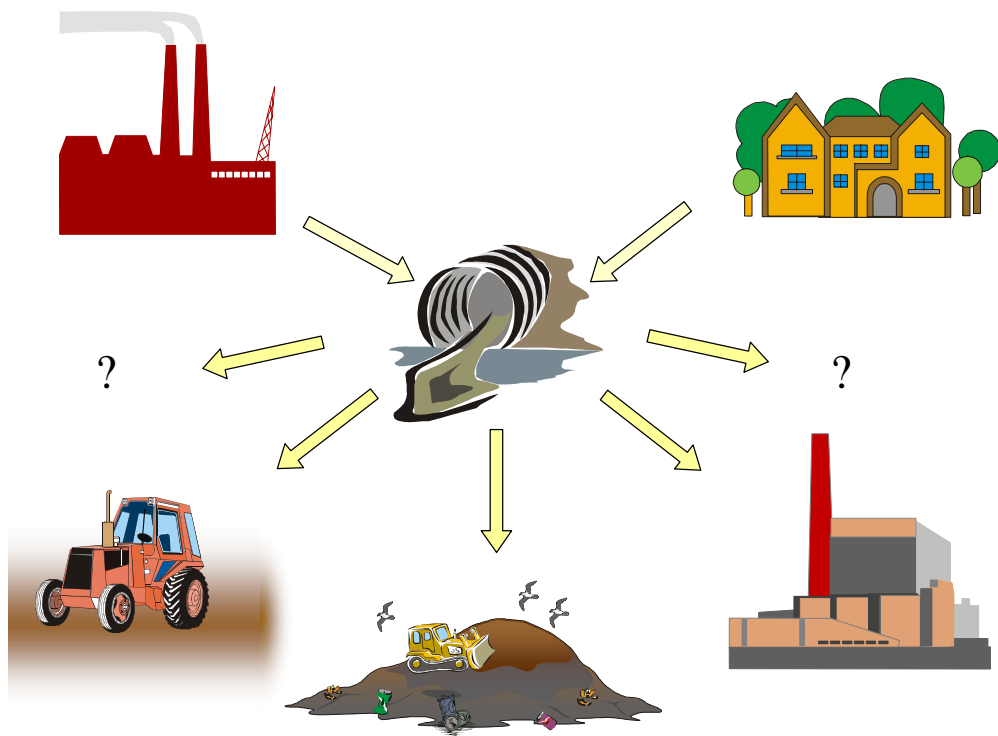


Elina Lohiniva, Tuula Mäkinen & Kai Sipilä

Lietteiden käsittely

Uudet ja käytössä olevat tekniikat



Lietteiden käsittely

Uudet ja käytössä olevat tekniikat

Elina Lohiniva, Tuula Mäkinen & Kai Sipilä

VTT Energia



ISBN 951-38-5795-6 (nid.)

ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-5796-4 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 2001

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

Statens tekniska forskningscentral (VTT), Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

Technical Research Centre of Finland (VTT), Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Energia, Uudet energiatekniikat, Biologinkuja 3-5, PL 1601, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 460 493

VTT Energi, Nya energiteknologier, Biologgränden 3-5, PB 1601, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 460 493

VTT Energy, New Energy Technologies, Biologinkuja 3-5, P.O.Box 1601, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 460 493

Toimitus Maini Manninen

Otamedia Oy, Espoo 2001

Lohiniva, Elina, Mäkinen, Tuula & Sipilä, Kai. Lietteiden käsittely. Uudet ja käytössä olevat tekniikat [Sludge treatment. New and presently employed technologies]. Espoo 2001. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2081. 146 s. + liitt. 11 s.

Avainsanat municipal wastes, sewage sludge, wood processing industry, sludges, processing, drying, dewatering, digestion, composting, incineration

Tiivistelmä

Lietteiden määrät ovat viime vuosikymmenenä kasvaneet, kun viemäriverkostot ovat laajenneet ja toisaalta on siirrytty biologis-kemiallisiin jätevedenpuhdistamoihin. Lietteitä koskevat ympäristönormit ovat tiukentuneet. Kaikki nämä seikat ovat johtaneet siihen, että uusia lietteenkäsittelyvaihtoehtoja etsitään sekä metsäteollisuuden että yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoissa vastaamaan tiukentuviin ympäristönormeihin.

Yhdyskuntalietteille perinteiset mekaaniset vedenerotustekniikat, mädätys ja kompostointi sekä maatalouskäyttö ovat vakiinnuttaneet asemansa. Kaatopaikkamaksujen kallistuminen tulee nostamaan käsittelykustannuksia, ja siksi erilaiset jälkikäyttömahdollisuudet tulevat kiinnostavammiksi. Erilaiset termiset tai biologiset kuivurit sekä poltto ovat uusina tekniikoina myös yhdyskuntien jätevesilietteille. Yhdyskuntien lietteiden käsittelyssä tulisi harkita paikallisten jätejakeiden yhteistä käsittelyä, varsinkin jos puhutaan lietteiden ja jätteiden poltosta.

Metsäteollisuuden lietteet on perinteisesti mekaanisen vedenerotuksen jälkeen poltettu omissa kuori/monipolttoainekattiloissa sekoitettuna muuhun polttoaineeseen tai sitten sijoitettu kaatopaikalle. Kaatopaikkasijoitusta on vähennetty viime vuosikymmeninä, mutta vielä osa lietteistä sijoitetaan kaatopaikalle. Kallistuvat kaatopaikkamaksut sekä imagosyyt lisäävät muiden käsittelytekniikoiden mielekkyyttä. Koska metsäteollisuuden lietteiden laadut ja määrät vaihtelevat tehdaskohtaisesti, ovat eri tehtailla erilaiset tekniikat kilpailukykyisiä. Lietteiden käsittelyssä termiset kuivaustekniikat ja mm. kuitusavi tuovat uusia ratkaisuja, joissa eri lietefraktiot käsitellään eri tekniikoilla.

Lietteen käsittely on kasvava ongelma, ja uusia tekniikoita on tulossa markkinoille. Tekniikoiden soveltuvuus on tapauskohtainen. Ympäristönormit tulevat kiristymään ja ne tulevat parantamaan ympäristönsuojelun tasoa ja ohjaamaan lietteiden käsittelyä.

Lohiniva, Elina, Mäkinen, Tuula & Sipilä, Kai. Lietteiden käsittely. Uudet ja käytössä olevat tekniikat [Sludge treatment. New and presently employed technologies]. Espoo 2001. Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2081. 147 p. + app. 14 p.

Keywords municipal wastes, sewage sludge, wood processing industry, sludges, processing, drying, dewatering, digestion, composting, incineration

Abstract

Sludge amounts have increased in recent years, when sewage networks have been extended and, on the other hand, biological-chemical sewage treatment plants have been taken into use. The environmental standards for sludges have also been tightened. All these factors have brought about searching for new sludge treatment methods for sewage treatment plants of both wood-processing industries and municipalities to meet the tightening environmental standards.

Conventional dewatering technologies of municipal sludges, digestion and composting, and use in agriculture have asserted their position. Increasing landfill fees will raise the cost of treatment, and hence, different recycling alternatives will become more interesting. Different thermal or biological dryers and combustion are of latest technology for sewage sludges of municipalities as well. Combined treatment of local waste fractions should be considered in the treatment of municipal sludges, especially when combustion of sludges and wastes is concerned.

Sludges from the wood-processing industries have traditionally been burned after mechanical dewatering mixed with some other fuel or have been disposed to landfills. Landfill disposal has been decreasing during the last decade, but part of sludges is still disposed to landfills. Increasing fees of landfill disposal and and imago issues are improving the significance of other treatment technologies. As the quality and amount of sludges are mill-specific in the wood-processing industry, different technologies are competitive at different mills. As regards sludge treatment, thermal drying techniques and, i.a., fibre clay offer new solutions for treating different sludge fractions with different techniques.

Sludge treatment is a growing problem, and new treatment technologies are being introduced into the market. The suitability of techniques is case-specific. Environmental standards will become more stringent and improve the level of environmental protection and hence, direct sludge treatment.

Alkusanat

Tämä on osajulkaisu Fortum Oyj:n projektiin 'Uuden tekniikan soveltuvuus metsäteollisuuden ja yhdyskuntien lietteiden hävittämiseen'. Tämä julkaisu on yhteenveto ja läpileikkaus lietteiden käsittelystä Suomessa ja Euroopassa ja siihen on koottu tietoa erilaisista markkinoilla olevista lietteiden käsittelytekniikoista, lietteitä koskevasta lainsäädännöstä ja niiden vaikutuksista lietteiden käsittelyyn tulevaisuudessa. Julkaisussa tarkastellaan lopuksi lähemmin keskisuuren kaupungin jätevedenpuhdistamon lietteen käsittelyä ja kolmen erilaisen metsäteollisuuslaitoksen lietteen käsittelyä, niiden teknisiä ja taloudellisia puolia ja lietteen käsittelyn mahdollisuuksia.

Työ on tehty VTT Energiassa 1.1.2000–30.11.2000. Työssä on kerätty tietoa lietteenkäsittelystä www-sivujen, Compendex-tietokannan, VTT:n ja Teknillisen korkeakoulun tietokantojen sekä laitevalmistajien kanssa käytyjen keskustelujen avulla. Osa lähteistä on 1980-luvulta, sillä monet lietteen käsittelystä käytetyistä tekniikoista, kuten mekaaninen vedenerotus ja biokaasutus, ovat jo tunnettuja ja käytössä olevia tekniikkoja, joissa uutta kehitystä ei kovin paljon ole viime vuosikymmenenä tapahtunut. Hakusanoja ovat olleet mm. lietteen kuivaus, yhdyskuntalietteet, biolietteet, kompostointi, biokaasutus, terminen kuivaus, mekaaninen kuivaus, poltto, kaasutus, lainsäädäntö.

Projektiryhmässä ovat olleet mukana Pia Salokoski ja Jari Alin Fortum Oyj:stä, Juha Kouki UPM Kymmene Oyj:stä, Sauli Purho Stora-Enso Oyj:n Enocellin tehtailta, Eeva Heiska Oulun Vedestä, Petteri Jokinen Espoon Vedestä sekä Esko Pajula Lakeuden Jätehuolto Oy:stä. VTT Energiasta päätutkijana oli Elina Lohiniva. Lisäksi projektiin osallistuivat Tuula Mäkinen sekä Kai Sipilä.

Tekijät kiittävät hyvästä yhteistyöstä Pia Salokoskea ja Jari Alinia Fortum Oyj:stä ja muita projektiryhmän jäseniä. Tekijät kiittävät myös laitevalmistajia (Citec Oy, Vapo Oy Biotech) tiedonannoista.

Espoo, 30.12.2000

Tekijät

Laajennettu tiivistelmä

1 Selvityksen tausta ja tavoite

Lietteiden määrät ovat viime vuosikymmeninä kasvaneet, kun viemäriverkostot ovat laajentuneet ja kun sekä yhdyskunnissa että metsäteollisuudessa on siirrytty yhä enemmän biologis-kemiallisiin puhdistamoihin. Yhdyskunta- ja metsäteollisuuden lietteitä syntyy Suomessa 600 000–700 000 t ka/a. Euroopassa syntyy yhdyskuntalietteitä noin 7 900 000 t ka/a (noin 198 milj. t/a). Tämän määrän arvioidaan vielä kasvavan noin 40 % vuoteen 2005 mennessä, kun direktiivi yhdyskuntajätevesien käsittelystä (91/271/ETY) astuu voimaan.

Tällä hetkellä Suomessa noin 60 % yhdyskuntalietteistä hyödynnetään. Valtakunnallisen jätesuunnitelman mukaan tulisi hyödyntämisaste nosta 70 %:iin vuoteen 2005 mennessä. Hyötykäyttö on tällä hetkellä lähinnä käyttöä viherrakentamisessa tai lannoitteina ja maanparannusaineina. Suuri osa lietteistä sijoitetaan vielä kaatopaikalle. EU:n sisällä yhdyskuntalietteiden käsittelytekniikat vaihtelevat huomattavasti. Vuonna 1997 EU:n alueella sijoitettiin noin 40 % yhdyskuntalietteistä kaatopaikalle, 37 % hyödynnettiin maataloudessa tai viherrakentamisessa ja noin 11 % poltettiin. On arvioitu, että kaatopaikalle läjitettävän lietteen määrä vähenee ja lietteen polton ja lannoite- tai viherrakennuskäytön odotetaan kasvavan vuoteen 2005 mennessä noin 40 % (ETC-Waste 2000).

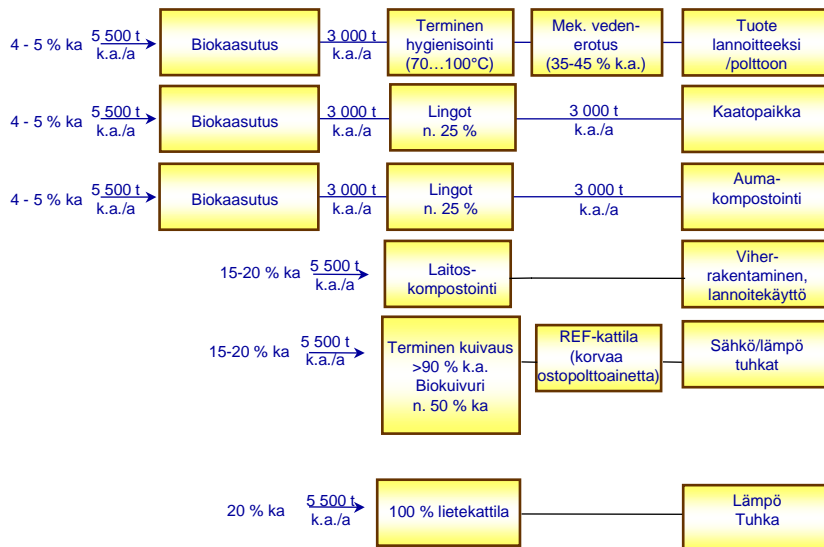
Metsäteollisuuden lietteet on Suomessa perinteisesti mekaanisen vedenerotuksen jälkeen poltettu tehtaiden omissa kuori- tai monipolttoainekattiloissa sekoitettuna pääpolttoaineeseen. Osa lietteistä on vielä läjitetty kaatopaikalle. Kaatopaikalle päätyvän lietteen määrä todennäköisesti vähenee, kun kaatopaikkojen läjityskustannukset nousevat, jolloin muiden vaihtoehtoisten tekniikoiden ja käsittelytapojen kannattavuus paranee.

Lietteiden määrät kasvavat jäteveden puhdistuksen tehostuessa ja toisaalta ympäristönsuojelun normit mm. lietteiden kaatopaikkasijoituksen, maanviljelykäytön ja polton osalta tiukentuvat ja nämä lisäävät kiinnostusta erilaisiin vaihtoehtoisiin lietteenkäsittelytekniikoihin.

Tämä selvitys tehtiin VTT Energiassa 1.1.2000–31.11.2000. Selvitys on osa Fortum Oyj:n projektia 'Uuden tekniikan soveltuvuus lietteiden hävittämiseen'. Tässä selvityksessä on kerätty tietoa syntyvistä lietemääristä Suomessa ja Euroopan Unionin alueella sekä tulevasta ja voimassa olevasta lietteistä koskevasta lainsäädännöstä. Eri tekniikoista on kerätty tietoa kirjallisuudesta, www-sivuilta ja tietokannoista sekä laitevalmistajien haastattelujen perusteella, ja sen jälkeen on tehty arvioita eri tekniikoiden soveltuvuudesta erilaisille lietteille.

2 Yhdyskuntalietteiden käsittelyvaihtoehdot

Eri lieteeraktiot ja lietemäärät vaativat erilaisia käsittelyjä, joten yhtä ja oikeaa ympäristönsuojelullisesti ja taloudellisesti soveltuvaa käsittelyratkaisua ei ole olemassa. Perinteisesti yhdyskuntien lietteitä on mädätetty, kompostoitu, käytetty maanparannukseen tai läjitetty kaatopaikoille. Kaatopaikoille läjittäminen vähentynee sekä ympäristönormien tiukentuessa että kaatopaikkamaksujen noustessa tulevaisuudessa.



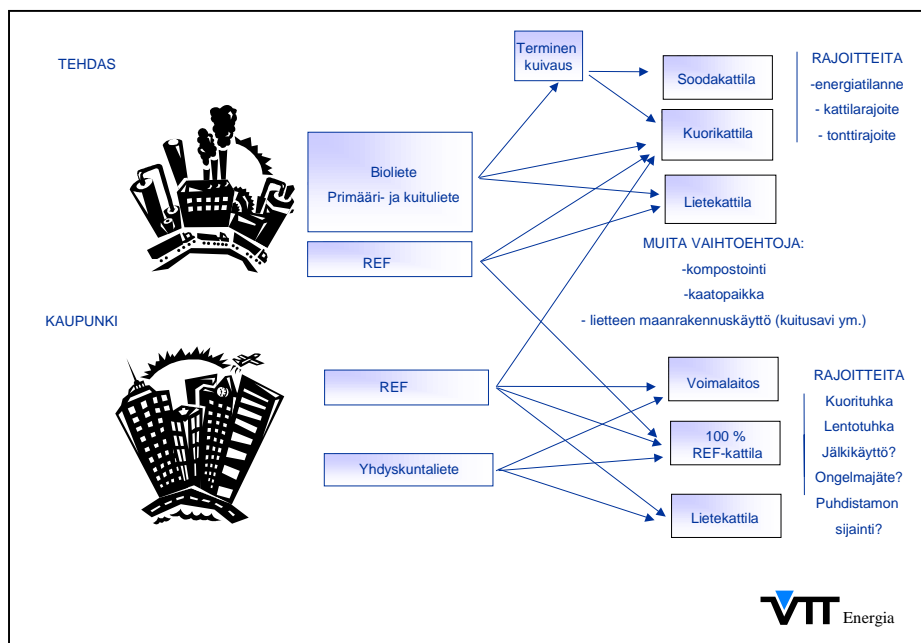
Kuva 1. Yhdyskuntalietteiden käsittelyvaihtoehdot, 5 500 t ka/a yhdyskuntaliettä, keski-suuri suomalainen kaupunki.

Kaatopaikkojen kustannusten siirtäminen kokonaan kaatopaikkamaksuihin lisäksi muiden lietteenkäsittelyvaihtoehtojen kiinnostusta. Kaatopaikkadirektiivi ja Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista asettavat rajoituksia kaatopaikalle päätyvän biohajoavan yhdyskuntajätteen määrälle. Tämä kielto ei nykyisessä muodossaan koske puhdistamolietettä, mutta on todennäköistä että kieltoa tullaan laajentamaan myös puhdistamolietettä koskevaksi. (Paatero 2000)

Lietteiden kompostointi ja biokaasutus jatkuvat todennäköisesti yhdyskuntien lietteenkäsittelyssä. Biokaasutetun tai raakalietteen terminen kuivaus ja tuotepelletin polttaminen tai lannoitekäyttö ovat uusia vaihtoehtoja lietteenkäsittelyyn. Markkinoille on tulossa myös lietteen biokuivaus (biokuivaus = kompostointiprosessi), jossa biokuivattu liete käytetään polttoaineena tai lannoitteena. Vaihtoehtoiset käsittelymenetelmät (lannoitekäyttö/poltto) tuovat vaihtoehtoja esimerkiksi voimalaitosten kesäseisokkien ajaksi. Samoin liete voidaan tuotteen markkinoiden mukaan käyttää lannoitteena tai polttoaineena, mikä tuo joustavuutta toimintaan. Termisessä kuivauksessa tai biokuivauksessa tuotteen hajuhaitat yleensä pienenevät.

Suomessa ei yhdyskuntalietteitä vielä polteta missään. Markkinoille on tulossa erilaisia pieniä tai keskisuuria lietteenkäsittely-yksiköitä, joissa liete voidaan käsitellä yksinään tai yhdessä esimerkiksi polttokelpoisen jätteen kanssa. Tällaisten laitosten tulee täyttää jätteenpolttodirektiivin mittaus- ja päästövaatimukset, mikä tuo lisäkustannuksia pienille laitoksille. Toisaalta nykyisten isojen CHP-laitosten kiinnostus käyttää yhdyskuntalietteitä pääpolttoaineen ohessa rinnakkaispolttona todennäköisesti laskee jätteenpolttodirektiivin tultua voimaan, kun laitosten ympäristöluvut voivat tiukentua jätteitä poltettaessa. Yhdyskuntalietteen polttaminen pienellä osuudella pääpolttoaineen seassa CHP-kattilassa ei ole järkevä vaihtoehto, vaan tällöin samassa laitoksessa kannattaa polttaa myös alueen hyvälaatuista polttokelpoista kierrätyspolttoainetta (REF).

Uudet tekniikat tuovat vaihtoehtoja lietteenkäsittelyyn, sillä lietteen kaatopaikkasijoitus tai aumakompostointi ovat ainakin hajuhaittojensa vuoksi vähentymässä tulevaisuudessa. Maatalous- tai lannoitekäyttöä tulisi soveltaa mahdollisuuksien rajoissa, sillä se on jätelain mukaisesti jätteen materiaalikäyttöä. Lietelannoitteen markkinointiin tulee panostaa. Terminen kuivaus tai biokuivaus ja poltto omassa kattilassa on järkevää silloin, kun liete halutaan käsitellä paikan päällä omana järjestelmänä. Yksi vaihtoehto tulevaisuudessa on yhdistää alueen polttokelpoiset jätteet, yhdyskuntalietteet ja joissakin tapauksessa metsäteollisuudenkin polttokelpoiset jätteet samaan REF- tai lietekattilaan, joka täyttää jätteenpolttodirektiivin vaatimukset.



Kuva 2. Lietteenkäsittely metsäteollisuudessa ja läheisessä kaupungissa.

3 Metsäteollisuuden lietteenkäsittelyvaihtoehtoja

Metsäteollisuudessa on lietteiden energiakäyttö ollut pitkään tärkeä lietteenkäsittelyvaihtoehto. Tällä hetkellä yli 70 % metsäteollisuuden puhdistamolietteistä hyötykäytetään energiana. Siistaus- ja kuitulietteiden osalta osuus on pienempi.

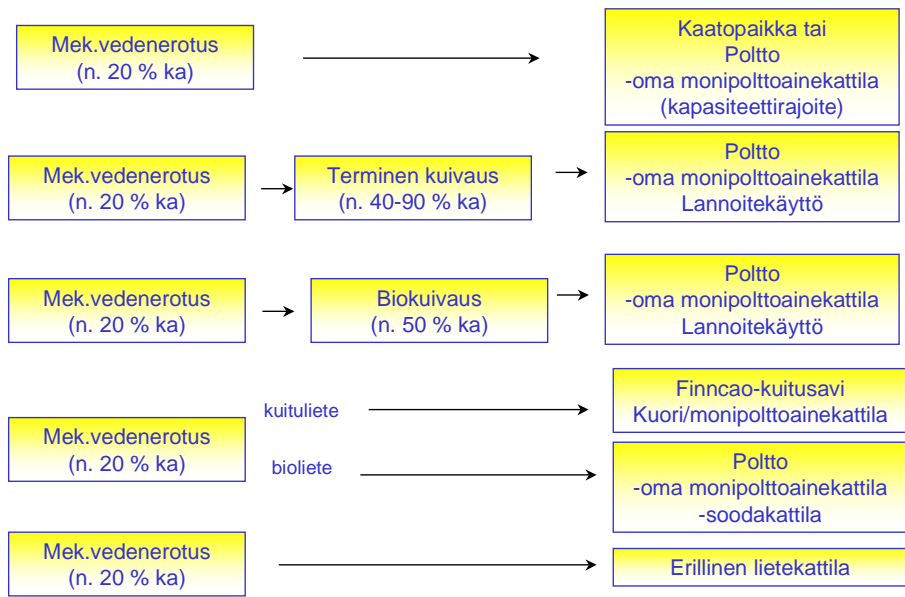
Myös metsäteollisuudessa läjitys kaatopaikoille vähentyy sekä imago- että kustannussyistä, kun myös metsäteollisuuden kaatopaikkojen tulee täyttää EU:n kaatopaikkadirektiivin vaatimukset kaatopaikkojen pohjarakenteiden osalta.

Metsäteollisuuden lietteiden poltto omissa kuori- tai monipolttoainekattiloissa jää EU:n jätteenpolttodirektiivin ulkopuolelle. Metsäteollisuudessa voidaan siis tulevaisuudessaakin polttaa metsäteollisuuden omat lietteet omissa kuori- ja monipolttoainekattiloissa ilman direktiivin mittausvaatimuksia. Tehtaalla syntyvän polttokelpoisen jätteen polttaminen jäänee direktiivin alaisuuteen. Tämä johtanee siihen, että ainakin vuoden 2005 jälkeen osa metsäteollisuuden polttokelpoisesta jätteestä ohjataan muualla poltettavaksi.

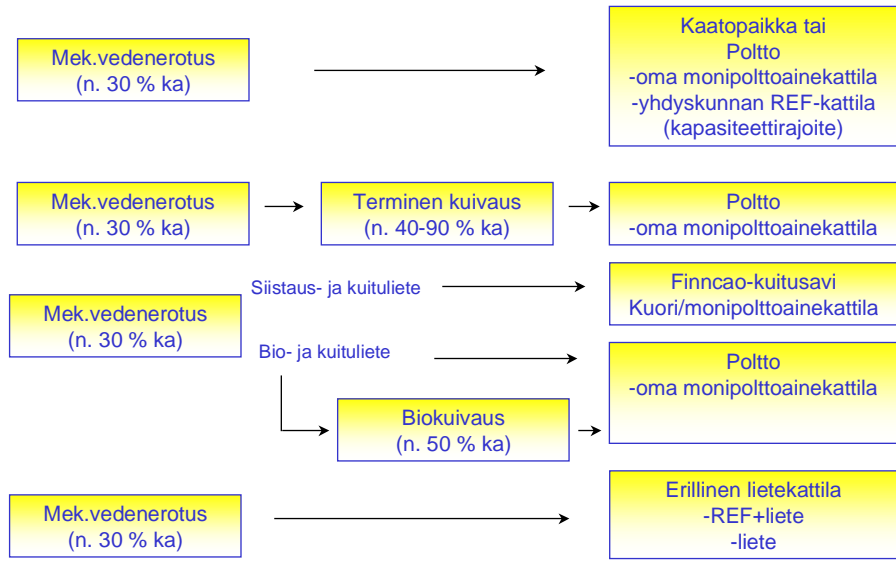
Erilaiset termiset lietteenkäsittelymenetelmät tai biokuivaus ovat vaihtoehtona niillä tehtailla, joissa kasvava lietemäärä ei enää mahdu nykyiseen kuori- tai monipolttoainekattilaan. Termisesti tai biologisesti kuivattu liete on helpompi säilyttää ja käsitellä. Oma lietekattila voi olla ratkaisu sellaisessa tilanteessa, jossa halutaan oma lietteenkäsittelyratkaisu, joka ei vähennä pääkattilan käytettävyyttä ja jossa tuhkapitoinen liete halutaan erottaa pääkattilasta.

Myös metsäteollisuudessa tarvitaan uusia tekniikoita ja ratkaisuja kasvaville lietemäärille. Jos erilaiset lietejakeet erotetaan toisistaan prosessissa, saadaan usein parannettua eri fraktioiden hyötykäyttömahdollisuuksia. Varsinkin tuhkapitoisten siistaus- tai kuitulietteiden erottaminen ja käsittely esimerkiksi kuitusaveksi vähentää kattilan tuhka-kuormitusta. Tällöin polttokelpoinen bioliete voidaan polttaa esimerkiksi omassa sooda- tai kuorikattilassa pienenä virtana pääpolttoaineen seassa.

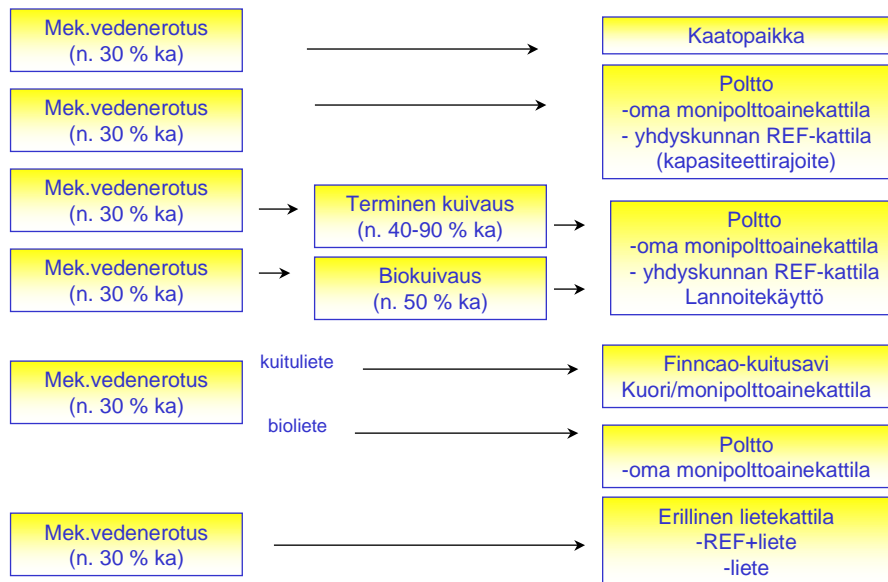
Erilaisilla tehtailla syntyvät lietemäärät ja niiden laadut ovat hyvin erilaisia, joten erilaisten lietteenkäsittelytekniikoiden soveltuvuus on tapauskohtainen. Kuvassa 3, 4 ja 5 esitetään esimerkinomaisesti kolmen erilaisen tehtaan lietteenkäsittelyn vaihtoehtoja.



Kuva 3. Sellutehdas, 10 000 t ka/a (2/3 bioliete, 1/3 primääriliete).



Kuva 4. Kiertokuitua käyttävä paperitehdas, lietteitä noin 35 000 t ka/a (50 % siistauslietettä, 25 % primäärilietettä, 25 % biolietettä).



Kuva 5. Mekaanista massaa käyttävä paperitehdas, lietettä noin 10 000 t ka/a (primäärlietetä 2/3, biolietetä 1/3, tuhkapitoisuus 30–40 %).

4 Yhteenveto

Lietteiden määrät kasvavat ja lietteenkäsittelyä koskeva ympäristölainsäädäntö tiukentuu, mikä johtaa uusien lietteenkäsittelykonseptien tarpeeseen. Lietteiden hyötykäyttövaihtoehdot ja käsittelyvaihtoehdot riippuvat paljolti alueesta, lietemäärästä ja lietteen laadusta, eikä yhtä ainoaa hyvää ratkaisua ei ole.

Lietteen käsittelytekniikkaa valitessa tulisi huomioida taloudelliset, ympäristönsuojelulliset ja pidemmän ajan mahdollisuudet lietteen käsittelyssä sekä mahdollisuudet alueelliseen yhteistyöhön esimerkiksi kierrätyspolttoaineen ja lietteen osalta.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	3
Abstract	4
Alkusanat	5
Laajennettu tiivistelmä	6
Lyhenteet	14
1. Johdanto	15
2. Lietemäärät, lietteiden ominaisuudet ja käsittely	16
2.1 Yhdyskuntajätevesilietteet	16
2.2 Metsäteollisuuden lietteet	23
3. Lietteitä koskeva ympäristölainsäädäntö	27
3.1 Euroopan Neuvoston Direktiivi yhdyskuntajätevesien käsittelystä ja VNp 365/1994 jätevesien käsittelystä	27
3.2 EU:n Kaatopaikkadirektiivi ja VNp 861/97 kaatopaikoista	27
3.3 Jätteenpolttodirektiivi	28
3.4 Puhdistamolietteiden käyttö maanviljelyksessä.....	30
3.4.1 Puhdistamolietteiden käyttöä koskevan direktiivin (86/278) muutosehdotus (Bryssel, 27.4.2000)	31
3.5 Lannoitelainsäädäntö	33
3.6 Ehdotus biohajoavan jätteen biologiselle käsittelylle.....	34
3.7 Jäte- ja ongelmajäteluettelon muutosehdotus	35
3.8 Lietteiden karakterisointi – CEN-standardiehdotus lietteiden ja jätteiden yhteispolttoon	35
4. Lietteenkäsittelytekniikat	37
4.1 Esikäsittely.....	38
4.1.1 Tiivistys	38
4.1.2 Lietteen stabilointi	39
4.1.3 Lietteen kunnostus.....	49
4.2 Lietteen kuivaus.....	52
4.2.1 Lietelavat	53
4.2.2 Mekaaninen vedenerotus	53
4.2.3 Biokuivaus.....	58
4.2.4 Terminen kuivaus	61
4.3 Lietteen poltto tai muu terminen käsittely	68
4.3.1 Savukaasupäästöt lietteenpoltossa.....	69
4.3.2 Tuhkat lietteenpoltossa.....	69

4.3.3	Seospolttolijukerroskattiloissa.....	71
4.3.4	100 %:n lietekattila.....	73
4.3.5	Poltto kivihiihlopölykattilassa.....	74
4.3.6	Lietteen kaasutus	75
4.3.7	Poltto soodakattilassa	77
4.3.8	Lietteiden poltto MSW-laitoksella	78
4.3.9	Poltto sementtiuunissa	78
4.3.10	Lietteenpolttotekniikat (Fortum)	79
4.4	Lietteiden käyttö lannoitteina	82
4.5	Sijointi kaatopaikalle.....	83
4.6	Krepro	84
4.7	Kuitusavi-Finncao.....	87
4.8	Lietteiden ja konsentraattien haihdutus	88
5.	Yhdyskuntalietteiden käsittelyvaihtoehtojen vertailu	90
5.1	Yhdyskuntalietteiden käsittelytekniikoiden tekninen vertailu.....	90
5.2	Yhdyskuntajätevesilietteiden käsittelytekniikoiden taloudellinen vertailu	95
5.2.1	Yksittäiset prosessit.....	96
5.2.2	Käsittelyketjujen tarkastelut	103
6.	Metsäteollisuuden lietteenkäsittelytekniikoiden vertailu	114
6.1	Metsäteollisuuden lietteenkäsittelytekniikoiden tekninen vertailu.....	114
6.2	Metsäteollisuuden lietteenkäsittelytekniikoiden taloudellinen vertailu.....	125
6.2.1	Sellutehdas.....	127
6.2.2	Kiertokuitua käyttävä paperitehdas	130
6.2.3	Mekaanista massaa käyttävä paperitehdas	133
7.	Yhteenveto	136
	Lähdeluettelo	138

LIITTEET

Liite 1: CITEC-biokaasutusprosessi

Liite 2: Käsittelytekniikoiden kustannusyhteenveto

Liite 3: Yhdyskuntalietteiden käsittelyvaihtoehtoja ja niiden kustannuksia

Liite 4: Lietteiden käsittelyvaihtoehtojen etuja ja haittapuolia

Lyhenteet

- BHK₇** Mittayksikkö sille happimäärälle, jonka vesistön pieneliöt tarvitsevat hajottaessaan jäteveden kiintoainetta ja muita helposti hajoavia eloperäisiä yhdisteitä. Suomessa käytössä oleva mittausmenetelmä BHK₇ osoittaa, kuinka paljon happea tietty jätevesimäärä kuluttaa seitsemän vuorokauden aikana.
- BOD₅** Mittayksikkö sille happimäärälle, jonka vesistön pieneliöt tarvitsevat hajottaessaan jäteveden kiintoainetta ja muita helposti hajoavia eloperäisiä yhdisteitä. Suomessa käytössä oleva mittausmenetelmä BOD₅ osoittaa, kuinka paljon happea tietty jätevesimäärä kuluttaa viiden vuorokauden aikana.
- AVL** Asukasvastineluku = teoreettinen kuormitusyksikkö, jonka suuruus biologisen hapenkulutuksen suhteen on 90 g BHK₇/d, sisältää asutuksen, palvelun, pienen teollisuuden ja vuotovedet
- AD** Ilmakuivamassa (kosteus 10 %)
- REF** (Recovered Fuel = Kierrätyspolttoaine) = yhdyskuntien ja yritysten polttokelpoisista, kuivista, kiinteistä ja syntypaikoilla lajitelluista jätteistä valmistettua polttoainetta
- TMP** (Thermomechanical pulp) = kuumahierre = hiertämällä valmistettu mekaaninen massa, jonka valmistuksessa hake on ennen kuidutusta esikäsitelty höyryllä
- SGW** (Stone ground wood), hioke
- PGW** (Pressured ground wood) = painehioke; mekaanisesti valmistettu massa
- NSSC** (Neutral sulphite semichemical pulp) = puolikemiallinen massa, joka kuidutetaan levykuiduttimessa
- BHWK** Lehtisulfaatti, valkaistu
- BSWK** Havusulfaatti, valkaistu

1. Johdanto

Lietteitä syntyy Suomessa yhdyskunnista ja metsäteollisuudessa yhteensä 600 000–700 000 t ka/a (15–18 milj t/a). Euroopan Unionin alueella syntyvä yhdyskuntalietteen määrä vuonna 2000 on noin 7 900 000 t ka/a (noin 200 milj. t/a) (ETC-waste 2000). Lisäksi metsäteollisuudessa syntyy suurehko määrä lietteitä, jotka käsitellään tavallisesti tehtaan sisällä. Lietteiden määrät ovat viime vuosikymmeninä kasvaneet, kun sekä yhdyskunnissa että metsäteollisuudessa on siirrytty biologis-kemiallisiin jätevedenpuhdistamoihin, jolloin jätevedenpuhdistus on tehostunut. Lietteiden käsittelyä koskevat ympäristösäädökset ovat tiukentuneet, ja tämä on johtanut uusien hyötykäyttökäytötekniikoiden tarpeeseen.

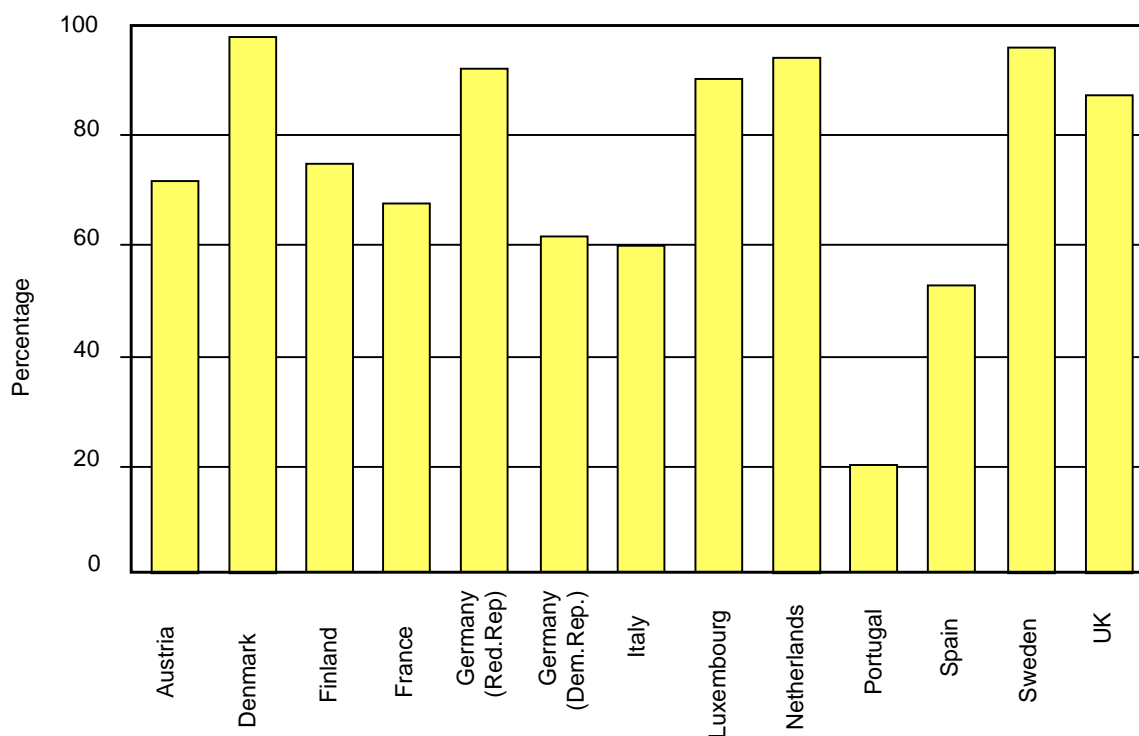
Tässä selvityksessä on kerätty tietoa syntyvien lietteiden määristä ja laaduista sekä tarkasteltu lyhyesti sekä yhdyskuntien jätevesilietteiden että metsäteollisuuden lietteiden käsittelytekniikoita. Selvityksessä tarkastellaan yleisellä tasolla markkinoilla olevien ja muutamien uusien mielenkiintoisten käsittelytekniikoiden teknisiä ja taloudellisia perusteita sekä ympäristönsuojelullisia vaikutuksia ottaen huomioon myös valmisteilla olevat ympäristönormit.

2. Lietemäärät, lietteiden ominaisuudet ja käsittely

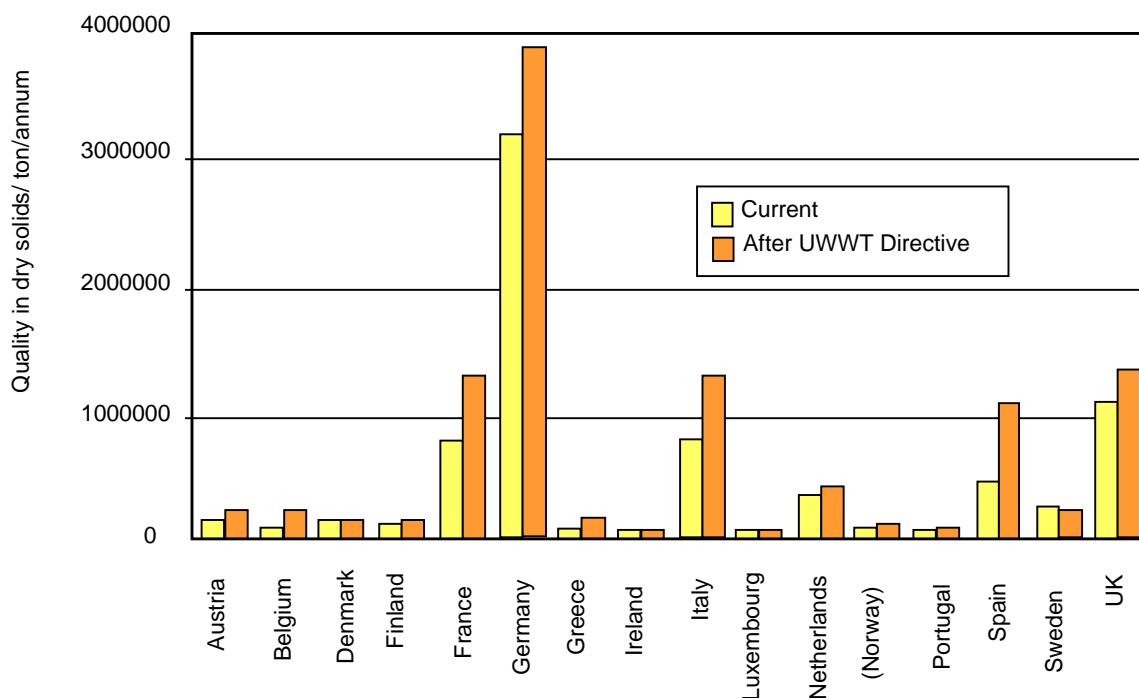
2.1 Yhdyskuntajätevesilietteet

Yli 70 % suomalaisista asuu tällä hetkellä viemäriverkoston piirissä ja tämä osuus kasvaa väestön siirtyessä yhä enemmän taajamiin. Viemäriverkoston liittyneiden asukkaiden määrä vaihtelee huomattavasti eri maissa (kuva 1). Oletettavissa on, että suurin osa EU:n maiden väestöstä kuuluisi viemäriverkoston piiriin vuoteen 2005 mennessä, kun neuvoston direktiivi yhdyskuntajätevesien käsittelystä (91/271/ETY) tulee voimaan.

