelmien kilpailukyky - selvitys [verkkodokumentti]. [Viitattu 6.4.2011]. 52 s. ISBN 978-951-563-597-6. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.sitra.fi/NR/rdonlyres/BFCEC181-4AD7-4B1A-B7B6-27045F8280FC/0/Lietteenk%C3%A4sittely.pdf>.

Pöyry Environment Oy. 2009. Lakeuden Etappi Oy Jätehuoltokeskuksen kehittäminen - Ympäristövaikutusten arviointiselostus [verkkodokumentti]. Muokattu 29.9.2009 [viitattu 6.4.2011]. 169 s. + liitt. 61 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.etappi.com/pdf/YVA_arviointiselostus_2009.pdf.

Rantanen Pirjo, Valve Matti ja Kangas Ari. 2008. Lietteen loppusijoitus -esiselvitys [verkkodokumentti]. Julkaistu tammikuussa 2008 [viitattu 22.9.2011]. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 80 s. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 1/2008. ISBN 978-952-11-2969-8, ISSN 1796-1726. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=80857&lan=fi>.

Ruippo Laura. 2008. Maanparannusrakeita tuottava biokaasulaitos on Lakeuden Etapin ekologinen ratkaisu biojätehuoltoon [verkkodokumentti]. Kenttäväylä. Julkaistu 1.12.2008 [viitattu 6.4.2011]. Saatavissa: <http://www.kenttavayla.fi/operatio/2008/10/maanparannusrakeita-tuottava-biokaasulaitos-on-lakeuden-etapin-ekologinen-ratkaisu-biojatehuoltoon/>.

Saarinen Risto ja Leikoski Mervi. 2009. Selvitys jätteenpolton luvista [verkkodokumentti]. Julkaistu 21.4.2009 [viitattu 7.10.2011]. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 41 s. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 8/2009. ISBN 978-952-11-3439-5, ISSN 1796-1725. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.miljo.fi/download.asp?contentid=101587&lan=fi>.

Salihoglu Nezhil Kamil, Pinarli Vedat ja Salihoglu Guray. 2007. Solar drying in sludge management in Turkey. *Renewable Energy*, 32:10. S. 1661-1675. ISSN 0960-1481.

Sevar. The SEVAR Belt Dryer [Sevarin [www-sivulla](http://www.sivar.de)]. [Viitattu 31.3.2011]. Saatavissa: <http://www.sevar.de/en/drying-plant/belt-dryer/>.

SFS 5875: 2000. Jätteen jalostaminen kiinteäksi polttoaineeksi. Laadunvalvontajärjestelmä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 29 s.

SFS-verkkokauppa. 2011. SFS 5875 (Kumottu) [SFS-verkkokauppa]. Päivitetty 12.2.2011 [viitattu 2.12.2011]. Saatavissa: <http://sales.sfs.fi/servlets/ProductServlet?action=showproduct&productid=144915><http://sales.sfs.fi/servlets/LoginServlet?action=logout>.

Skinnot R. K. 2005. Chemical Engineering Design. Coulson & Richardson's Chemical Engineering, Vol. 6. 4. painos. UK: Elsevier, Butterworth-Heinemann. 1038 s. ISBN 978-0-7506-6538-4.

Slim R., Zoughaib A. ja Clodic D. 2008. Modeling of a solar and heat pump sludge drying system. *International Journal of Refrigeration*. 31:7, S. 1156-1168. ISSN 0140-7007.

Stela. Belt drier for sewage sludge [Stelan [www-sivulla](http://www.stela-drying-technology.de)]. [Viitattu 31.3.2011]. Saatavissa: http://www.stela-drying-technology.de/en/products/belt_drier/fuer_klaerschlam/.

Tekes. 2005. Streams – Yhdyskuntien jätevirroista liiketoimintaa 2001–2004, loppuraportti [verkkodokumentti]. Muokattu 10.11.2005 [viitattu 12.4.2011]. Helsinki: Tekes. 291 s. + liitt. 31 s. Teknologiaohjelmaraaportti 5/2005. ISBN 952-457-194-3, ISSN 1239-1336. Saatavissa PDF-tiedostona: www.tekes.fi/fi/document/43165/streams_pdf.