Suomessa syntyy yhdyskuntalietteitä vuosittain noin 140 000 t ka/a. Euroopan Unionin jäsenmaissa syntyy yhdyskuntalietteitä vuosittain yhteensä noin 7,9 milj. t ka/a (EEA 1997), ja määrän on arvioitu nousevan vuoteen 2005 mennessä noin 40 %, kun direktiivi yhdyskuntajätevesien käsittelystä (91/271/ETY) astuu voimaan. Kuvassa 2 esitetään yhdyskuntalietteiden määrät Euroopan Unionin jäsenmaissa vuonna 1997 ja ennuste vuodelle 2005.



Kuva 1. Viemäriverkoston piiriin kuuluva väestö eri EU:n maissa vuonna 1990 (EEA 1997).



Kuva 2. Yhdyskuntalietteiden määrät eri EU:n jäsenvaltioissa vuonna 1997 ja arvio vuoden 2005 tilanteesta, kun direktiivi yhdyskuntajätevesien käsittelystä (91/271/ETY) on voimassa (EEA 1997).

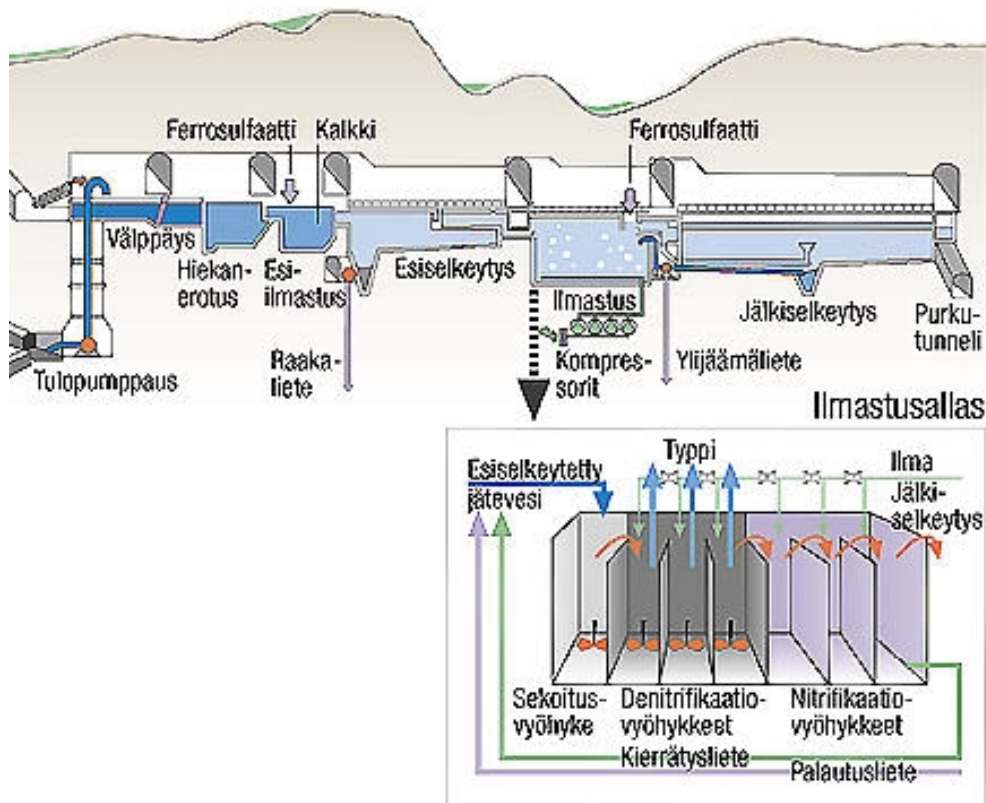
Saksa, Ranska, Italia ja Iso-Britannia tuottivat vuonna 1994 84 % EU:n lietemäärästä, ja näissä maissa oli 84 % kaikista Euroopan Unionin alueella olevista jätevedenpuhdistamoista (Davis ja Hall 1997).

Suomessa oli vuonna 2000 toiminnassa noin 560 kunnallista jätevedenpuhdistamoita. Suomessa toimivista kunnallisista jätevedenpuhdistamoista yli 85 % käyttää biologis-kemiallista puhdistusta (Suomen ympäristökeskus 2000).

Suurin osa suomalaisista ja eurooppalaisista keskisuurista ja suurista jätevedenpuhdistamoista on nykyisin aktiivilietemenetelmällä toimivia laitoksia. Normaali aktiivilietelaitos käsittää mekaanisen osan jälkeen esiselkeytyksen, tasausaltaan, ravinnelisäyksen ja neutraloinnin, ilmastuksen, jälkiselkeytyksen, biolietteen tiivistyksen sekä lietteen kuivauksen. Lisäksi ainakin isoimmilla laitoksilla on nykyisin denitrifikaatio-nitrifikaatio-prosessi typen poistoon (kuva 3).

Mekaaniseen osaan kuuluu suurien partikkelien poisto välppäyksessä ja hiekanerotuksessa. Esiselkeytyksessä osa raskaista partikkeleista laskeutuu pohjalle. Mekaanisessa osassa 50–70 % kiintoaineksesta ja 25–40 % BOD₅:sta voidaan poistaa. Raakaliete si-

sältää 3–5 % kuiva-ainetta, joka koostuu lähinnä orgaanisesta materiaalista (yli 70 %). (Viitasaari ym. 1994)

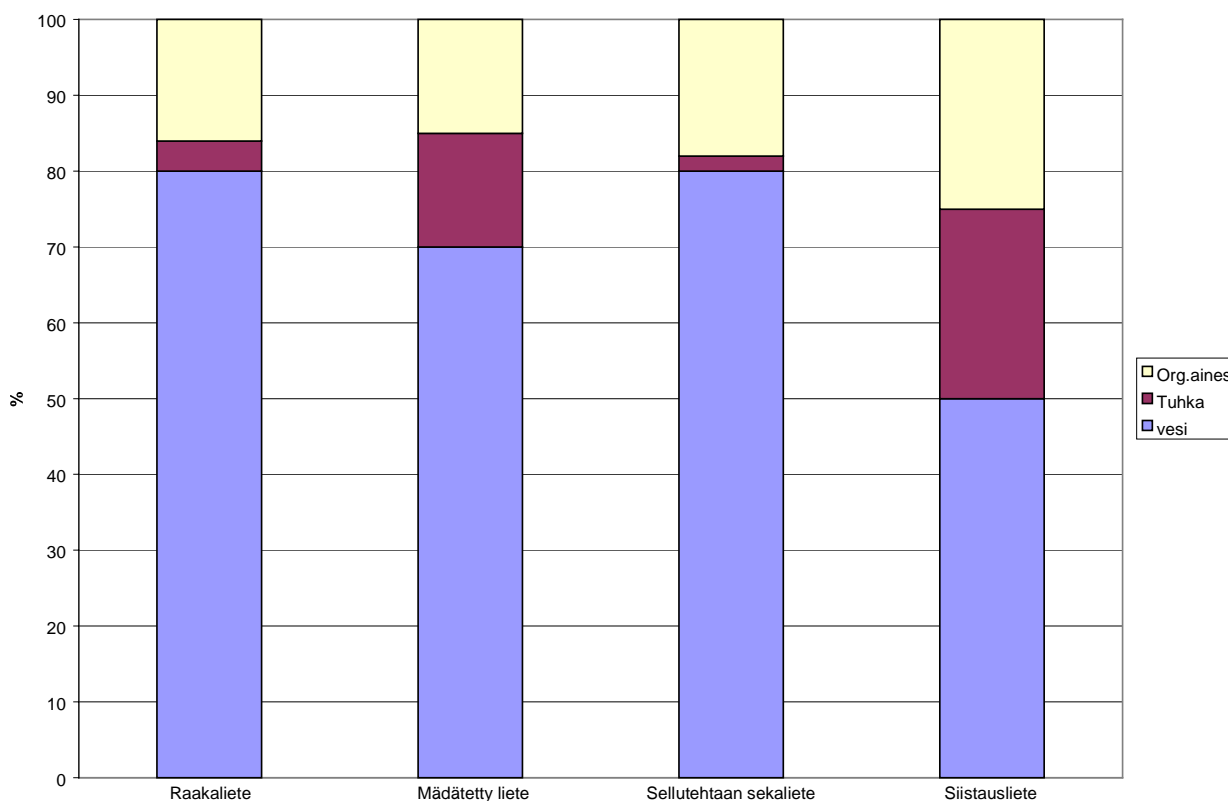


Kuva 3. Helsingin Veden aktiivilietepuhdistus Viikissä sisältää mekaanisen, kemiallisen ja biologisen puhdistuksen. (Helsingin Vesi 2000)

Biologisessa osassa poistetaan kiintoainesta mikro-organismien avulla, jotka muuttavat hiilipitoisen orgaanisen materiaalin kaasuiksi ja solukudokseksi. Solukudos on hiukan vettä raskaampaa ja se saadaan siten poistetuksi vedestä ns. ylijäämälietteenä. Typen poistoon on denitrifikaatio-nitrifikaatio-prosessi, jossa nitraatit pelkistetään N_2 :ksi heterotrofisten bakteerien avulla. Nämä bakteerit ovat riippuvaisia orgaanisesta hiilestä, jota saadaan lietteen orgaanisesta osasta. Fosfori poistetaan kemiallisesti saostamalla se esimerkiksi rautasulfaattiin tai alumiinisulfaattiin. Saostus voi tapahtua esisaostuksena, rinnakkaissaostuksena (biologisessa osassa) tai jälkisaostuksena (biologisen osan jälkeen).

Jätevedet voivat sisältää orgaanisia, epäorgaanisia ja toksisia yhdisteitä sekä patogeenisia ja tauteja aiheuttavia mikro-organismeja. Molekyylikooltaan suurimpia orgaanisia yhdisteitä jätevesissä ovat proteiinit, hiilihyaatit, rasvat ja öljyt.

Lietteiden kuiva-ainepitoisuus vaihtelee 2–30 % riippuen kuivaus- tai vedenerotustekniikasta ja lietteen laadusta. Kuva 4 havainnollistaa erilaisten lietteiden koostumuksia.



Kuva 4. Erilaisten lietteiden koostumuksia (mekaanisen vedenerotuksen jälkeen).

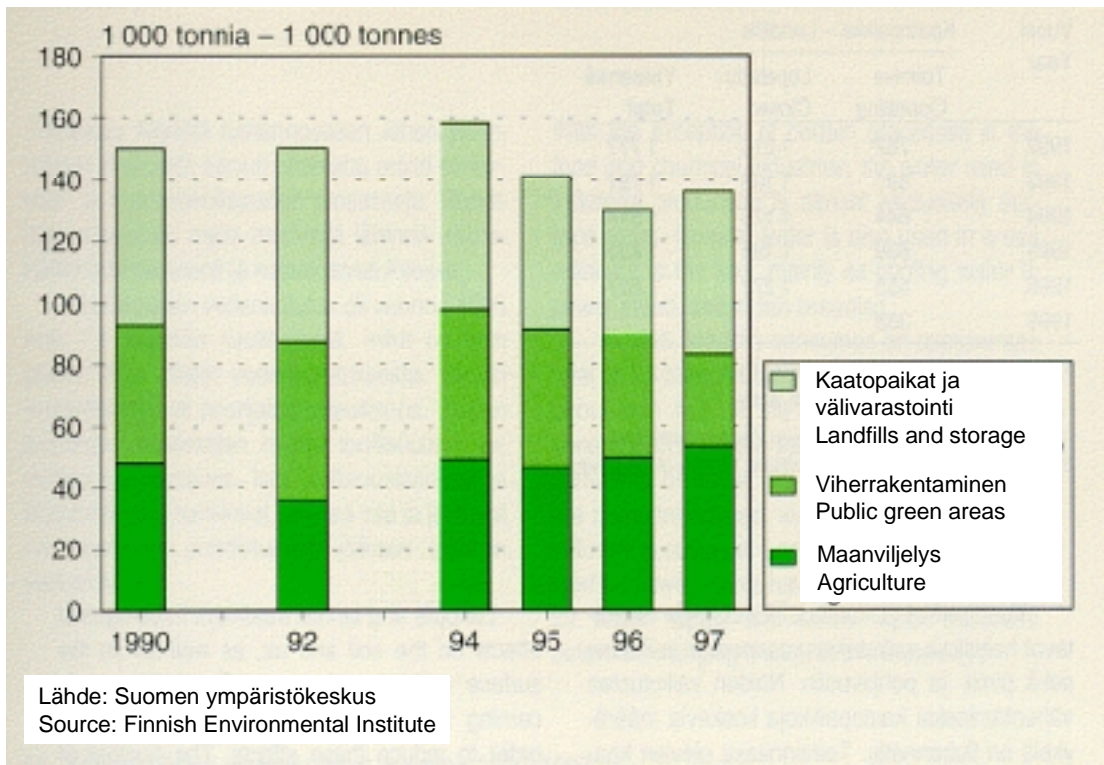
Lietteen kuiva-ainepitoisuuden lisäksi lietteen koostumuksella on merkitystä lietteen hyötykäyttöä ja käsittelyä ajatellen. Lietteet sisältävät toisaalta lannoitekäyttöön hyödyllisiä ravinteita ja hivenaineita mutta myös haitallisia raskasmetalleja. Nämä asettavat rajoituksia hyötykäytölle. Taulukossa 1 on yhdyskuntien puhdistamolietteiden keskimääräisiä ravinne- ja raskasmetallipitoisuuksia Suomessa.

Yhdyskuntien puhdistamolietteitä hyödynnettiin Suomessa 1980-luvulla maanviljelyssä ja viherrakentamisessa enimmillään 70 % lietteen kuiva-ainemäärästä. Lietteiden hyödyntäminen maataloudessa on kasvanut viime vuosina. Kompostointi ja hyödyntäminen viherrakentamisessa lisääntyivät tasaisesti 1990-luvun puoleen väliin asti, viime vuosina käyttö on jonkin verran vähentynyt. Lietteiden hyötykäyttömäärät vaihtelevat jonkin verran eri vuosina ja eri puolilla Suomea. Hyötykäyttö viherrakennuksessa tai maanviljelyksessä on materiaalikäyttöä ja siten suositeltavaa esimerkiksi ennen energiakäyttöä

tai kaatopaikkasijoitusta. Vuonna 1996 hyödynnettiin Suomessa yhdyskuntalietteistä noin 60 % (kuva 5). (Tilastokeskus 2000)

Taulukko 1. Puhdistamolietteiden (raakalietteiden tai mekaanisen vedenerotuksen jälkeen) keskimääräiset ravinne- ja raskasmetallipitoisuudet kuiva-aineessa neljästä eri lähteestä koottuna. (Viitasaari ym. 1994, Lilja ym. 1998, Rantala ym. 1998, Alin & Salokoski 2000)

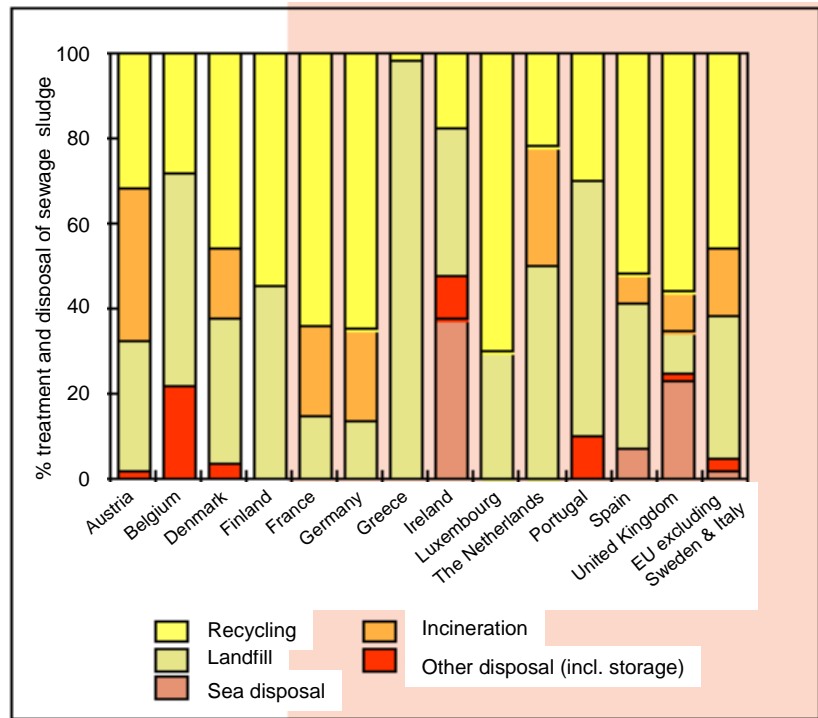
Alkuaine	Yksikkö	Keskiarvo	Keskiarvo	Keskiarvo
Teholl. lämpöarvo	MJ/kg	10–12	13,7	
Teholl. lämpöarvo saapumistilassa	MJ/kg	1–2		
Kuiva-ainepit.	m-%	3–20	20	
Tuhkapit.	m-%	20	35,5	
Haihtuvat	m-%			
Hiili	m-%	27	33,4	28,3
Vety	m-%	4,3	5,07	4,07
Typpi	m-%	3,6	2,78	2,96
Rikki	m-%		0,7	1,25
Kloori	m-%			0,07
Happi	m-%			
Fosfori	g/kg	28,3	15,7	22,0
Typpi	g/kg	30,2	37,4	27,0
Kalium	g/kg	2,0	6,4	
Kalsium	g/kg	41,7	43,7	
Magnesium	g/kg	3,9	2,5	
Arseeni	mg/kg	17,4		
Kadmium	mg/kg	4,3	0,5	1,78
Koboltti	mg/kg	17,8	107,1	
Kromi	mg/kg	172	342,2	105
Kupari	mg/kg	312	172,9	317
Elohopea	mg/kg	2,3	0,4	1,92
Molybdeeni	mg/kg	1,9		
Nikkeli	mg/kg	69,2	34,1	37,0
Lyijy	mg/kg	119	8,9	90,8
Sinkki	mg/kg	923	455,4	684
Rauta	g/kg	92,7		
Mangaani	mg/kg	404	361,5	
Alumiini	g/kg	49,3		
Seleen	mg/kg	1,6		
Boori	mg/kg	46,8		



Kuva 5. Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoiden lietteen sijoitus ja hyötykäyttö Suomessa 1990–1997 (Tilastokeskus 2000).

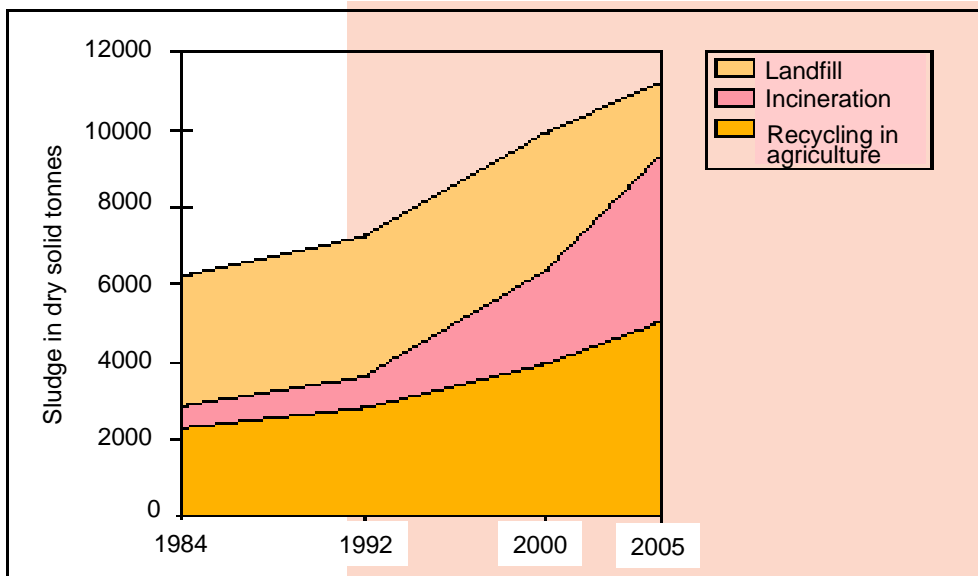
Yhdyskuntalietteiden käsittelytekniikat vaihtelevat huomattavasti EU:n sisällä (kuva 6). Vuonna 1997 EU:n alueella sijoitettiin noin 40 % lietteistä kaatopaikalle, 37 % hyödynnettiin maataloudessa ja viherrakentamisessa ja noin 11 % poltettiin (Davis ja Hall 1997). Käyttö maataloudessa on kierrätystä, ja sitä rohkaistaan useissa maissa parhaana käyttötekniikkana lietteille. Yhdyskuntalietteiden raskasmetallipitoisuudet rajaavat kuitenkin jossakin määrin niiden käyttöä maanviljelyssä. Lietteiden sijoittaminen mereen on kielletty, ja toisaalta kaatopaikkasäädökset tulevat vaatimaan orgaanisen aineksen kaatopaikkasijoituksen vähentämistä. Lietteiden käsittely on siis iso ja kasvava ongelma monissa Euroopan maissa; lietteiden määrät kasvavat ja toisaalta maanviljelyyn lietteitä voidaan käyttää vain rajoitetusti riippuen raskasmetallien ja ravinneaineiden pitoisuuksista lietteissä.

Kuvassa 7 on arvio lietteen käsittelystä vuosina 1984–2005 EU:n alueella. Lietteen käsittelytekniikat muuttuvat tiukentuvan ympäristölainsäädännön kautta. Kaatopaikalle läjitettävän lietteen määrän odotetaan vuoteen 2005 mennessä vähenevän 24 % vuoden 1992 tasosta, kun taas lietteen polton odotetaan kasvavan jopa 300 % (25 % kokonaislietemäärästä). Lisäksi lietteen materiaalikäytölle (lannoitus tai viherkäyttö) odotetaan 75 %:n kasvua (53 % kokonaislietemäärästä). (ETC-Waste 2000)



Source: European Commission, 1998c; NRC the Netherlands for Dutch figures, 1999

Kuva 6. Lietteenkäsittely EY:n jäsenvaltioissa vuonna 1995 (EEA 1997).



Source: Hall & Dalimier, 1994, expanded to EU+3 by ETC/W

Kuva 7. Yhdyskuntalietteen käsittely ja arvio käsittelystä EY:n alueella vuosina 1984–2005 (EEA 1999).

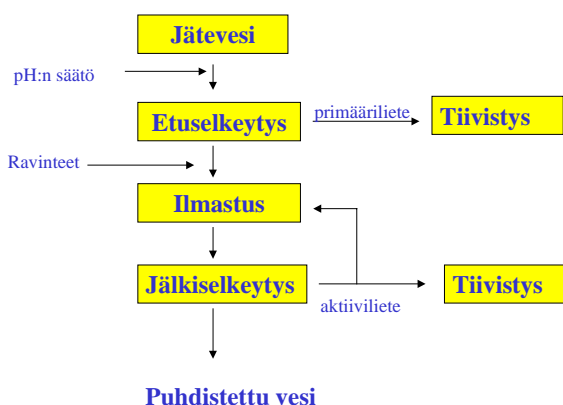
2.2 Metsäteollisuuden lietteet

Suomen sellu- ja paperiteollisuuden jätevesilietteiden määrä vuonna 1999 oli noin 500 000 t ka/a. Jätevedenpuhdistamoilta syntyi bio- ja primäärilietettä noin 270 000, siistauslietettä noin 95 000 ja kuitu- ja pastalietteitä noin 135 000 t ka/a (Metsäteollisuus ry 2000). Tyypillistä kaikille lietteille on, että ne ovat liian märkiä sellaisenaan jatkokäsittelyyn. Kunnostuksen, kuivauksen ja stabiloinnin jälkeen ne ovat yleensä sopivia kompostoitaviksi tai poltettaviksi. (Rantala ym. 1998)

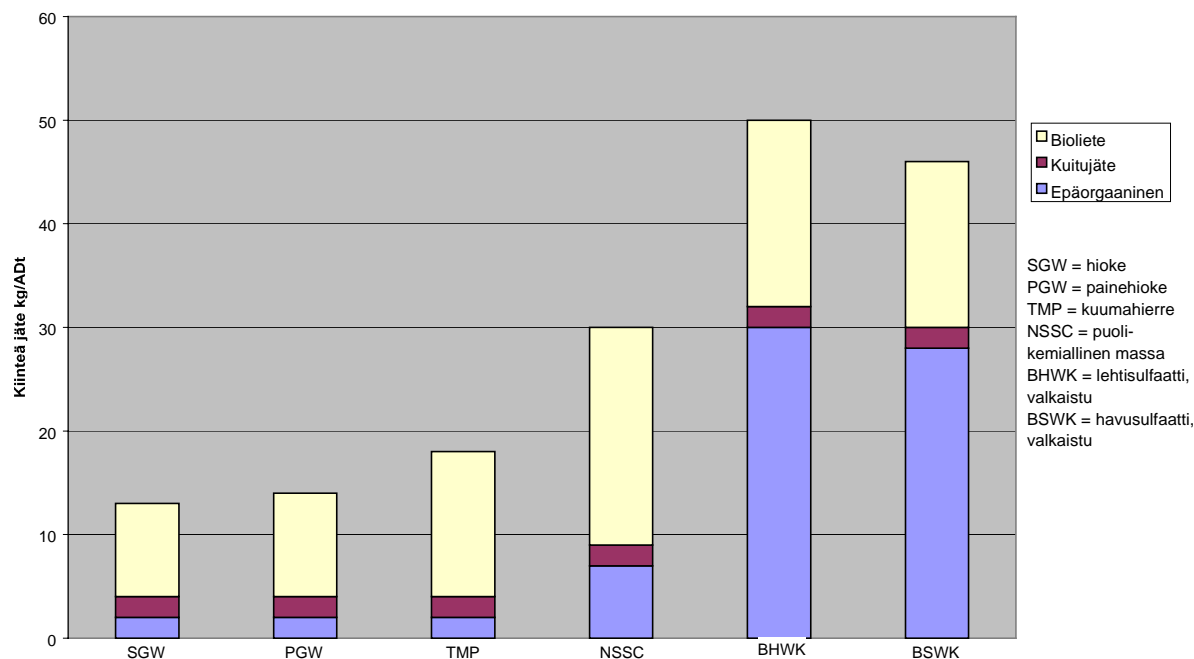
Suurimmat metsäteollisuusmaat EU:n alueella ovat Italia, Saksa, Espanja, Ranska, Iso-Britannia, Ruotsi ja Suomi. Metsäteollisuuden lietteitä syntyy hyvin erilaisia määriä ja käsittelytavat vaihtelevat suuresti eri maissa riippuen esimerkiksi lainsäädännöstä. Aktiivilietelaitoksia on eniten käytössä Suomessa; muissa maissa käytetään enemmän erilaisia biologisia puhdistamoita (esim. biologiset lammikot), mekaanista tai kemiallista käsittelyä.

Sellu- ja paperiteollisuudessa Suomessa on 1990-luvulla lisätty biologisten jätevedenpuhdistamoiden (aktiivilietelaitosten) määrää huomattavasti, mikä on lisännyt myös käsiteltäviä lietemääriä. Paperi- ja selluteollisuuden jätevedenpuhdistuksessa syntyy selkeytysaltaissa laskeutettua primäärilietettä sekä biologista lietettä, joka on jäteveden ravintoaineiden aiheuttamaa mikrobikasvustoa (kuva 8).

Lisäksi syntyy erilaisissa prosesseissa eri tehtailla eri määriä kuitulietteitä, siistauslietettä, kuorilietettä, viherlipeäsjäätettä ja kemiallista lietettä. Kuvassa 9 on erilaisten paperilajien valmistuksessa syntyviä bioliete- ja kuitujätämääriä ja epäorgaanisen aineksen (esim. kalkkirejektin, viherlipeäsjäätteen) määriä tuotantotonnia kohti.



Kuva 8. Metsäteollisuuden aktiivilietemenetelmään perustuva jätevedenpuhdistus. (Raitio 1988)



Kuva 9. Massanvalmistuksen yhteydessä syntynyt jäte (Myreen ja Anhava 1992).

Lietteiden laatu riippuu paljolti prosessista. Primääriliete syntyy jäteveden mekaanisesta puhdistuksesta. Se sisältää kuori-, kuitu-, täyte- ja lisäaineita sekä pigmenttejä. Lietteen tuhkapitoisuus vaihtelee sellutehtaiden 3–20 %:sta aina hienopaperitehtaiden 50–60 %:iin. Lietteiden kuiva-ainepitoisuus mekaanisen vedenerotuksen jälkeen vaihtelee välillä 35–40 % ja tehollinen lämpöarvo käyttökosteudessa on 4–6 MJ/kg. Primäärilietettä syntyy paperi- ja kartonkiteollisuudessa 1,5–2 % tuotannon määrästä, sellutehtaissa noin 2 % tuotannon määrästä kuiva-aineena laskettuna. (Isännäinen 1994a)

Bioliete on jäteveden biologisessa puhdistuksessa syntyvää lietettä, joka erotetaan jätevedestä laskeuttamalla. Bioliete sisältää mikrobimassaa, johon on absorboituneena puun uuteaineita, ligniiniyhdisteitä ja klooriorgaanisia yhdisteitä. Kloorikemikaalien käytön vähentäminen prosesseissa on vähentänyt myös klooriyhdisteiden määrää lietteissä. Klooripitoisuudet ovat suuruudeltaan 0,04–1,5 %. Biolietteen kuiva-ainepitoisuus on tavallisesti 20–35 %, nykyisin tehokkaalla vedenerotuksella päästään jo seoslietteiden yli 40 %:n kuiva-ainepitoisuuksiin. Kuivalla lietteellä on jo merkitystä energiantuotannossakin. Myreen (1989) on laskenut, että 18 %:n kuiva-ainepitoisuus tuottaa jo energiaa seoslietettä poltettaessa. (Saunamäki 1991)

Metsäteollisuuden bioliete eroaa koostumukseltaan ja kuivausominaisuuksiltaan yhdyskuntien jätevesilietteestä. Metsäteollisuuden lietteessä on enemmän puusta peräisin olevia aineksia (ligniini, selluloosa, hiilihydraatit) sekä tuhkaa ja vähemmän rasvaperäisiä

ainesosia (Pere ym. 1992). Fosforimäärä kuivassa lietteessä vaihtelee välillä 0,5–1 %. Ravinnepitoisuudet (P, N) ja raskasmetallipitoisuudet ovat yleensä pienemmät kuin yhdyskuntien jätevesilietteissä (Ruhanen 1992). Liete ei yleensä sisällä suolistobakteereja, kuten yhdyskuntajätevesiliete. Lietteen korkea C/N-suhde voi tehdä lietteen viskoosiksi ja vaikeuttaa mekaanista vedenerotusta. Metsäteollisuuden lietteiden ja konsentraattien viskositeetin alentamista entsyymien avulla on tutkittu mm. CACTUS (vähävetinen paperinvalmistus) -teknologiaohjelmassa (Fagernäs ym. 1999, Viikari ym. 2000).

Kuorimossa syntyy myös lietteitä (hiekanerotus, selkeyttimen liete, kuori). Nämä sekoitetaan ja poltetaan yleensä kuorikattilassa. Jos erillinen kuoriselkeytyn puuttuu, lietteet ohjataan primääriselkeyttimeen. Lietteen määrä vaihtelee kuorimoittain. Uudet kuorimot ovat nykyisin kuivakuorimoita. (Saunamäki 1991)

Siistauksella tarkoitetaan prosessia, jossa poistetaan kierrätyskuidusta epäpuhtauksia kuten mustetta, liimoja, täyteaineita, muovia, metallia ja hiekkaa. Siistauslietettä syntyy siistausprosessissa, kun jätepaperin sisältämät painoväri- ja kuitupartikkelit sekä täyteaineet poistetaan, ja jäljelle jää uusiokuitu. Siistauslietettä syntyy 50–200 kg/t tuotetta. Siistausliete sisältää jonkin verran raskasmetalleja (kupari, kromi, nikkeli jne.), jotka ovat peräisin lähinnä painovärien pigmenteistä, päällystys- ja täyteainemateriaalista, prosessilaitteista ja puukuidusta. Painovärien raskasmetallipitoisuuksia on pyritty vähentämään ja tämä vaikuttaa myös siistauslietteen raskasmetallipitoisuuksiin. Klooripitoisuus on 0,1–0,4 %. Siistauslietteen kuiva-ainepitoisuus on mekaanisen vedenerotuksen jälkeen keskimäärin 40 %. Tuhkapitoisuus on yleensä korkea (n. 50 %). (Isännäinen & Huotari 1994)

Lisäksi syntyy kemiallista lietettä saostettaessa jätevettä kemikaaleilla (esim. alumiinisulfaattilla) ja erotettaessa jätevedestä syntynyttä sakkaa. Lietteiden muodostumiseen vaikuttaa prosessi, joten määrät vaihtelevat tehdaskohtaisesti. Kemiallinen liete on usein haurasta, ja esimerkiksi vedenerotus siitä on vaikeaa.

Sellutehtailla syntyy lisäksi viherlipeä- eli soodasakkaa 5–20 kg sellutonna kohti. Tuotannon kasvaminen sekä vesikiertojen sulkeutuminen lisäävät sakan osuutta tulevaisuudessa. Pääkomponenttina on kalsiumkarbonaatti. Viherlipeäsakan korkea kadmiumpitoisuus sekä pieni kuiva-ainepitoisuus vaikeuttavat loppusijoitusta. Yleensä sakka kuivataan noin 50 %:n kuiva-ainepitoisuuteen ja sijoitetaan kaatopaikalle. Kalkkikierrossa syntyy lisäksi kalkin sammutuksessa jätehiekkaa 5–10 kg/tuotettu sellutonna. Valkoliipeän valmistuksessa syntyy lisäksi meesajätettä, joka sijoitetaan kaatopaikalle. (Ympäristöministeriö 1998)

Syntyneet lietetonnit tuotantoa kohti vaihtelevat huomattavasti riippuen tuotantoprosessista ja jätevedenkäsittelystä. Esimerkkinä sellua ja puuvapaata paperia tuottava tehdas

tuottaa lietettä 5,7 kg/t tuotetta, kun taas kemihierretehtaalla lietettä syntyy 85 kg/t tuotetta. (Rantala ym. 1998)

Taulukkoon 2 on koottu erilaisten metsäteollisuuden lietteiden ominaisuuksia kuiva-aineessa.

Paperi- ja selluteollisuuden puhdistamolietteet on laajalti läjitetty kaatopaikoille tai poltettu kuorikattiloissa muun puujätteen kanssa. Vuonna 1999 noin 76 % jäteveden puhdistuksessa syntyvistä lietteistä ja noin 28 % siistauslietteistä poltettiin. Polttoa rajoittaa pieni kuiva-ainepitoisuus, jolloin syöttö onnistuu yleensä pieninä määrinä pääpolttoaineen joukossa. Biolietteitä voidaan polttaa myös soodakattilassa. Vuonna 1999 sijoitettiin kaatopaikalle metsäteollisuuden jätevedenpuhdistamoiden lietettä 62 000 t ka/a, siistauslietettä 68 000 t ka/a ja kuitu- ja pastalietteitä 68 000 t ka/a (Metsäteollisuus ry 2000). Tiukentuvat kaatopaikkamääräykset lisäävät kiinnostusta energiahyötykäyttöön.

Taulukko 2. Erilaisten metsäteollisuuden lietteiden ominaisuuksia kuiva-aineessa (Isännäinen 1994b, Raitio 1992, Alin ja Salokoski 2000).

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

3. Lietteitä koskeva ympäristölainsäädäntö

Lietteitä koskevia säädöksiä on jätelainsäädännössä, vesilainsäädännössä (VNp 365/94), terveydenhoitolainsäädännössä (VNp 469/95) ja laissa eräistä naapuruussuhteista sekä lannoitelainsäädännössä. EU:n jätelainsäädännössä tavoitteena on aina ensisijaisesti jätteiden synnyn välttäminen, seuraavana ovat hyödyntäminen materiaalina (lannoituskäyttö, viherrakentaminen) tai energiana. Vasta viimeisenä on kaatopaikalle sijoitus.

3.1 Euroopan Neuvoston Direktiivi yhdyskuntajätevesien käsittelystä ja VNp 365/1994 jätevesien käsittelystä

Euroopan Neuvoston Direktiivi (91/271) yhdyskuntajätevesien käsittelystä koskee yhdyskuntajätevesiä sekä tiettyjen teollisuusalojen (esimerkiksi lihanjalostus, panimot, kalajalostus, virvoitusjuomien valmistus) jätevesien käsittelyä ja vesistöön johtamista.

Direktiivin mukaan jäsenvaltioiden on huolehdittava, että jätevesien viemäröintijärjestelmä on vuoteen 2006 (31.12.2005) mennessä taajamissa, joiden asukasvastineluku¹ on yli 2000. Viemäröidyt yhdyskuntajätevedet tulee vuoteen 2006 (31.12.2000) mennessä ennen johtamista vesistöön käsitellä biologisesti taajamissa, joiden asukasvastineluku on yli 2000. Valtioneuvoston päätöksen 365/1994 mukaan tulee viemäröidyt yhdyskuntajätevedet käsitellä biologisesti kaikissa taajamissa vuoteen 2006 mennessä. Direktiivin mukaan lietteiden sijoittaminen mereen on kielletty 31.12.1998 lähtien.

Direktiivi lisää lietemääriä huomattavasti ja siten lietteenkäsittelyn tarvetta EU:n alueella.

3.2 EU:n Kaatopaikkadirektiivi ja VNp 861/97 kaatopaikoista

EU:n Kaatopaikkadirektiivi tuli voimaan heinäkuussa 1999. Valtioneuvoston päätös 861 vuodelta 1997 vastasi jo suurelta osin direktiiviä, ja tarvittavat muutokset on tehty valtioneuvoston päätökseen 1049/99. Yhdyskuntajätettä (ja vastaavaa teollisuusjätettä), josta suurinta osaa biohajoavasta osasta ei ole kerätty erilleen hyödyntämistä varten, ei saisi Suomessa vuoden 2005 alusta lähtien läjittää kaatopaikalle. Tämä kieltä ei nyky muodossaan koske puhdistamolietteitä. On kuitenkin mahdollista että kieltä laajennetaan koskemaan myös muita jätteitä kuin yhdyskuntajätteitä (Paatero 2000). Eräissä EU:n maissa, kuten Hollannissa ja Ruotsissa, on jo kielletty tai tullaan kieltämään polt-

¹ Asukasvastineluku = teoreettinen kuormitusyksikkö, jonka suuruus biologisen hapenkulutuksen suhteen on 90 g BHK₇/d, sisältää asutuksen, palvelun, pienteollisuuden ja vuotovedet

tokelpoisen tai orgaanista ainetta sisältävän materiaalin läjittäminen kaatopaikalle. Ranskassa on kielletty vuoden 2002 jälkeen orgaanista ainetta, vettä ja liukenevia toksisia aineksia sisältävän materiaalin läjittäminen kaatopaikalle (Bebin 1997).

Jätettä, jota ei ole lajiteltu tai esikäsitelty, ei tulisi enää vuoden 2001 jälkeen läjittää kaatopaikalle. Esikäsitelyllä tarkoitetaan fysikaalisia, kemiallisia, biologisia tai termisiä menetelmiä, joiden avulla muutetaan jätteen ominaisuuksia sen määrän tai haitallisuuden vähentämiseksi tai sen käsittelyn helpottamiseksi. Tämän voidaan tulkita tarkoittavan sitä, että vuoden 2002 alusta lähtien kaatopaikalle saa sijoittaa vain lietettä, joka on kuivattu vähintään suotonauhapuristimella tai muulla vastaavalla menetelmällä tai on muulla tavoin esikäsitelty (Paatero 2000).

Kaikkien kaatopaikkojen on täytettävä Kaatopaikkadirektiivin mukaiset pohjarakenteiden vaatimukset 1.11.2007. Kaasunkeräyksen, valumavesien käsittelyn ja kaatopaikan pintarakenteiden on oltava kaatopaikoilla vuoteen 2002 mennessä. Kaatopaikkamaksuilla tulee kattaa kaatopaikan perustamisesta, hoidosta, lopettamisesta ja jälkihoidosta muodostuvat kustannukset. Tämä johtaa kaatopaikkamaksujen nousemiseen tulevaisuudessa. Suomessa kaatopaikkamaksut olivat vuonna 1998 keskimäärin 300 mk/t jätettä, joka on Keski-Eurooppaan verrattuna hyvin alhainen. Lietteiden kaatopaikkamaksut vaihtelivat vuonna 1999 paikkakunnasta ja käsittelytavasta riippuen 122–360 mk/t. Kaatopaikkaverot Suomessa 90 mk/t. Jäteveroa ei tarvitse maksaa jätevedenpuhdistamon lietteestä, joka kompostoidaan tai käsitellään muuten biologisesti kaatopaikalla tätä varten varatulla erillisellä alueella (VNp 495/96).

Teollisuuden kaatopaikoilta ei nykyisin kerätä jäteveroa eikä aina kaatopaikkamaksujaan. Kaatopaikkamaksujen kohoaminen vähentänee kaatopaikoille läjitettävän materiaalin määrää ainakin pitkän ajan kuluessa. Epäselvyydet mm. siitä, miten biohajoavan jätteen rajoitukset tulevat käytännössä hoidettaviksi, ja kaatopaikkamaksujen täysimittaisien kustannuksien periminen ovat kysymyksiä, joista tulisi olla selvät päätökset, jotta muut hyötykäyttövaihtoehdot nousisivat taloudellisesti kiinnostaviksi.

3.3 Jätteenpolttodirektiivi

EU:n jätteenpolttodirektiivi astui voimaan 28.12.2000, kun se julkaistiin Euroopan Yhteisön virallisessa lehdessä. Direktiivi koskee jätteiden ja ongelmajätteiden polttoa ja rinnakkaispolttoa. Se tiukentaa rinnakkaispolton savukaasupäästöjä ja asettaa raja-arvot savukaasunpuhdistuksessa syntyvälle jätevedelle. Suomen viranomaisten tulee sovittaa direktiivi Suomen lainsäädäntöön 28.12.2002 mennessä.

Yhdyskuntalietteiden poltto ja rinnakkaispoltto on jätteenpolttodirektiivin alaista toimintaa. Direktiivin ulkopuolelle rajattiin laitokset, joissa käsitellään 'ensiömassan tuotannon ja massasta valmistettavan paperin tuotannon yhteydessä syntyvä kuituainetta sisältävä kasviperäinen jäte, jos rinnakkaispoltto tapahtuu tuotantopaikalla ja syntyvä lämpö hyödynnetään'. Tämä tarkoittaisi siis sitä, että metsäteollisuuden primääri- ja biolietteet (sekä mahdollisesti siistauslietteet) voitaisiin edelleen polttaa metsäteollisuuden monipolttoainekattiloissa ilman direktiivin mittausvelvoitteita ja raja-arvoja. Kirjaimellisesti luettuna kyseinen artikla ei koskisi tällöin erillistä lietekattilaa, jossa poltettaisiin metsäteollisuuden lietteitä 100 %:sti. Yhdyskuntien jätevesilietteiden sekä teollisuuden polttokelpoisen jätteen poltto kuulunee jatkossakin jätteenpolttodirektiivin alaisuuteen. Viranomaiset tulevat tekemään tulkinnat direktiivistä vuoteen 2003 mennessä.

Taulukossa 3 on mahdollisia mittausvelvoitteista muodostuvia kustannuksia.

Taulukko 3. Arvio EU:n jätteenpolttodirektiivin mukaisista mittauskustannuksista.

	Mittauskustannukset
Jaksottaiset mittaukset	
PCDD/F + Raskasmetallit (Hg, Cd, Tl, Cr, Cu, Co, Mn, V, Sb, As, Pb, Ni)	100 000 mk/mittaus (1 näytteenotto), sis. mittaukset, valmistelut, polttoaineanalyysit
REF:n polttoaineanalyysit + käsittelykustannukset (standardin mukainen)	10 000–15 000 mk/kk
Jatkuvatoimiset mittaukset	
– Hiukkaset, NO _x , SO ₂ , HCl, HF, TOC, CO – O ₂ , H ₂ O, p, T	100 000–130 000 mk/a
Mittausjärjestelmä – näytteenottojärjestelmä – näytteenkäsittelyjärjestelmä – tiedonkeruu, laskenta – raportointi – analysaattori	1 000 000–1 500 000 mk

Jatkuvatoimisista ja jaksoittaisista (PCDD/F, raskasmetallit) mittauksista muodostuvat kustannukset ovat siis vuositasolla 300 000–500 000 mk/a. Jos esimerkiksi polttoaineteholtaan 100 MW:n laitos (8 000 h/a) polttaa kuivattua yhdyskuntalietettä 1 % polttoainetehosta, mittauksista muodostuvat kustannukset ovat 13–30 mk/t lietettä. Lisäkustannuksia voi tulla myös lietteen syöttöjärjestelmästä.

Jätteenpolttodirektiivi tiukentaa savukaasunpäästöjen raja-arvoja jätteitä rinnakkaispolttavilla laitoksilla. Jos laitos polttaa esimerkiksi 1 % lietettä pääpolttoaineen seassa, täytyy laitoksen tehdä jätteenpolttodirektiivin mukaiset mittaukset ja saavuttaa jätteenpolttodirektiivin asettamat päästörajat. Vanhoissa laitoksissa uusien tiukempien raja-arvojen saavuttamiseen tarvittavat investoinnit voivat olla suuriakin. Uusinvestointina tehokkaammat savukaasunpuhdistuslaitteistot eivät tuo kovinkaan suuria lisäkustannuksia. Tapauskohtaisesti olisikin varmasti järkevä harkita metsäteollisuuden polttokelpoisen jätteen sekä kaupungin yhdyskuntajätevesilietteen ja polttokelpoisen jätteen kohdalla yhteisiä käsittelymahdollisuuksia. Terminen käsittely on jätteiden käsittelyhierarkiassa ennen kaatopaikkasijoitusta. Lisäksi nousevat kaatopaikkamaksut lisäävät varmasti kiinnostusta lietteiden termiseen käsittelyyn.

3.4 Puhdistamolietteiden käyttö maanviljelyksessä

Lietteet sisältävät erilaisia ravinteita, fosforia, typpeä sekä hivenaineita. Kaliumin määrä lietteissä on varsin vähäinen. Raskasmetallipitoisuudet vaihtelevat riippuen yhdyskunnan ja pienteollisuuden jätevesien laadusta.

Uusia lietteenkäsittelyvaihtoehtoja kehitetään vastaamaan tiukentuviin ympäristönormeihin. Puhdistamolietteitä on käytetty maanviljelyssä mutta maanviljelykäyttö on vähentynyt viime vuosikymmeninä tiukentuvien ympäristönormien ja kielteisten asenteiden takia. Toisaalta jätelain hengen mukaisesti lietteiden hyötykäyttöä tulisi lisätä.

Valtioneuvoston päätöstä puhdistamolietteen käytöstä maanviljelyssä sovelletaan yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoissa syntyvän, sekä muun vastaavan laatuisen lietteen tai siitä valmistetun lieteseoksen käyttöön maanviljelyksessä. Liette tulisi ennen sen käyttöä maanviljelyksessä käsitellä mädättämällä, kalkkistabiloimalla tai muulla tavalla, jolla voidaan vähentää merkittävästi taudinaiheuttajien määrää, hajuhaittoja sekä lietteen käytöstä aiheutuvia terveys- ja ympäristöhaittoja. Maanviljelyksessä saa käyttää vain sellaista lietettä, jonka raskasmetallipitoisuudet eivät ylitä annettuja raja-arvoja (taulukko 4). Lietettä voidaan käyttää vain sellaisella viljelymaalla, jonka raskasmetallipitoisuudet eivät ylitä annettuja raja-arvoja. Viljelymaan pH:n on oltava yli 5,8. Lietettä saa käyttää vain viljelymaalla, jolla kasvatetaan viljaa, sokerijuurikasta tai öljykasveja, tai kasveja, joita ei käytetä ihmisen ravinnoksi tai eläimen rehuksi. Lietteiden käyttömäärä valitaan maaperän laadun ja viljeltävien kasvien ravinnetarpeen perusteella. Kuivattu liete voidaan levittää pellolle vain sulan maan aikaan tai keväällä rajoitetusti lumettomaan mutta routaiseen maahan, nestemäistä lietettä ei saa levittää lumelle tai roudalle. Jätevedenpuhdistamon haltijan tulee lietetoimituksen yhteydessä antaa käyttäjälle lietteen laatua koskevat tiedot.

Taulukko 4. Valtioneuvoston päätöksen 282/94 asettamat suurimmat sallitut raskasmetallipitoisuudet maanviljelyksessä käytettävän puhdistamolietteen/lieteseoksen käytölle (mg/kg ka) ja tavoite vuodelle 1998.

	Sallittu pitoisuus mg/kg ka	Tavoite 1.1.1998 mg/kg ka)	Mädätetty jätevesiliete, Espoon Vesi (mg/kg ka)	Jätevesiliete, Seinäjoki (mg/kg ka)
Hg	2	1,0	1,2	0,3
Cd	3	1,5	0,92	0,7
Ni	100	100	31	28
Pb	150	100	43	11,3
Cu	600	600	280	89,3
Zn	1 500	1 500	590	580
Cr	300	300	32	14,7

Päätöksessä asetettuja raja-arvoja ei sovelleta metsään levitettävälle puu- tai turvetuhkalle, julkiseen viherrakentamiseen eikä maisemointiin tarkoitettuihin maanparannusaineisiin.

3.4.1 Puhdistamolietteiden käyttöä koskevan direktiivin (86/278) muutosehdotus (Bryssel, 27.4.2000)

Puhdistamolietteiden käyttöä koskevan direktiivin muutosehdotus on valmisteilla EU:ssa. Direktiiviehdotus on vielä luonnosvaiheessa komissiossa, ja ehdotuksen odotetaan valmistuvan vuonna 2001. Direktiiviehdotuksessa on esitetty tiukennuksia raskasmetallien raja-arvoille. Valtioneuvoston päätöksessä 282/94 annetut raja-arvot raskasmetallin osalta ovat tosin jo nykyisin tiukemmat kuin ehdotuksessa. Taulukossa 5 esitetään direktiiviehdotuksen raja-arvot lietteiden käytölle maanviljelyksessä. Raja-arvoja dioksiineille ja furaaneille, PCB:lle ja joillekin muille direktiiviehdotuksen luonnoksessa oleville komponenteille lietteiden käyttöön maanviljelyssä ei Suomen lainsäädännössä vielä ole. Direktiiviehdotuksen luonnoksessa on ehdotettu direktiivin laajentamista koskemaan puhdistamolietteiden maatalouskäytön lisäksi myös viherrakentamista, maisemointia ja metsäkäyttöä, mahdollisesti myös metsäteollisuuden puhdistamolietteiden maatalouskäyttöä.

Taulukko 5. Orgaanisten yhdisteiden, dioksiinien ja raskasmetallien sallitut pitoisuudet lietteille maanviljelykäytössä, ehdotettu huhtikuussa 2000.

	Direktiivi 278/86/EEC mg/kg ka	Uudet ehdotetut raja-arvot mg/kg ka	VNp 282/94 raja-arvot mg/kg ka
Cd	20–40	10	1,5
Cr	–	1 000	300
Cu	1 000–1 750	1 000	600
Hg	16–25	10	1,0
Ni	300–400	300	100
Pb	750–1 200	750	150
Zn	2 500–4 000	2 500	1 500
AOX		500	
LAS(Linear alkybenzene sulphonates)		2 600	
DEPH (Di 2-ethylhexylphthalate)		100	
NPE (nonylphenoethoxylates)		50	
PAH		6	
PCB		0,8	
PCDD/F		100 ng TE/kg ka	

Puhdistamolietteiden käyttö tulisi tehdä siten, että minimoidaan haitalliset vaikutukset ihmisille, elämille, kasveille, pohja- ja pintavesille sekä maaperälle. Puhdistamolietteitä ei tulisi levittää metsiin, ellei ole tarvetta lisäravinteille.

Lietteiden tuottajan tulisi vastata lietteen laadusta ja taata sen soveltuvuus käyttöön. Lietteestä tulee tehdä analyysit raskasmetallien, orgaanisten yhdisteiden, mikro-organismien ja ravinteiden osalta. Analyysien vaihteluväli riippuen lietteen määrästä on 1–12 analyysiä vuodessa.

Maaperästä pitää tehdä analyysit ennen puhdistamolietteen käytön aloittamista ja sen jälkeen joka kymmenes vuosi. Maaperästä on analysoitava ainakin pH, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb ja Zn.

Käsittelemätöntä lietettä ei saisi levittää pelloille eikä maahan. Direktiivissä ehdotetaan myös ne käsittelyprosessit, joita voidaan pitää käsittelynä. Näitä ovat kalkkikäsittely, aerobinen ja anaerobinen käsittely sekä terminen käsittely.

Uudistus yhtenäistää käytäntöjä eri Euroopan maissa, mutta Suomen lainsäädäntö on jo pitkälti direktiivin mukainen. Suurimmat muutokset tulisivat raja-arvoista lietteiden ja lieteseoksien viherrakennuskäytölle sekä metsäkäytölle ja toisaalta direktiiviehdotuksessa on esitetty raja-arvoja myös tietyille orgaanisille yhdisteille (esim. PAH, PCB,

PCDD/F, NPE, DEPH), joita tällä hetkellä ei ole Suomen lainsäädännössä. Direktiiviehdotus on luonnosvaiheessa.

Lietteiden materiaalikäyttö on kestävä kehityksen mukaista toimintaa, ja siten entistä enemmän lietteitä tulisi käyttää materiaalihyötykäyttöön.

3.5 Lannoitelainsäädäntö

Puhdistamolietteistä voidaan valmistaa maanparannuskompostia tai lannoitetta ja kuivatusta lietepelletistä lannoitteita sellaisenaan tai lisäämällä tuotteeseen lisäravinteita. Lopputuote on tällöin lannoitelain mukaisesti lannoite. Tällöin sen käyttöä koskevat lannoitelaki (VNp 232/93) ja sitä koskevat säädökset.

Kun puhdistamolietteistä valmistetaan lannoitteita ilman ravinnelisäyksiä, nämä kuuluvat lannoiteluettelon mukaisesti orgaanisiin lannoitteisiin. Näitä valvoo Kasvintuotannon tarkastuskeskus (KTTK). Orgaanisille lannoitteille on asetettu lannoitelaisissa (MMM:n päätös 45/94) seuraavat laatuvaatimukset:

- Tuote ei saa sisältää tautia aiheuttavia bakteereita.
- Tuotteen tulee sisältää pääravinteita vähintään: N+P+K 4 % tai N+P, N+K tai P+K 3 %.
- Jokaista tyyppinimessä mainittua ravinnetta tulisi olla vähintään 1 %.
- Kadmiumpitoisuus enintään 50 mg/kg fosforia.

Jos lietteestä valmistetaan lannoitetta lisäämällä kivennäisravinteita, näitä kutsutaan silloin orgaanisiksi kivennäislannoitteiksi. Lannoitelain mukaisesti näille on asetetut seuraavat laatuvaatimukset:

- Tuote ei saa sisältää tautia aiheuttavia bakteereita.
- Tuotteen tulee sisältää pääravinteita vähintään: N+P+K 7 % tai N+P, N+K tai P+K 5 %.
- Jokaista tyyppinimessä mainittua ravinnetta tulisi olla vähintään 10 %.
- Kadmiumpitoisuus enintään 50 mg/kg fosforia.

Maa- ja metsätalousministeriön päätös (46/1994) eräistä lannoitevalmisteista koskee mm. kompostivalmisteita ja maanparannusaineita. Siinä kompostivalmisteille ja maanparannusaineille on asetettu raskasmetallien osalta raja-arvot, jotka pääperiaatteissaan ovat samat kuin Vnp:ssä 282/1994 puhdistamolietteiden käytöstä maanviljelyksessä. Arseenille on kompostituotteelle ja maanparannusaineelle asetettu raja-arvo ja kromipitoisuutta ei rajoiteta.

Maatalouden ympäristötuki rajoittaa pellolle väkilannoitteissa lisättävän fosforimäärän 15 kg:aan/ha/a. Puhdistamolietteen fosforista lasketaan 75 % väkilannoitefosforia vastaavaksi, joten fosforia saa levittää pellolle keskimäärin 20 kg/ha/a. Levitystekniikoiden takia näin tarkkaan levitysmäärään lietteiden osalta on vaikea päästä nykytekniikoilla.

Käsiteltyjen (mädätys, kompostointi, terminen kuivaus) lietteiden käyttö maanviljelyksessä sellaisenaan tai lannoitteina on materiaalikierrätystä, ja siten sen tulisi olla aina ensisijainen vaihtoehto ennen energiakäyttöä. Lannoitekäyttö ja käyttö maanviljelyksessä ovat viime vuosina kasvaneet, ja varsinkin metsälannoitus tuo uusia vaihtoehtoja lietteenkäsittelylle. On kuitenkin vaikea arvioida, mikä suuntaukseksi tulee lietteiden lannoitekäytössä, sillä siihen vaikuttavat myös paikalliset olot, muut vaihtoehdot ja sanktiot sekä kustannusten kehittyminen ja lainsäädäntö tulevaisuudessa.

3.6 Ehdotus biohajoavan jätteen biologiselle käsittelylle

EU:n komission jätehuollon osasto esitti 20.10.2000 työversion biohajoavan jätteen biologisesta käsittelystä (EU 2000). Sen tarkoituksena on parantaa biohajoavan jätteen käsittelyä ja toisaalta olla apuna kaatopaikkadirektiivin (1999/3/EC) vaatimusten täytäntöönpanossa. Tarkoituksena on myös harmonisoida eri jäsenvaltioiden toimia biohajoavan jätteen osalta ja nostaa ympäristönsuojelun tasoa, suojella maaperää ja varmistaa, että biologisesti käsitellyn biojätteen käyttö parantaa maaperän laatua. Ehdotuksen liitteeseen on myös poimittu EWC:stä (Euroopan Unionin jäteluettelosta) ne jätefraktiot, joita pidetään biohajoavina. Näihin kuuluvat mm. sahanpuru, kuori, viherlipeäsakka, kuitu- ja paperiliete, jätevedenpuhdistamoiden lietteet sekä biokaasutuksessa syntyvät lietteet.

Esityksen mukaan biohajoavan jätteen käsittelyssä pitäisi rohkaista ottaen huomioon kustannukset

1. biohajoavan jätteen syntyä (esimerkiksi jätevesiliete) ja haitallisten aineiden pitoisuuksia siinä
2. biohajoavan jätteen materiaalikäyttöä (esim. pahvi)
3. erikseen kerätyn biohajoavan jätteen uudelleenkäyttöä (paperi, pahvi)
4. erikseen kerätyn biohajoavan jätteen kompostointia tai biokaasutusta
5. mekaanista/biologista stabilisaatiota lajittelemattomalle biohajoavalle jätteelle
6. biohajoavan jätteen energiakäyttöä.

Ehdotuksessa asetetaan myös tiettyjä vaatimuksia prosesseille, kuten lämpötilan ja hajukaasupäästöjen seurantavaatimukset. Kompostituotteelle esitetään luokituksia tuotteen raskasmetallipitoisuuden, orgaanisen aineksen määrän ja epäpuhtauksien suhteen. Sa-

moin biokaasutuslaitokselle asetetaan tiettyjä seurattavia prosessivaatimuksia, kuten lämpötila ja viipymäaika prosessissa tai hygienisointivaatimukset hydroyysijäännökselle. Lisäksi on biokaasua käyttäville polttomoottoreille annettu päästö- ja mittausvaatimukset ilmaan johdettavalle poistokaasulle.

Suomessa ei vielä valvota kompostiprosessia eikä tuotetta muuten kuin lannoitelainsäädännön kautta, joten direktiivi voi tuoda uusia velvoitteita mutta myös mahdollisuuksia tuotteen markkinoinnille.

Tämä on vasta ehdotus, joka muotoutuu varmasti vuosien myötä käsittelyissä. Se indikoi kuitenkin joitakin muutoksia ja tarpeita biohajoavan jätteen käsittelyn tason parantamiseksi ja harmonisoimiseksi EU:n alueella.

3.7 Jäte- ja ongelmajäteluettelon muutosehdotus

Euroopan Unionin jäte- ja ongelmajäteluettelo (EWC) ollaan uudistamassa. Myös lietteet ovat mukana jäteluettelossa.

EWC:n kohta 19 01 koskee jätteenpoltossa (myös lietteenpoltossa) syntyvää lentotuhkaa ja kohta 10 01 rinnakkaispoltossa syntyvää lentotuhkaa. Jätteenpoltossa tai rinnakkaispoltossa syntyvä lentotuhka on joko vaarallista jätettä tai tavallista jätettä riippuen haitallisten aineiden pitoisuudesta materiaalissa. Ongelmajätteeksi luetaan muun muassa materiaali, jonka myrkyllisten aineiden yhteispitoisuus ylittää 3 % tai erittäin myrkyllisten aineiden yhteispitoisuus 0,1 %². Jäsenvaltiot voivat käyttää raja-arvoina kemikaalilainsäädännön raja-arvoja tai omia kansallisia raja-arvoja. Tavoitteena on, että uusi jäteluettelo astuisi voimaan vuoden 2002 alussa.

3.8 Lietteiden karakterisointi – CEN-standardiehdotus lietteiden ja jätteiden yhteispolttoon

Characterization of sludges – Good practice for combined incineration of sludges and household waste (prEN 13768)

CEN on perustanut työryhmän lietteiden karakterisoimiseksi ja osoittamaan ns. BAT-tekniikkaa lietteiden ja kotitalousjätteiden yhteispoltolle. Työryhmässä pyritään työstämään analyttisiä metodeja ja hyviä toimintamalleja lietteiden käsittelylle.

² Luokituksella ja pitoisuusrajoilla tarkoitetaan niitä rajoja tai luokitusta, joista on säädetty vaarallisten valmisteiden luokitusta, pakkaamista ja merkintöjä koskevien jäsenvaltioiden lakien, asetusten ja hallinnollisten määräysten lähtettämisestä annetussa neuvoston direktiivissä 88/379/ETY ja sen myöhemmissä muutoksissa.

Lietteiden yhteispolttoa jätteen kanssa puoltaa maantieteellinen sijainti (jätteet ja lietteet syntyvät yleensä samalta alueelta), jätevedenpuhdistamon läheisyys, jätteitä polttavan laitoksen kapasiteetti sekä jätteiden ja lietteiden kausittaiset vaihtelut.

Jätteenpolttolaitosten käyttöaika on tavallisesti 7 000–8 000 h/a. Lietteen tuottajan tulee kuitenkin varustautua vaihtoehtoiseen käsittelyyn tai varastointiin polttolaitoksen alasajotilanteissa tai ennakoimattomissa pysäytyksissä, varsinkin jos polttolaitoksella on vain yksi polttolinja.

Tietyt lietteille tyypilliset fysikaalis-kemialliset ominaisuudet, jotka vaikuttavat esimerkiksi polttoprosessiin, huoltotarpeeseen, laitteiston kulumiseen ja päästöjen määrään olisi tunnettava. Sekä jätteen tuottajan että käyttäjän tulisi tuntea näytteenotto- ja kontrollointimenetelmät ja niiden validiteetti sekä vaatimukset poltettavalle lietteelle.

Nikkelin, sinkin, lyijyn, antimonin, koboltin, talliumin, berylliumin, seleenin ja vanadiinin pitoisuudet lietteessä ovat avuksi määritettäessä tarvetta vanhojen laitosten muutoksille siirryttäessä lietteenpolttoon ja uusien laitosten suunnitteluun. Lisäksi lietteenkäsittelyn lisäaineet, kuten polymeerit, orgaaniset flokkulentit ja fosfaatinpoistotuotteet, vaikuttavat lietteen laatuun ja ne on otettava huomioon laitteistojen mitoituksessa.

Standardiehdotuksessa annetaan suosituksia lietteille sopiville käsittelytekniikoille ympäristöä ja työhygieniää ajatellen, polttoa ja kuljetusta varten. Standardi on laadittu lähinnä massapolttolaitoksille (arinakattilat, polttouunit).

Characterisation of sludges – Good practice for sludges incineration with and without grease and screenings (prEN 13767)

Ehdotuksessa prEN13767 käsitellään lietteiden karakterisointia ja hyviä käytäntöjä lietteiden poltolle. Ehdotuksessa esitetään lietteiden tyypilliset alkuaineominaisuudet ja näiden vaikutuksia polton, savukaasunpuhdistuksen, jätevesien käsittelyn ja tuhkan jälkikäytön suunnitteluun.

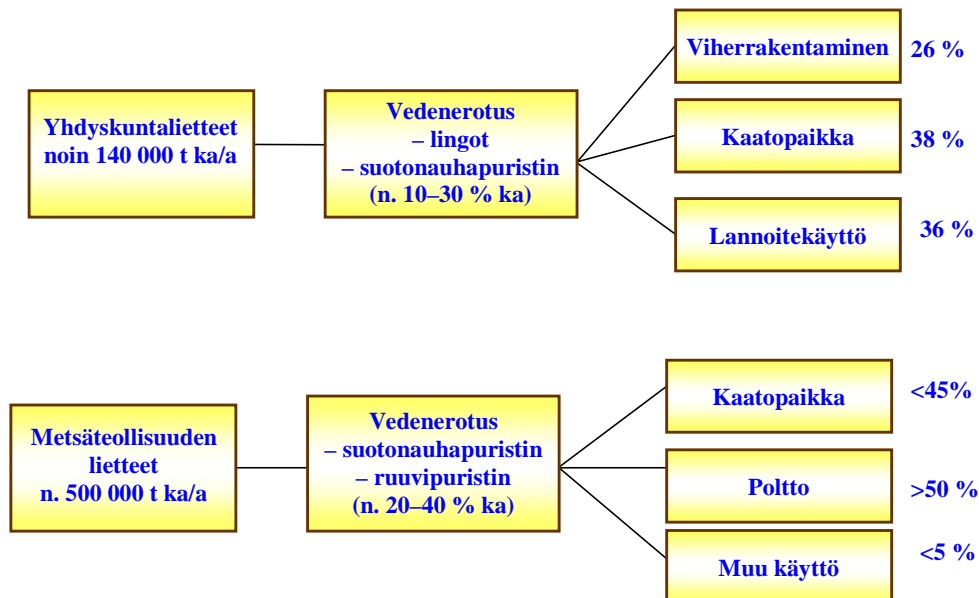
Standardissa tarkastellaan lähemmin erilaisia polttouuneja ja lietteiden polttoa niissä.

Karakterisointityöryhmän sihteerinä toimii Pirjo-Riitta Rantala (Pirkanmaan Ympäristökeskus) ja Suomen edustajana TC 308:ssa on Juhani Puolanne (Syke).

4. Lietteenkäsittelytekniikat

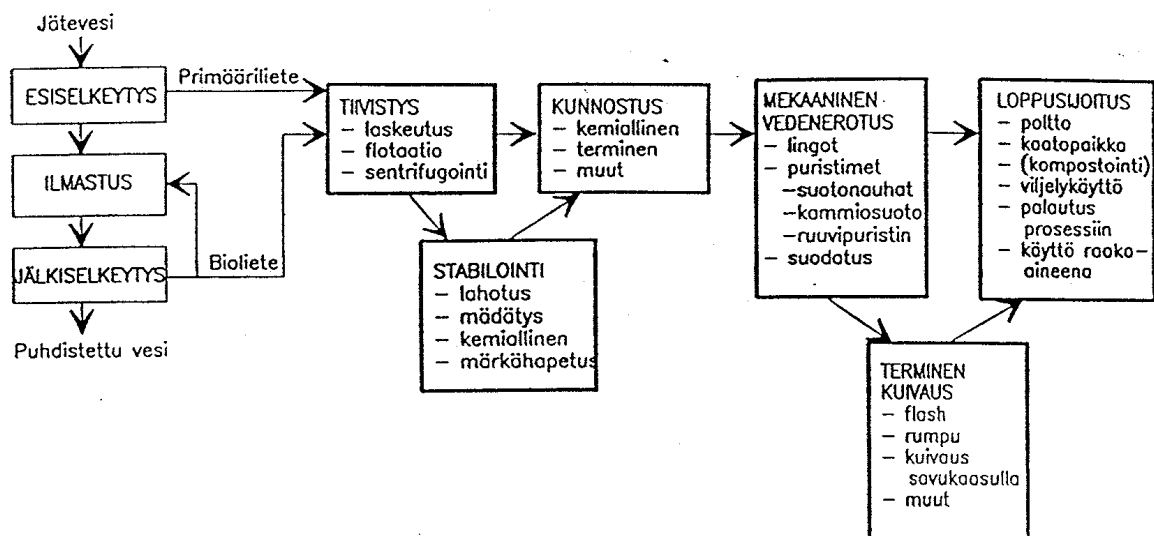
Lietteitä käsitellään kuljetus- ja käsittelykustannuksien vähentämiseksi, arvokkaiden aineiden (N,P) talteensaamiseksi, kuljetuksessa ja loppusijoituksessa syntyvien hajuhaittojen minimoimiseksi, ympäristölle haitallisten aineiden määrän vähentämiseksi ja turvallisen loppusijoituksen mahdollistamiseksi. Voimassa olevat ohjeet ja määräykset (VNp 282/94, VNp 861/97) edellyttävät myös lietteiden käsittelyä ennen maatalouskäyttöä tai loppusijoitusta (Puolanne 1994).

Kuvassa 10 esitetään vuoden 1999 ja 1997 tietoihin perustuen vallitsevat lietteiden käsittelytekniikat Suomessa.



Kuva 10. Lietteiden määrät ja käsittely Suomessa (Tilastokeskus 2000, Metsäteollisuus ry 2000, Isännäinen 1994 a ja b).

Lietteen käsittelyvaihtoehdot ja käsittelytavat vaihtelevat erikokoisissa laitoksissa, yhdyskunnissa ja metsäteollisuudessa. Kuvassa 11 on käsittelytavat ryhmitelty ja kohdissa 4.1–4.7 niitä käsitellään tarkemmin.



Kuva 11. Lietteiden käsittelyn ja loppusijoituksen vaihtoehtoja (Isännäinen 1994b).

4.1 Esikäsittely

Lietteitä esikäsitellään määrän pienentämiseksi, laadun parantamiseksi ja loppusijoituksesta aiheutuvien haittojen minimoimiseksi. Esikäsitelyssä nostetaan lietteiden kuiva-ainepitoisuutta ja vähennetään biologista aktiivisuutta ennen johtamista muuhun käsittelyyn. Esikäsitelyyn kuuluu tiivistys, stabilointi ja kunnostus.

4.1.1 Tiivistys

Tiivistyksellä ja sakeutuksella tarkoitetaan lietteiden kuiva-ainepitoisuuden nostamista, yleensä 2–3-kertaiseksi. Tiivistyksessä lietteiden sisältämän veden määrä vähenee. Lietteiden tiivistyksessä lietteiden kuiva-ainepitoisuus nostetaan keskimäärin 4–5 %:iin. Yleisimmät laitteet ovat gravitaatio- ja flotaatiotiivistimet, suodatinrummut ja kaariseulat.

Laskeutustiivistys

Liete voidaan sakeuttaa selkeyttimessä. Toiminta perustuu lieteosakepartikkelien painovoimaiseen laskeutumiseen kohti pohjaa, josta tiivistynyt liete pumpataan jatkokäsittelyyn.

Laskeutustiivistys voi olla joko jatkuva- tai panostoiminen. Lietevesi poistetaan imu- tai teleskooppiputkien avulla. Tiivistynyt liete poistetaan säiliön pohjalta. Laskeutusaika vaihtelee 6–12 h. Jatkuvat toimiset tiivistämöt on varustettu yleensä pohjalaahaimella.

Yli 12 h:n viipymä tiivistämössä ei ole suositeltavaa, sillä muutoin liete alkaa mädäntyä. Laskeutustiivistyksellä päästään kuiva-ainepitoisuuksiin 2,5–10 % (taulukko 6). (Viitasaari ym. 1994)

Laskeutustiivistyksen etuja ovat prosessin helppohoitoisuus, soveltuvuus erityyppisille lietteille ja pienet käyttökustannukset. Haittoja ovat suurehko tilantarve ja mahdolliset hajuongelmat. (Krogerus & Hynninen 1992)

Laskeutustiivistys on yleisin käytössä oleva lietteen tiivistysmenetelmä. Sitä käytetään ylijäämälietteen tiivistämiseen. Metsäteollisuuden primäärilietteitä ei yleensä tiivistetä vaan ne johdetaan usein suoraan vedenerotukseen. (Krogerus & Hynninen 1992)

Taulukko 6. Tiivistyksen vaikutus lietteen kuiva-ainepitoisuuteen (Viitasaari ym. 1994).

	Kuiva-ainepitoisuus %
Mekaaninen liete	6–10
Biologinen aktiiviliete	2,5–3
Biologinen suodatinliete	4–8
Sekaliete	5–9

Flotaatiotiivistys

Lietteen flotaatiosakeutusta käytetään jonkin verran puunjalostusteollisuudessa. Flotaatiossa tulevaan lietteeseen sekoitetaan kierrätysvettä, johon on liuotettu ilmaa paineenalaisena. Kun paine laskee, ilma vapautuu pieninä kuplina, jotka tarttuvat lietehiukkasiin ja nostavat ne pintaan. Pinnalta lietehiukkaset kaavitaan lietekouruun. Kokemukset flotaatiotiivistyksestä ovat vielä vähäiset. (Viitasaari ym. 1994)

Flotaatiotiivistystä tehostetaan usein polyelektrolyyteillä (1–5 kg/ka t liete). Tiivistyksen jälkeen lietteen sakeus on 1–5 % riippuen lietetyypistä ja flokkauskemikaalista. Käyttökustannuksiltaan flotaatiotiivistys on gravitaatiotiivistystä kalliimpi.

Flotaatiotiivistyksen etuja ovat soveltuvuus kevyille lietteille, lyhyt viipymäaika ja pieni tilantarve. Huonoja puolia ovat kalliit käyttökustannukset. (Krogerus & Hynninen 1992)

4.1.2 Lietteen stabilointi

Lietteen stabiloinnilla tarkoitetaan lietteen saattamista vähemmän haitalliseen tilaan kuljetusta, levitystä tai loppusijoitusta varten. Lietteet voidaan stabiloida kemiallisesti

(kalkkistabilointi), biologisesti (anaerobinen mädätys), aerobisesti (kompostointi) tai fysikaalisesti (lämpökäsittely). Stabiloinnissa lietteessä tapahtuva biologinen toiminta keskeytetään. Liette voidaan stabiloida ennen kuivausta, kuivauksen yhteydessä tai sen jälkeen. Stabiloinnilla liete kuivataan yleensä yli 20 %:n kuiva-ainepitoisuuteen, jolloin orgaanisen aineksen hajoamistoiminta on heikentynyt. (Harmaa ym. 1987)

Kalkkistabilointi

Kalkkistabilointi perustuu lietteen pH:n nostamiseen yli 11:een, jolloin kaikki biologinen toiminta pysähtyy. Kalkkia lisätään lietteeseen niin, että pH on vielä 14 vuorokauden päästä yli 11. Ennen tiivistystä tai kuivausta käytetään stabiloinnissa sammutettua kalkkia. Kalkinlisäys parantaa myös kuivatusominaisuuksia. Kuivauksen jälkeen lietteeseen voidaan lisätä poltettua kalkkia.

Tarvittavat kalkkimäärät ovat (Viitasaari ym. 1994):

- mekaaninen liete: 100–150 kg Ca(OH)₂/t TS
- sekaliete: 300–500 kg Ca(OH)₂/t TS 200–400 kg CaO/t TS.

Kalkkistabiloinnin etuna on prosessin yksinkertaisuus. Tuotteesta ovat patogeeniset bakteerit ja virukset kuolleet, ja kalkitun lietteen käyttö soveltuu hyvin suomalaiseen maaperään. Haittapuolena ovat korkeahkot kemikaalikustannukset (450–480 mk/t Ca(OH)₂) ja lietemäärän kasvaminen kalkin lisäyksen kautta. Kalkkistabilointia käytetään lähinnä pienillä kunnallisilla puhdistamoilla. (Viitasaari ym. 1994)

Anaerobinen käsittely

Anaerobisessa mädätyksessä biomassan orgaaninen aines muuttuu erilaisten hapetuspelkistysreaktioiden seurauksena hiilen pelkistyneemmäksi muodoksi metaaniksi CH₄, hapettuneemmaksi muodoksi CO₂:ksi ja niiden välissä olevaksi ns. hydrolyysijäännökseksi. Metaanikäymistä edeltävissä vaiheissa biomassan kuidut ja polymeerit pilkkoutuvat ja muuntuvat metaanibakteereille soveltuviksi substraateiksi. Huomattavaa metaanin muodostumista tapahtuu ainoastaan viimeisen vaiheen, metaanikäymisen, aikana. Anaerobiseen prosessiin vaikuttavat pH (optimi pH 6,8–7,2), tietyt stimuloivat ja inhiboivat alkuaineet, kuten Na⁺, K⁺, Ca²⁺, NH₃, ja C/N-suhde. (Hänninen & Leinonen 1996)

Anaerobiprosessi tapahtuu tavallisesti lämpöeristetyssä ja kaasutiiviissä teräsbetonisäiliössä, johon kuuluvat lietteen syöttö-, kierrätys-, poisto-, sekoitus-, lämmitys- ja kaasunkeräyslaitteet. Kuormitus on mädättämöön tulevan orgaanisen aineksen määrä reaktiokuutiometriä kohden vuorokaudessa. Mädättämön tilavuudeksi voidaan laskea 30–100 l/as. Suurissa mädättämöissä viipymäaika on 10–15 päivää ja orgaaninen kuorma 3–5 kg TS/m³×d. Keskisuurissa ja pienissä mädättämöissä viipymäaika on 15–20 päivää ja orgaaninen kuorma 2–3 kg TS/m³×d. Syöttölietteen sakeus kunnallisessa lietteenkäsittelyssä on 4–7 %. (Viitasaari ym. 1994)

Mädättämön toimiessa normaalisti noin 40 % lietteen orgaanisesta aineksesta muuttuu kaasuksi, 10 % liukenee lieteveeteen ja 50 % jää lietteeseen. Kuiva-ainepitoisuus pienenee kaikkiaan 30–40 %. Nykyisissä laitoksissa liete lämmitetään prosessin nopeuttamiseksi. (Viitasaari ym. 1994)

Anaerobiset prosessit voidaan jakaa kryofiiliseen, mesofiiliseen ja termofiiliseen mädätykseen. Kryofiilialueella toimivaa mädätystä on käytetty aiemmin kunnallisten jätevesilietteiden stabilointiin. Prosessi vaatii kuitenkin pitkän viipymääjan, ja reaktoritilavuudet kasvavat todella suuriksi. Mesofiilisessä mädätyksessä toimitaan lämpötila-alueella 30–42 °C, jolloin vallitsevat pääasiassa ns. mesofiiliset metanogeeniset bakteerit ja operatiivinen lämpötila pidetään + 37 °C:ssa. Tällä lämpötila-alueella laitokset toimivat melko stabiilisti. Useimpien mesofiilisten laitosten hydraulinen retentioaika on 15–25 päivää. Prosessi on erittäin herkkä lämpötilavaihteluille. Syntyvän kaasuseoksen lämpöarvo on noin 25 MJ/m³. Suurin osa tällä hetkellä Suomessa käytössä olevista bio-kaasutusreaktoreista toimii mesofiilisellä alueella. (Hänninen & Leinonen 1996)

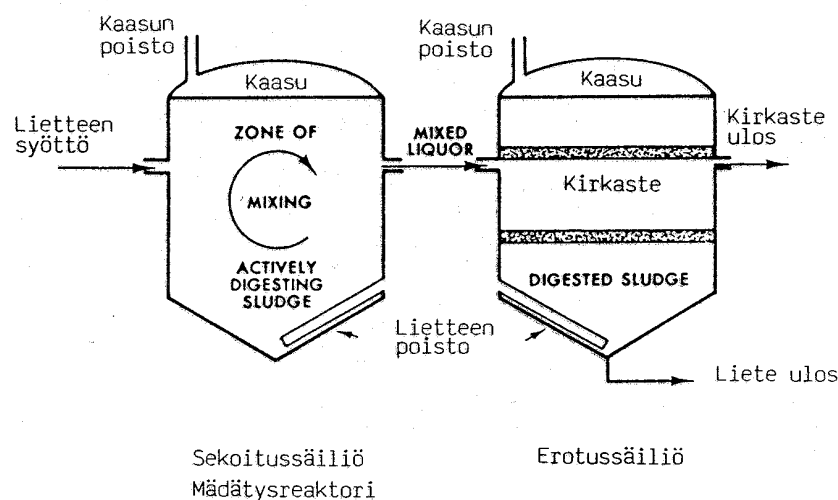
Termofiilisessä mädätyksessä toimitaan lämpötila-alueella 50–65 °C ja operatiivinen lämpötila on +55 °C. Konversionopeus on tällöin mesofiilialuetta suurempi, joten reaktorin koko on pienempi. Termofiiliset laitokset ovat herkempiä biomassan ja lämpötilan nopeille vaihteluille. Etuja ovat tuotannon nopeus, tautia aiheuttavien bakteerien tehokkaampi kuoleminen ja tehokkaampi vedenerotus lietteestä. Huonoja puolia ovat suuret lämmityskustannukset ja huonolaatuinen rejektivesi. (Hänninen & Leinonen 1996)

Biokaasureaktorit voidaan jakaa neljään ryhmään:

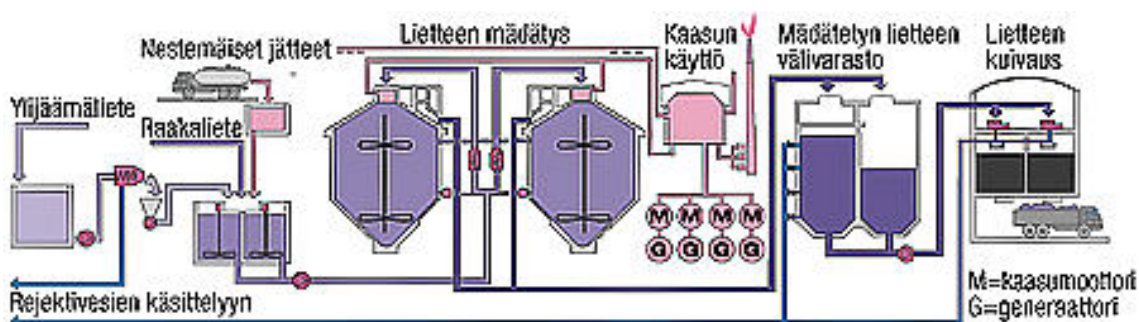
1. Jatkuvasekoittaiset reaktorit, jossa jäte pumpataan erilaisin väliajoin reaktoriin ja reaktorista ulos, jolloin se sekoittuu mädättämössä olevan biomassan kanssa.
2. Kaksifaasireaktorisysteemi, jossa jätettä hajotetaan ensin lyhyen retentioajan omaavassa hydrolyysireaktorissa, jonka jälkeen tehdään metanointi.
3. Tulppavirtausreaktorissa biomassa virtaa reaktorin läpi siten, ettei tuore biomassa pääse sekoittumaan osittain hajonneen biomassan kanssa.

4. Kontaktireaktorit ovat hyviä biomassoille, joissa on pieni määrä hajotettavaa kiintoainesta (< 1 %).

Kuvassa 12 on tyypillinen kaksivaiheinen tulppavirtausreaktori. Ensimmäisessä tankissa syntyy suurin osa biokaasusta (95 %) (Puhakka ja Alavakeri 1989). Kuva 13 esittää anaerobista käsittelyä.



Kuva 12. Kaksivaiheinen mädätys (Puhakka ja Alavakeri 1989).



Kuva 13. Anaerobinen käsittely (Helsingin Vesi 2000).

Mädättämön toiminnalle on tärkeää hyvä sekoitus. Sekoitukseen voidaan käyttää mekaanista sekoitusta, kaasusekoitusta tai lietteen kierrätystä. Muodostuva kaasu voidaan käyttää poltin- ja kattilajärjestelmissä sekä polttomootoreissa. Edellisistä saadaan lämpöä, jälkimmäisistä generaattorin avulla myös sähköä. Jätevedenpuhdistamoissa suurin osa biokaasun energiasta menee lietteen, reaktorin ja biokaasun säilytyslaitteen (kaasukellon) lämmitykseen. Kaasun käyttötapa ja prosessin ajotapa määräävät, tarvitaanko kaasun varastotilaa. Tasaisen kaasuntuotannon takaamiseksi rakennetaan yleensä noin vuorokauden tuotantoa vastaava matalapaineinen kaasukello. (Puhakka & Alavakeri 1989)

Energian suhteen jo muutaman kymmenen tuhannen asukkaan puhdistamo on omavarainen. Investointikustannukset ovat melko korkeat, joten mädätys onkin lähinnä keski- suurten ja suurten laitosten lietteen stabilointimenetelmä. (Viitasaari ym. 1994)

Mädätyksessä lietteen määrä vähenee, koska osa orgaanisesta aineksesta muuttuu metaaniksi (CH₄) ja hiilidioksidiksi (CO₂), mutta samalla lietteen lämpöarvo putoaa noin 17,5 MJ/kg:sta noin 10,5 MJ/kg:een. Tämän vuoksi mädätetyn lietteen polttoa ei pidetä kovinkaan järkevänä jatkoprosessointina. Mädätys soveltuu hyvin puhdistamoille, joissa liete loppusijoitetaan kaatopaikalle.

Usein mädätys ja kompostointi yhdistetään hydrolyysijäännöksen kompostointiin. Esimerkiksi Helsingin Vesi ja Espoon Vesi mädättävät jätevesilietteen ensin, kuivaavat sen lingoilla ja kompostoivat hydrolyysijäännöksen. Hydrolyysijäännöksen kompostoinnissa ovat haju- ja bakteeriemissiot huomattavasti alemmalla tasolla kuin kompostoitaessa raakaa lietettä. Kompostoitu liete käytetään esimerkiksi viherrakentamiseen. (Hänninen & Leinonen 1996, Werther & Ogada 1999).

Hydrolyysijäännöksen kuivaus tai hygienisointi termisesti on mahdollista, jolloin sen käsittely helpottuu ja tuote voidaan käyttää lannoitteena tai polttoaineena.

Jätevedenpuhdistamojen yhteydessä toimii nykyään kymmenkunta lietemädättämöä. Suomessa on toiminnassa 19 biokaasutuslaitosta; 14 lietteille, yksi yhdyskunnan biojätteelle ja jätevesilietteelle ja viisi teollisuuden jätevesilietteille. Noin 70 % Suomen jätevesilietteistä stabiloidaan, ja noin 50 % näistä lietteistä stabiloidaan anaerobisesti. (Hänninen ja Leinonen 1996)

Markkinoilla olevia biokaasutusreaktoreita

Citec Oy:n kehittämä *Waasa*-prosessi on kehitetty erityisesti biojätteen sekä jätevesilaitosten lietteiden anaerobikäsitteilyyn (liite 1). Suomessa on käytössä yksi tällainen laitos, Vaasan Stormossenilla. Toisessa linjassa biokaasutetaan kotitalousjäte ja toisessa linjassa liete. Kotitalousjätteen käsittelylinjaan kuuluu murskain, seula, magneetinerotus, märkäerotus ja homogenisointi. Seulalla erotettu jätejäte (RDF) kerätään erilleen ja käytetään polttoon. Homogenisointi tapahtuu erillisessä laitteistossa (Mixseparator), joka on *Citec*in patentoima. Siinä biojäte homogenisoidaan ja lämmitetään ja aloitetaan osittain hydrolyysi. Reaktorit on suunniteltu toimimaan suuremmalla kiintoainepitoisuudella kuin lietemädättämöt. Näin ollen reaktorien tilavuudet ovat pienemmät, mikä parantaa prosessin taloudellisuutta. Reaktorikapasiteetti on suunniteltu 500 tonnista aina 100 000 tonniin vuodessa. (*Citec* 1999)

Liete sekoitetaan prosessiveteen (70 °C), ja siihen sekoitetaan jo mädätettyä lietettä. Orgaanisen aineksen hajoaminen tapahtuu joko noin 55 °C:ssa termofiilialueella tai 37 °C:ssa mesofiilialueella. Retentioaika on 10 päivää termofiilialueella ja 20 päivää mesofiilialueella toimittaessa. Biokaasutuotanto on 100–150 m³/t biojätettä. Mädätyksessä syntyy hydrolyysijäännös, joka kuivataan 28–35 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. Biokaasutusreaktorissa lietteen tilavuus pienenee noin 60 %, paino noin 50–60 %. Orgaanisen aineksen vähenemä on noin 50 %. Laitoksella voidaan käsitellä sekä lietteitä että kotitalousjätteitä, lajiteltua ja lajittelematonta kotitalousjätettä, kalajätettä, lantaa ja teollisuuden nestemäisiä jätteitä. (Citec 1999)

Tekra Oy tarjoaa jatkuvatoimista täyssekoitusbiokaasutusreaktoria, joka toimii mesofiilialueella (35–37 °C). Syötesakeus voi vaihdella välillä 4–15 %. Mädätetty liete voidaan kuivata lingolla 30 %:n kuiva-ainepitoisuuteen, minkä jälkeen liete hygienisoidaan vielä ruuvikuljettimessa, jossa lämpötila nostetaan 100 °C:seen. Kuiva-ainepitoisuus nousee tällöin 50 %:iin. Liete varastoidaan ja toimitetaan sitten hyötykäyttöön. Syntynyt biokaasu varastoidaan ja voidaan käyttää sähkön ja lämmön tuotantoon generaattorissa. Hallitilojen poistoilma voidaan käsitellä biosuodattimella.

YIT Oy tarjoaa kiintojätteen mädätyslaitoksia, joissa mädätystä edeltää jätteen lajitteluvaihe. Vastaanotettu liete hygienisoidaan ja välivarastoidaan ennen mädätystä. Liete biokaasutetaan termofiilisessä tai mesofiilisessä prosessissa. Liete kuivataan lingolla ja sen jälkeen termisesti (80 % ka) ja käytetään lannoitteeksi tai viherrakentamiseen. Orgaanisen aineksen vähenemä on 50 %. Biokaasulla tuotetaan vain lämpöä, josta suurin osa kuluu lietteen hygienisointiin ja kuivaamiseen.

Lietteen kompostointi

Lietteiden aerobinen käsittely eli kompostointi perustuu aerobisten bakteerien toimintaan ja tuloksena on ravinnerikasta kompostimultaa. Aerobisessa prosessissa orgaanista hiiltä, vetyä ja happea sisältävät yhdisteet hajoavat hiilidioksidiksi ja vedeksi sekä stabiiliksi humukseksi. Samalla syntyy myös runsaasti energiaa, joka kuluu prosessin lämmitykseen ja solusynteesiin. Ammoniumyhdisteet hapettuvat suurilta osin ensin nitraatiksi ja sulfidimuotoinen rikki sulfaatiksi. Kompostoinnissa pyritään luonnossa esiintyvää suhteellisen hidasta hajotustoimintaa nopeuttamaan lämpöeristyksellä sekä takaamalla mikrobeille riittävä hiilen, ravinteiden, veden ja hapen saanti. (Heinonen-Tanski 1997)

Aktiivisessa hajotuksessa happi voi kulua massan sisällä loppuun jo muutamassa tunnissa. Kompostin kääntäminen onkin hajotustoiminnan kannalta tarpeellista. Jättemassa kuohkeutuu ja tuuletus parantuu, partikkelikoko pienenee, ja massa homogenisoituu.

Komposti on stabiloitunutta, kun lämpötila ei enää nouse kääntämisen jälkeen. Tällöin aktiivinen kompostoituminen on ohi. Kompostin jälkikompostoituminen jatkuu kuitenkin vielä stabiloitumisen jälkeen. Kypsymisvaihe kestää kuukausia ja on hidasta verrattuna aktiiviseen kompostoitumiseen. Kypsymiselle tunnusomainen prosessi on humuksen muodostuminen. Stabiloimattoman kompostin käyttäminen kasvualustana voi johtaa maan käyttökelpoisen typen biologiseen sitoutumiseen ja kasvien typen puutteeseen.

Panosprosessissa voidaan havaita mesofiilinen vaihe, nopea lämpötilan nousu, jolloin hapenkulutus on suurin (termofiilinen vaihe), jäähtymisvaihe ja jälkikypsymisvaihe. Kaiken kompostoitavan materiaalin tulee käydä läpi kaikki yllämainitut vaiheet. Hygienisoitumisen vuoksi tulisi lämpötilan nousta 55–60 °C:seen muutamaksi päiväksi. (Heinonen-Tanski 1997)

Kompostointiprosessiin vaikuttavat sopiva C/N-suhde (n. 25–50:1), C/P-suhde (75–150:1) sekä muut ravinteet kuten K, Mg, Ca ja S. Kompostin ravinnesuhteita, kosteutta ja kaasujen vaihtumista voidaan säädellä sopivan seosaineen avulla. Seosaineina voidaan käyttää turvetta, kuivaa lehti- ja neulaskariketta, haketta tai kutterilastua sekä näiden seoksia. Turpeen haittapuolena on massan tiivistyminen ja etuna hyvä ammoniumtypen sitomiskyky. Seosaineen valinnassa on kiinnitettävä huomiota hintaan, saatavuuteen sekä laadun tasaisuuteen. Kompostointi soveltuu parhaiten aineille, joiden kuiva-ainepitoisuus on yli 30 %. Kompostoinnin kannattavuus riippuu tuotteesta saatavasta hinnasta sekä myös tukiaineen hinnasta, koska tukiainetta käytetään yleensä 1–2 kertaa lietteen määrää. Esimerkiksi käytettäessä turvetta on tukiainekustannus noin 60 mk/liete-kuutio. Kompostituotteen laadun vaihtelu haittaa markkinointia.

Kompostorityypit:

1. Sylinterityyppisessä kompostorissa sylinteri on 0–17 °:n kulmassa, ja massa johdetaan sisään ylhäältä. Massa lämpenee ja tehokas hajotus alkaa. Massa viipyy sylinterissä muutamia päiviä, jolloin noin kolmannes tai puolet hiilestä hajoaa. Tarvitaan jälkikompostointi aumoissa.
2. Siilokompostorissa kompostoitava massa nostetaan ylös, ja hajoamisprosessin lämpö lämmittää massaa. Massa tiputetaan alaspäin 3–8 tasoa päivittäin. Hyviä puolia ovat hyvä sekoitus ja hapetus sekä eri hajoamisvaiheissa olevien massojen pysyminen erillään.
3. Tankki- ja tunnelikompostorit. Massa kulkee tankista toiseen ja sekoittuu. Pintalatarve on melko suuri. Jälkikompostointi aumassa tarvitaan. (Heinonen-Tanski 1997)

Kompostoinnin haittapuolia ovat tilantarve, ilmastusaineen tarve sekä haju- ja emissiohaitat. Kompostointi olisi asutuskeskusten läheisyydessä tehtävä suljetuissa tiloissa (esim. tunnelikompostointi tai reaktorikompostointi), mikä lisää investointikustannuksia. Kompostoinnissa energia vapautuu matala-asteisena lämpönä, jonka hyödyntäminen on vaikeaa.

Aumakompostointiajaksi vesi- ja ympäristöhallitus suosittelee Etelä-Suomessa 20–25 päivää ja Pohjois-Suomessa 25–30 päivää. Tällöin saadaan 40 %:n vähenemä orgaanisessa kuiva-aineessa. Aumakompostoinnin tilantarve on 1–2 ha/10 000 m³/a kompostia. (Viitasaari ym. 1994)

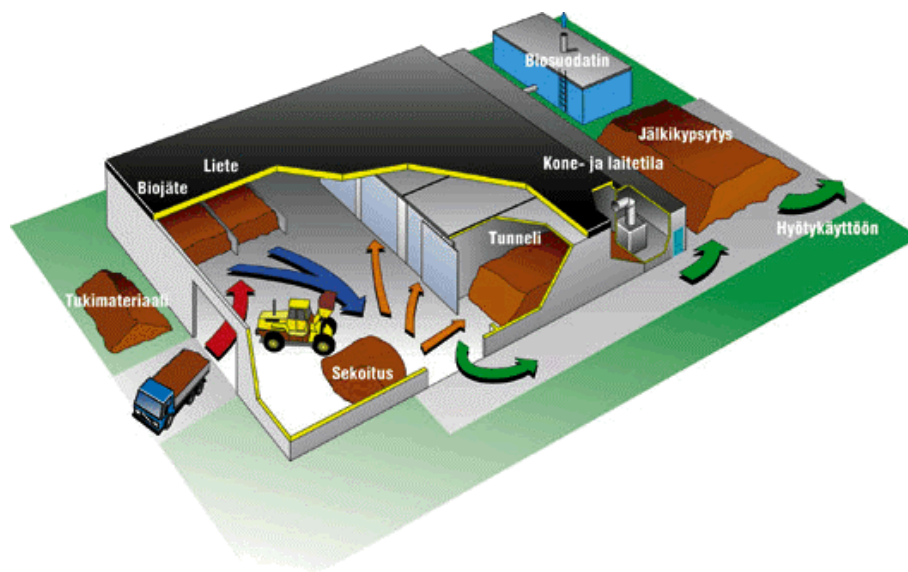
Reaktorikompostoinnissa viipymät ovat muutamia viikkoja, yleensä tarvitaan kuitenkin jälkikypsytyks aumassa. Reaktorikompostoreissa saadaan 15–20 %:n vähenemä orgaanisessa kuiva-aineessa.

Kompostoinnissa massan määrä pienenee noin kolmanneksella. Kompostoitua lietettä voidaan kuljettaa sellaisenaan kaatopaikalle tai käyttää viherrakentamiseen. Kompostoituun lietteeseen voidaan lisätä hiekkaa ja savea ominaispainon lisäämiseksi sekä mahdollisesti kalkkia ja joitakin ravinteita. Kompostimultaa käytetään esimerkiksi viherrakentamisessa, kaupunkien puistorakentamisessa ja golffkenttien rakentamisessa. Kaupunkien yhdyskuntalietteestä valmistettu kompostimultaa on tähän asti sijoitettu kaatopaikoille peitemaaksi tai viherrakennuskohteisiin. Jos kompostimullan määrä lisääntyy suuresti, voidaan olettaa, ettei kaikkea kompostimultaa saada käytetyksi. Kompostoinnissa saadaan ravinteita kiertoon ja vähennetään keinolannoitteiden määrää. Heikkouksia ovat kysynnän vaihtelu, tuotteen laadunvaihtelut, seosaineiden saatavuus ja korkeat tuotantokustannukset. Kompostimullasta saatavat tuotot vaihtelevat 0–50 mk/m³.

Markkinoilla olevia kompostoreita

Vapo Oy Biotech tarjoaa Wastech-tunnelikompostoreita (kuva 14) lietteiden kompostointiin. Liette sekoitetaan aluksi pyöräkuormaajalla tukimateriaaliin, jona on hake, kuori tai turve. Tunnelikompostoinnissa kompostoitava aines kasataan noin kolmen metrin paksuiseksi patjaksi. Massan läpi puhalletaan ilmaa (raitista ilmaa tai kiertoilmaa tunnelista) ilmastuslaitteen kautta. Tarvittaessa massa voidaan kastella vielä päältä. Näin optimoidaan happipitoisuus, kosteus ja lämpötila koko kompostointiprosessin ajan. Kompostin lämpötila pidetään 55–60 °C:ssa, jolloin taudinaiheuttajabakteerit tuhoutuvat. Jätevesiliete voidaan kääntää (siirtää toiseen tunneliin) käsittelyn aikana, mikä parantaa ilmastusta. Reaktorivaihe kestää 2–3 viikkoa, jonka jälkeen hajuton ja multamainen massa siirretään aumaan jälkikypsytystä varten. Siirron yhteydessä massa seulotaan ja tukiaine otetaan talteen mahdollisuuksien mukaan uudelleenkäyttöä varten. Jälkikyp-

sytys kestää nopeimmillaan noin kolme kuukautta, jonka jälkeen lopputuote on valmista raaka-ainetta esimerkiksi viherrakentamiseen. Tunnelikompostoidun lietteen lopputuotteenä syntyvää massaa voidaan suoraan käyttää myös sivupolttoaineena biopolttoaineita käyttävissä lämpö- ja voimalaitoksissa (s. 59). Prosessia ohjataan automaattisesti, mikä vähentää työvoiman tarvetta. Syntyvät hajukaasut puhdistetaan biosuodattimella ja mahdollisesti vielä pesurilla. Orgaanisen aineen vähenemä on noin 15 %. Käytössä on monia referenssikohteita ympäri Suomen. (Vapo Oy Biotech 1999)



Kuva 14. Tunnelikompostointilaitos, Vapo Oy Biotech.

Biofacta Oy tarjoaa Quantor-kompostoria, jossa kompostointi tapahtuu vaaka-akselin ympäri pyörivässä rummussa. Automaattisesti ohjatussa rummussa kompostoitava massa siirtyy rummun sisällä eteenpäin. Samanaikaisesti kompostimassa sekoittuu ja ilmastuu. Massaa liikuttaessa siitä vapautuu mikrobien toiminnan seurauksena lämpöenergiaa ja hiilidioksidia, ja lämmin kostea höyry imetään kompostorin rummusta ulos puhaltimilla ja voidaan tarvittaessa hyödyntää tai käsitellä esimerkiksi otsonoimalla. Rummusta saatavaa kompostimassaa voidaan käyttää sellaisenaan lannoitteeksi tai maanparannusaineeksi tai jälkikypsyttää se aumoissa. Rumpukäsittelyn viipymäksi voidaan arvioida noin seitsemän vuorokautta riippuen materiaalista. Yhtiöllä on useita referenssilaitoksia Suomessa lietteille. Pääosa Biofactan valmistamista rumpukompostoreista on käytössä maataloudessa. (Biofacta 2000)

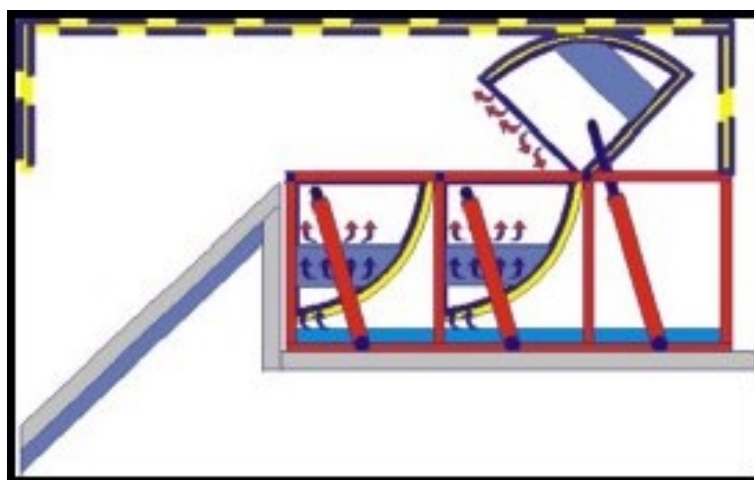
Rumen Oy tarjoaa myös lietteille kompostointiprosesseja (kuva 15). Rumenilla prosessiin kuuluu lietteen kuivaus (esimerkiksi lingolla), tukiaineen sekoitus ja syöttö pyöräkuormaajalla ja sen jälkeen rumpukompostointi. Kuljetin siirtää valmiin kompostimassan automaattisesti rummuista suoraan tunneleihin. Hajukaasut käsitellään kemiallisella pesurilla ja biosuotimella. Rumenin referenssit käyttävät aina sekä lietettä että biojätettä.

Viipymä on 10–15 vuorokautta. Tilantarve on melko suuri. Orgaanisen aineksen vähenemä on noin 20 %. (Rumen 1999)



Kuva 15. Rumen-kompostointilaitos.

Fanikom Oy tarjoaa kääntökauhakompostoria (kuva 16). Kompostointiprosessi on kaksivaiheinen. Sekä esi- että jälkikompostointi tapahtuu samassa lämpöeristetyssä ja suljetussa laitteessa, mikä takaa nopean ja tasaisen kompostoitumisen. Esikompostoinnissa kompostorin ensimmäiset kauhat täytetään ja kompostia sekoitetaan kääntämällä massa seuraavaan kauhaan. Kääntyvässä kauhassa komposti säilyttää kerroksellisen pintarakenteensa ja pieneliötoiminta voi jatkua, mutta ilmaa saadaan lisää. Ilmastus tapahtuu sekä käännettäessä että jatkuvasti kanavien kautta. Tarvittaessa ilmastus voidaan tehdä koneellisesti. Kääntökauhakompostori soveltuu lähinnä pienille/keskisuurille jätevedenpuhdistamoille, viipymäaika on 45 vrk – 6 kk riippuen kapasiteetista. (Fanikom Oy 2000)



Kuva 16. Fanikom-kääntökauhakompostori (Fanikom 2000).

Taulukkoon 7 on koottu eri stabilointiteknikoiden etuja, haittapuolia ja käyttökohteita.

Taulukko 7. Lietteen stabilointi.

	Edut	Haitat	Käyttö
Kalkki-stabilointi	+ yksinkertainen + patogeenit/virukset kuolevat	– korkeat kemikaalikustannukset – lietemäärät kasvavat	Pienet kunnalliset jätevedenpuhdistamot
Biokaasutus	+ kompostointia edullisempi + ei juuri hajuhaittoja + tilantarve kompostointia pienempi + energiaomavarainen + lietemäärä vähenee 30–60 % + vähentää CH ₄ -päästöjä, kasvihuonekaasuja	– prosessin epävarmuus – herkkä olosuhdemuutoksille – korkeahkot investointikustannukset – mädätyksessä bakteerit eivät pysty hajoittamaan lingiiniä, ei sovellu siten kuitulietteil le – jäljelle jäävä hydrolyysijäännös tulee käsitellä	Isot tai keskisuuret kunnalliset jätevedenpuhdistamot
Aumakompostointi	+ yksinkertainen + edullinen + ravinteet kiertoon	– hajuhaitat – linnut ja tuhoeläimet – usein epät ä ydellinen reaktio – tuotteen laadunvaihtelut	Pienet tai keskisuuret kunnalliset jätevedenpuhdistamot
Kompostointi-reaktorit	+ massan määrä pienenee noin 30 % + käyttö viherrakentamiseen, maanparannukseen, tuloja + ravinteet kiertoon	– kaikelle kompostimullalle ei aina kysyntää – joskus hajuhaittoja – tilantarve – seosaineen tarve suuri – tuotteen laadunvaihtelut	Isot tai keskisuuret kunnalliset jätevedenpuhdistamot

4.1.3 Lietteen kunnostus

Kunnostuksen tarkoituksena on parantaa lietteiden käsiteltävyyttä seuraavaa prosessivaihetta varten (yleensä kuivaus). Kunnostus on fysikaalista (paine- ja lämpökäsittelyt) tai kemiallista. Fysikaalista kunnostusta ei juuri käytetä. (Harmaa 1987)

Lietteen stabilointi ja kunnostus ovat tärkeitä, sillä ne määräävät jatkokäsittelyyn menevän lietteen määrän ja niillä on vaikutuksia lietteen kemialliseen koostumukseen. Kunnostuskemikaalien määrä on nykyisin suuri, kun pyritään yhä suurempiin kuiva-ainepitoisuuksiin.

Kemiallisessa kunnostuksessa kemikaaliliuos syötetään lietteeseen. Tarkoituksena on sitoa lietepartikkeleita ja parantaa niiden vedenluovutusominaisuuksia. Kemiallinen kunnostus tehostaa lietteen mekaanista kuivausta huomattavasti. Kemiallisen kunnos-

tuksen avulla tasataan lietteen laadun vaihteluita ja saadaan aikaan tasainen ja hallittu lietteenkäsittely. Yleensä kunnostus aloitetaan jo lietteen sakeutuksessa, jossa saadaan pienillä kemikaalimäärillä tehostettua laskeutumista. (Syväpuro 1991)

Kunnostuksessa käytettävät kemikaalit ovat yleensä alumiini- ja rautasuoloja tai orgaanisia polyelektrolyyttejä. Lietteiden kunnostukseen soveltuvat epäorgaaniset suolat, kuten alumiinikloridi, polyalumiinikloridi, alumiinisulfaatti, ferrisulfaatti, ferrokloridisulfaatti, sammutettu ja sammuttamaton kalkki. Epäorgaaniset suolat yhdessä kalkin kanssa koaguloivat lietepartikkeleita ja neutraloivat samalla hiukkasten negatiivista pintavarauksia, joten hiukkaset muodostavat isompia flokkeja. Orgaanisten polyelektrolyyttien reaktionopeus on suurempi ja muodostuvat flokit ovat kestävämpiä. Polyelektrolyytit voivat vaikuttaa hiukkasten pintakemiaan eri tavoin, riippuen niiden ioniluonteesta tai kemiallisesta koostumuksesta. Polyelektrolyytit voivat olla anionisia, kationisia, amfolyttisiä tai nonionisia. (Syväpuro 1991.) Kunnostuskemikaalien annostus vaihtelee 1–5 kg/t ka. (Viitasaari ym. 1994)

Epäorgaanisten kemikaalien avulla saadaan varmempi kuivaustulos kuin polyelektrolyyttien avulla lietteen laadun vaihdellessa, mutta polyelektrolyyttien flokkausteho on yleensä epäorgaanisia kemikaaleja suurempi. Tarvittava polyelektrolyyttien määrä on kuiva-ainetonnina kohti pienempi, ja käsittely on yleensä helpompaa. Polttoon menevän lietteen kunnostuskemikaali voi aiheuttaa haitallisia päästöjä ja toisaalta lisätä korrosioriskiä lämpöpinnoilla. (Raitio 1988)

Kammiosuotopuristimilla kunnostuskemikaalina on käytetty kalkkia, ferrikloridia ja alumiinisulfaattia. Annostukset ovat luokkaa 10–20 % lietteen kuiva-aineesta laskettuna. Runsaalla kemikaaliannoksella saavutetaan biolietteellä kohtuullinen kuiva-ainepitoisuus, mutta tämä lisää samalla epäorgaanisen aineksen osuutta lietteessä, mikä haittaa lietteen polttoa. (Harmaa 1987)

Ruuvipuristimilla on käytetty kunnostukseen polyelektrolyyttejä 1,5 kg:sta aina 25 kg:aan lietteen kuiva-ainetonnina kohti. Suotonauhapuristimella polyelektrolyyttien kulutus alkaa 1,5 kg:sta ja kasvaa 10 kg:aan biologisen lietteen osuuden kasvaessa. Bio- ja primäärilietteen osuudet vaikuttavat kuivausprosessin kapasiteettiin. Lietteiden kuivauksessa lingoilla käytetään kunnostukseen yleensä polyelektrolyyttejä. (Harmaa 1987)

Kemiallisen kunnostuksen kustannuksia on taulukossa 8.

Termisessä kunnostuksessa pyritään rikkomaan lietteen kemiallinen rakenne, jotta solunsisäinen vesi saataisiin myös poistettua. Jäähdytykseen ja kuumentamiseen perustuvia kunnostustekniikoita on käytössä eri puolilla maailmaa yhdyskuntalietteiden käsittelyyn. Lämmityksen tarkoituksena on laskea veden viskositeettia ja rikkoa sen ke-

miallinen rakenne, jäädytyksessä pyritään siirtämään solunsisäinen vesi soluja rikkomalla välivedeksi, joka saadaan poistettua. Lämpökäsittelyprosessissa liete kuumentetaan (60–250 °C) hapettomassa tilassa viipymän ollessa 30–45 minuuttia.

Taulukko 8. Kemiallisen kunnostuksen kustannukset (Harmaa 1987).

Lietelaatu	Polyelektrolyyttikustannus mk/t ka	Kemikaalikustannus mk/t ka	Kokonaiskustannus mk/t ka
Primääriliete, paperitehdas	20		20
Primääriliete+kuoriliete	35–40		35–40
Sekaliete (bioliete <20 %)	50–60		50–60
Sekaliete (bioliete 20–40 %)	70–100		70–100
Sekaliete (bioliete <20 %)	20–30	30 PAC	50–60
Sekaliete (bioliete 20–40 %)	40–50	40 PAC	80–90
Sekaliete			
10 % ferrikem.		50 Fe	
25 % Ca(OH) ₂		135 Ca(OH) ₂	185

Lämpökäsittelyn muunnelma on märkäpoltto, jossa reaktoriin lisätään ilmaa tai happea. Lämpökäsittelyn etuja ovat mekaanisessa kuivauksessa saatava korkea kuiva-ainepitoisuus, lietteen steriloituminen ja jälkikäsittely- ja kuljetuskustannusten pieneeminen. Haittoja ovat korkea pääomakustannus, nestemäisten ja kiinteiden sivuvirtojen käsittely ja lämmönvaihtimen korkeat huoltokustannukset. (Kyllönen 1986)

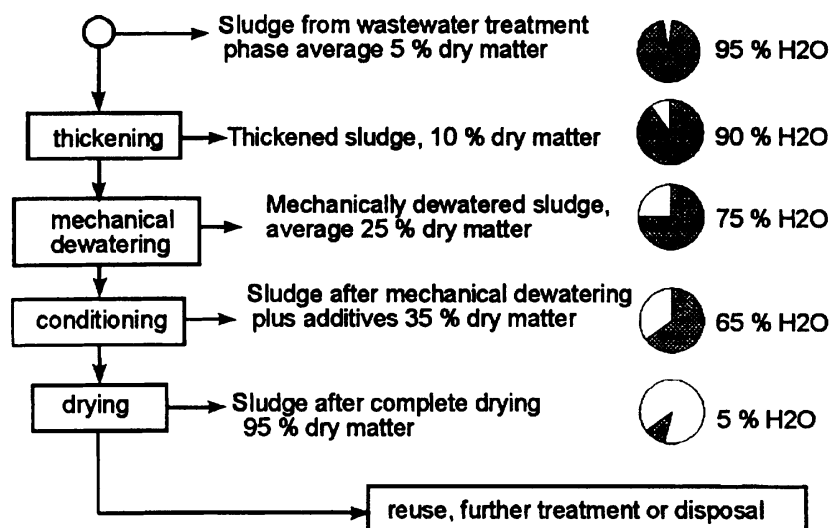
Taulukossa 9 vertaillaan kunnostustekniikoita, niiden hyviä ja huonoja puolia sekä käyttökohteita.

Taulukko 9. Lietteen kunnostus.

	Edut	Haitat	Käyttö
Kemikaalit – epäorg. – polyelektrolyytit	+ lietteiden kuivaus helpompaa + varastointitarve pieni	– kulutus suuri – polyelektrolyytit kalliita	Metsäteollisuus, yhdyskunnat.
Lämmitys	+ kuivaus paranee + pieni kunnostuskemikaalitarve + liete steriloituu	– korkeat investointi/käyttökustannukset – suuri huoltotarve – korroosio	Ei Suomessa
Jäädytys	+ ka-pit. jopa 50–60 %		Ei Suomessa
Tukiaine	+ vaikeillekin lietteille	– kustannus tukiaineista – lietemäärä kasvaa	Kunnalliset pienet ja keskiuuret jätevedenpuhdistamot

4.2 Lietteen kuivaus

Useissa pienissä puhdistamoissa stabilointia seuraa vielä nykyisin kuljetus kaatopaikalle tai pellolle. Suuremmissa jätevedenpuhdistamoissa liete kuivataan ennen jatkokäsittelyä. Erilaisilla kuivausprosesseilla saavutetaan erilaisia kuiva-ainepitoisuuksia riippuen prosessista ja lietteen laadusta (kuva 17).



Kuva 17. Lietteen kuiva-ainepitoisuudet lietteen käsittelyn eri vaiheissa (Manzel 1989).

Lietteiden laatu vaikuttaa niiden kuivattavuuteen. Esimerkiksi bioliete sisältää paljon solunsisäistä nestettä, joten sen kuivaaminen on usein vaikeampaa kuin kuitua runsaasti sisältävien primäärilietteiden. Jätevesilietteiden vesipitoisuus jakautuu siten, että 70–75 % on vapaata vettä, 20–25 % adheesio- ja kapillaarivettä ja noin 2 % on adsorptio- ja solunsisäistä vettä. Vapaa vesi voidaan poistaa sakeutuksella. Adheesio- ja kapillaarivesi on partikkeleihin sitoutunutta, ja sen poistaminen onnistuu mekaanisella kuivauksella. Adsorptio- ja solunsisäinen vesi voidaan poistaa mekaanisesti ja termisesti kemiallisen kunnostuksen jälkeen.

Kuiva-ainepitoisuus nostetaan jatkokäsittelyä varten tavallisesti noin 5 %:sta 20–25 %:iin. Mekaanisella vedenerotuksella päästään noin 10–40 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. Termisellä kuivauksella kuiva-ainepitoisuus nousee vielä tästä. Esikuivattu liete on helpompi säilöä, kuljettaa ja syöttää, joten se tarjoaa laajemman käyttövalikoiman. Lisäksi esimerkiksi pyrolyysi, kaasutus ja seospoltto hiilipölykattilassa voi tarvita todella kuivan lietteen, kun taas poltettaessa lietettä omassa kattilassa 20–45 %:n kuiva-ainepitoisuus sallitaan. (Werther & Ogada 1999)

4.2.1 Lietelavat

Yksinkertaisin tapa kuivata lietteitä on levittäminen sorapatjan päälle, jolloin osa vedestä haihtuu ja suotautuu soran lävitse. Lietevesi kerätään talteen ja pumpataan takaisin laitokselle. Nykyisin tämä on vain hyvin pienten puhdistamoiden lietteenkäsittelymenetelmä ja kiristyvien ympäristönormien ja hajuhaittojen vuoksi ei varmastikaan tulevaisuudessa yleinen tai hyväksytty käsittelytapa. Lietepatjan toimintaedellytys on, että sorapatja ei tukkeudu. Lietelavoille johdettavan lietteen tuleekin olla hyvin stabiloitunut. Lavakuivatuksella voidaan päästä 20–30 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. (Viitasaari ym. 1994)

4.2.2 Mekaaninen vedenerotus

Kuivauskoneistoa valittaessa on otettava huomioon kuivattavan lietteen laatu ja määrä, hankinta- ja käyttökustannukset, kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuus, suodosveden kiintoainepitoisuus, erotusaste sekä kuivatun lietteen kuljetuskustannukset.

Lietteen sijoituksesta tai jatkokäsittelystä riippuu, kuinka korkeaan kuiva-ainepitoisuuteen tulisi pyrkiä. Pitkälle viety kuivaus merkitsee kustannusten nousua ja usein huonompaa erotusastetta. Useimpiin jatkokäsittelytarkoituksiin riittää 15–20 %:n kuiva-ainepitoisuus.

Mekaaninen vedenerotus on yleensä varmatoiminen ja investointikustannuksiltaan kohtuullinen. Lisäkustannuksia tuo polymeerin käytön tarve. (Holmberg 1999a)

Lingot

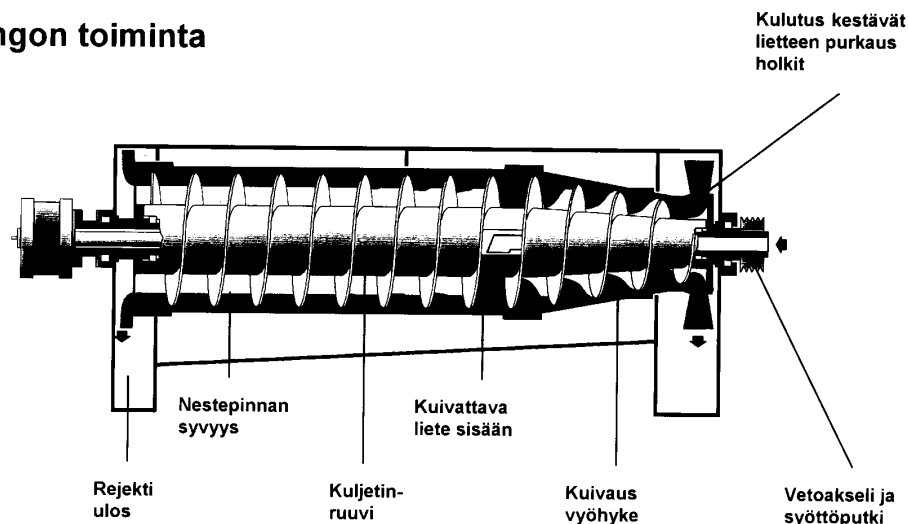
Lingot perustuvat keskipakovoimilla kiihdytettyyn laskeutumiseen. Kiintoaineet laskeutuvat pohjalle nesteen jäädessä yläpuolelle. Lingoissa on pyörivä toisesta päästä kartiollinen rumpu, jonka sisällä pyörii ruuvi. Lingossa pyörivä astia toimii laskeutusaltaana. Lingon toimintaa vaikuttavat monet muuttujat. Asetusarvoja ovat astian nopeus, vesikerroksen paksuus ja polymeergin syöttökohta. Linkouksessa joudutaan käyttämään polymeeriannostusta, ja tämä on huomattava menoerä. (Harmaa 1987)

Lingot ovat nykyisin yleinen kunnallisissa isoissa jätevedenpuhdistamoissa käytettävä vedenerotustekniikka. Yhdyskuntalietteiden osalta lingoilla päästään 20–30 %:n kuiva-ainepitoisuuksiin. Metsäteollisuuden ylijäämälietteen (biolietteen) linkouksessa on saavutettu ainoastaan 10 %:n kuiva-ainepitoisuus (Harmaa 1987).

Dekantterilinko (kuva 18), (*mm. Alfa Laval, Andriz-Guinard*), on rumputyyppinen pyörivä sentrifugi, jossa raskaammat ainekset erottuvat keskipakovoiman vaikutuksesta

rummun kehälle. Kuljettimen avulla kiintoaine siirretään rummun kartiopintaa pitkin pois nesteestä, jolloin se kuivuu ja poistuu rummusta kiintoaineholkien avulla. Separoitu neste virtaa ulos rummun vastakkaisessa päädyssä olvien puristusaukkojen kautta. Erotuskapasiteettia säädellään rummun kierrosnopeudella, nestepinnan syvyydellä sekä rummun ja kuljetinruovin erokierrosluvulla. Syöttökapasiteetit vaihtelevat 1–200 m³/h. Energiantarve on 1–1,5 kWh/lietetonni. Kuivauslingoilla saavutetaan yhdyskuntalietteellä 20–35 %:n kuiva-ainepitoisuuksia. (Alfa Laval 1998, Andriz 1999)

Lingon toiminta



Kuva 18. Linko (Alfa Laval 2000).

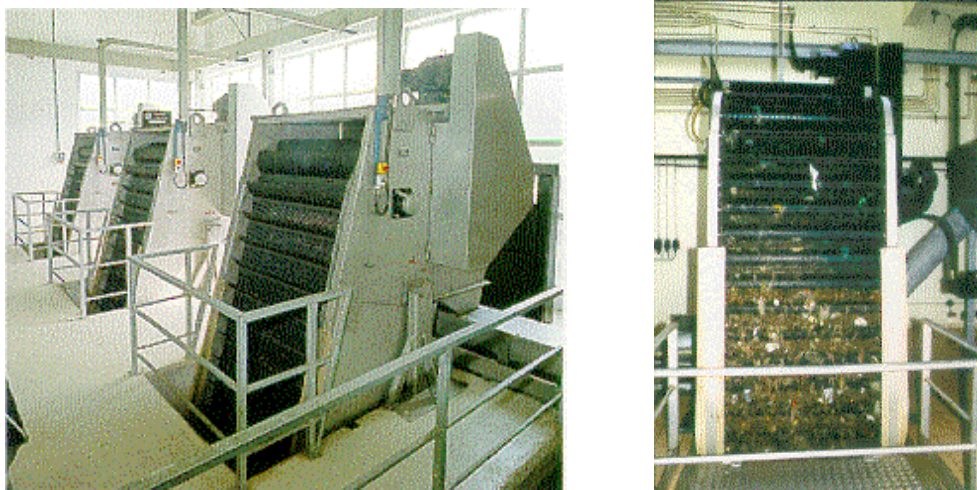
Suotonauhapuristin

Suotonauhapuristimessa (kuva 19) suodatus saadaan aikaan painovoiman ja puristustelojen aiheuttamista puristus- ja leikkausvoimista. Kemiallisesti stabiloitu liete ohjataan hitaasti kulkevalle viiralle. Liete syötetään ylempään viiran päälle, missä sitten tapahtuu veden suotautumista painovoiman johdosta. Puristusvaihe tapahtuu lietteen joutuessa alemmalle viiralle ja viirojen väliin. Toimintaan vaikuttavat viiran nopeus, puristusvaiheessa viirojen väliin muodostuva paine ja lietteen syöttönopeus. Suuri viiran nopeus lisää kapasiteettia mutta jättää loppusakeuden pienemmäksi. (Harmaa 1987)

Tyypillisesti suotonauhapuristimelle tulevan lietteen kuiva-ainepitoisuus on 1–4 % ja valmiin tuotteen kuiva-ainepitoisuus on 12–35 % ka. Metsäteollisuuden primäärilietteillä päästään 20–50 %:n ja biolietteillä noin 10–20 %:n kuiva-ainepitoisuuksiin riippuen myös käytettävän polymeerin määrästä. Biolietteeseen tulee sekoittaa jonkin verran primäärilietettä tai lisäainetta, kuten turvetta, muuten lietettä ei voi kuivata suotonauhapuristimella. Viiran pesu on laitteen toiminnalle tärkeää. Kapasiteetit ovat tyypillisesti 100–1 000 kg ka/m.

Suotonauhapuristimen hyviä puolia ovat kakun suuri kiintoainespitoisuus sekä pieni tehon tarve. Huonoja puolia ovat herkkyyks tulevan lietteen laadulle, rajoitettu hydraulinen kapasiteetti sekä viiran lyhyt kestoikä. (Harmaa ym. 1987)

Suotonauhapuristimia on käytössä paljon metsäteollisuuden jätevedenpuhdistuslaitoksilla sekä pienillä ja keskisuurilla yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla.



Kuva 19. Suotonauhapuristin (Andriz 1999).

Kammiosuotopuristin

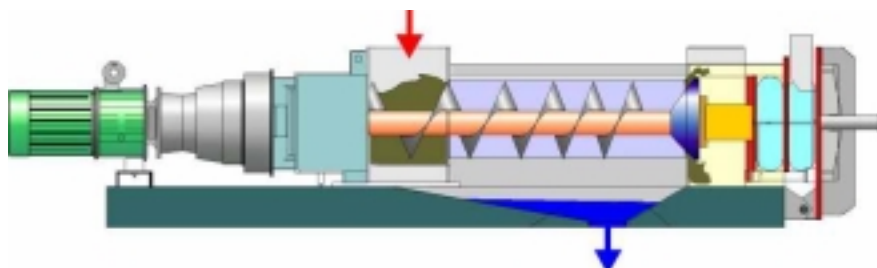
Kammiosuotopuristin koostuu suodatinkankaalla päällystetyistä levyistä. Liete syötetään levyjen muodostamiin kammioihin. Suodatinlevyt puristetaan toisiaan vastaan hydraulisesti tai mekaanisesti. Suotokakku muodostuu suodatinkankaan pinnalle syöttöpumpun aiheuttaman paineen vaikutuksesta. Suodatusta seuraa puristusvaihe. (Harmaa 1987)

Kammiosuotopuristimen etuja on korkea kuiva-ainepitoisuus. Biolietteen ja primääri-lietteen seoksen (50/50) kuivauksessa päästään 40–50 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. Huonoja puolia ovat laitteiston kalleus, suuri pinta-alavaatimus, prosessin suuri huolto- ja käyttöhenkilöstön tarve sekä korkea energiakulutus. Kammiosuotopuristimet ovat harvinaisia Suomessa. (Harmaa 1987)

Ruuvipuristin

Ruuvipuristimessa (kuva 20) rei'itetyn sylinterin sisällä kiertyvä ruuvi puristaa lietettä seinämiä vasten. Puristavan ruuvin aiheuttama paine saa veden suotautumaan reikälevyn

läpi. Seinämien lieterkerros toimii suodatinväliaineena. Ruuvipuristimessa ei tarvita aina polymeeriä. Kuiva-ainepitoisuus on 20–40 %. Liete tarvitsee esikuivauksen, jolloin päästään jopa 50–60 %:n kuiva-ainepitoisuuteen.



Kuva 20. Ruuvipuristin.

Ruuvipuristimia on käytössä lähinnä metsäteollisuudessa, jossa niitä alun perin käytettiin primäärilietteen käsittelyssä, nykyään myös muille lieteseoksille. Parhaiten ne soveltuvat lietteille, joissa biolietteen osuus on alle 40 %.

Lisäämällä puristusta höyryn avulla päästään korkeampiin kuiva-ainepitoisuuksiin (jopa >50 % ka sekalietteelle, 35 % ka biolietteelle). Tällöin välivettä poistetaan mahdollisimman paljon esierotusrummussa, jolloin puristimelle tuleva liete on tasalaatuista. Puristinosassa on lieriömäinen rei'itetty sihtirumpu, jonka sisällä pyörii kartiomainen akseli. Onttoon ruuviakseliin syötetään höyryä, jolloin puristus tapahtuu lieriömäisen sihtirummun ja kartiomaisen lämmitetyn akselin välissä. Lämpö pienentää kitkaa ruovin ja lietteen välillä, jolloin tehontarve ja kuluminen vähenevät. Kapasiteetit vaihtelevat 4–30 t ka/päivä. Yhdyskuntalietteen vedenerotuksessa käytetään tukiaineena turvetta. (Harmaa 1987)

Imusuodatin

Suodatinviiralla peitetty rumpu pyörii osittain upotettuna kuivattavaa lietettä sisältävässä altaassa. Rummun vaipan muodostaviin imulaatikoihin on yhdistettynä tyhjiöpumppu, jonka imu vetää altaasta lietteen 10–15 mm:n paksuisena mattona viiran päälle ja imee lietteestä vapautuvan veden. Imusuodatin on kooltaan suuri verrattuna linkoon ja suotonauhapuristimeen ja vie paljon tilaa. Imusuodattimella pystytään primäärilietettä ja yhdistelmälietteitä kuivaamaan 15–25 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. Kuivauksessa käytetään polymeerejä ja epäorgaanisia suoloja. Hyviä puolia ovat helppokäyttöisyys ja vähäinen huoltotarve sekä rejektin hyvä laatu. Huonoja puolia ovat melko korkea energiankulutus, melu ja valvontamäärä. Uusilla kunnallisilla puhdistamoilla ei imusuodattimia ole enää juurikaan otettu käyttöön. (Harmaa 1987)

Kiekkopuristin

Kiekkopuristin koostuu eri akseleilla olevista kiekkoista, jotka puristuvat toisiaan vasten. Puristinvoimaa voidaan säädellä. Liete syötetään kahden pyörivän kiekon väliin ja kiekkot puristavat pyöriessään väliin jäävää lietettä. Kiekkopuristinta käytetään yleensä polttoa edeltävänä vaiheena nostamaan kuiva-ainepitoisuutta noin 40 %:iin. Se ei sovellu pelkän biolietteen kuivaukseen, vaan yleensä esikäsittelynä tarvitaan esimerkiksi suotonauhapuristin. (Harmaa 1987)

Taulukko 10. Yhteenveto mekaanisten vedenerotustekniikoiden toiminnasta.

	Imusuodatin	Suotonauha	Linko
Käsitellyn lietteen TS, %	15–25	15–30	15–30
Erotusaste, %	yli 96	yli 96	90–98
Rejektin kiintoainepitoisuus, mg/l		200–800	200–2 000

Taulukossa 11 vertaillaan mekaanisia vedenerotustekniikoita, niiden hyviä ja huonoja puolia ja käyttökohteita.

Taulukko 11. Mekaaninen vedenerotus.

	Edut	Haitat	Käyttö
Lingot	+ 15–30 % ka + helppoitoinen	– energiankulutus korkea – investointi melko suuri (tarvittavat rakenteet)	Isot ja keskisuuret yhdyskuntien jätevedenpuhdistamot
Suotonauhapuristimet	+ 15–30 % ka + malleja runsaasti + pieni energiakulutus	– herkkä lietteen laadulle – bio- ja yhdyskuntalietteelle tarvitaan usein tukiaine (kuitu/turve)	Metsäteollisuuden lietteet. Pienet ja keskisuuret yhdyskuntien jätevedenpuhdistamot
Ruuviapuristin	+ 20–40 % ka ilman polymeeriä + voidaan lisätä höyry, jolloin >50 % ka + suljettu rakenne + suhteellisen pieni tilantarve	– lähinnä primäärilietteilteille, nykyään myös muille – bio- ja yhdyskuntalietteille tarvitaan tukiaine (kuitu/turve) – kallis laite – kuluvia osia	Metsäteollisuuden lietteet
Imusuodatin	+ helppo käyttää + vähäinen huoltotarve	– energiankulutus korkea – melu – huoltoa vaativa	Jäämässä pois käytöstä
Kiekkopuristin	+ yli 40 % ka	– ei sovellu biolietteilteille – tarvitaan esikuivaus esim. suotonauhapuristin	Metsäteollisuus
Kammiosuotopuristin	+ 40–50 % ka + suljettu prosessi	– kallis laite – tilantarve – huoltoa vaativa	Ei Suomessa Kunnalliset ja metsäteollisuuden jätevedenpuhdistamot

4.2.3 Biokuivaus

Lietteen biokuivauksessa käytetään aerobisissa oloissa tapahtuvaa orgaanisen materiaalin hajoamista hyväksi materiaalin kuivaamisessa. Tukiaineena käytetään kompostituetta, turvetta tai esimerkiksi kuorta. Lietteen syöttösakeus on 20–30 %, ja maksimissaan tuotteen kuiva-ainepitoisuus on 50–60 %. Kompostoituaan orgaaninen materiaali hajoo eksotermisissä reaktioissa, jolloin lämpötila on tavallisesti 50–70 °C.

Vapo Oy Biotech tarjoaa biokuivurikonseptia. Prosessi on kuten kuvassa 14 tunnelikompostori, mutta viipymät tunneleissa ovat pienemmät. Kuivausprosessiin kuuluvat lietteen ja seosaineiden vastaanotto, materiaalien esikäsittely ja sekoitus, biokuivaus, poistokaasujen pesu ja biosuodatus sekä lietepolttoaineiden laaduntasaus, välivarastointi ja siirto. (Vapo Oy Biotech 2000)

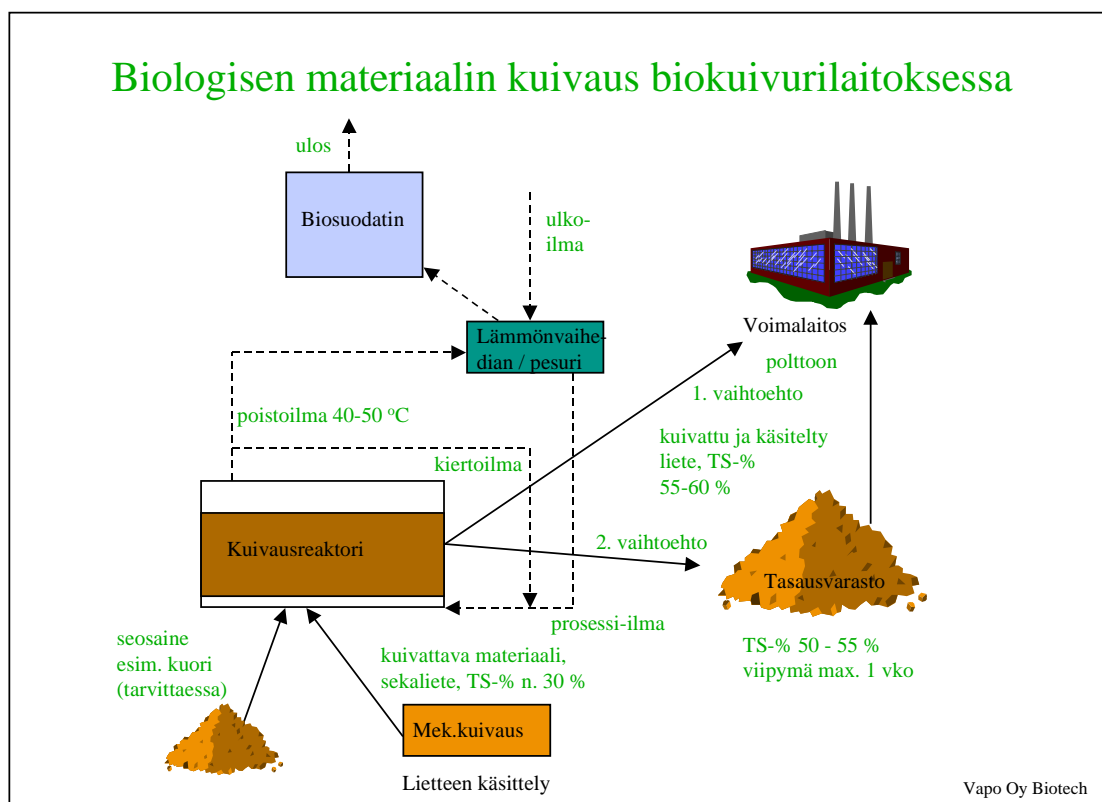
Biokuivaus soveltuu hyvin sekä bio- että primäärilietteilille. Biokuivaus tapahtuu suljetussa tunnelissa. Liete sekoitetaan ensin seosaineeseen (kuori, turve) ja ladataan reaktoreihin pyöräkuormaajalla. Kuivattava materiaali täytetään reaktorin pohjalle noin 2,5 m korkeaksi kerrokseksi ja reaktori suljetaan. Reaktorin pohjassa olevien ilmasuuttimien kautta puhalletaan ilmaa kuivattavan kerroksen läpi. Prosessinohjaus tapahtuu automaatiojärjestelmän avulla. Prosessia nopeutetaan esilämmityksellä ja ilman kierrätyksellä, johon energiaa saadaan muiden reaktorien poistoilmasta. Reaktoreihin puhalletaan tarvittava ilmavirta. (Vapo Oy Biotech 2000)

Lämpenemisvaihe kestää 0,5–1 vrk riippuen lietteen laadusta, lämpötilasta sekä kosteudesta. Tämän aikana prosessilämpötila nostetaan 50–60 °C:seen. Varsinaisen kuivauksen aikana lämpötila reaktorissa on 50–55 °C ja tämä ns. energiantuotantovaihe kestää 5–6 vrk. Tulo-, kierto- ja poistoilmojen määriä säädellään maksimaalisen kuivaustehon saavuttamiseksi. Liete hygienisoituu ja se saatetaan hajuttomaksi, poistuvat hajukaasut puhdistetaan. Samalla poistetaan typpiyhdisteitä ja nostetaan kuiva-ainepitoisuutta. Seuraavassa kuivausvaiheessa lietepolttoaine kuivataan haluttuun kuiva-ainepitoisuuteen (50–60 % ka) suurten ilmamäärien avulla, kuivausenergiaa otetaan tarvittaessa muiden reaktoreiden prosessi-ilmasta lämmönvaihtimen avulla. Kuivausvaihe kestää 3–4 vrk. Lopuksi seuraa ns. jäädytysvaihe, jossa massa jäädytetään ulkoilman lämpötilaan. Tämä kestää noin vuorokauden ajan. Valmis kuivattu massa on mahdollista ajaa suoraa polttoaineeksi laitokselle tai välivarastoida ja tasata lietepolttoaineen laatua 1–2 vk (kuva 21). (Vapo Oy Biotech 2000)

Poistettavasta ilmasta otetaan lämpö talteen lämmönvaihtimella (poistetaan ammoniakia), jolla sitten lämmitetään tulevaa puhallusilmaa ja laittiloja. Poistettava ilma puhdistetaan biosuotimella. Prosessi- ja valumavedet otetaan talteen ja ohjataan viemäriverkkoon. (Vapo Oy Biotech 2000)

Biokuivaimessa lietteen viipymäaika tunnelireaktorissa on noin 10 vuorokautta ja reaktoreiden lukumäärä vaihtelee 5–10 välillä (Vapo Oy Biotech 2000).

Orgaanisen aineksen vähenemä on 15–20 %. Tuotteen kuiva-ainepitoisuus on noin 50 % ka, ja lämpöarvo 4–7 MJ/kg riippuen kuivattavasta lietteestä ja tukiaineesta. (Vapo Oy Biotech 2000)

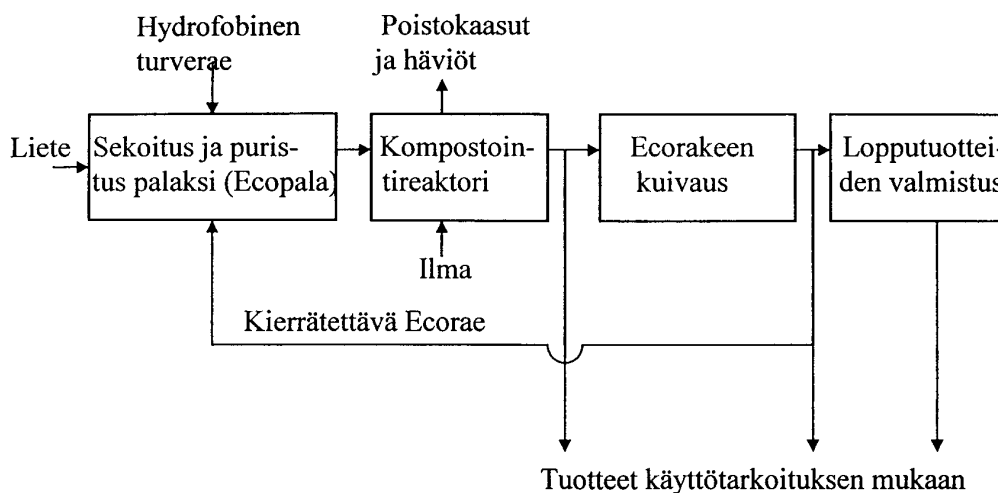


Kuva 21. Biologisen materiaalin kuivaus biokuivurilaitoksessa (Vapo Oy Biotech 2000).

Biologista kuivausta tarjoaa myös raahelainen *Oy Eco Brahe* (kuva 22). Jatkuvatoimisessa menetelmässä kompostoitavan materiaalin (ka > 15 %) sekaan sekoitetaan erityistä turveraetta (ka 80 %) ja kierrätettävää kompostiraetta. Kompostorissa saavutetaan 50 °C:n lämpötila jo vuorokaudessa, ja viipymä kompostorissa on alle neljä vuorokautta. Uutta kompostoitavaa palaa lisätään jatkuvasti päältä, ja kompostoitunut pala puretaan laitteen alta. Seosaineena käytetään turveraetta, joka on esikäsitelty hydrofobiseksi, eli se ei ime vettä ja sen kompostoituminen on vähäistä. Turverakeen pinta toimii mikrobien kasvualustana. Seosainetta tarvitaan 1–1,5 kertaa kompostoitavan materiaalin tilavuus. Kierrätettävän kompostirakeen määrä voi olla jopa 80 % uuden turverakeen määrästä, mikä vähentää lisäaineen määrää ja pienentää käyttökustannuksia. Sama rae kiertää kompostorin läpi useita kertoja, jolloin taataan hygienisoituminen. Kompostorit ovat lieriönmuotoisia päältä täytettäviä siloja, koko ja määrä riippuvat materiaalin määrästä. Kompostimassa ilmastetaan alaspäin. Päältä päin lisätty pala murenee kompos-

toinnin edistyessä ja pohjalta purettava materiaali on rakeista. Viipymä kompostorissa on 2–4 päivää. Kosteus kompostorin jälkeen on 40–50 %. Organisen aineksen vähenemä on 15–20 %. (Eco Brahe 2000)

Jälkikäsitellyssä rae kuivataan vielä 60–80 %:n kuiva-ainepitoisuuteen rumpukuivurilla (Ecorae). Tarvittava lämpöenergia tuotetaan kompostoinnista tai polttoöljyllä. Poistokaasut voidaan käsitellä kemiallisella pesurilla ja biosuodattimella. Valmis tuote voidaan polttaa tai käyttää lannoiterakeena. (Eco Brahe 2000)



Kuva 22. Biologinen kuivaus (Eco Brahe).

Tuotetta voidaan kompostoitavasta materiaalista riippuen käyttää maanparannusaineena, lannoitteena, pienkompostoreiden seosaineena ja biopolttoaineena. Jätevesilietteitä kompostoitaessa tuotteen kuiva-aineen lämpöarvo on noin 13 MJ/kg. Menetelmässä ei tarvita jälkikompostointia. Demonstraatiolaitos on rakenteilla Raaheen 2000/01. (Eco Brahe 2000)

Biokuivauksen etuja ovat lietteen muuttaminen hygieniseksi ja hajuttomaksi polttoaineeksi tai lannoitteeksi. Osa lietteen omasta energiasta käytetään kuivausenergiana. Prosessi on selkeä ja itsenäinen prosessi. Lietteiden typpipitoisuus alenee prosessissa. Seosaine ei biokuivurissa mene hukkaan, vaan voidaan käyttää hyväksi polttoaineena. Vain 10–20 % seosaineesta reagoi biologisessa prosessissa.

Biokuivauksessa osa orgaanisesta aineksesta (15–20 %) häviää, mikä vähentää sen arvoa polttoaineena. Prosessista voi aiheutua vielä hajuhaittoja. Laitoksen tilantarve on yleensä melko suuri.

Biokuivaus soveltuu hyvin silloin, kun halutaan mahdollisuus käyttää lietettä joko lannoitteena tai polttoaineena ja ulkopuolisen energian tarve halutaan minimoida ja toisaalta tuotetulle energialle ei ole markkinoita. Biokuivaus soveltuu lietteille, jossa biolietteen osuus on mahdollisimman suuri.

4.2.4 Terminen kuivaus

Lämpökuivauksessa haihdutetaan lämmöllä vettä lietteestä. Kuivausta käytetään yleensä polttoa edeltävänä vaiheena tai pienentämään lietteen tilavuutta loppusijoitusta varten. Termisessä kuivauksessa tarvitaan sähköenergiaa 4–5 kWh/m³ mekaanisesti kuivattua lietettä. Lämpöenergiaa kuluu 3 000–3 500 kJ/haihdutettu kg H₂O. Jos latentti lämpö saadaan talteen, voi energiantarve olla vain 500–700 MJ/haihdutettu kg H₂O (Fagernäs & Wilen 1988, Fitzpatrick 1998). Mekaanisessa erotuksessa lämpöenergiaa kuluu 100–200 kJ/haihdutettu kg H₂O. Koska lämpöä kuluu paljon, terminen kuivaus on järkevää yhdistää polttoon, jolloin lietteen lämpöarvo voidaan hyödyntää. Termisen kuivauksen yhdistäminen biokaasutuksen hydrolyysijäännöksen kuivaukseen tuo etuja, jos termisessä kuivauksessa käytettävä energia voidaan saada biokaasutuksesta. (Väänänen ym. 1991)

Lämpö tuodaan kuivaukseen konvektiolla, johtamalla (lämpö johtuu väliseinän läpi) tai säteilemällä. Kuivauksessa liete voidaan kuivata haluttuun kuiva-ainepitoisuuteen (50–90 % ka). On mahdollista pyrkiä noin 90 %:n kuiva-ainepitoisuuteen, jolloin liete on stabiilia (biologinen aktiivisuus lakannut) tai sitten kuivata liete poltettavaksi 35–60 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. Kuiva-ainepitoisuuden nosto lisää energiantarvetta. Esimerkiksi 5 %:n muutos kuiva-ainepitoisuudessa merkitsee 9 %:n muutosta energiankulutuksessa. (Holmberg 1999b, Harmaa 1987)

Eräissä sovelluksissa liete kuivataan 50 %:n kuiva-ainepitoisuuteen ja kompostoidaan sitten ilman seosaineita. Mikäli liete voidaan polttaa ilman välivarastointia, sopiva kuivaustavoite on noin 70 % ka. Jos halutaan lietetuote, joka ei homehdu varastoitaessa, olisi päästävä yli 85 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. (Lilja ym. 1998)

Kuivauksessa syntyy kaasua ja pölyä. Poistokaasujen käsittelyyn on kiinnitettävä riittävästi huomiota. Lietettä kuivattaessa höyrystyy orgaanisia aineita, joista monet jo pieninä pitoisuuksina aiheuttavat hajuhaittoja. Syntynyt höyry voidaan lauhduttaa ja johtaa lauhtumattomat kaasut polttoon. Lauhtunut vesi sisältää mm. BOD:a, TOC:a, NH₃:a sekä kiintoainetta. Lauhteen laatuun vaikuttaa kuivauksessa käytettävä lämpötila. (Fagernäs 1992)

Poistokaasussa pölypitoisuus ja ammoniakkipitoisuus voivat olla korkeat. Lisäksi lietteen elohopeasta voi haihtua merkittävä osa. Yleensä käytetäänkin sykklonia pölyn talteenottoon ja pesuria hajuyhdisteiden poistoon. Mukana voi olla vielä biosuodin. Poistokaasu voidaan myös polttaa 800 °C:n lämpötilassa, mutta palamisen hallinta on melko vaativaa. (Lilja ym. 1998, Fagernäs 1992)

Suomen lainsäädäntö ja ilmansuojelulaki eivät rajoita kuivaimesta poistuvien kaasujen pitoisuuksia. Saksassa ilmansuojelulaki TA-Luft rajoittaa myös kuivaimista tulevia päästöjä ja niitä koskevat jätteenpolttoa koskevat normit lukuun ottamatta pölyä (5-kertainen päästö sallitaan) ja orgaanista ainetta (7,5-kertainen päästö sallitaan). (Jaakkola 1993)

Markkinoilla on erilaisia kuivauslaitteistoja. Sopivan kuivurin valintaan vaikuttavat kuivattavan lietteen kuiva-ainepitoisuus, käytettävissä oleva energia ja sen hinta, tilavaatimukset sekä kuivatun lietteen käyttötarkoitus ja kapasiteetti.

Tuotteen laatuun polttoaineena tai lannoitteena vaikuttavat orgaanisen aineksen määrä, fosforin ja typen määrä sekä raskasmetallien pitoisuudet.

Liete voidaan rakeistaa lannoitekäyttöä varten. Lietteiden rakeistaminen voi tapahtua puristamalla kuivattu liete matriisiin läpi, muodostamalla rae kuivatun ytimen ympärille pyörivässä rummussa tai lautasella, puristamalla liete suulakkeen läpi spagettimaiseksi nauhaksi tai puristamalla liete levyksi kahden telan välissä. (Lilja ym. 1998)

Kontaktikuivauksessa (kiekko- tai kierukkauuni, täytekappaleuuni) lämpö siirtyy johdumalla kuumasta pinnasta lietteeseen. Kontaktikuivuria käytetään kun materiaali on pölyävää ja halpaa höyryä on käytettävissä. Liette voidaan levittää esimerkiksi ohueksi kerrokseksi kuumalle levypinnalle, josta se siirretään seuraavalle lautas-, hihna-, tai ruuvikuivaimelle. Kontaktikuivurissa voi ongelmana olla lietteen korkea kuumentuminen ja toisaalta osittain puutteellinen kuumentuminen ja hygienisointi. Etuja ovat poistokaasujen pieni määrä ja hyvä energiankäytön hyötysuhde. (Lilja ym. 1998)

Konvektiokuivurissa kuuma kaasuvirta johdetaan lietemassan läpi esimerkiksi rummussa tai kuivaushihnalla. Lietteessä oleva kosteus siirtyy kuumaan kaasuvirtaan ja liete kuivuu. Kuivaukseen voidaan käyttää kuumia palokaasuja tai lämmönvaihtimella kuumentettua ilmaa. Seos kulkee esimerkiksi rummun läpi, jolloin kuuma ilma (450–460 °C) kuivaa lietettä ja se tiivistyy rakeiksi. Rakeet irrotetaan höyryvirrasta sykklonilla ja seulotaan. Haittana on kontaktikuivuria huonompi energiahyötysuhde (ellei lämmön talteenottoa ole järjestetty), poistoilman suuri määrä, runsas pölyn muodostus ja pölyräjähdysriski. (Lilja ym. 1998)

Termisen kuivauksen etuja ovat saavutettava korkeampi kuiva-ainepitoisuus, kunnostuskemikaalien pienempi tarve, lietteen steriloituminen, vedenpoistolaitteiden koon ja kuljetuskustannusten pieneneminen. Termisessä kuivauksessa lietteen massa pienenee jopa noin viidesosaan, riippuen saavutetusta kuiva-ainepitoisuudesta (Holmberg 1999b). Haittoja ovat korkeat pääomakustannukset, kattilakiven muodostumisesta aiheutuvat puhdistuskustannukset ja korroosioriski (Raitio 1988).

Terminen kuivaus on järkevää silloin, kun lietteen poltto sellaisenaan aiheuttaa liian suuria haittoja polttoprosessissa, kun lämpökäsittelyn avulla pystytään pienentämään päästöjä tai jos lietteen poltosta saatava höyryntuotanto on taloudellisesti kannattavaa.

Markkinoilla olevia termisiä kuivureita, noin 20 yritystä (ISWA Yearbook)

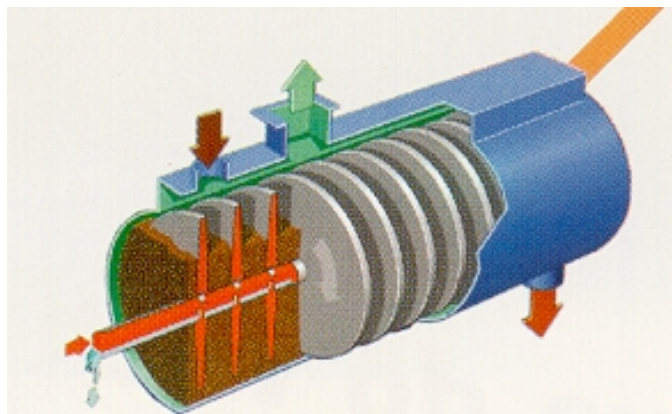
Kiekk- ja spiraalikuivauksessa (kuva 23) periaatteena on pyörivä kiekosto tai spiraali, joka kuljettaa lietettä. Kiekoston ja spiraalin sisällä virtaa kuuma höyry. Liete on kontaktissa kuumien kiekkojen tai spiraalin kanssa kuivaten siten lietettä. Tuote on hienojakeista ainesta tai pientä pellettiä. Kuiva-ainepitoisuus vaihtelee 45–95 %. (Kvaerner 1999)



Kuva 23. Spiraalikuivaus (Kvaerner 1999).

Spiraalikuivausmentelmää valmistaa mm. *Kvaerner Eureka*, kiekkokuivausuunia tarjoaa *Atlas-Stord* (Rotadisc), useita referenssi kohteita ympäri maailmaa. Kvarner Eurekaan lietekuivain otettu käyttöön Stora-Enson Anjalankosken tehtailla 2000.

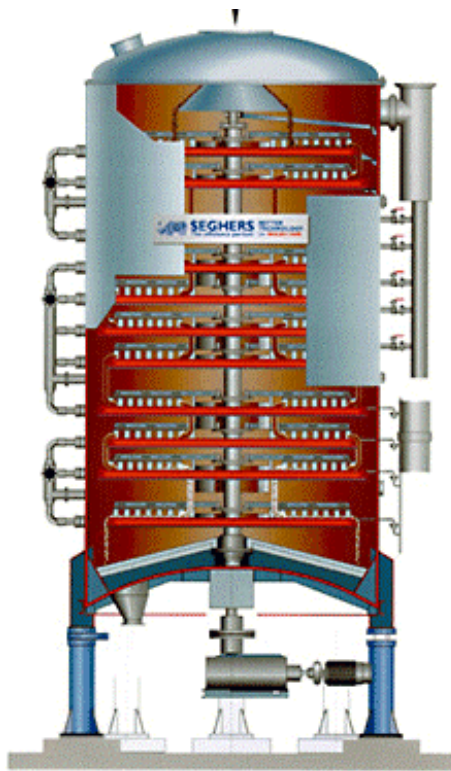
Lautaskuivaimessa (kuva 24) akseliin liitetyt lautasmaiset levyt pyörivät. Akselia ja lautasia kuumennetaan höyryllä ja kuivunut liete poistetaan lautasilta kaapimen avulla. Lautasien yläpuolella on kaapimet, jotka auttavat lietteen sekoittumista. Lautaskuivaimia valmistaa mm. *Andriz Oy*, useita referenssikohteita ympäri maailmaa.



Kuva 24. *Lautaskuivain* (Andriz 1999).

Belgialainen *Seghers* tarjoaa monitasoista *kuivaustornia* (kuva 25), jossa tuotteena saadaan kuivattua pelletteitua lietettä ilman erillistä pellettikoneistoa. Horisontaalitasossa olevat levyt lämmitetään suljetussa kierrossa olevalla öljyllä. Liete kulkee levyjen päällä ja se kulkee tasolta toiselle kaapimen avulla. Lietepartikkelit ovat koko ajan liikkeessä ja kääntyvät, mikä johtaa korkeaan kuivaustehokkuuteen. Valmiin pelletin halkaisija on 1–4 mm, ja kuiva-ainepitoisuus >90 %. Prosessissa syntyy vähän poistokaasuja. Antwerpenissa on toiminnassa oleva laitos, jossa käsitellään vuosittain noin 10 000 t kaubiokaasutuksesta jäljelle jäävää lietettä. (Seghers 2000)

Rumpukuivausprosessia (kuva 26) tarjoaa mm. *Alpha Environmental Ltd* ja *Andriz AG*. Mekaanisesti kuivattu liete (kuiva-ainepitoisuus 20–40 %) ohjataan kuivausrumpuun, johon ohjataan prosessi-ilmaa 450 °C:n lämpötilassa. Rumpu pyörii vaaka-akselinsa ympäri ja kuuma ilmavirtaus auttaa lietettä kulkeutumaan rumpun toista päätä kohti. Lämpötila rumpun alkupäässä voi olla 600–1 100 °C, loppupäässä se on noin 80 °C. Kuuma ilma aikaansaadaan öljypolttimella, ja lämpötilan pitäminen korkealla kuluttaa energiaa (3 000–3 700 kJ/kg haihdutettu H₂O). Kuivausrummun jälkeen kuivattu liete erotetaan syklonissa ja kuljetetaan pneumaattisesti tai mekaanisesti lajitteluun. Täryseulassa rakeet erotetaan kolmeen fraktioon, ja keskikokoiset rakeet otetaan talteen. Hienoaineksen poistamisen jälkeen liete on kuivaa ja hygienistä. Tuotteen kuiva-ainepitoisuus on yleensä >90 %. Rakeet voidaan kuljettaa lannoitteeksi tai poltettavaksi. Prosessi on suljettu, ja ulos menevä ilma puhdistetaan suotimella ja poltetaan vielä polttimessa, joten hajukaasuja ulos ei synny. (Alpha Environmental Technology 2000)



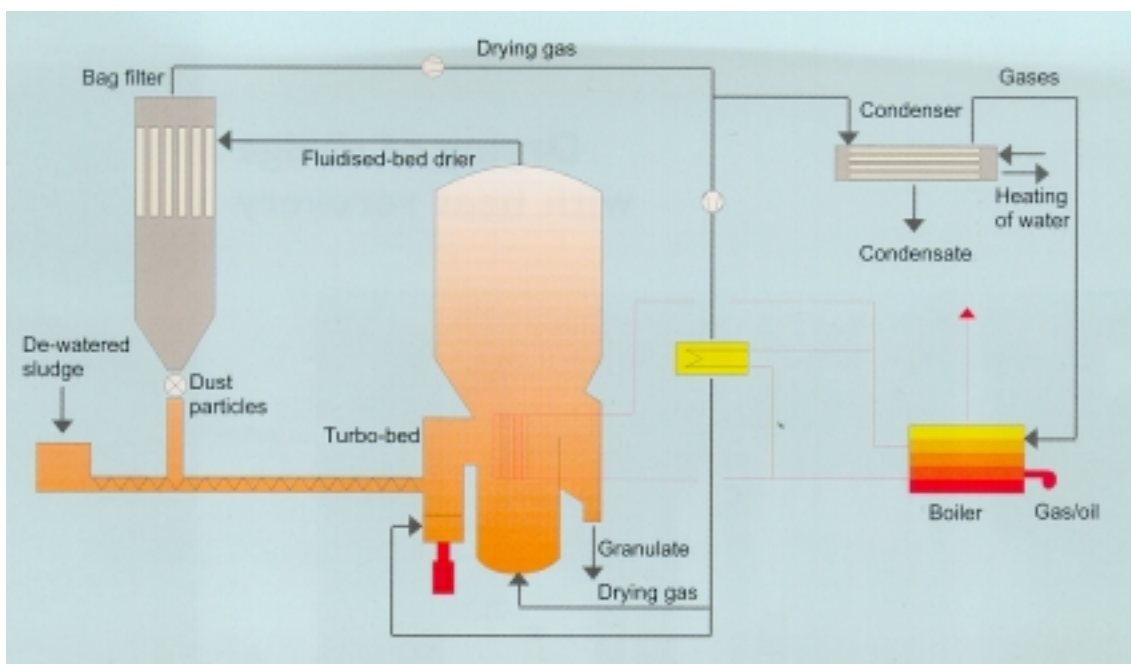
Kuva 25. Seghers lietekuivuri ja pelletointi.



Kuva 26. Rumpukuivain (Alpha Environmental Technology 2000).

Hihnakuivaimissa (Sevar) liete pursotetaan suolakkeiden läpi nauhaksi tai pelletiksi hihnakuljettimelle, jolloin haihdutuspinta-ala kasvaa. Kuuma (120–160 °C) ilma puhalletaan kuljettimen läpi, jolloin liete kuivataan. Ilma kiertää jatkuvasti lämmönvaihtimen kautta. Poistokaasut johdetaan pesuriin tai suotimeen ja energia otetaan talteen lämmönvaihtimessa. Lämpö tuotetaan polttimella, jossa voidaan polttaa öljyä tai biokaasua. Kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuus on 70–90 % ka. Sevarin kuivain on rakenteilla Joensuuhun (Joensuun Vesi Oy), käyttöönotto vuonna 2000.

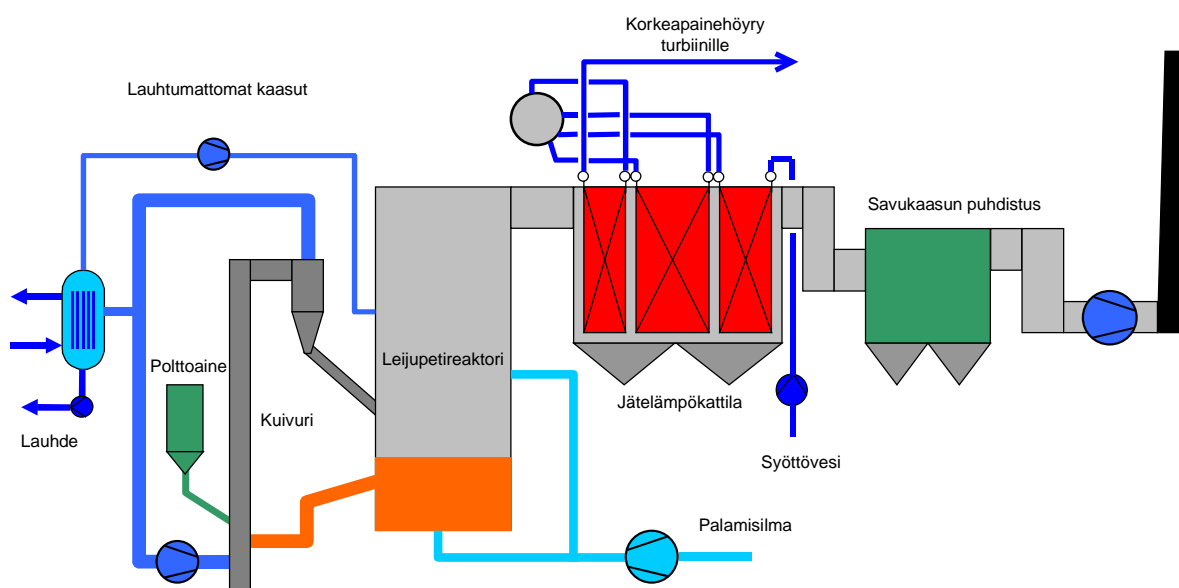
Leijupetikuivaimessa (kuva 27) lietteen kuivaaminen tapahtuu suljetussa systeemissä, eli kuivauskaasuja ei päästetä ilmaan, joten hajuhaittoja ei esiinny. Yleensä liete sekoitetaan jo kuivuneeseen lietteeseen, ja sen jälkeen seos johdetaan ruvikuljettimella leijupetikuivaimen, johon puhalletaan kuumaa (100–220 °C) ilmaa alaspäin. Kuivaimessa on erityiset lohkot, joihin liete jakaantuu kosteutensa mukaan, ja kuivattu liete kulkee ulos leijupedistä. Kuivatusta lietteestä erotetaan seulalla valmis tuote ja kiertoon palautuva kuiva-aines. Kuivausprosessissa muodostuvat hienot hiukkaset kulkeutuvat pois kuivauskaasun mukana, ja ne erotetaan syklonissa tai kuitusuodattimessa. Tarvittava energia saadaan lämmönvaihtimen avulla. Haihtunut vesi johdetaan lauhduttimelle, missä höyry kondensoituu jäähtyessään veteen. Koska suuri osa leijupetiin johdetusta energiasta voidaan käyttää uudelleen, kuivausprosessi on energiakäytöltään lähes neutraali. Kuivatun lietteen kalorimetrinen lämpöarvo on noin 14 MJ/kg, joten se soveltuu hyvin polttoaineeksi. Kuivatun lietteen tilavuus pienenee noin 30 %:iin. Valmistaa granulaaattia voi käyttää myös lannoitteena. (Kruger 1996)



Kuva 27. Leijupetikuivain (Kruger 1996).

Flash-kuivain sisältää pystysuoran putken, puhaltimen ja syklonin. Flash-kuivaimessa putken alkupäästä syötetty liete kulkeutuu pneumaattisesti kuuman kuivauskaasun avulla kuivuen samalla. Kuivattu tuote erotetaan sitten syklonissa. Tuotteen viipymä kuivaimessa on vain 2–10 s. Kuivaus on nopea, koska kuivauskaasun ja kuivattavan materiaalin lämpötilaero on suuri. Etuja ovat yksinkertainen rakenne, lyhyt viipymäaika, nopea käynnistys ja pysäytys sekä pieni tilantarve. Tekniikkaa hyödyntävät mm. Stork Engineering ja Fortum. Molemilla kyseessä on höyry-flash-kuivain.

Sekoituskuivurissa (kuva 28, Fortum) leijupedin kuuma petimateriaali erotetaan ja käytetään suoraan lämmönlähteenä polttoaineen kuivaamiseen. Kuivaaminen tapahtuu höyryllä, jolloin latenti lämpö saadaan talteen haihdutusprosessissa. Kuivain on flash-kuivain, jossa tulistettu höyry otetaan kuivainputken alaosaan. Kuuma petimateriaali (800–900 °C), joka erotetaan leijukerrospeitistä, sekoitetaan höyryyn juuri ennen märän polttoaineen lisäämistä höyryvirtaan. Höyry kantaa kuivuvan polttoaineen sekä jäähtyvän petimateriaalin hiukkaserotukseen, jossa kuivattu polttoaine ja jäähtynyt petimateriaali erotetaan höyryvirrasta ja ohjataan leijupetikattilaan. Osa höyrystä kierrätetään takaisin kuivaimen alaosaan. Latenti lämpö otetaan talteen lämmönvaihtimella ja voidaan käyttää esimerkiksi kaukolämmön tuotantoon. (Hulkkonen & Harju 2000)



Kuva 28. Sekoituskuivuri – Bed mixing dryer (Fortum 2000).

Fortum rakensi pilottilaitoksen Kuusamoon vuonna 1994. Vuonna 1997 kuivain otettiin kaupalliseen käyttöön turpeelle ja sahanpurulle. Laitoksella on tehty koeajoja myös paperitehtaan lietteillä. Tyypillisesti tulevan polttoaineen kosteus on 40–60 % ja kuivaimella päästään noin 80–90 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. (Hulkkonen & Harju 2000)

Taulukossa 12 esitellään eri kuivaustekniikoiden etuja ja haittapuolia.

Taulukko 12. Kuivaustekniikoiden vertailua.

	Edut	Haitat	Käyttö
TERMINEN KUIVAUS	+ korkea kuiva-ainepitoisuus (50–90 % ka) + lietteiden steriloituminen + kulj.kust.pienemmät	– korkeat pääoma-kustannukset – korroosioriski	
Kontaktikuivaus – spiraalikuivain – lautaskuivain	+ poistokaasun pieni määrä + energiankäytön hyötysuhde hyvä	– osittainen kuumentuminen ja vaillinaisen hygienisointuminen	Keski-Euroopassa yhdyskuntalietteiden kuivaus
Konvektiokuivaus – rumpukuivain – leijupetikuvain	+ korkea kuiva-ainepitoisuus	– pölyräjähdysriski – poistokaasun suuri määrä	Keski-Euroopassa
Flash-kuivain	+ pieni tilantarve + yksinkertainen rakenne + lyhyt viipymä	– kallis investointi	
BIOKUIVAUS	+ lietteen energiasisältö korkeampi kuin biokaasutuksen jälkeen + energiantarve pieni verrattuna termiseen kuivaukseen + erillinen prosessi	– osa org. aineksesta menetetään kompostoinnissa	

4.3 Lietteen poltto tai muu terminen käsittely

Lietteitä voidaan polttaa rumpu-uuneissa, leijukerroskattiloissa, soodakattilassa, massapolttolaitoksessa ja arinakattiloissa tai kaasuttaa joko sekoitettuna pääpolttoaineeseen tai yksinään. Erilaiset laitokset asettavat erilaisia vaatimuksia polttoaineen kuiva-ainepitoisuudelle ja laadulle. Lietteen korkea tuhkapitoisuus asettaa tiettyjä rajoituksia lietteiden käytölle, operointioloille ja savukaasunpuhdistukselle. Myös lietteen usein korkea kosteuspuiteisuus asettaa rajoituksia kattiloille. Lietteen tehollinen lämpöarvo riippuu lietteen laadusta, tuhkapitoisuudesta sekä kosteudesta. Mädätetyn lietteen tuhkapitoisuus on lähes 50 % kuiva-aineesta ja mädättämättömän lietteen tuhkapitoisuus on 10–20 % kuiva-aineesta. Termisellä kuivauksella (ka >90 %) saadaan raakalietteen lämpöarvoksi yli 12 MJ/kg, jolloin esimerkiksi turvetta voidaan korvata ilman tehon menetystä.

Lietteen poltossa on otettava huomioon kattilan käytölle aiheutuvat haittavaikutukset, joita voivat olla mm. kerrostumien syntyminen lämpöpinnoille, savukaasumäärän lisääntyminen, korrosio ja höyryntuotannon pieneneminen, sekä metsäteollisuudessa kuorenpolttokapasiteetin pieneneminen. (Jaakkola 1993)

Lietteen taloudellisen polton edellytyksenä on lietteen riittävän korkea lämpöarvo (yleensä yli 18 MJ/kg tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa). Nykyisin poltettavien lietteiden kosteus on usein 65–70 % (lämpöarvo saapumistilassa 0–3 MJ/kg), jolloin sen energiataloudellinen merkitys on nolla tai negatiivinen. Yleensä poltto vaatii 30–50 %:n kuiva-ainepitoisuuden. Jos lietteen osuus on alle 10 %, ei kuivausta välttämättä tarvita. Yleisin ongelma poltossa on märkä liete, joka johtaa tehon laskuun. Poltossa ei saa syntyä haitallisia yhdisteitä. (Jaakkola 1993)

Suomen metsäteollisuudessa liete poltetaan yleensä sekoitettuna pääpolttoaineeseen pienellä osuudella. Suomen mittapuussa seospoltto joko jätteen tai muun polttoaineen kanssa tai poltto pienessä lietekattilassa (esim. Fortum) ovat järkeviä vaihtoehtoja. Meillä kaupungit ja lietemäärät ovat Keski-Eurooppaan verrattuna usein pieniä, mikä vähentää isojen massapoltto- tai lietelaitosten mielekkyyttä. Sementtiuuneja on Suomessa vain parilla paikkakunnalla ja massapolttolaitos vain Turussa, joten nämä tuovat vain paikallisia vaihtoehtoja lietteen termiselle käsittelylle.

4.3.1 Savukaasupäästöt lietteenpoltossa

Lietteiden poltossa on otettava huomioon lisääntynyt savukaasumäärä sekä erilaiset savukaasujen päästökomponentit, kuten raskasmetallit, dioksiinit ja furaanit, sekä NO_x-, SO₂-, HCl- ja HF-päästöt sekä kiinteät jäännökset lentotuhka ja pohjatuhka. Dioksiinit ja furaanit eivät yleensä ole ongelma lietteiden poltossa, sillä korkea S/Cl-suhde inhiboi dioksiinien syntymistä. (Werther & Ogada 1999)

Lietteiden suuri tuhkamäärä johtaa suuriin lentotuhka- ja pohjatuhkamääriin sekä hiukkaspitoisuuteen savukaasuissa. Lietteiden rikkipitoisuus on samansuuruinen kuin kivihillen ja typpipitoisuus monta kertaa suurempi kuin kivihillen, mikä johtaa korkeampiin pitoisuuksiin savukaasuissa. (Werther & Ogada 1999)

Savukaasupäästöt riippuvat polttotekniikasta, laitoksen savukaasunpuhdistuslaitteistosta ja pääpolttoaineen sekä lietteen laadusta ja osuuksista. Varsinkin yhdyskuntalietteiden raskasmetallipitoisuudet ja erityisesti elohopeapitoisuus voivat lisätä savukaasunpuhdistustarvetta ja laitteistoa (aktiivihiihi, hiukkaserotuksen tehostaminen).

4.3.2 Tuhkat lietteenpoltossa

Lietteiden tuhkapitoisuudet ja tuhkaa muodostavien mineraalien pitoisuudet vaihtelevat laajasti riippuen esimerkiksi käytetystä prosessista. Esimerkiksi tuhkaa muodostavien mineraalien korkeat pitoisuudet siistauslietteessä ovat usein peräisin siistausproses-

sista paperin täyteaineista (kalsiitti CaCO_3 , talkki $3 \text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ja savi $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (Latva-Somppi 1998). Taulukossa 13 on muutamien erilaisten lietteiden tuhkan ominaisuuksia eri lähteistä.

Taulukko 13. Erilaisten lietteiden tuhkan ominaisuuksia (Latva-Somppi 1998, Alin ja Salokoski 2000, Institut für Verfahrens-Brennstoff-Umwelttechnik 2000).

Tuhka, paino-%	Yhdyskuntaliete	Siistausliete	Siistaus/bio/kuituliete	Bio/kuituliete	Kuori
P_2O_5	13,1	0,37	0,6		1,3
SiO_2	19,4	32,7	38,1		50,9
Fe_2O_3	18	5,76	1,3		2,3
Al_2O_3	6,3	16,3	22,1	2,57	7,7
CaO	20,6	33,4	28,1	1,97	22,1
MgO	1,5	3,98	4,6	7,4	2,6
Na_2O	0,5	0,72	0,3	7,13	1,3
K_2O	0,7	1	0,8	2,86	5,0
TiO_2	–	–	0,6		0,5
S	1,25		0,3	1,1	0,5
Cl	0,07		0,1	0,6	0,0
Tuhkan sulamislämpötila			1 290	1 220	1 340
Pehmenemislämpötila °C			1 150	1 170	1 190
Puolipallosulamislämpötila °C			1 230	1 210	1 265

Koska tuhkaa muodostavien yhdisteiden osuus lietteissä on korkea (taulukko 13), voi tämä lisätä tuhkan erotuslaitteiston kapasiteettia liaksi, lisätä hiukkaspäästöjä, alkuunsaattaa pedin agglomeroitumista ja johtaa pedin sintraantumiseen. Tuhka voi kiinnittyä kattilan seinämiin tai lämmönvaihtopinnoille ja vähentää kattilan tehoa. (Latva-Somppi 1998). Latva-Somppi totesi (1998), etteivät sellu- ja paperitehtaan lietteet kuitenkaan tyypillisesti aiheuta petin agglomeroitumista seospoltossa. Tässä tutkimuksessa todettiin, että paperitehtaan (siistauslietettä, primäärilietettä ja biolietettä) sekä sellutehtaan biolietettä voidaan polttaa pääpolttoaineen seassa ilman agglomeroitumista lämpötilan ollessa 800–900°C. Osa tuhkasta jää petiin, mutta se ei johda suoraan agglomeroitumiseen. Eri leijukerrostekniikoilla ei todettu olevan eroa tuhkan muodostumismekanismeissa.

Kuonaantumista havaittiin sellutehtaan lietettä poltettaessa, mikä johtuu suurten hiukkasten sintrautumisesta BFB-kattilassa. Paperitehtaan lietteellä kuonaantumista ei havaittu CFB-kattilassa. Latva-Somppi tutki vain kuonaantumista ja tuhkan muodostumista kattilassa, mutta hänen mukaansa varsinkin sellutehtaiden lietteillä on taipumusta

lisätä korroosiota ja likaantumista lämpöpinnoilla. Tämä viittaisi siihen, että haihtuvien epäorgaanisten yhdisteiden korkeammat pitoisuudet sellutehtaan biolietteen poltossa liittyvät kattilan jälkeisiin tuhkaongelmiin. Tuhkan sulamislämpötila oli kokeissa aina yli 1 200 °C. (Latva-Somppi 1998)

Liete voidaan polttaa MSW-laitoksessa jätteen seassa. Wertherin & Ogadan (1999) mukaan kokemukset MSW-leijukerroskattiloista ovat osoittaneet, että pohjatuhka voidaan läjittää inertin jätteen kaatopaikalle, syklonituhka tavalliselle kaatopaikalle ja lentotuhka ongelmajätteen kaatopaikalle.

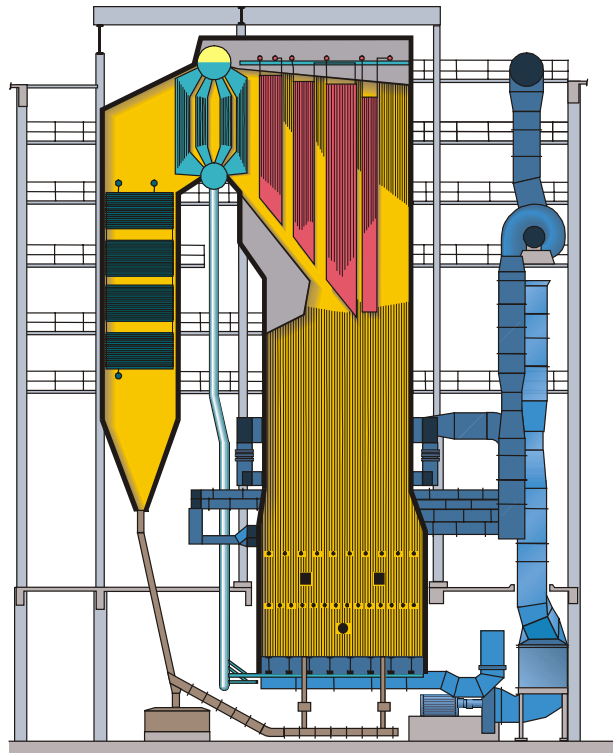
Varsinkin Keski-Euroopassa sekä yhdyskuntaliete että metsäteollisuuden liete poltetaan usein omassa kattilassaan. Koska polttoaine on usein hyvin kosteaa (70–80 %:n kosteus), ei lietteen lämpöarvo ole aina tarpeeksi korkea ainoaksi polttoaineeksi, joten usein tarvitaan lisäpolttoaineita (esim. maakaasua). (Werther & Ogada 1999)

Lietteiden rinnakkaispoltto sekajätteen kanssa ei yleensä huononna tuhkan laatua, koska jätteissä raskasmetallipitoisuudet ovat yleensä korkeammat kuin lietteissä. Toinen tuhkien ominaisuus, liukoisuus, on vähän tutkittu asia. Tuhkan rikki- ja klooripitoisuus lisäävät tuhkan liukoisuutta. Poltettaessa lietteitä pienellä osuudella pääpolttoaineen tai jätteiden seassa ei liete aiheuttane suuria muutoksia tuhkan laatuun. Tuhkan läjitys- ja sijoituspaikkoja valittaessa tulee tuhkan laatu selvittää liukoisuustestien ym. avulla.

4.3.3 Seospoltto leijukerroskattiloissa

BFB-kattiloita (kuva 29) pidetään ympäristöystävällisenä vaihtoehtona polttaa lietteitä (Energia 1999). BFB-kattiloissa voidaan lietettä, jonka kuiva-ainepitoisuus on 31–35 %, polttaa teknisesti hyvin ilman tukipolttoa. CFB-kattiloissa leijutusnopeudet ovat niin suuria, että väliaine ja polttoaine tulee palauttaa syklonin kautta takaisin kattilaan ja polttoaineen kuiva-ainepitoisuuden tulee olla vähintään 38–45 %. Käytettäessä tukipolttoaineena maakaasua voidaan polttaa hyvin märkiä lietteitä. Toisaalta osa kattiloista voi vaatia termisen kuivauksen lietteelle. (Harmaa 1987)

Suomessa poltetaan yleisesti metsäteollisuudessa lietteitä (yleensä <10 % pa-tehosta) metsäteollisuuden leijukerroskattiloissa sekoitettuna pääpolttoaineeseen. Savukaasunpuhdistukseen laitoksilla on yleensä sähkösuodin ja joskus lämmönvaihdinpesuri. Lietteen polttaminen pienellä osuudella ei yleensä lisää päästöjä merkittävästi.



IMATRAN VOIMA OY
UIMAHARJU, FINLAND

Kuva 29. BFB-laitos, 91 MW_{th} (Foster Wheeler).

Leijukerrospolton etuja ovat hyvä polttoaineen ja ilman sekoittuminen, pitkä viipymäaika ja kuuman petimateriaalin tuoma lämpötilan tasaisuus petissä. Märän lietteen polttaminen voi huonontaa palamisoloja, ja tuottaa ongelmia mm. jätteenpolttodirektiivin vaatimuksen 850 °C:n ja 2 sekunnin täyttymiseen kaikissa oloissa. Metsäteollisuuden laitokset voivat teknisesti jatkaa metsäteollisuuden omien bio- ja primäärilietteiden (ja mahdollisesti siistauslietteiden) polttoa ilman jätteenpolttodirektiivin velvoitteita.

Yhdyskuntalietteiden poltto leijukerroskattilassa tekee kattilasta jätteenpolttokattilan, jolloin vanhan kattilan nykyiset päästörajat tiukentuisivat ja laitokselle tulisi lisäksi määräaikaista mittausvelvoitteita esimerkiksi raskasmetallien ja PCDD/F-yhdisteiden osalta. Mekaanisesti tai termisesti kuivattujen yhdyskuntalietteiden polttaminen leijukerroskattiloissa ei teknisesti juuri eroa metsäteollisuuden lietteiden poltosta. Tiettyjen raskasmetallien, kuten elohopean ja kadmiumin, pitoisuudet voivat olla korkeammat kuin metsäteollisuuslietteillä riippuen polttoaineen ja jätteiden seossuhteista, pääpolttoaineesta ja savukaasunpuhdistuslaitteistosta. Vanhalle laitokselle jätteenpolttodirektiivin

täyttäminen voi tuoda lisäinvestointeja hiukkaspäästöjen ja mahdollisesti typen oksidien (NO_x) osalta. Raskasmetallipäästöt riippuvat polttoaineen laadusta.

Ongelmallisinta leijukerroskattiloissa on lietteen tasainen syöttö kattilaan. Yleensä liete sekoitetaan valmiiksi kuoreen tai muuhun polttoaineeseen. Jätteenpolttodirektiivin mukaan pitäisi jätteen tai lietteen syöttö pystyä lopettamaan epänormaaleissa oloissa, ja erilliset syöttöjärjestelmät tuovat laitoksille lisäkustannuksia.

Leijukerroskattilassa muodostuu enemmän lentotuhkaa kuin pohjatuhkaa. Jos laitos on jätteenpolttokattila, tällä on merkitystä, sillä jätteenpolton lentotuhkaa pidetään yleensä ongelmajätteenä. Pohjatuhka on normaalia jätettä ja hyödynnetään yleensä esimerkiksi tienrakennuksessa. Lentotuhkaan konsentroituvat mm. raskasmetallit, joten lentotuhkan ominaisuudet on analysoitava ja määritettävä sen soveltuvuus esimerkiksi hyötykäyttöön. Jos lietettä poltetaan pienellä osuudella pääpolttoaineen seassa, ei tuhkan laatu juurikaan muutu. Poltettaessa lietettä, jonka tuhkapitoisuus on korkea, voi kattilaan tulla kuonaantumis- ja kerrostumisongelmia.

Arinakattiloissa lietettä voidaan polttaa osapolttoaineena kiinteän polttoaineen kanssa. Kattilan kuormitus ratkaisee, voidaanko lietemäärä polttaa. Arinakattilassa lämpötilat ovat korkeammat ja palamisen täydellisyys on huonompi kuin leijukerroskattiloissa poltettaessa märkiä polttoaineita. Arinapoltoissa lietteen osuudeksi suositellaan enintään 10–15 paino-% polttoainemäärästä. (Jaakkola 1993).

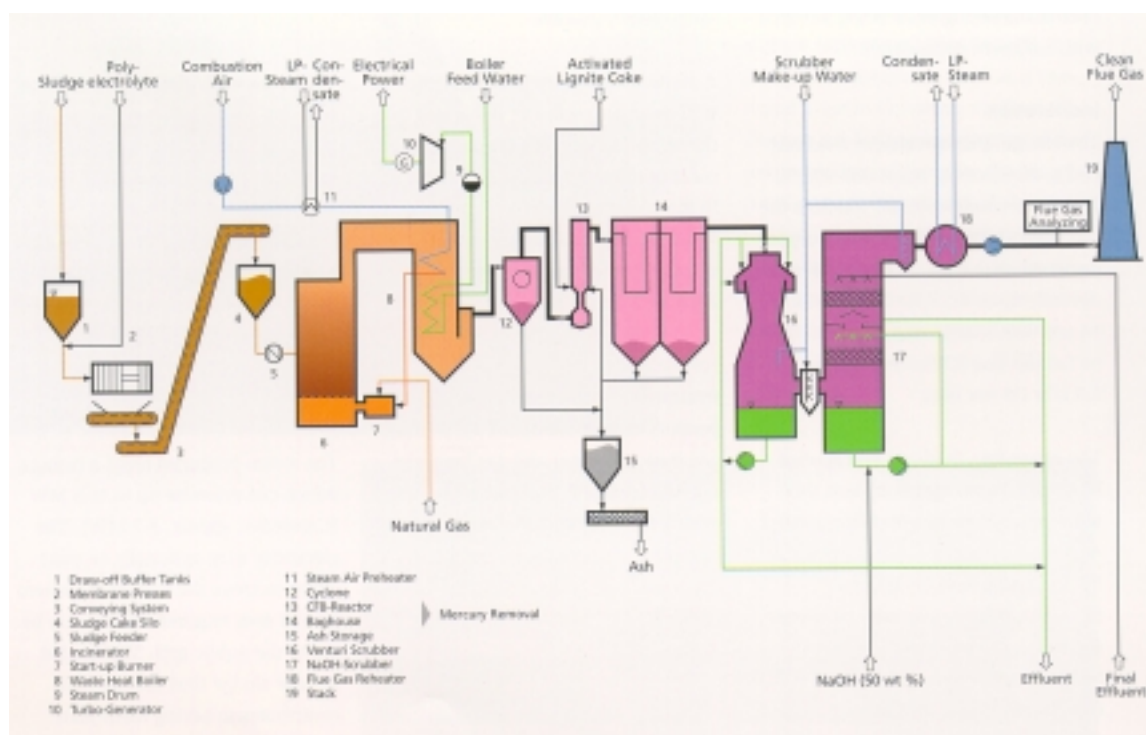
4.3.4 100 %:n lietekattila

Keski-Euroopan isoissa kaupungeissa on lietteenkäsittelyä varten rakennettu omia kattiloita suurten lietemäärien ja kaatopaikkojen puutteen takia. Saksassa on käytössä useita leijukerroskattiloita, jotka on mitoitettu 100-prosenttisesti lietteille. Saksassa ympäristönormit ovat yleensä tiukemmat, ja siellä jätteenpolton savukaasupäästöt täyttävät jo nyt tulevan EU:n Jätteenpolttodirektiivin vaatimukset. Laitokset on usein varustettu puolikuivalla tai märkäpesurilla ja kuitusuodattimella tai sähkösuodattimella sekä mahdollisesti ammoniakkin, kalkin ja aktiivihiiilen syötöllä. Savukaasunpuhdistuslaitteisto riippuu maan lainsäädännöstä, lietteen tuhkapitoisuudesta ja tuhkan ominaisuuksista, typpi-, rikki- ja klooripitoisuuksista. Jos mukana poltetaan esimerkiksi puujätettä, päästöjen hallinta helpottuu.

Mekaanisen vedenerotuksen (noin 30 %:n ka-pitoisuus) jälkeen lietteet voidaan syöttää ketjukuljettimien avulla kattilaan. Lurgi on kehittänyt lietteen polttoon leijukerroskattilaa, jossa lämpötila on 850–900 °C. Jätelämpökattilassa savukaasut jäädytetään noin

160 °C:seen. Höyry syötetään turbiinille. Savukaasunpuhdistukseen laitoksella on syk-
loni, kalkin ja aktiivihiiilen syöttö, kuitusuodin sekä kaksiosainen pesuri. (Lurgi 1999)

Lurgi on toimittanut vastaavia laitoksia muutamia eri puolille Eurooppaa, kapasiteetit
vaihtelevat 24 000–90 000 t ka/a. Ratkaisu on järkevä suurkaupungeissa isoille liete-
määrille, pienemmässä kokoluokassa investointikustannus on suomalaisen mittapuu-
hun korkea (1 500–2 300 mk/t ka).



Kuva 30. Lietteenkäsittelylaitos, Lurgi.

4.3.5 Poltto kivihiihipölykattilassa

Suomessa ei lietteitä polteta hiilipölykattilassa. Myöskään ulkomailta ei ole julkista tie-
toa päästöistä ja lietteen pitkäaikaisesta käytöstä kivihiihipölykattilassa. Lietteen seos-
poltto hiilipölykattilassa on kuitenkin mahdollista. Poltettaessa lietettä hiilikattilassa
liete on kuivattava hyvin. Hiilipölykattilaa varten se on myös jauhattava. Kuivaus ja
jauhatuus tuo lisäkustannuksia käytölle, ja lisäksi kuivattu liete edellyttää tietämystä va-
rastoinnista, syötöstä ja kuljetuksesta. Lietteen korkeat typpi-, rikki- ja raskasmetallipi-
toisuudet lisäävät jonkin verran näiden komponenttien savukaasupäästöjä seospoltossa,
ja joissakin tapauksissa kivihiihilaitosta koskevat savukaasupäästöjen raja-arvot tiuken-
tavat lietteitä (jätteitä) poltettaessa. (Werther & Ogada 1999)

Liete kuivataan, jauhetaan ja johdetaan pneumaattisesti polttimille. Lieite voidaan myös sekoittaa hiilen sekaan tai syöttää erikseen. Palaminen tapahtuu korkeassa lämpötilassa. Yleensä täytyy lietteen kosteuden olla alle 10 %. Laitoksella tulisi olla sähkösuodatin tai kuitusuodatin ja pesuri, sekä katalyyttinen SCR, jotta alitettaisiin saksalaiset normit jätteenpoltolle. (Werther & Ogada 1999)

Tulokset Saksassa (University of Stuttgart) osoittivat, että hyvin kuivatun ja jauhettun lietteen poltto hiilipölykattilassa ei lisännyt päästöjä. Polttotehokkuus laski jonkin verran suuren tuhkapitoisuuden vuoksi. NO_x-päästöt voivat hiukan kasvaa lietteen tyypipiitoisuudesta johtuen. (Werther & Ogada 1999)

4.3.6 Lietteen kaasutus

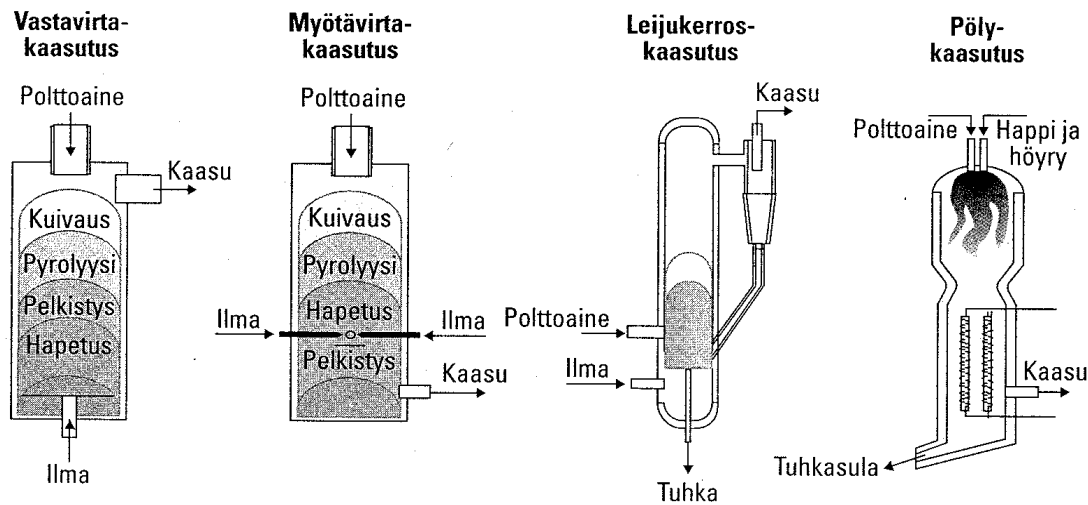
Lietteiden poltossa yksi merkittävä seikka on savukaasunpuhdistuslaitteiston koko, jonka määrää lietteen korkea vesipitoisuus. Lisäksi tuhkan suuri määrä lisää lento- ja pohjatuhkan määrää ja tuo siten lisäkustannuksia. Siksi vaihtoehtoisia tekniikkaratkaisuja on etsitty lietteiden käsittelyyn.

Kaasuttimessa lieite reagoi 800–1 000 °C:n lämpötilassa ilman, höyryn tai hapen kanssa muodostaen palavia kaasuja (H₂, CO, CH₄, kevyet hiilivedyt) sekä tuhkaa. Kaasu sisältää lisäksi vettä, hiilidioksidia ja kiinteitä jäännöshiili- ja tuhkapartikkeleita, sekä polttoaineesta peräisin olevia epäpuhtauksia, kuten rikki-, typpi- ja klooriyhdisteitä sekä alkalimetalleja. (VTT Energia 1999)

Kaasutuksessa syntyvän tuotekaasun volyymi on pienempi kuin poltossa syntyvän kaasun. Steier (1992) mittasi poltossa syntyvän kaasun volyymiksi 24–30 m³ poltettua lietekiloa kohden ja vastaava tuotekaasun volyymi kaasutuksessa oli vain 1,7 m³ lietekiloa kohti. (Werther & Ogada 1999)

Liete tulee kuivata hyvin ennen kaasutusta. Lietteen syöttö voi olla ongelmallista, ellei sitä sekoiteta kuivempaan polttoaineeseen tai kuivata hyvin ennen kaasutinta. Tyypilliset lietteen haittakomponentit, kuten elohopea ja raskasmetallit, tulisi puhdistaa ennen johtamista savupiippuun. (Werther & Ogada 1999)

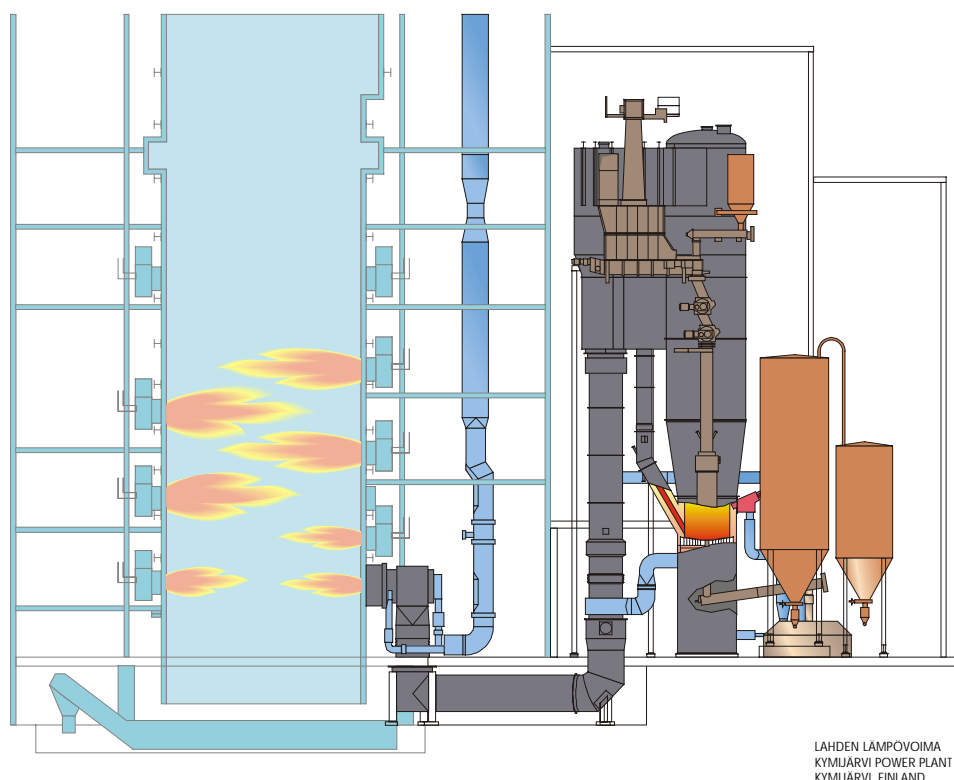
Kuvassa 31 esitetään kaasutusreaktorityypit ja niiden toimintaperiaatteet.



Kuva 31. Kaasutusreaktorityypit ja niiden toimintaperiaatteet (VTT Energia 1999).

Lietteiden kaasutus on vielä demonstraatiovaiheessa ja pitkäaikaisia kokemuksia lietteen kaasutuksesta ei ole vielä saatavana (EEA 1997).

Useissa tapauksissa olisi edullista korvata osa fossiilista energiantuotannon polttoaineista (esimerkiksi öljy, maakaasu) halvemmilla ja ympäristöystävällisemmillä polttoaineilla, kuten lietteillä tai jätteillä. Käyttämällä näitä polttoaineita lisäpolttoaineena voidaan niiden käyttöä edistää melko pienellä lisäinvestoinnilla verrattuna kokonaan uuden laitoksen rakentamiseen. Erityisesti jätteiden sisältämät epäpuhtaudet (alkalimetallit, kloori) voivat aiheuttaa seospoltossa korroosiota ja kuonaantumista. Tällaisissa tapauksissa jätteet ja siihen sekoitetut lietteet tai lietepolttoaineet voidaan kaasuttaa, kaasu puhdistaa ja johtaa poltettavaksi olemassa olevaan voimalaitokseen lisäpolttoaineeksi. Suomessa tekniikkaa demonstroidaan Kymijärven kivihiihivoimalaitoksessa (kuva 32), jossa 350 MW_{th} hiilipölykattilaan on kytketty kiertopetikaasutin (CFB-kaasutin). Kaasuttimen polttoaineteho on 34–45 MW. Syöttöjärjestelmän soveltuminen lietteille on otettava huomioon suunnittelussa. Lietteen ja REF:n kaasuttaminen voi tulevaisuudessa olla varteenotettava vaihtoehto, mutta kokemuksia on vielä vähän. (VTT Energia 1999)


 LAHDEN LÄMPÖVOIMA
 KYMIJÄRVI POWER PLANT
 KYMIJÄRVI, FINLAND

Kuva 32. Hiilipölykattilaan kytketty kaasutin, Lahden Lämpövoima Oy:n Kymijärven voimalaitos.

4.3.7 Poltto soodakattilassa

Biolietteitä voidaan polttaa myös soodakattilassa. Kemissä on poltettu biolietteitä Metsä-Botnian tehtailla vuodesta 1993. Mekaanisesti kuivattu bioliete sekoitetaan laihan mustalipeään ja konsentroidaan normaalisti haihdutuslaitoksella. Modernissa soodakattilassa poltto-olot ovat hyvin kontrolloidut ja monitoroidut, ja biolietteen poltto soodakattilassa tarjoaa taloudellisesti ja ympäristönsuojelullisesti kiinnostavan vaihtoehdon biolietteen käsittelyyn. (Harila & Kivilinna 1999)

Kemissä kuorimon lietteet ja sellutehtaan primäärilietteet sakeutetaan ensin selkeyttimissä noin 4 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. Kuitu- ja kuoriliete (n. 15 t/d) puristetaan sitten suotonauhapuristimella noin 40 %:n kuiva-ainepitoisuuteen ja liete sekoitetaan kuoreen ja poltetaan 115 MW:n leijukerroskattilassa. (Harila & Kivilinna 1999)

Aktiivilietelaitokselta ylijäämäliete (bioliete) kootaan varastosäiliöön, josta se viedään sakeutukseen kahdelle lingolle, joissa päästään 10–12 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. Lingoilta liete viedään sekoitussäiliöön, jossa se sekoitetaan emäksiseen soodaan. Liete

kuljetetaan edelleen toiseen säiliöön, jossa se lämmitetään ja sekoitetaan mustalipeään ja kuljetetaan edelleen haihdutuslaitokselle. Mustalipeä poltetaan soodakattilassa tehtaassa hajukaasujen (konsentroitujen ja laimennettujen) kanssa. Savukaasunpuhdistukseen laitoksella on sähkösuodin (2-kenttäinen) ja pesuri. Biolietteen osuus on vain noin 0,5 % mustalipeän syöttömäärästä soodakattilaan. (Harila & Kivilinna 1999)

Kokemukset Kemistä ovat olleet hyvät. Mustalipeän poltto-ominaisuudet (kuivausaika, pyrolyysi) muuttuvat vain vähän biolietteitä poltettaessa. Mustalipeän klooripitoisuus on laskenut tasaisesti 90-luvulla, koska valkaisu-kemikaaleja ei johdeta kemikaalien talteenottolaitokseen (soodakattilaan). Klooripitoisuus on 0,2–0,3 % kuiva-aineessa, ja biolietteen sekoittaminen ei nosta tätä klooripitoisuutta. Biolietteen käyttö ei myöskään lisää savukaasupäästöjä. (Harila & Kivilinna 1999)

4.3.8 Lietteiden poltto MSW-laitoksella

Lietteiden poltto MSW-laitoksella tai 100 %:n REF-laitoksella tarjoaisi yhden vaihtoehdon lietteiden käsittelylle. Suomessa on vain yksi jätteenpolttolaitos Turussa, joten suuressa mitassa tämä ei tuo vielä ratkaisua Suomessa. Euroopassa lietteiden poltto MSW-laitoksilla on huomattavasti yleisempi vaihtoehto. Lietteen polttaminen uudet EU-normit täyttävällä MSW/REF-laitoksella ei yleensä lisää savukaasupäästöjä mutta se voi lisätä savukaasuvirtoja, mikä tulee ottaa huomioon mitoituksessa.

Prosessi voi tuottaa lietteen kuivaukseen tarvittun lämpöenergian ilman lisäpolttoaineita. Lisäksi MSW-reaktoreilla on usein niin väljästi mitoitettut savukaasunpuhdistuslaitteistot, että lietteen poltto ei aiheuta ongelmia. Tällä hetkellä esimerkiksi Saksassa poltetaan lietteitä kymmenellä jätteenpolttolaitoksella. (Werther & Ogada 1999)

4.3.9 Poltto sementtiuunissa

Sementtiuuni on pitkä rumpu-uuni, jonka halkaisija on 5–7 m. Raaka-aineet (kalkkikivi, savi, hiekka, rauta) ja osa polttoaineista syötetään ns. kalsinointitorniin. Uunin kuumas-
sa päässä on kivihiihilypölypoltin (1 400–1 500 °C). Materiaali valuu hitaasti rumpun läpi sintraantuen klinkkeriksi. Klinkkeri jäädytetään ja jauhetaan sementiksi. Jauhatuksen yhteydessä seokseen lisätään seosaineita (tuhka, kipsi, kalkkikivi), jolloin saadaan valmis tuote. Sementin valmistuksessa ei synny sekundäärisiä jätteitä, sillä korkean lämpötilan vuoksi epäorgaaninen aines sitoutuu klinkkeriin. (Ranta 1999)

Itävallassa on vuodesta 1990 lähtien poltettu paperitehtaan siistaus- ja kuitulietteitä sementtiuunissa (Ernstbrunner 1992). Lietteen syöttömäärä ja sekoitussuhde muihin mate-

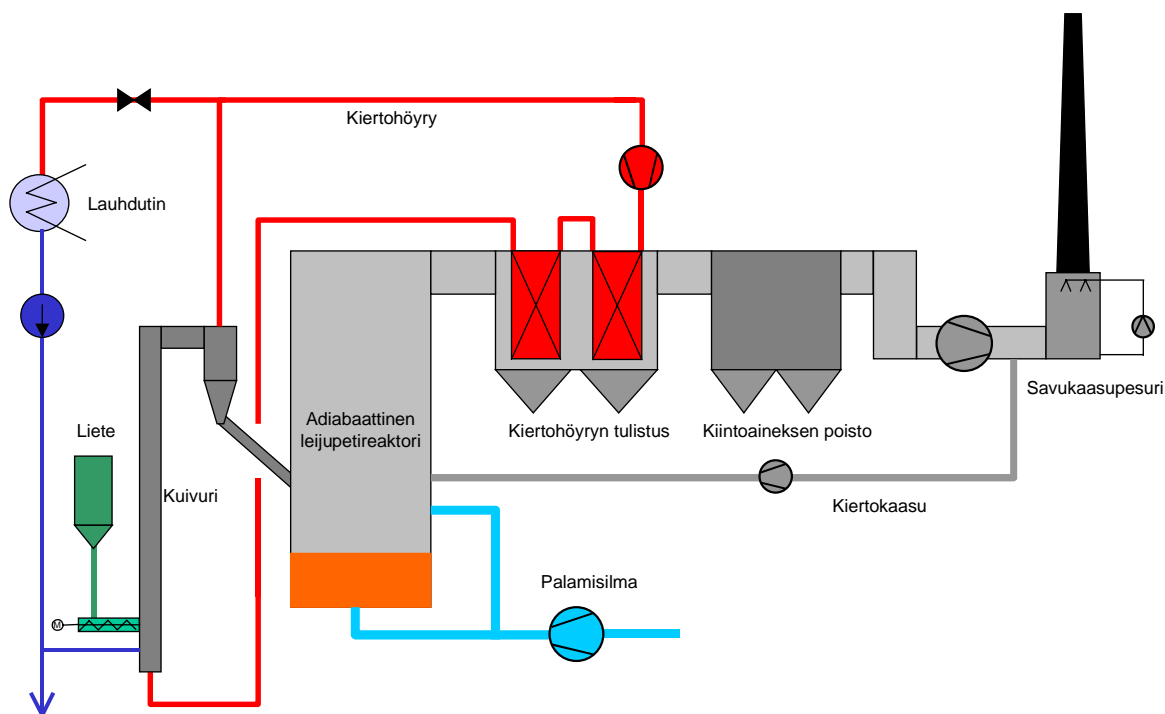
riaaleihin on oltava oikea, ja tiettyjä lisäaineita, kuten rautaa tai kalkkia, voidaan lisätä tarvittaessa.

Sementtiuunin etuna jätteen tai lietteen poltossa on fossiilisten polttoaineiden käytön väheneminen, luotettavuus, jätteenpolttolaitosta edullisempi käyttökustannus sekä kiinteän jäännöksen puuttuminen. (Ranta 1999)

Suomessa on kaksi sementtitehdasta, Lappeenrannassa ja Paraisilla, joten suuressa mittassa tämä ei tuo lietteenkäsittelyratkaisua Suomessa.

4.3.10 Lietteenpolttotekniikat (Fortum)

Fortum on kehittänyt lietteen termiseen kuivaukseen ja polttoon perustuvan konseptin, jossa liete poltetaan ilman tukipolttoainetta pienessä yksikössä. Fortumin konseptiin kuuluu paineistettu höyrykuivuri ja leijukerrosreaktori (kuva 33). Palamisessa vapautunut lämpö otetaan talteen kuivurihöyryn tulistimessa. Prosessi toimii ilman tukipolttoainetta, kun lietteen kosteus <85 %. Laite voidaan sijoittaa lietteen syntypaikan läheisyyteen. Prosessi on itsenäinen, eikä lietteenkäsittely vähennä muiden prosessien käytettävyyttä. Prosessi tuottaa lämpöä tai höyryä.



Kuva 33. Fortumin paineistettu höyrykuivuri ja adiabaattinen leijukerrosreaktori.

Tulistetulla höyryllä tapahtuvan kuivauksen etuna esimerkiksi savukaasuilla tapahtuvaan kuivaukseen verrattuna on mahdollisuus käyttää lietteestä höyrystynyt vesi matapainehöyryinä muissa prosesseissa. Prosessin paineistus pienentää tilavuusvirtoja ja putkikokoja. Kuivausprosessista poistuu vain lauhdetta. Laitoksen koko on pieni, koska tukipolttoainetta ei tarvita. Tuotettava höyry voidaan käyttää oman laitoksen lämmitykseen tai tarvittaessa myydä ulos. Tämä vaikuttaa huomattavasti myös laitoksen käyttökustannuksiin. Kuivurista vapautuvat hajukaasut ohjataan kattilaan. Laitos voidaan valmiiksi suunnitella täyttämään tulevat tiukemmat savukaasujen päästövaatimukset.

Erilliseen, juuri tarvittavalle lietemäärälle ja -laadulle suunniteltuun kattilaan on helppo yhdistää tarvittava savukaasunpuhdistuslaitteisto, joka vastaa myös tulevia ympäristönormeja. Lietteiden kuljetus voidaan minimoida, jos kattila sijoitetaan samalle tontille puhdistamon kanssa. Lisäksi lietteen tuhka saadaan erilleen, eikä se sekoitu esimerkiksi kuorikattilan tuhkaan, mikä on hyvä, jos lietteen tuhka sisältäisi suuria määriä ongelmallisia komponentteja. Laitteisto soveltuu kaikille lietemateriaaleille, ja lietteen käsittely on suljettu prosessi, mikä vähentää työhygieniaoongelmia. Fortumin laitos on järkevä silloin, kun halutaan välttää lietteen kuljetusta ja hoitaa lietteenkäsittely paikan päällä ja esimerkiksi syntyvä lietemäärä ei mahdu enää kattilaan tai lietettä ei voida seospolttaa olemassa olevassa kattilassa.

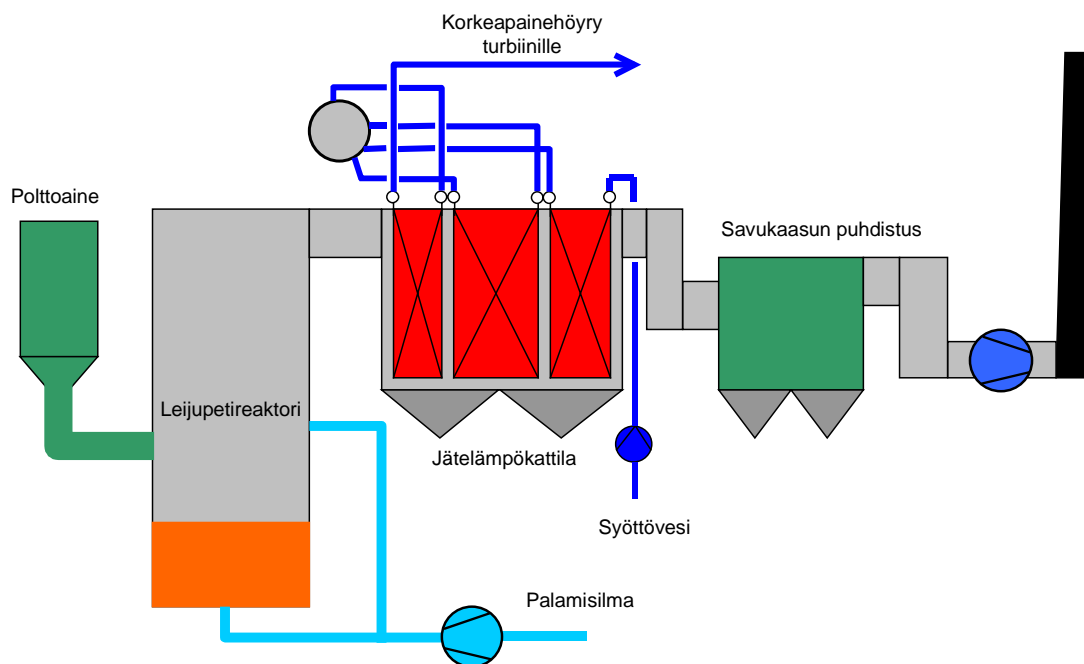
Kaukolämmön myynti erityisesti kesällä voi tuottaa vaikeuksia, mikä heikentää laitoksen taloutta. Korkeassa lämpötilassa kuivurista talteenotettavan höyryä lauhduttimesta tulevan jäteveden COD- ja TOC-pitoisuudet ovat korkeita, ja tämä voi vaikeuttaa jätevedenpuhdistusta. Fortum etsii demonstraatiokohdetta laitokselleen.

Fortum tarjoaa lisäksi leijupetireaktorin yhdistettynä jätelämpökattilaan (kuva 34). Tällöin tarvitaan lisäpolttoaineeksi esimerkiksi biomassaa tai öljyä. Laitos tuottaa höyryä turbiineille tai lämpöä kaukolämmöntuotantoon.

Lietteen polton/termisen käsittelyn etuja ja haittoja esitellään taulukossa 14.

Taulukko 14. Lietteiden poltto/terminen käsittely.

	Edut	Haitat	Käyttö
Leijukerroskattilat – seospolttu	+ myös hyvin kosteat polttoaineet tai lietteet + hyvä polttoaineen ja ilman sekoittuminen + pitkä viipymäaika + lämpötilan tasaisuus petissä	– lentotuhkaa paljon – lentotuhkan hyötykäyttö voi vaikeutua – lietteiden tasainen syöttö vaikeaa – yhdyskuntalietteiden käyttö voi tehdä kattilasta jätteenpolttokattilan	Metsäteollisuus
Leijukerroskattila – 100 % liete	+ mitoitettu suoraan lietteille + hyvä polttoaineen ja ilman sekoittuminen	– yleensä matalat höyryn arvot, teho huonompi	Suuret yhdyskuntien jätevesipuhdistamot
Kivihiilipölykattila	+ jos normit täyttävä laitos, helppo tapa	– hyvin kuiva polttoaine, kosteus <10% – liete jauhattava, kustannus	Ei pitkäaikaisia kokemuksia
Kaasutus	+ savukaasuvolyymi pienenee + voidaan korvata kaasulla fossiilisia polttoaineita	– lietteiden syöttö voi olla ongelmallista – Hg, raskasmetallit tulee puhdistaa	Metsäteollisuuslietteet, yhdyskuntalietteet
Soodakattila	+ ei lisää juuri päästöjä + edullinen vaihtoehto sellutehtaalla	– soodakattiloita rajoitettiin	Metsäteollisuus
MSW/100 % REF-laitos	+ ei lisää juuri päästöjä	– märkä liete lisää savukaasuvirtoja – liete huomioitava mitoituksessa	Yhdyskuntien jätevesilietteet, yhdessä REF:n kanssa
Sementtiuuni	+ tuhka hyötykäyttöön	– mahdollisesti tarve lisääneille	Keski-Euroopassa
Fortum lietekonsepti	+ tuhkat pysyvät erillään + suunnittelussa huomioidaan sk puhdistustarve + pieni koko + tuottaa vähän sähköä/lämpöä, voidaan käyttää omaan tarpeeseen	– tuhkan jälkikäyttö – jäteveden laatu	Demonstraatiokohdetta haetaan.



Kuva 34. Fortumin leijupetireaktori yhdistettynä jätelämpökattilaan.

4.4 Lietteiden käyttö lannoitteina

Lietteitä voidaan käyttää lannoitteina ja maanparannusaineina. Varsinkin yhdyskuntalietteen ravinnepitoisuus (N, P) on osoittanut hyviä lannoiteominaisuuksia. Yhdyskuntien lietteet sisältävät enemmän ravinteita kuin metsäteollisuuden biolietteet. Jätevedenpuhdistuksessa lisättävät saostuskemikaalit (AlSO_4 , FeSO_4) vähentävät kuitenkin fosforin liukoisuutta ja siten huonontavat lannoitusominaisuuksia. Lietteet sisältävät lisäksi jonkin verran raskasmetalleja, mikä joissakin tapauksissa rajoittaa niiden lannoituskäyttöä. (Harmaa 1987)

Kuivatusta lietteestä voidaan valmistaa rakeista lannoitetta. Lietteiden ravinnekoostumukset eivät kuitenkaan yleensä vastaa hyvin viljelykasvien ravinnetarpeita. Lietteiden fosforipitoisuus on korkea typpi- ja kaliumpitoisuuteen verrattuna. Mikäli puhdistamolietteestä haluttaisiin tehdä peltokäyttöön soveltuvaa lannoitetta, tulisi lietteeseen lisätä ainakin typpeä ja kaliumia. (Lilja ym. 1998)

Kuivattujen lietepellettien metsälevitys voi olla yksi järkevä hyötykäyttövaihtoehto. Lietepellettien metsälevityksessä lietteestä liukenevat raskasmetallipäästöt, ravinnehäviöt ja happamoittavien aineiden päästöt ovat pieniä. Metsälevityksessä tarvittava ala on toisaalta suuri ja kuljetuskustannukset ovat korkeat. Käyttö metsälevityksessä voi olla merkittävä mahdollisuus Suomen suurissa metsävaroissa. Levitysannos 4 t/ha lietepel-

lettiä olisi hyväksyttävä sekä raskasmetallien (Cd) että ravinteiden kannalta. (Lilja ym. 1998)

Lietteen metsälevityksen kannattavuus riippuu siitä, kuinka paljon metsänomistajat ovat valmiita maksamaan lietelannoituksesta. Tarvitaan vielä tutkimustuloksia ja pitempiaikaisia tuloksia metsälannoituksesta. Jos puhdistamolietteistä halutaan markkinoille kilpailukykyinen ja kiinnostava lannoite, tulee tuotteistaminen viedä melko pitkälle. Lannoitteen ravinnekoostumusta tulisi voida vaihdella eri käyttökohteisiin sopivaksi. (Lilja ym. 1998)

Esimerkiksi metsäteollisuuden kuivatun lietteen käyttöä metsään sellaisenaan tai tuhkan kanssa on tutkittu ja tutkitaan Pirkanmaan Ympäristökeskuksen, VTT Energian, Metsä-Serlan ja Ylöjärven kunnan yhteisprojektissa (1998–2000). Tämä voi tuoda paikallisesti mielenkiintoisen käsittelyvaihtoehdon.

Lietteiden lannoitekäytön etuja ovat ravinteiden kierrätys (fosfori, typpi), orgaanisten aineiden käyttö parantamaan maaperän humuskerrosta ja usein edullinen kustannus. Haittapuolia ovat investointi varastointirakennuksiin, koska lietteitä voidaan levittää vain muutaman kerran vuodessa, tietämättömyys lietteiden sisältämistä patogeeneista ja mikrobeista ja niiden merkityksestä ravintoketjulle.

Lannoitekäyttöä puoltaa keinotekoisien lannoitteiden käytön vähentäminen. Esimerkiksi Ranskassa 60 %, Tanskassa 54 % ja Espanjassa 44 % lietteistä käytetään lannoitteina. Lannoitekäyttö on paikallisesti mielenkiintoinen vaihtoehto, jos lannoite saadaan hyvin markkinoitua. Suuret määrät ja rajoitettu käyttö vain sulan maan aikaan vaikeuttavat markkinointia.

4.5 Sijoitus kaatopaikalle

Sijoitusta kaatopaikalle ei voida tulevaisuudessa pitää järkevänä ratkaisuna lietteille. Lietteiden sijoitus kaatopaikalle on ongelmallista sekä niiden suuren määrän että mahdollisesti kaatopaikalta ympäristöön pääsevien päästöjen vuoksi. Kuivattu liete voidaan sijoittaa kaatopaikalle erillisille täyttöalueille. Alueet vaativat kuitenkin usein jatkuvaa kunnostusta.

Kuitulietteitä ja esikäsiteltyjä yhdyskuntalietteitä hyötykäytetään nykyään jonkin verran kaatopaikkojen pintarakenteissa.

Kaatopaikkamaksut eivät ole vielä vähentäneet kiinnostusta läjitykseen, mutta tulevaisuudessa nousevat kustannukset varmasti vähentävät kiinnostusta kaatopaikkasijoituk-

seen. Esimerkiksi Ruotsissa on otettu vuoden 2000 alusta käyttöön kaatopaikkavero 250 SEK/t märkää lietettä, ja tämä jo vähentää todennäköisesti kaatopaikkasijoitusta.

Ilman täysimääräisten kaatopaikkamaksujen perimistä kunnallisilla ja teollisuuden kaatopaikoilla eivät muut käsittelytekniikat ja -vaihtoehdot nouse taloudellisesti mielenkiintoisiksi. Lietteen hyötykäytön esteeksi voi Suomessa osalla paikkakuntia muodostua vuoteen 2007 asti vielä kaatopaikkakäsittelyn hinnoittelu, eli lietteiden vienti kaatopaikalle on muihin vaihtoehtoihin verrattuna halpaa. Tämä muuttuu todennäköisesti vuoden 2007 jälkeen, kun kaikkien kaatopaikkojen tulee täyttää EY:n kaatopaikkadirektiivin mukaiset pohja- ym. rakennevaatimukset, ja kaatopaikkamaksuilla tulee kattaa perustamis- ja käyttökulut. Lisäksi orgaaniselle jätteelle tulee rajoituksia sen kaatopaikkasijoitukseen tulevana vuosina kaatopaikkadirektiivin kautta.

4.6 Krepro

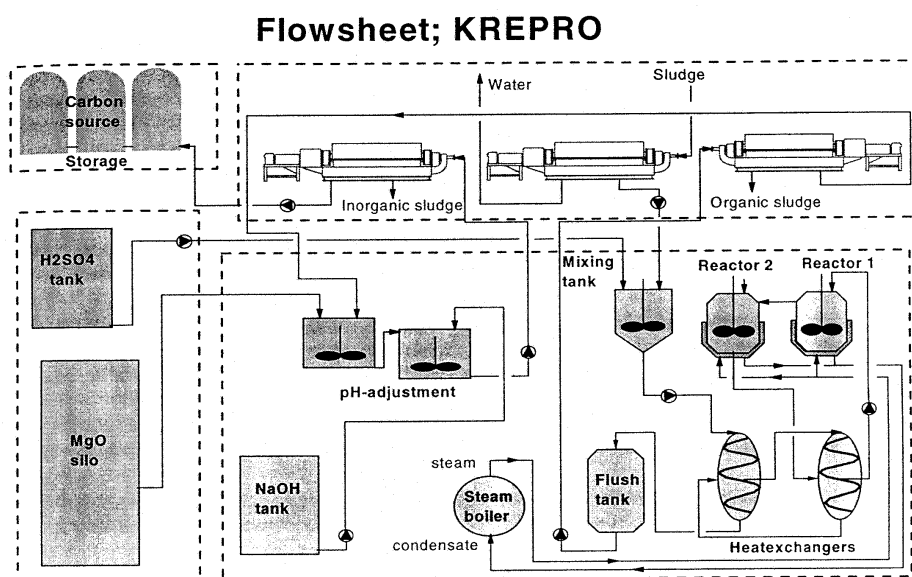
Krepro (Kemwater REcycling PROcess) on Kemira Chemicals Oy:n, Kemwaterin, Helsingborgin kaupungin ja Alfa Lavalin yhteisprojekti, jossa tarkoituksena on ollut kehittää lietteenkäsittelytekniikka yhdyskuntalietteiden käsittelyyn ja erottaa samalla hyödyllisiä komponentteja, kuten fosforia ja orgaanista ainesta, hyötykäyttöön. Kehitysprojektin tarkoituksena on ollut 1) tuottaa hiililähdettä prosessiin hydrolyysillä ja samalla saavuttaa hyvä puhdistustulos fosforin, BOD:n ja typen osalta, 2) hyödyntää liete raaka-aineiden valmistukseen ja 3) ottaa talteen aineita kierrätykseen. (Hagström ym. 1998)

Prosessissa voidaan lietteestä erottaa fosfaatti (lannoitteeksi maanviljelyyn), saostuskemikaali, hiililähde, raskasmetallit sekä biopolttoaine (energiakäyttöön). Tuotteena on kaksi kiinteää tuotetta: orgaaninen liete, jolla on korkea kuiva-ainepitoisuus (biopolttoaine/lannoite) ja epäorgaaninen liete, joka sisältää suurimman osan fosforista. Nestemäisessä tuotteessa ovat liukenevat orgaaniset komponentit (voidaan käyttää hiililähteenä typenpoistossa tai biokaasun valmistuksessa) ja usein myös saostuskemikaali. (Hagström ym. 1998)

Periaatteena on että jätevesilietettä käsitellään lämmön, hapon tai molempien avulla ja rikotaan lietteen rakenne. Näin saadaan lietteestä uusia liukoisia osia ja jäljelle jäävä kiintoaine on kuivattavissa korkeaan kuiva-ainepitoisuuteen. Erotuksen jälkeen rejektiä voidaan käsitellä eri tavoin erottaen esimerkiksi raskasmetallit ja fosfori omiksi jakeiksi (linkoamalla erilaisissa pH:ssa). Lopullinen lingottu rejekti on puhdasta orgaanista liuennutta ainetta sisältävää nestettä ja se voidaan hyödyntää esimerkiksi hiililähteenä denitrifiointivaiheessa. (Hagström ym. 1998)

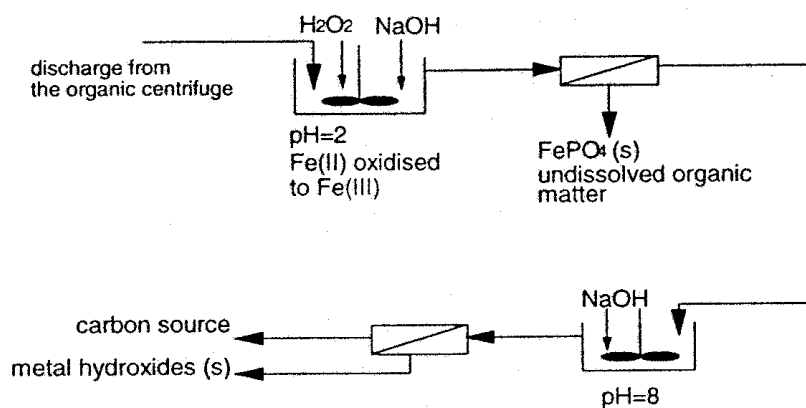
Yksikköoperaatioita ovat lietteen tiivistys, hapottaminen, lämpöhydrolyysi, orgaanisen aineksen erotus, fosforin saostaminen sekä fosfaattilietteen erotus.

Öresundin pilottilaitoksella (kuva 35) (500 kg ka/h) liete (2–4 % ka) sakeutetaan ensin lingolla 5–6 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. Sen jälkeen lietteen pH lasketaan (pH 1,5). Hapan liete esilämmitetään spiraalilämmönvaihtimien avulla noin 30 °C:stä noin 100–110 °C:seen, minkä jälkeen se pumpataan reaktoreihin, jossa orgaaninen aines pilkkoutuu (140 °C, 3,6 bar). Reaktorissa orgaaninen aines hajotetaan, ja se muodostaa liukoisen COD:n (esimerkiksi hiililähteenä typenpoistossa) sekä liukenemattoman orgaanisen osan. Kaikki orgaaninen materiaali ei pilkkoudu, noin 60 % jää liukenemattomana partikkeleihin, membraaneihin ja kuituihin. Orgaanista ainesta vielä sisältävä liete johdetaan lingoille, joissa lietteen kuiva-ainepitoisuus nostetaan 45–50 %:iin, minkä jälkeen tuote voidaan käyttää esimerkiksi polttoaineena tai lannoitteena. Tuotteen raskasmetallipitoisuudet ovat pienet, mutta toisaalta ravinteiden määrä on pieni, ja niitä joudutaan lisäämään lannoitekäyttöä varten. (Hagström ym. 1998)



Kuva 35. Krepro-prosessi, Öresundin pilottilaitos (Hagström ym. 1998).

Linkojen rejektivesi sisältää liennuttua COD:ta, liennuttua fosforia ja saostuskemikaa- leja sekä raskasmetalleja. Tämän seoksen pH säädetään (ensimmäinen tankki pH 4,5, toinen tankki pH 8), jolloin fosfori ja raskasmetallit saostuvat hydroksideina ja fosfori- suolana. Mahdollista on myös saostaa fosfori rautafosfaattina. Helsingborgin projektin yhteydessä on esille tullut useita vaihtoehtoisia ratkaisumalleja erilaisiin tilanteisiin so- veltuviksi. (Peuraniemi 1999)



Kuva 36. Fosfaatin, hiililähteen ja raskasmetallien erottaminen laitoksella toisistaan.

Raskasmetallisakan käytölle ei ole taloudellista intressiä, jolloin vaihtoehtoina ovat sakan erottaminen ja vieminen kaatopaikalle tai raskasmetallien saostaminen orgaaniseen lietteeseen ja lietteen polttaminen modernissa massapolttolaitoksessa. Poltossa ongelmallisimmat komponentit ovat elohopea ja typpi. Rautafosfaatin lannoiteominaisuudet ovat kaupallisia lannoitteita 4–5 % huonommat sadon määränä laskettuna. Ongelmana on korkea elohopeapitoisuus.

Hajuhaittoja voidaan vähentää tai poistaa hajukaasujen pesulla ja biofilterillä. Pilottilaitoksen ongelmia pumppujen, kemikaalien syöttöjärjestelmien yms. kanssa on ratkaistu uudessa korjatussa pilottilaitoksessa, jota rakennetaan parhaillaan. Sitä pitäisi voida tällöin ajaa miehittämättömänä ilman ongelmia. Vanhassa laitoksessa, jossa parannuksia ei vielä ollut tehty, pisin yhtämittainen ajoaika ilman keskeytyksiä oli 88 tuntia. (Hagström ym. 1998)

Verrattuna lietteiden mädätykseen päästään Krepro-prosessilla pienempiin lietemääriin. Kemira on laskenut, että jos 10 m³ lietettä (ka 4 %) mädätetään, saadaan 1,2 m³ kuivatua mädätettyä lietettä. Krepro-prosessilla päästään arvoon 0,69 m³ kuivatua lietettä, jos epäorgaaninen osa saostetaan metallihydroksidina. Pilottilaitosta on ajettu vain mädätetyllä lietteellä, mutta raakalietteellä väitetään päästävän samoihin lukuihin. Raakalietteen Krepro-käsittelyssä saadaan parempi hiililähteen laatu. (Hagström ym. 1998)

Orgaaniselle lietteelle (sekä epäorgaaniselle osalle) tulee olla markkinat, jotta prosessi olisi taloudellinen. Käyttökustannuksiksi on Peuraniemi (1999) arvioinut noin 960 SEK/t ka; tämä riippuu lietteen määrästä ja fraktioiden käyttökohteista. Hansenin (2000) mukaan noin 5 000 t ka/a lietettä prosessoivan laitoksen kokonaiskustannukset (investointi- ja käyttökustannukset) ovat 2 000–3 000 SEK/t ka.

Prosessi on mielenkiintoinen, mutta melko monimutkainen. Typpeä ei saada kiertoon, vain fosfori saataisiin uudelleen käyttöön. Rautafosfaatille tulee olla markkinat. Samoin orgaaninen osa täytyy saada polttoon. Ongelmia voi aiheuttaa raskasmetallien keräytyminen orgaaniseen osaan, varsinkin jos tämä poltetaan. Varsinkin Keski-Euroopassa, missä vaihtoehtoiset käsittelytavat ja kaatopaikkamaksut ovat korkeat, voi prosessi olla kiinnostava, jos tuotteet saadaan hyötykäyttöön.

4.7 Kuitusavi-Finncao

Finncao Oy on Metsä-Serlan, UPM Kymmene Oyj:n, Helsingin Energian sekä Rosk'n Rollin omistama yhteisyritys, jonka tarkoituksena on ollut etsiä hyötykäyttövaihtoehtoja ja käsittelypaikkoja teollisuuden vaikeille jätevirroille, voimalaitostuhkille, siivous- ja kuitulietteilille.

FINNCAOn raaka-aineena käytettävä kuitusavi on yleisnimitys erityyppisille paperiteollisuudessa muodostuville kuitu- ja täyteainepitoisille sivutuotteille, siivous- ja kuitulietteilille. Metsäteollisuuslietteiden (kuitulietteiden) vedenläpäisevyys on hyvin pieni ($k \leq 1 \cdot 10^{-8}$ m/s), joten ne soveltuvat kaatopaikan pintasuojarakenteen tiivistyskerroksen materiaaliksi. Pohjarakenteisiin tarvitaan materiaalia, jonka vedenläpäisevyys on $k \leq 1 \cdot 10^{-9}$ m/s. Kuitulietteen lujuusominaisuuksia voidaan vielä parantaa sekoittamalla kuitulietteeeseen lentotuhkaa. Kuituliete toimii tällöin sorbenttina ja pidättää haitta-aineita kuitulietteeeseen. Kuitusaven tuotteistamisen tuloksena on saatu tuote FINNCAO L8, joka tarjoaa ratkaisua kaatopaikan pintasuojarakenteen tiivistyskerroksen materiaaliksi. Tavoitteena on vielä luoda tuotteita kaatopaikan pinta- ja pohjarakenteisiin sekä muihin vedenläpäisevyyttä ja lujuutta vaativiin kohteisiin. Lisäämällä sidosaineita ja lisäaineita voidaan materiaalien ominaisuuksia säädellä eri käyttötarkoituksia varten. Vanhojen suljettavien kaatopaikkojen pintarakenteisiin voitaisiin käyttää Suomessa syntyvä siivousjäte (n. 170 000 t/a) kokonaan. (Saari ym. 1998)

Kuitusaven ympäristökelpoisuutta on tutkittu vertaamalla kuitusaven raskasmetallipitoisuuksia Geologian tutkimuskeskuksessa tehtyihin tutkimuksiin suomalaisten savien ja moreenin raskasmetallipitoisuuksista. Kuitusaven raskasmetallipitoisuudet ovat olleet pieniä keskimääräisiin luonnollisiin tausta-arvoihin nähden. (Saari ym. 1998)

Finncaon kuitusaven kustannukset koostuvat kuljetuksesta, varastoinnista, kuormauksesta, käsittelystä (sekoitus/homogenisointi), siirrosta sekä levityksestä ja tiivistyksestä. Materiaali on tavanomaisia kiviainesmateriaaleja kevyempää, ja kuljetuskustannukset ovat siten kiviainesta halvempia. FINNCAO L8:lla rakennettu tiivistyskerros maksaa noin 40 mk/m^2 (bentoniittiseos $40\text{--}50 \text{ mk/m}^2$). (Saari ym. 1998)

Kuitusaven tuotteistaminen vaikuttaa kiinnostavalta. Siinä saadaan hyödynnetyksi lentotuhkaa ja kuitu- ja siustauslietteitä, joiden hyötykäyttö muuten on kyseenalaista. Näiden lietteiden tuhkapitoisuudet ovat usein niin korkeat, ettei niiden energiakäyttö ole energiataloudellisesti järkevää. Lisäksi tässä toimitaan EU:n jätepolitiikan mukaan käyttämällä jäte ensin materiaalina hyödyksi. Ongelmaksi voi muodostua bio- ja kuitulietteen erillään pitäminen laitoksissa, ja biolietteiden kuivaus ilman kuitulietteitä on suotonauhauristimessa usein hankalaa. Tuotteen markkinointi ja valmistus on vielä kokeiluasteella. Siustauslietteelle kuitusavi tuo merkittävän vaihtoehdon, jos tuote saadaan markkinoiduksi.

Finncao on markkinoinut tuotettaan kaatopaikkarakenteisiin, esimerkiksi Petäjaveden kaatopaikan sulkemiseen (Uusio Uutiset 2000). Lisäksi tuotetta markkinoidaan kenttä- ja tierakenteisiin sekä saastuneiden maiden kapselointiin.

4.8 Lietteiden ja konsentraattien haihdutus

Suomessa on kehitetty kaksi haihdutusteknologiaa prosessi- ja jätevesille: ZEDVAPTM (Andritz Ahlstrom) ja Hadwaccon muovikalvohaihdutin (Hadwaco Oy). ZEDIVAPTM- haihdutin on käytössä kuorimojätevesien käsittelyssä Stora Enson Varkauden tehtailla. Stora Enson Kotkan tehtailla on vuodesta 1995 ollut käytössä ZEDIVAPTM- prosessiveden puhdistuslaitos, jossa paperitehtaan ja hiertämön lämpimästä jätevedestä valmistetaan haihduttamalla hukkalämmön avulla puhdasta vettä korvaamaan raakavettä prosessissa. Näissä sovelluksissa energian käyttökustannukset on saatu pidetyksi alempana käyttämällä haihdutuksessa paperitehtaan hukkalämpöä tai MVR:ää (mechanical vapour recompression). (Fagernäs 1997, McKeough & Fagernäs 1999)

Haihdutuksessa jätevedet käsitellään 70–80 °C:n lämpötilassa, jolloin päästään noin 20 %:n kuiva-ainepitoisuudesta 45–60 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. Kondensoituvan veden laatu muuttuu korkeampaan kuiva-ainepitoisuuteen mentäessä, ja TOC:n ja happojen pitoisuudet vedessä/lauhteessa kasvavat. Haihdutuskonsentraatin lämpöarvot kuiva-aineessa vaihtelevat välillä 11–20 MJ/kg. Metsäteollisuuden lietteiden ja konsentraattien jatkohaihdutusta on tutkittu CACTUS-teknologiaohjelmassa. Jätevesien BOD-, COD- ja TOC-kuormituksia on alipainehaihdutuksessa saatu vähenemään keskimäärin yli 98 massa-%, typen ja fosforin kuormituksia noin 99 massa-%. (Fagernäs 1997, McKeough & Fagernäs 1999)

Haihdutuskonsentraatti sisältää epäorgaanisia ioneja, alkali- ja raskasmetalleja, typpeä ja aminohappoja, joten konsentraatin käyttömahdollisuudet tulee selvittää. Jos mahdollista, konsentraatti olisi järkevä polttaa läheisessä monipolttoainekattilassa muiden

polttoaineiden seassa. Jotkin konsentraatit, kuten alkalinen TMP-suodos, on järkevä ohjata soodakattilaan. (Fagernäs 1997, McKeough & Fagernäs 1999)

Metsäteollisuuden sellu-paperitehdasintegraateilla muodostuu vesikiertojen sulkemisen seurauksena enenevässä määrin sekundäärilämpöä, jolle ei useinkaan löydetä käyttöä. Vanhatalon ym. (1999) mukaan on alipainetta käytettäessä mahdollista myös matalammissa lämpötiloissa käyttää energia hyväksi esimerkiksi aktiivilietteiden haihdutuskuivaimissa. Primääriliete voitaisiin saada mekaanisella vedenerotuksella tehokkaammin korkeampaan kuiva-ainepitoisuuteen, jos aktiiviliete kuivattaisiin erikseen. Haihdutuksen laajempi käyttö on vielä pientä metsäteollisuusintegraateissa.

5. Yhdyskuntalietteiden käsittelyvaihtoehtojen vertailu

Yhdyskuntalietteiden määrä on Suomessa viime vuosina pysynyt melko tavalla samana, Euroopan Unionin sisällä lietemäärät tulevat kasvamaan huomattavasti. Tiukentuvat ympäristönormit ovat vaikuttaneet ja tulevat vaikuttamaan käsittelytarpeen lisäämiseen.

Lietteiden käsittelyvaihtoehtoja vertailtaessa ja valittaessa tulee ottaa huomioon lietteen määrä, sen vähentämismahdollisuudet, lietteen koostumus ja mahdolliset haitalliset aineet, kuljetuksesta aiheutuvat kustannukset ja haitat, sijoituspaikka, luvat sekä paikalliset olot. Käsittelytekniikoiden vertailu on sinänsä hankalaa, sillä tuotteet ovat erilaisia ja tekniikoilla on omia hyviä ja huonoja puolia.

5.1 Yhdyskuntalietteiden käsittelytekniikoiden tekninen vertailu

Kaatoaikkaläjitys ilman esikäsittelyä loppuu vuoteen 2002 mennessä. Esikäsitellynkin (esimerkiksi mädätetty) lietteen läjitystä hankaloittavat mm. lietteen hajuhaitat. Kaatoaikkaläjitys on viimeisenä vaihtoehtona jätteenkäsittelyn hierarkiassa, joten kaikki muut vaihtoehdot tulisi tutkia ennen tukeutumista kaatoaikkasijoitukseen. Useilla paikkakunnilla voi kaatoaikkojen täyttäminen johtaa siihen, että kaatoaikkasijoitus on muutamia vuosia vielä edullisin käsittelyvaihtoehto.

Lietteiden levitys maanviljelyyn ilman esikäsittelyä ei ole sallittua. Esikäsiteltyjä (hygienisoituja) lietteitä voidaan levittää pelloille, mutta joissakin tapauksissa lietteiden korkeat raskasmetallipitoisuudet voivat rajoittaa levitystä. Vireillä oleva yhdyskuntalietteiden käyttöä maanviljelyksessä koskevan direktiivin muutosehdotus tuo analyysivelvoitteita ja tuottajavastuuta ja siten lisäkustannuksia puhdistamolietteen käytölle maanviljelyksessä. Toisaalta se voi tuoda käyttäjälle varmuutta lietteen laadusta ja siten mahdollisesti lisätä kiinnostusta käyttöön.

Lietteiden *aumakompostoinnin* hajuhaitat ovat johtamassa aumakompostoinnin vähenemiseen ainakin isommissa jätevedenpuhdistamoissa. Lisäksi aumakompostointi vaatii tilaa. Hankaluutena aumakompostoinnissa on ilmastuksen ja kosteuden vakioiminen. Olot vaihtelevat auman eri osissa, ja kompostoituminen on usein epätäydellistä, mikä johtaa ammoniakkipäästöihin ja ravinteiden valumiseen vesistöön. Auma voi vetää puoleensa tuhoeläimiä. Aumakompostointia ei siten voi pitää tulevaisuudessa kovinkaan varteenotettavana vaihtoehtona ainakaan raakalietteen kompostoinnille. Mädätetyn lietteen kompostointi aumassa voi vielä olla taloudellisesti järkevä vaihtoehto, koska lietteen määrä ja orgaanisen aineksen määrä ovat vähentyneet. Aumakompostointia käyte-

tään lähinnä pienissä yhdyskuntajätevedenpuhdistamoissa, ja tulevat ympäristölainsäädännön normit varmasti tiukentavat käsittelyn valvontaa ja tasoa.

Laitoskompostoinnista on paljon referenssejä. Laitoskompostoinnin etuja ovat materiaalin tilavuuden pieneneminen, kompostimateriaalin hygienisoituminen prosessissa sekä ravinteiden talteenotto ja kierrätys. Yleisesti kompostointiprosessit ovat melko yksinkertaisia ja varmatoimisia. Huonoja puolia ovat suuri seosaineen määrä, mikä tuo lisäkustannuksia, ja vaikeus saada lopputuote kaupaksi. Laitoskompostointi sopii hyvin suurille tai keskisuurille yhdyskuntajätevesipuhdistamoille, silloin kun tuotteelle on markkinoita (viherrakennus, lannoitekäyttö).

Biokaasutusreaktoreita on käytössä paljon kunnallisissa isoissa ja keskisuurissa jätevedenpuhdistamoissa. Biokaasutus on kompostointilaitosta edullisempi tekniikka, jos ylimääräenergia saadaan hyötykäyttöön. Hajuhaitat lähiympäristöön ovat yleensä kompostointilaitosta pienemmät, ja biokaasutuslaitos voidaan siten helpommin sijoittaa asutuksen lähelle. Biokaasutusreaktorista jää vielä hydrolyysijäännös, joka on yleensä käsiteltävä. Käsittelyvaihtoehtoja ovat kompostointi ja kompostin hyötykäyttö tai mahdollisesti hydrolyysijäännöksen terminen kuivaus ja tuotteen lannoitekäyttö tai poltto. Lietteiden määrä biokaasutuksen jälkeen on pienempi, mutta toisaalta lietteen tuhkapitoisuus (>50 %) ja laatu muuttuvat biokaasutuksessa, kun esimerkiksi raskasmetallit helposti konsentroituvat hydrolyysijäännökseen. Biokaasutuslaitosten herkkyyden olosuhde-
muutoksille on haittapuolena.

Taulukossa 15 vertaillaan laitoskompostoinnin sekä biokaasutustekniikan ominaisuuksia.

Lietteistä erotetaan vesi nykyisin isoissa ja keskisuurissa yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoissa tavallisesti lingoilla. *Lingot* ovat varmatoimisia ja helppohoitoisia, ja niillä päästään suhteellisen korkeisiin kuiva-ainepitoisuuksiin (20–30 % ka). Polymeerinkulutus on melko suuri, riippuen halutusta kuiva-ainepitoisuudesta. *Suotonauhapuristimia* käytetään lähinnä pienissä yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoissa. Aktiivilietteiden kuivaamiseen suotonauhapuristimella tarvitaan yleensä tukiainetta, esimerkiksi turvetta, mikä nostaa käyttökustannuksia.

Taulukko 15. Laitoskompostoinnin ja biokaasutuslaitoksen ominaisuuksia (Latvanen & Rainio 1999).

Ominaisuus	Kompostointi	Biokaasutus
Toimintaympäristö	Aerobinen	Anaerobinen
Hajoamisen aikaansaava eliöstö	Laaja kirjo erilaisia bakteereja ja sienisiä	Suppeampi valikoima anaerobisessa ympäristössä toimivia bakteereja
Käsittelyn väliaine	Ilma-vesi, huokoisuus tärkeä	Vesisuspensio
Soveltuvuus	Karkeat materiaalit, kuiva-ainepitoisuus yli 30 %, muuten tarvitaan runsaasti tukiainetta	Runsaasti vettä, vähän puuainetta sisältävät jätteet, eloperäiset jätteet
Energiantarve	30–50 kWh/t biojätettä, lämmön talteenotto poistokaasusta mahdollista	Tuottaa energiaa, voidaan tuottaa sähköä/lämpöä noin 400 kWh/t biojätettä
Tuotot	Tuotteesta tuloja	Energiasta tuloja
Vaikutus kasvihuoneilmiön kannalta	Vaikuttaa lisäävästi	Ehkäisee, jos biokaasusta tuotettu energia hyödyksi
Hajupäästöt	Suuremmat, vaikeammin hallittavissa	Pienemmät, helpommin hallittavissa
Jätevesimäärä	100–400 l/t biojätettä	300–570 l/t biojätettä
Jäteveden BHK ₇	2–50 g BHK ₇ /l	2–5 g BHK ₇ /l
Tilantarve (ilman jälkikompostointia)	0,4–1,9 m ² /t/a	0,1–1,1 m ² /t/a

Termistä kuivausta ei vielä Suomessa käytetä yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoissa, mutta Joensuun Vesi on tehnyt investointipäätöksen ensimmäisestä termisestä kuivurista yhdyskuntalietteiden kuivaukseen (Uusio Uutiset 2000). Periaatteessa terminen kuivaus soveltuu kaikenlaisille lietteille. Lietteiden terminen kuivaus on useita muita käsittelymuotoja kalliimpi. Toisaalta lietteen volyyymi pienenee huomattavasti, tuote on hyvin varastoitavaksi kelpaavaa ja hygieeninen. Kuivattu liete on helpompi markkinoida eri paikkoihin, kuten lannoitteeksi metsiin tai maatalouteen, viherrakentamiseen tai polttoaineeksi sementtuiuuneihin, voimalaitoksiin ja jätteenpolttolaitoksiin. Terminen kuivaus on suhteellisen kallis investointi ja edullisempi aina suuremmassa kokoluokassa.

Lietteiden lannoitekäyttöön kannustetaan, sillä se on materiaalihyötykäyttöä. Maataloustuen fosforirajoitukset rajoittavat pellolle väkilannoitteissa lisättävän fosforimäärän 15 kg:aan/ha/a, jolloin lieteseoksen annostus voi olla vaikeaa. Kuivatusta lietteestä voidaan valmistaa rakeista lannoitetta sellaisenaan, mutta ravinnekoostumus vastaa yleensä huonosti viljelykasvien ravinnetarpeita, jolloin ravinteita joudutaan usein lisäämään. Lietteiden suuri määrä voi tehdä lannoitteiden markkinoinnista vaikeaa. Varsinkin termisesti kuivattujen lietepellettien tai kompostivalmisteen lannoitekäyttöä tulisi kuitenkin harkita, jos sopiva käyttökohde löytyy. Lannoitus-, maatalous- ja metsäkäyttöä rajoittaa sen kausiluontoisuus.

Metsälannoituksen tarkoituksena on puuston kasvun parantaminen lisäämällä niiden ravinteiden määrää, joita on maassa liian vähän puiden vaatimuksiin nähden. Lietepelletti soveltuu fosforilannoitteeksi puu- ja turvetuhkan tapaan. Metsälannoitus voi tuoda mielenkiintoisen vaihtoehdon paikallisesti. Se vaatii kuitenkin markkinointia.

Biokuivuria ei vielä ole käytössä täydessä mitassa Suomessa, mutta se tuo uusia mahdollisuuksia lietteenkäsittelyyn. Biokuivurissa kuiva-ainepitoisuus nostetaan noin 50 %:iin, ja tuote voidaan joko polttaa tai käyttää viherrakentamiseen. Ulkopuolisen energian tarve ei ole yhtä suuri kuin termisessä kuivurissa. Prosessissa syntyvä lämpö otetaan talteen ja käytetään prosessissa hyödyksi. Biokuivuri soveltuu parhaiten lietteille, jossa biolietteen määrä on melko korkea. Jos tuote ohjataan polttoon, ei kompostoinnissa käytettävä apumateriaali (hake, turve) mene hukkaan, vaan se voidaan käyttää hyödyksi polttoaineena. Vain noin 10 % tukiaineesta hajoaa kompostointiprosessissa (Vapo Oy Biotech 2000). Biokuivattu liete on helpompaa varastoida ja voidaan käyttää joko lannoitteena tai polttoaineena. Jos on olemassa polttolaitos eikä toisaalta haluta käyttää paljoa energiaa kuivaukseen, mutta halutaan parantaa lietteen käsiteltävyyttä, biokuivaus tarjoaa uuden käsittelyvaihtoehdon.

Yhdyskuntalietteiden *energiakäyttö* on Suomessa vielä vähäistä. Euroopassa lietteistä noin 15 % poltetaan joko massapolttolaitoksissa sekoitettuna muuhun jätteeseen tai sitten erillisissä lietelaitoksissa. Kun kaatopaikkasijoitusta vähennetään ja toisaalta lannoitekäyttöä koskevat normit tiukentuvat, on energiakäyttö nousemassa monessa kohdin yhdeksi varteenotettavaksi vaihtoehdoksi myös yhdyskuntalietteilte. Lietteiden jonkin verran korkeammat raskasmetallipitoisuudet (Hg, Cd, Cr) ja korkeampi typpipitoisuus asettavat jonkin verran lisävaatimuksia käsittelyprosessille ja savukaasunpuhdistuslaitteistolle. Yhdyskuntalietteiden patogeenit ja hygieniangelmat voivat vaatia lietteen käsittelyn (terminen kuivaus, biokuivaus) ennen polttoa.

Lietteiden poltto *massapolttolaitoksissa* on mielenkiintoinen vaihtoehto, varsinkin jos jätevedenpuhdistamo ja polttolaitos sijaitsevat lähellä toisiaan ja polttolaitoksessa on ylimääräistä kapasiteettia. Liete tulee sekoittaa hyvin jätteen sekaan. Yksi tapa on kuivata liete noin 65 %:n kuiva-ainepitoisuuteen, jolloin sen lämpöarvo on yhdyskuntajätteen luokkaa. Perinteisen jätteenpolttolaitoksen investointikustannus on korkea, mutta savukaasupäästöt ovat hyvin hallitut ja tuhkan käsittely on hoidettu ympäristöä tarkasti ajatellen.

Kuivattu liete voidaan polttaa myös *sementtiuunissa*. Tällöin haitalliset komponentit stabilisoidaan klinkkeriin.

Lietteitä voidaan polttaa joko perinteisissä massapolttolaitoksissa tai *erityisesti lietteen polttoon suunnitelluissa polttolaitoksissa*. Yksinomaan lietteen polttoon tarkoitettua lai-

tokset pohjautuvat useimmiten leijukerrostekniikkaan. Lietteiden polton etuja on liete-volyymin pieneneminen, poltto ei ole sensitiivinen lietteen laadulle ja systeemi on yleensä luotettava. Myös hajut ja muut hygieniaongelmat on minimoitu suljetussa systeemissä. Haittapuolena on suuri investointikustannus, jolloin laitos on taloudellisesti järkevä vain isossa mittakaavassa (Ranskassa 200 000–800 000 as, Hollannissa 10 000–40 000 t ka/a) (EEA 1997).

Lietteitä voitaisiin jossakin tapauksessa polttaa myös *seospoltona* pääpolttoaineen seassa, kuten nyt tehdään metsäteollisuudessa. Riippuen laitoksesta, muusta polttoaineesta ja tarvittavasta kapasiteetista liete on kuivattava tarvittavaan loppukosteuteen. Liete voidaan syöttää periaatteessa hyvinkin kosteana. Kuiva-ainevaatimus voi vaihdella esimerkiksi 10–50 % ka. Jos tarvitaan yli 30 %:n ka, liete on useimmiten kuivattava termisesti, mikä tuo tietysti lisäkustannuksia. Osassa perinteisiä BFB/CFB-kattiloita voidaan tulevaisuudessa polttaa haluttaessa hyvälaatuista kierrätyspolttoainetta (REF I) pääpolttoaineeseen sekoitettuna. Kuivatun lietteen lisääminen tällaiseen seokseen ei varmasti lisää suuresti päästöjä laitoksessa, jos lietteen raskasmetallipitoisuudet ovat pienet ja toisaalta lietettä poltetaan pienellä osuudella pääpolttoaineen seassa. Tällaiset tarkastelut ovat kuitenkin tapauskohtaisia, ja riippuvat monista eri seikoista. Esimerkiksi kesäseisokkien ajaksi tulee lietteelle olla välivarastointi- tai hyötykäyttömahdollisuus.

Yhdyskunnan kotitalousjätteiden poltto nykyisissä BFB/CFB-laitoksissa ei ole varmasti järkevää suurina määrinä korroosio- ja kuonaantumisilmiöiden takia. Kaasutus, 100 %:n REF-kattila ja muut uudet ratkaisut voivat tällaisissa tapauksissa olla hyviä ratkaisuja, ja kuivatut lietteet voidaan mahdollisuuksien mukaan sekoittaa REF:n sekaan ja käyttää näissä laitoksissa.

Yhdyskuntalietteiden energiakäyttö jää jätteenpolttodirektiivin alaiseksi toiminnaksi. Tulevaisuudessa olisi yhdyskunnan jätevesilietteet ja mahdollisesti yhdyskunnan jätteet järkevä polttaa samassa laitoksessa, sillä molemmat luetaan jätteeksi ja suurempi jätevirta lisää järkevyyttä tehdä laitoksesta jätteenpolttokattila. Tietyillä metsäteollisuuspaikkakunnilla mukaan voidaan ottaa vielä metsäteollisuudesta syntyvä REF, jolloin kaikki virrat voitaisiin polttaa keskitetysti tähän tarkoitukseen varatussa kattilassa, joka täyttäisi jätteenpolttodirektiivin vaatimukset. Tarkoituksenmukaista olisi ratkaista alueellisesti sekä jätehuollon että lietteiden käsittely ja metsäteollisuuspaikkakunnilla tehdä yhteistyötä kuntien ja metsäteollisuuden kanssa.

Suomen jätehuolto on murroksen edessä, kun kaatopaikkoja suljetaan ja kaatopaikkasijoitusta vähennetään voimakkaasti. Jätteiden energiakäyttöä suunnitellaan eri puolilla Suomea, ja silloin olisi varmasti hyvä ottaa yhdyskuntalietteet huomioon jo suunnittelu-vaiheessa. Ongelmana Suomessa perinteisten jätteenpolttolaitosten kohdalla on se, että kaupungeissa ei ole juuri tarvetta ylimääräiselle kaukolämmön tuotantokapasiteetille,

joten laitoksen investointi ei ole kannattava. Yhtenä vaihtoehtona on korvata kaasuttimella tai uudella jätekattilalla osa fossiilisesta energiasta, jolloin vähennetään samalla CO₂-päästöjä.

Fortumin kuivuri ja leijupetireaktori soveltuu erilaisille lietteille. Fortum tarjoaa erilaisia konsepteja: kuivuria yhdistettynä adiabaattiseen leijupetireaktoriin ja jätelämpökattilaan tai pelkkää leijupetireaktoria yhdistettynä jätelämpökattilaan riippuen paikasta ja tarpeista. Prosessissa tuotetaan energiaa, joka tulisi saada hyötykäyttöön. Laitos voidaan sijoittaa esimerkiksi jätevedenpuhdistamon viereen, jolloin vältetään lietteiden kuljetuksia. Laitos toimii itsenäisenä ja voi toimia jatkuvasti. Jos laitos voi käyttää tuotetun energian ostolämpöä korvaamaan, laitoksen talous paranee. Kattilaan voidaan liittää tarvittavat savukaasunpuhdistuslaitteistot, jolloin se alittaa tulevat jätteenpolttodirektiivin vaatimukset. Kuivuri yhdistettynä suoraan kattilaan, jossa hajukaasut poltetaan, on hajuongelmien kannalta järkevä ratkaisu. Joissakin tapauksissa olisi varmasti järkevää miettiä myös REF:n polttamista (ilman kuivausta) laitoksella. Fortumin kattila on järkevä tilanteessa, jossa lietteitä ei haluta kuljettaa ja ne halutaan hoitaa paikan päällä omana ratkaisunaan. Lentotuhkan laatu tulee tarkistaa ja määrittää sen läjitys- tai hyötykäyttömahdollisuudet. Fortum hakee kohdetta demonstraatiolaitokselle.

Yhden lisäkysymyksen valmisteilla olevien direktiivien kannalta tuo jäte- ja ongelma-jäteluettelon muutos ja se, miten jätteet ja ongelmajätteet rajataan ja mitä raja-arvoja käytetään. Kaatopaikkasäädökset ja kaatopaikkakelpoisuuskaatopaikkakriteerit valmistuvat vuoteen 2002 mennessä, ja silloin päätetään liukoisuustestien tai muiden arvioiden mukaan sijoittaminen kaatopaikalle. Jos lietteen poltossa syntyvä lentotuhka arvioitaisiin ongelmajätteeksi, toisi se suuria lisäkustannuksia nousseiden kaatopaikkamaksujen muodossa. Nämä ovat vielä avoimia kysymyksiä, ja niihin saataneen ratkaisu lähivuosina.

Uusia vaihtoehtoja etsitään ja tulee markkinoille. Kemira Chemwaterin kehittämä *Krepro-prosessi* on mielenkiintoinen, mutta sisältää muutamia epävarmuustekijöitä, kuten polttoaineen sekä rautafosfaatin ja muiden sivutuotteiden markkinat ja markkinoinnin. Ainakin Suomen mitassa prosessi on melko kallis, riippuen tietysti tuotteiden markkinoista ja niistä saatavista tuloista, mutta asia on toisaalta hyvin erilainen esimerkiksi Keski-Euroopassa, jossa käsittelykustannukset ovat eri suuruisia kuin Suomessa tänä päivänä.

5.2 Yhdyskuntajätevesilietteiden käsittelytekniikoiden taloudellinen vertailu

Lietteiden käsittelykustannukset vaihtelevat laajasti riippuen paikallisista oloista, lainsäädännöstä ja laitoksen koosta. Laitosten käyttökustannukset, joihin kuuluvat kemi-

kaalikustannukset, sähkö- ja lämmityskustannukset, jätevesimaksut, verot, huolto, vakuutukset ja henkilöstökulut vaihtelevat, samoin laitosten pitoaika vaihtelee. Kustannukset ja tulot tuotteen läjityksestä tai uudelleen käytöstä vaihtelevat. Vertailua vaikeuttavat erilaisten laitosten erilaiset huoltotarpeet ja niistä aiheutuvien kustannusten arvioiminen. Lisäksi lietteen laatuvaatimukset ja toisaalta esikäsitteilykustannukset vaihtelevat eri käsittelytekniikoissa. Seuraavassa on kirjallisuuden pohjalta saatuja arvioita eri tekniikoiden investointi- ja käyttökustannuksista, arviot ovat vain suuntaa antavia eivätkä suoraan vertailukelpoisia.

5.2.1 Yksittäiset prosessit

Mekaaninen vedenerotus

Lingot ovat tällä hetkellä isoissa/keskisuurissa jätevedenpuhdistamoissa yleisesti käytössä oleva mekaaninen vedenerotustekniikka. Ne ovat melko varmatoimisia ja sopivat yhdyskuntajätevesilietteille ilman seosaineita. Sähkönkulutuksia on saatu pienemmiksi uusissa laitoksissa (1–1,5 kWh/lietetonni). Lingoilla ei sinänsä ole suuria tilatarpeita, mutta lingottu liete säilytetään yleensä siilossa ennen lisäkäsittelyä tai kuljetusta.

Lingoilla ja muutenkin mekaanisessa vedenerotuksessa suurehkon menoerän tuo polymeerien käyttö riippuen halutusta kuiva-ainepitoisuudesta. Polymeerien hinnat vaihtelevat huomattavasti polymeeristä, seoksesta tai halutusta kuiva-ainepitoisuudesta riippuen, ja hinta voi olla esimerkiksi 100 mk/t ka lietettä.

Aumakompostointi

Aumakompostoinnin kustannuksiin kuuluvat esimerkiksi asfalttikenttä, valumavesien hoito, auman käänö ja tukiaineen käyttö. Asfaltoidun kompostointikentän rakennuskustannukset vaihtelevat 1–1,5 milj. mk/ha. Tukiaineen kustannukset paikalle kuljetettuna ovat noin 30 mk/m³. Aumakompostoinnin hinnaksi voidaan arvioida 65–150 mk/t (320–750 mk/t ka) lietettä. Aumakompostoinnin ongelmana ovat hajuhaitat ja osittain huono hajoaminen ja pitkä hajoamisaika. (Lilja ym. 1998, Nygren 1992)

Kompostoinnin ja yleisesti lietteen käsittelykustannukset ovat taloudellisempia isomilla määrillä. Esimerkiksi Helsingin Vesi tuottaa vuosittain 51 000 t/a puhdistamolietettä. Liete käsitellään biokaasutusreaktorissa ja hydrolyysijäännös kuivataan mekaanisesti 29 %:n kuiva-ainepitoisuuteen ja kompostoidaan avokentällä. Aumakompostoinnin käyttökustannuksiksi on laskettu (Lilja ym. 1998) 123 mk/t lietettä (6,3 milj. mk/a) ja investointikustannuksiksi 70 mk/t lietettä (4 milj. mk/a). Kompostin myynnistä on las-

kettu saatavan tuloja 51 mk/t lietettä, eli nettomenot pääomakustannukset mukaan lukien on 152 mk/t lietettä. Kuiva-aineena laskettuna aumakompostoinnin kustannus on tällöin noin 520 mk/t ka. (Lilja ym. 1998)

Laitoskompostointi

Laitoskompostointi tapahtuu yleisimmin tunneli- tai rumpukompostointilaitoksessa, jossa hajuhaitat on minimoitu (pesuri ja/tai suodatin). Kompostista saatava hinta on vaihtelee 15–50 mk/t, yleensä se on lähempänä 15 mk:aa/t. Kompostointilaitokseen kuuluu yleensä tukiaineen ja jätevesilietteen vastaanotto, ruuvikuljettimet, pumput ja sekoituslaitteistot. Laitoskompostoinnin kustannuksiin tulee sisällyttää kuljetuskustannukset kompostointilaitokselle, sekä investointi- että käyttökustannukset laitokselle, laadunvalvontakustannukset sekä markkinointikustannukset tuotteelle.

Lilja ym. (1998) on arvioinut laitoskompostoinnin kustannukseksi 200–300 mk/t lietettä. EEA (1997) on arvioinut laitoskompostoinnin kustannusten vaihtelevan välillä 250–475 mk/t eri EU:n jäsenmaissa.

Biokaasutus

Biokaasutusreaktori on Suomessa yleensä yksi- tai kaksivaiheinen jatkuvasekoitteinen, mesofiilillä alueella toimiva reaktori. Syötteen kiintoainepitoisuus voi vaihdella välillä 0–15 % ka. Mädätetty liete kuivataan yleensä noin 30 %:n kuiva-ainepitoisuuteen, minkä jälkeen se voidaan vielä hygienisoida termisesti 40–50 %:n kuiva-ainepitoisuuteen, kuljettaa suoraan kaatopaikalle tai aumakompostoida. Biokaasutuksessa saadaan tuloja mahdollisesti tuotteesta (tässä 0 mk/t), mutta myös sähkön ja lämmön tuotannosta. Investointi- ja käyttökustannukset tällaisessa laitoksessa ovat noin 700 mk/t ka (n. 155 mk/t) (Lakeuden Jätekeskus Oy 2000). Yksikkökustannukset näyttävät biokaasutuslaitoksessa olevan edullisemmat kuin kompostointilaitoksessa. Molemmissa tapauksissa tuote on kuitenkin markkinoitava. Biokaasutuksesta saatavan tuotteen tuhkapitoisuus on korkeampi ja orgaanisen aineksen vähenemä yleensä noin 50 %, kun se kompostoinnissa on noin 20 %. Orgaanisen ainekseen väheneminen biokaasutuksessa vähentää tuotteen (hydrolyysijäännöksen) energiasisältöä. Mädätys ei ole siis energiataloudellisesti järkevä esikäsittely ennen polttoa. Mädätetty liete on kuitenkin teknisesti mahdollista kuivata ja polttaa. Mädätetyn lietteen auma- tai laitoskompostoinnissa voi ongelmaksi nousta korkea tuhkapitoisuus (noin 50 % kuiva-aineessa).

Euroopassa on käytössä myös termofiilillä alueella toimivia biokaasutuslaitoksia sekä yhdyskuntajätteille että lietteille. Vertailua hankaloittaa lietteen ja jätteen laadun vaihtelu eri maissa, tekniikoiden eroavaisuudet, koko, tuotteiden laatu ja niiden

käyttömahdollisuudet ja kustannukset tai tuotot sekä sähkön ja lämmön hinnan vaihtelut eri maissa. Tästä syystä samanlaisten laitosten kustannukset voivat olla hyvin erilaisia eri maissa.

Kaatopaikka

Lietteiden kaatopaikkasijoituksen kustannukset vaihtelevat eri puolilla Suomea välillä 120–360 mk/t lietettä (1999). Lietteen on vuoden 2002 jälkeen oltava aina käsiteltyä ennen vientiä kaatopaikalle. Esimerkiksi Ruotsissa tuli voimaan vuoden 2000 alusta jätevero 250 SEK/t jätettä, joka lasketaan määrälle jätteelle. Vero koskee sekä teollisuuden että yhdyskuntien jätteitä. Tällä verolla pyritään saamaan teollisuus vähentämään kaatopaikkasijoitusta ja etsimään uusia ratkaisuja jätteiden hyötykäyttöön. (Hedlund 2000)

Jäteverosta ja sen nostamisesta on puhuttu viime vuosina myös Suomessa. Jätehuollossa taloudellinen ohjaus perustuu jäteveroon sekä jätehuoltomaksuihin. Nykyinen jätevero (90 mk/t) on niin pieni, ettei sillä ole yksityistalouksissa taloudellista merkitystä. Yrityksissä jäteveron vaikuttavuutta voitaisiin parantaa nostamalla jätevero kaksin- tai kolminkertaiseksi. Tällä voitaisiin jo ohjata jätteiden lajittelun tehostamiseen ja kaatopaikkasijoituksen vähentämiseen. Jäteveron laajentamista on harkittu niille teollisuuden kaatopaikoille, jonne sijoitetaan biohajoavaa jätettä. (Dahlbo ym. 2000)

Jätteiden (ja lietteiden) kaatopaikkaläjityksen kustannukset vaihtelevat Euroopan eri maissa laajasti. EEA:n (1997) mukaan Itävallassa kustannukset ovat noin 350–1 500 mk/t ja Saksassa kustannukset ovat välillä 900–1 800 mk/t ja nousevat vielä. Joissakin maissa (Saksa, Itävalta, Ruotsi) on lietteen läjitys kaatopaikalle kielletty tai se kielletään lähivuosina kokonaan.

Terminen kuivaus

Terminen kuivaus, jossa tarkoituksena on tuottaa kuivaa (90 % ka) lietettä, on melko kallis tekniikka, keskimääräinen kuivauskustannus voi vaihdella välillä 160–380 mk/t, riippuen laitoksen koosta. Termistä kuivausta pidetään energiaa tuhlaavana tekniikkana, mutta Liljan ym. (1998) tekemien laskelmien mukaan kompostointi tukiaineineen kuluttaa energiaa yhteensä noin 0,53 MWh/t lietettä, kun taas termisessä kuivaus- ja rakeistusvaihtoehdossa energiankulutus on noin 0,45 MWh/t lietettä. Toisaalta ympäristövaikutusten kannalta on suuri merkitys, mikäli termisessä kuivauksessa käytetään öljyä vai biokaasua tai kompostoinnissa tukiaineena jätemateriaaleja. (Lilja ym. 1998)

Mädätetyn lietteen terminen kuivaus ja pelletointi kuluttavat saman verran lämpöenergiaa kuin niistä on mahdollista saada poltettaessa, joten sen talous on neutraali, jos liete voidaan polttaa (Lilja ym. 1998).

Terminen kuivaus on melko kallista, mutta toisaalta sen etuja on mm. se, että orgaanista ainesta ei menetetä (kuten biokaasutuksessa ja biokuivauksessa) (Holmberg 1999b).

Esimerkkinä Holmberg (1999a) on arvioinut kuivauksen ja rakeistuksen taloudellisuutta. Jos käsiteltävä lietemäärä on 2 000 t ka/a, on investointikustannus termiseen kuivaukseen 4–8 milj. mk, investoinnin vuosikuoletus noin 350 mk/t ka (10a, 6 %). Energiankulutus on termisessä kuivauksessa merkittävä, samoin huolto ja valvonta aiheuttavat lisäkustannuksia. Käyttö- ja investointikuluiksi on Holmberg arvioinut yhteensä noin 200 mk/t eli noin 1 000 mk/t ka.

Holmberg (1999b) on arvioinut kuivaus- ja granulointimenetelmien kustannusten vaihtelevan välillä 4,1–15,3 milj. mk. Käyttökustannukset vaihtelevat välillä 72–121 mk/t. Jos energianlähteeksi valitaan polttoöljy (130 mk/MWh), sähkön hinnaksi 0,4 mk/kWh ja huoltokustannuksiksi 1–2 % investoinnista, pääoma- ja käyttökustannukset ovat silloin noin 170–331 mk/t käsiteltyä lietettä. Jos löydettäisiin käyttökohde termisen kuivauksen poistoilman hyödyntämiseen (30–40 °C), jätelämpö saataisiin hyödynnetyksi. Energiatase muuttuu positiiviseksi tai neutraaliksi, jos lietepelletti voidaan hyödyntää energiana.

Esimerkkinä on EEA (1997) laskenut lietteitä 2 400 t ka/a (12 000 t/a, 20 % ka) tuottavalle laitokselle kuivauskustannukseksi noin 940 mk/t ka, sisältäen pääomakustannukset (investointi 3,6–4,3 milj. mk) ja käyttökustannukset (polymeeri, kalkki, kuljetus, jne.). Jos otetaan huomioon myös rakennuskustannukset, varastointi, tarvittava lämpö, ym. kustannukset ovat noin 1 800–2 100 mk/t ka.

Biokuivaus

Jos 5 500 t:n ka/a (20 %:n kuiva-ainepitoisuus) lietemäärä biokuivataan tunnelireaktorissa, ovat pääomakustannukset tällöin noin 115 mk/t ja käyttökustannukset 65–100 mk/t riippuen seosaineesta ja sen määrästä. Yhteensä investointi- ja käyttökustannukset vuodessa ovat 900–950 mk/t ka. Tässä on oletettu, että käytetyn tukiaineen ja tuotteena saatavan polttoaineen määrä on sama ja tukiaineen ja polttoaineen hinnaksi on arvioitu 45 mk/MWh. Tuhkan läjityskustannuksiksi on laskettu 0–150 mk/t. (Vapo Oy Biotech 2000)

Tuotteen kuiva-ainepitoisuus on noin 50 %. Tuote voidaan polttaa tai käyttää lannoitteena. Biokuivauslaitoksen investointikustannuksiin sisältyy myös hajukaasujen puhdistus biosuotimella.

Metsälannoitus

Lietteen metsälannoituskäytön kustannukset koostuvat termisestä kuivauksesta, pelletoinnista, kuljetuksesta ja levityksestä. Lisäksi on otettava huomioon markkinointikustannukset.

Lietepellettien kuljetuskustannukset ovat noin 50 mk/t (80 km) ja levityskustannukset noin 200 mk/t maalevityksenä ja 300 mk/t lentolevityksenä, kun levitysmäärä on keskimäärin 3 t/ha. Metsälevityksen, 4 t/ha, kustannukset olisivat noin 1 000 mk/ha maalevityksenä ja 1 200 mk/ha lentolevityksenä. Lietteiden *metsälevityksen kustannukset ovat noin 250–300 mk/t pelletoitua lietettä*, 50–60 mk/t tuoretta lietettä. Käyttö on kuitenkin rajallista Suomen oloissa. (Lilja ym. 1998)

Keinolannoitteita käytettäessä kertalannoituksen kokonaiskustannukset ovat 600–1 700 mk/ha, jossa lannoitteiden osuus on 400–1 200 mk riippuen lannoitteesta. Metsälannoituksen osuus on viime vuosina kasvanut. Metsälannoituksessa sopiva lietteiden levitysmäärä vaihtelee välillä 3–5 t/ha. (Lilja ym.1998)

Lannoitekäyttö

Lannoitekäytön kustannuksiin tulee laskea kuljetuskustannukset jätevedenpuhdistamolta varastoon, varastointikustannukset, kuljetuskustannukset varastosta pellolle, lietteiden levityslaitteiden investointikustannukset sekä lietteen ja maaperän analyysikustannukset. EEA:n (1997) tekemän selvityksen mukaan kustannukset lietteiden käytölle maanviljelyssä vaihtelevat lietteelle (20 % ka) välillä 450–1200 mk/t. Hinta vaihtelee riippuen paikallisista oloista.

Poltto

Yhdyskuntalietteitä ei tällä hetkellä polteta Suomessa. Lietteen esikäsittely vaikuttaa hintaan. Kun EU:n jätteenpolttodirektiivi astuu voimaan, se vähentää nykyisten voimailaitosten kiinnostusta polttaa yhdyskuntalietteitä pääpolttoaineen seassa. Olemassa oleva laitos joutuu jätteenpolttodirektiivin mukaan täyttämään tiukentuvat savukaasupäästöjen raja-arvot, ja tämä tietää osille laitoksista investointeja savukaasunpuhdistuslaitteistoon, vaikka päästöt johtuisivatkin pääpolttoaineesta (esim. turpeen korkea S-pitoisuus). Ongelmallisia komponentteja voivat olla NO_x-päästöt, HCl ja hiukkaset sekä mahdollisesti

elohopeapäästöt. Esimerkiksi investointi letkusuodattimeen voi olla 10–20 milj. mk laitoksen koosta riippuen. Uusinvestoinnissa varautuminen jätteenpolttodirektiiviin ei juuri vaikuta investointeihin. Vanhoille laitoksille tulee harkittavaksi joko lopettaa jätteiden seospolttolaitoksessa, tai jos investoinnit puhdistuslaitteistoihin ovat pienet ja kierrätyspolttolaitoksen käyttö soveltuu laitoksessa, on varmasti järkevä polttaa edullista kierrätyspolttolaitoksen pääpolttolaitoksen seassa. Tällaisissa tapauksissa tai uusissa investoinneissa ei lietteiden poltto samassa kattilassa juuri lisää päästöjä, mutta liete on usein kuivattava ensin, etteivät savukaasumäärät kasvaisi suuresti.

Yhtenä uutena vaihtoehtona on kuivata liete biologisesti kompostointiprosessissa noin 50 %:n kuiva-ainepitoisuuteen, ja polttaa kuivattu liete.

Myös biokaasutetun lietteen terminen käsittely on mahdollista, vaikka tuhkapitoisuus onkin suuri ja orgaanista ainesta on vähän. Jos laitoksella on tarve päästä eroon tästä hydrolyysijäännöksestä, on teknisesti mahdollista esimerkiksi polttaa termisesti kuivattu liete tukiaineen kanssa. Biokaasutetun lietteen korkea tuhkapitoisuus voi vaikeuttaa kompostointia.

Lietteitä polttavan laitoksen investointi- ja käyttökustannuksiin tulee sisällyttää lietteen varastointi, polttolaitteisto, savukaasunpuhdistuslaitteisto, tuhkan jälkikäyttö, käyttökustannukset operoinnista, lietteen kuljetuskustannukset käsittelylaitokselle, lietteen laaduntarkkailukustannukset sekä mahdollisesta sivuvirtojen kierrätyksestä aiheutuvat markkinointikustannukset. EEA (1997) on arvioinut pelkästään lietteelle suunnitellun laitoksen kustannuksiksi 1 350–2 300 mk/t ka. Hintaan sisältyvät investointikustannukset, käyttökustannukset, vanhan laitoksen parannus ja tuhkien läjitys luokan I (inertin jätteen) kaatopaikalle. Kustannukset on laskettu laitokselle, joka polttaa lietteitä 2 000–5 000 t ka/a. Jos mukaan otetaan lietteen kuivaus ym., kustannukset nousevat välille 1 600–2 300 mk/t ka.

Jos liete poltettaisiin olemassa olevassa massapolttolaitoksessa muun yhdyskuntajätteen seassa, kustannukset ovat 900–1 300 mk/t ka. Tämä on laskettu olettaen, että lietteen käyttö ei vähennä laitoksen tehoa, vaan kustannukset muodostuvat lähinnä lietteen syöttölaitteistoista. Vaikka investointikustannukset ovat korkeat, lietteiden poltto joko omassa jätekattilassa tai isoissa massapolttolaitoksissa muiden jätteiden seassa kasvaa tulevaisuudessa. (EEA 1997)

Nygren (1992) on kerännyt tietoja jätevesilietteiden polttolaitosten kustannuksista. Lietteiden määrän ollessa 20 300 t ka/a (termisesti esikuivattu liete) polttolaitoksen käyttökustannukset olivat noin 890 mk/t ka ja investointikustannukset 36 Mmk polttolaitoksen osalta.

Kustannuksiin tulee sisällyttää lento- ja pohjatuhkan läjityksestä muodostuvat kustannukset, jotka riippuvat tuhkan laadusta. Normaaleilla kaatopaikoilla läjityskustannukset voivat olla 200–400 mk/t, ongelmajätteen kaatopaikalla jopa 2 600 mk/t tuhkaa.

Rinnakkaispoltto/100-prosenttinen REF-kattila

Jätteiden ja lietteiden rinnakkaispolton kustannuksiin tulee laskea mahdolliset muutokset syöttöjärjestelmissä, savukaasunpuhdistuksessa sekä tuhkan jälkikäytössä. Arvioita on kuitenkin vaikea tehdä, koska tällä hetkellä ei Suomessa rinnakkaispolteta yhdyskuntalietteitä.

Yhdyskuntalietteiden poltto CHP-tai lämpölaitoksessa tekee kattilasta jätteenpolttokattilan eli se tuo sekä mittausvelvoitteita että usein tiukempia päästövaatimuksia laitoksiin verrattuna nykyisiin lupaehtoihin. EU:n jätteenpolttodirektiivin mukaiset mittauskustannukset voivat olla 300 000–500 000 mk/a. Tällöin pelkästään jätevesilietteen poltto pienellä osuudella pienessä kattilassa ei ole järkevää, vaan samassa kattilassa kannattaa rinnakkaispolttaa tai kaasuttaa myös alueen polttokelpoinen jäte. Tällaisessa 100-prosenttisessä REF-kattilassa vastaanottomaksu voi olla luokkaa –20 mk/MWh, jolloin lietteen (1 MWh/t) gate fee voi olla noin 100 mk/t ka.

Fortumin lietekattila

Fortumin lietteitä polttava kattila mitoitettaisiin suoraan tarvittavalle lietteenkäsittelymäärälle. Kun laitos suunnitellaan jo alusta lähtien ns. jätekattilaksi, eivät esimerkiksi savukaasunpuhdistuslaitteistosta muodostuvat kustannukset nouse merkittäväksi lisäkustannukseksi. Hajukaasut voidaan polttaa suoraan kattilassa, mikä vähentää hajuongelmia. Tietyn varauksen tai mahdolliset lisäkustannukset ainakin joissakin Euroopan maissa tuo leijukerrospolto muodostuva lentotuhka, johon konsentroituu jonkin verran raskasmetalleja. Jos tuhkan läjityksestä muodostuviksi kustannuksiksi arvioidaan 0–150 mk/t, Fortumin kuivurin ja adiabaattisen leijupetireaktorin investointi- ja käyttökustannukset ovat noin 400–700 mk/t ka riippuen siitä, saadaanko kaukolämpö myydyksi.

Taulukossa 16 on EEA:n arvioimia lietteiden käsittelykustannuksista eri tekniikoilla. Kustannusyhteenveto on liitteessä 2.

Taulukko 16. Lietteiden käsittelykustannus (mk/t ka) (EEA 1997).

Käyttökohde	Käsittelykustannus (mk/ t ka)
Käyttö maanviljelyssä/metsälannoitteena	450–1 200
Kompostointi	760–1 800
Terminen kuivaus	900–2 400
Poltto massapolttolaitoksessa	1 350–2 400
Kaatopaikkasijoitus	600–1 800

5.2.2 Käsittelyketjujen tarkastelut

Jotta voitaisiin edes jollakin tarkkuudella vertailla erilaisia lietteenkäsittelytekniikoita, niiden positiivisia ja negatiivisia puolia sekä saada jotakin arviota kustannuksista, on tässä valittu tarkastelukohteeksi noin 5 500 t ka/a yhdyskuntalietettä tuottava laitos.

Kustannukset sisältävät sekä käyttö- että pääomakustannukset. Pääomakustannukset on yhtenäistetty käyttäen 15 vuoden takaisinmaksuaikaa ja 5 % korkokantaa. Kokonaiskustannukset ovat kuitenkin arvioituja ja ne ovat vain suuntaa antavia. Ne pohjautuvat laitetoimittajien haastatteluissa antamiin tietoihin ja kirjallisuuteen.

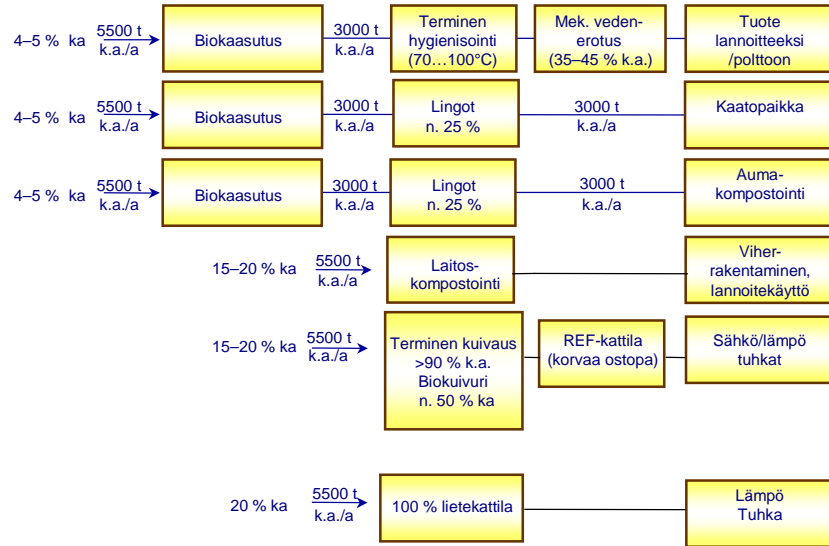
Seuraavassa tarkastellaan lähemmin kuvan 37 käsittelyvaihtoehtoja. Liitteessä 3 on yhteenvedona arvioita eri konseptien eduista, haitoista ja soveltuvuudesta.

1) Laitoskompostointi + viherrakentaminen

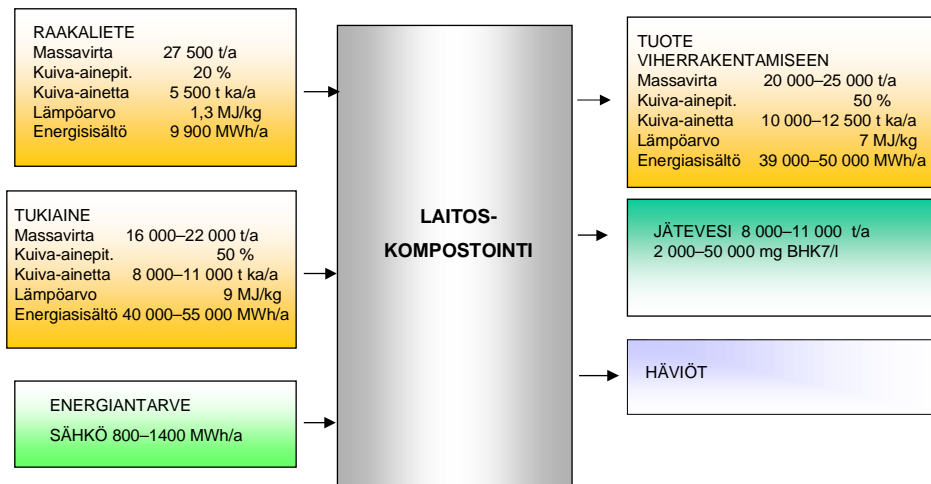
Laitoskompostoinnissa on sekä suomalaisilla että ulkomaisilla laitevalmistajilla runsaasti referenssejä. Tässä on tarkasteltu laitosta, jossa käsiteltäisiin noin 5 500 t ka/a mekaanisesti kuivattua lietettä (15–20 % ka). Jätevesiliete ja tukiaine sekoitetaan joko pyöräkuormaajalla tai kiinteällä koneistolla. Laitoksen kalustoon kuuluvat tukiaineen vastaanottoasema, jätevesilietteen vastaanottosiilo, ruuvikuljettimet, pumput ja sekoituslaite sekä poistokaasujen pesu (kemiallinen) ja biosuodatin. Orgaanisen aineksen vähenemä on 15–20 %. Viipymä reaktorissa on 2–3 viikkoa, jonka jälkeen seuraa jälkikypsytyks 3–6 kuukautta. Kuvassa 38 ja 39 esitetään laitoskompostoinnin ja viherrakentamisen etuja ja haittoja sekä ainevirtoja.

Investointi- ja käyttökustannukset tämän kokoiselle kompostointilaitokselle voivat olla 850–880 mk/t ka.

YHDYSKUNTALIIETTEET, 5500 t k.a./a



Kuva 37. Yhdyskuntalietteiden käsittelyvaihtoehtoja.



$$\eta_{\text{materiaali}} = \frac{\text{Tuote}(ka)}{\text{Sisään menevä } ka} = 0,74 - 0,75$$

$$\eta_{\text{energia}} = \frac{\text{Tuotteen energiasisältö}}{\text{Tukiaine ja raakaliete energiasisältö} + \text{energiatarve}} = 0,75 - 0,77$$



Kuva 38. Laitoskompostoinnin ja viherrakentamisen aine- ja energiatase.

Laitoskompostointi+viherrakentaminen

EDUT:

- Ravinteet kiertoon
- Viherrakentaminen materiaalihyötykäyttöä

HAITTAPUOLET:

- Pinta-alan tarve suurehko
- Mahdolliset hajuhaitat
- Tuotteen markkinointi jos suuret määrät
- Tukiainekustannukset
- Kompostoitu liete tulee yleensä jälkikypsyttää ts. aumakompostoida

- Soveltuvuus:
- Jos tontilla tilaa
 - Halpaa tukiainetta tarjolla
 - Tuotteelle markkinat olemassa

Tekniikka: Tekniikka toimiva, referenssikohteita paljon.

Investointi- ja käyttökustannukset tekniikoista ja laitevalmistajista riippuen 5 500 t ka/a lietemäärälle noin 850–880 mk/t ka, jos tuotteesta tuloja 15 mk/t.



Kuva 39. Laitoskompostoinnin ja viherrakentamisen edut ja haittapuolet.

2) Biokuivaus + seospolttotai kaasutus (tuhka kaatopaikalle, sähkön/lämmön tuotanto)

Mekaanisen vedenerotuksen jälkeen liete voidaan kompostoida ns. biologisessa kuivurissa, jossa vähennetään lietteen kosteutta ja samalla hygienisoidaan liete (patogeenit kuolevat). Samalla osa (15–20 %) orgaanisesta aineksesta hajoaa. Tulevan lietteen kaapitoisuuden tulee olla yli 20 %. Viipymä reaktorissa on 9–11 vuorokautta, tämän jälkeen on vielä 1–2 viikon aumakompostointi/laaduntasaus.

Biokuivauksen kustannuksia lisää kompostoinnissa tarvittava apuaineiden, kuten turpeen ja lietteen, määrä. Turve- ja lieteseos voidaan polttaa kompostoinnin jälkeen, jolloin polttoaineita saadaan vielä käyttöön. Prosessin kustannukset vaihtelevat välillä 900–1 000 mk/t ka riippuen apuaineiden määrästä kompostointiprosessissa. Kustannukset on laskettu olettaen, että kuivattu liete käytetään polttoaineena (45 mk/MWh) ja tukiaineen kustannus on noin 45 mk/MWh. Tuhkan läjityskustannuksiksi on arvioitu 150 mk/t. Tuotteen kuiva-ainepitoisuus on noin 50 %. Biologiset kuivurit ovat uudehko tuote, ja niistä ei vielä ole referenssilaitoksia. Raaheen on rakenteilla Eco-Brahen demonstraatiolaitos, joka valmistuneen 2000/2001. Vapo Oy:llä on referenssejä kompostointilaitoksista.

Biokuivaus+seospoltto/kaasutus

EDUT:

- Tukiaine saadaan osittain hyötykäyttöön (vain noin 10 % häviää biokuivauksessa)
- Biokuivattu liete helpompi käsitellä (hygieniä), varastoida
- Itsenäinen prosessi
- Tuote voidaan käyttää viherrakentamiseen/polttoaineena

HAITTAPUOLET:

- Osa (15–20 %) orgaanisesta aineksesta menetetään (polttoaineominaisuudet huononevat)
- Tukiainekustannukset
- Tällä hetkellä ei yhdyskuntalietteitä vastaanottavia laitoksia käytössä Suomessa
- Hajuhaittoja voi esiintyä

Soveltuvuus:

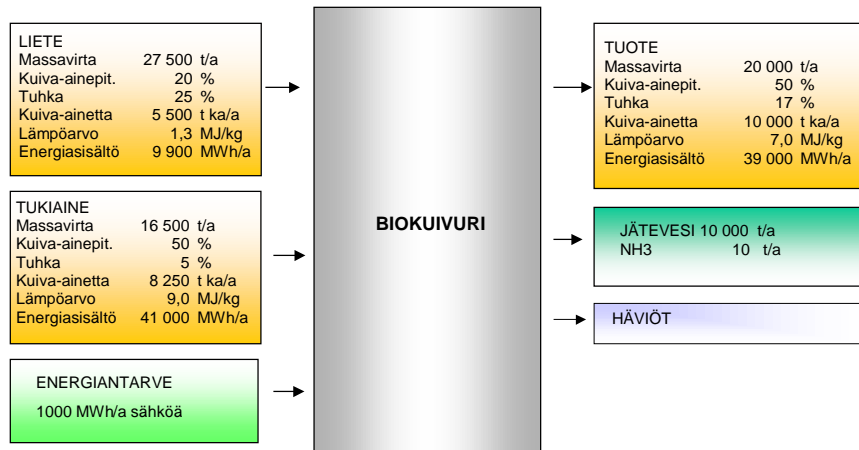
- Alueen jätejakeet ja lietteet olisi taloudellisinta polttaa/kaasuttaa samassa laitoksessa
- Jos olemassa oleva jätteitä polttava kattila

Tekniikka: Eco-Brahen pilottilaitos valmistumassa Raaheen 2000/01, Vapo Biotechillä referenssit kompostointilaitoksista.

Investointi- ja käyttökustannukset tekniikoista, laitevalmistajista ja laitoksen koosta riippuen noin 900–1000 mk/t ka, olettaen että tuote käytetään polttoaineena (45 mk/MWh), tukiainekustannus 45 mk/MWh.



Kuva 40. Biokuivauksen ja tuotteen seospolton/kaasutuksen edut ja haittatekijät.



Lähde: Vapo Oy Biotech

$$\eta_{\text{materiaali}} = \frac{\text{Tuote(ka)}}{\text{Sisään menevä ka}} = 0,73$$

$$\eta_{\text{energia}} = \frac{\text{Tuotteen energiasisältö}}{\text{Tukiaine ja raakaliete energiasisältö + Energiantarve}} = 0,75$$



Kuva 41. Biokuivauksen aine- ja energiatase.

Jos biologisesti kuivattu yhdyskuntaliete poltetaan seospolttona olemassa olevassa kattilassa sekoitettuna pääpolttoaineisiin, esimerkiksi 3 %:n sivuvirtana, se ei aiheuttane suuriakaan muutoksia savukaasu- tai lentotuhkapäästöihin. Yleensä ei yhdyskuntalietteen polttaminen ainoana jätejakeena pääpolttoaineen seassa tunnu ainakaan jätteenpolttodirektiivin voimaan tultua 2006 järkevältä. Seospolttolaitoksissa tai kaasuttimissa on järkevä yhdistää alueen jätevirrat yhteen jätteitä polttavaan tai kaasuttavaan laitokseen, joka täyttää jätteenpolttodirektiivin vaatimukset päästöjen ja mittausten osalta. Tällaisella laitoksella on etuja siinä, että jätevirta on melko suuri, ja nykyaikaisin puhdistimin varustettu uusi laitos täyttää yleensä direktiivin vaatimukset ilman suuria lisäinvestointeja. Alueelliset ja paikalliset ratkaisut ovat järkeviä. Tietyissä määrin tehdaspaikkakunnilla tulisi mukaan laskea myös metsäteollisuuden poltettava REF, jota ainakin 2005 jälkeen voi olla saatavissa jätekattilaan polttoaineeksi.

Laitoksessa, jossa lietettä poltetaan pienellä osuudella tai sekoitettuna REF:n joukkoon, eivät syöttöongelmat muodostune suureksi ongelmaksi. Biokuivattu liete on helpompi käsitellä. Seospolton tuhkan ominaisuudet tulee tutkia ennen hyötykäyttö- tai läjityspaikan määrittämistä. Tämä voi tuoda lisäkustannuksia seospoltolle, riippuen pääpolttoaineesta ja REF:n laadusta.

Biokuivuri on järkevä yhdyskuntalieteteille sellaisissa tilanteissa, jossa polttoaineelle on olemassa oleva kattila ja halutaan parantaa lietteen käsiteltävyyttä ja syötettävyyttä.

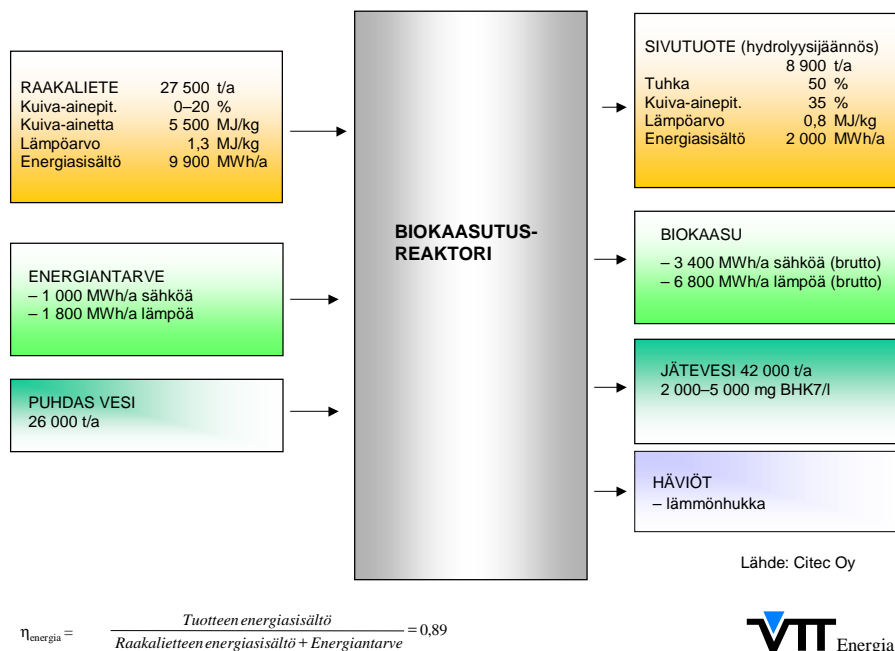
3) Biokaasutus + mekaaninen vedenerotus + aumakompostointi

Mädätys eli biokaasutus on nostanut markkinaosuuttaan lietteenkäsittelyssä ja on varmasti jatkossakin yksi tärkeimmistä lietteiden käsittelytekniikoista kompostoinnin ja polton ohella. Biokaasutuksessa saadaan talteen energiaa omaan käyttöön tai tarvittaessa myyntiin. Varsinkin jos ylijäämäenergialle on käyttöä ja se voidaan myydä, biokaasutus on kompostointia edullisempi vaihtoehto. Biokaasutuksessa viipymät reaktoreissa ovat 2–3 viikkoa, jos toimitaan mesofiialueella. Biokaasutusreaktorista tuleva liete kuivataan yleensä mekaanisella vedenerotuksella 20–30 %:n kuiva-ainepitoisuuteen, polymeerin kulutuksesta ja jatkokäsittelytarpeesta riippuen.

Syntynyt biokaasu yleensä varastoidaan (kaasukello) ja käytetään sähkön ja lämmöntuotantoon esimerkiksi kaasumoottorin käyttämässä generaattorissa. Hallitilojen ilma voidaan lisäksi tarvittaessa käsitellä biosuotimella.

Biokaasutuksen jälkeen voidaan erottaa mekaanisessa vedenerotuksessa vettä (25–30 % ka) ja joko läjittää materiaali kaatopaikalle tai aumakompostoida se. Suoraa kaatopaik-

kasijoitusta ei pitkän ajan kuluessa voida pitää järkevänä ratkaisuna. Mädätyksessä materiaalin volyymi pienenee, joten läjitettävää materiaalia on vähemmän.



Kuva 42. Biokaasutuksen aine- ja energiatase.

Hydrolyysijäännös aumakompostoidaan nykyisin usein ja kompostituote käytetään esimerkiksi viherrakentamiseen. Tuotteesta saatava hinta ei ole korkea. Usein tällainen tuote käytetään esimerkiksi kaatopaikan verhoiluun. Käyttö on kuitenkin rajallista, eikä kaikkea tuotetta aina saada markkinoiduksi. Jos liete mekaanisen vedenerotuksen jälkeen aumakompostoidaan, ovat kustannukset 640–830 mk/t ka. Jos liete mekaanisen kuivauksen jälkeen sijoitettaisiin kaatopaikalle, kustannukset olisivat keskimäärin 900–1 800 mk/t ka, riippuen kaatopaikkakustannuksista.

Biokaasutuksessa orgaanisen aineksen vähenemä on noin 50 %, joka huonontaa materiaalin jälkikäyttömahdollisuuksia. Biokaasutuksessa syntyvä hydrolyysijäännös voidaan polttaa, jos tarve vaatii, mutta sen tuhkapitoisuus on noin 50 % ja lämpöarvo vain noin 10 MJ/kg (tehollisessa kuiva-aineessa). Biokaasutetulle lietteelle yksi vartenotettava vaihtoehto on terminen hygienisointi (kuivaus noin 50 % ka), jolla parannetaan lämpöarvoa ja säilöttävyyttä ja vähennetään hajuhaittoja. Termiseen hygienisointiin voidaan käyttää esimerkiksi höyryllä toimivia ruuvikuljettimia. Tällainen liete, jonka varastointi on suhteellisen helppoa, on helpompi markkinoida joko polttoon tai lannoitteeksi.

Biokaasutus+mekaaninen vedenerotus+aumakompostointi

EDUT:

- Tuottaa energiaa, myös myyntiin
- Biokaasutuksessa lietteen määrä pienenee
- Orgaanisesta aineksestä häviää noin 50 %

HAITTAPUOLET:

- Tuote pitää vielä käsitellä ennen loppusijoittamista (terminen kuivaus, aumakompostointi, yms.)
- Prosessi herkkä olosuhdemuutoksille
- Lieviä hajuhaittoja
- Rejektiveden laatu

Soveltuvuus: - Aumakompostointi tulisi tehdä kaukana asutuksesta.

- Halutaan vähentää lietteen määrää tai stabilisoida liete ennen kaatopaikkasijoitusta tai jatkokäsittelyä.

Tekniikka: Referenssilaitoksia ympäri maailmaa eri laitevalmistajilta.

Investointi- ja käyttökustannukset noin 5 500 t ka/a lietemäärälle tekniikoista ja laitevalmistajista riippuen noin 650–850 mk/t ka, olettaen että energiaa ei myyntiin.



Kuva 43. Biokaasutuksen, mekaanisen vedenerotuksen ja aumakompostoinnin edut ja haittapuolet.

Biokaasutusprosesseihin liittyy jonkin verran toiminnan epävarmuuksia. Prosessin ylläpitäminen ja ohjaus on vaativampaa kuin esimerkiksi kompostoinnissa mädätysprosessin rajoitetumman mikrobikannan takia. Biokaasutetun hydrolyysijäännöksen kuivaaminen lisää sen jälkikäyttömahdollisuuksia. Hydrolyysijäännöksen (tuhkapitoisuus 50 %) poltto ei ole järkevä vaihtoehto, mutta se on teknisesti mahdollista. Tällainen prosessi sopii laitoksiin, joissa on jo biokaasutusprosessi käytössä ja tuotteelle halutaan vaihtoehtoisia loppusijoitus- tai hyödyntämisvaihtoehtoja.

Investointi- ja käyttökustannukset ovat tällaisella systeemillä noin 700 mk/t ka. Lannoitteen hinnaksi on tässä laskettu 15 mk/t. Ylijäämäkaasua ei ole laskettu myytävän, mutta jos se voitaisiin myydä, investoinnin kannattavuus paranisi. Prosessi on kuitenkin energiaomavarainen.

Biokaasutettu liete voidaan myös kuivata termisesti (60–90 % ka) ja käyttää tuote tai pelletti lannoitteena