Turovskiy Izrail S. ja Mathai P. K. 2006. Wastewater sludge processing. USA: John Wiley & Sons, Inc. 354 s. ISBN 978-0-471-70054-8.

Turunen Tatu. 2007. Matkakertomus – Kainuun jätevesilieteprojektin tutustumisretki [verkkodokumentti]. [Viitattu 5.4.2011]. Kainuun ympäristökeskus. 5 s. Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=64567>.

Tynys Artur. 2011. Kiinteän polttoaineen näytteenoton edustavuuden parantaminen ja vastaanottoaseman kehittäminen [verkkodokumentti]. [Viitattu 9.11.2011]. Insinööritoimisto. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma/ Energia- ja ympäristötekniikka. 33 s. + liitt. 7 s. Saatavissa PDF-tiedostona: https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/27326/tynys_artur.pdf?sequence=1.

Vapo. Biomassakuivuri uudistaa turvetuotantoa – Aurinkoenergia tehokäyttöön [Vapo Oy:n [www-sivulla](http://www.vapo.fi)]. [Viitattu 22.9.2011]. Saatavissa: http://www.vapo.fi/fin/yhtio/vapo_biopolttoaineet/turve/tuotantomenetelmat/uusi_menetelma/?id=1067.

Vesanto Petri. 2006. Jätteenpolton parhaan käytettävissä olevan tekniikan (BAT) vertailuasiakirjan käyttö suomalaisessa toimintaympäristössä - Jätteenpolton BREF 2006 [verkkodokumentti]. Muokattu 14.8.2006 [viitattu 10.10.2011]. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 27/2006. 101 s. ISBN 952-11-2309-5 (Painettuna: ISBN 952-11-2308-7). ISSN 1796-1637 (Painettuna: ISSN 1238-7312). Saatavissa PDF-tiedostona: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=54918&lan=FI>.

Virkkunen Elina ja Turunen Tatu. 2010. Opinto- ja biokaasumatka Joensuuun ja Kiteelle, Matkakertomus 23.-24.3.2010 [verkkodokumentti]. Laadittu 7.4.2012 [viitattu 20.6.2011]. MTT ja Kainuun Ely-keskus. 5 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://ely.combo.fi/fi/uutiset/uutiset_alueilta/Documents/Kainuun%20ELY/Matkakertomus_opinto-%20ja%20biokaasumatka.pdf.

VNa 15.5.2003/362. Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta [FINLEX – Valtion säädöstietopankki]. [Viitattu 27.9.2011]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2003/20030362>.

Wyssmont Inc. Standard TURBO-DRYER [Wyssmontin www-sivulla]. [Viitattu 8.4.2011]. Saatavissa: http://www.wyssmont.com/product_detail.php?section=Dryers&id=1.

YLE Kymenlaakso. 2011a. Myllykosken voimalaitoksen tulevaisuus uhattuna [Yleisradio Oy:n www-sivulla]. Päivitetty 28.9.2011 [viitattu 9.11.2011]. Saatavissa: <http://uutisvirta.fi/uutiset/2880419-myllykosken-voimalaitoksen-tulevaisuus-uhattuna?show=1>.

YLE Kymenlaakso. 2011b. UPM sulkee Myllykosken tehtaan [Yleisradio Oy:n www-sivulla]. Päivitetty 3.11.2011 [viitattu 9.11.2011]. Saatavissa: http://www.yle.fi/alueet/kymenlaakso/2011/11/upm_sulkee_myllykosken_tehtaan_3001377.html.

YLE Pohjois-Karjala. 2012. Jäteamaa sammutettiin Kuhasalossa [Yleisradio Oy:n www-sivulla]. Päivitetty 9.6.2012 [viitattu 14.9.2012]. Saatavissa: http://yle.fi/uutiset/jateamaa_sammutettiin_kuhasalossa/5066384.

YMa 22.11.2001/1129. Ympäristöministeriön asetus yleisimpien jätteiden sekä ongelmajätteiden luettelosta [FINLEX – Valtion säädöstietopankki]. [Viitattu 5.10.2011]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2001/20011129>.

ISBN 978-952-265-286-7 (PDF)

ISSN 1798-1328

Lappeenranta 2012


Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology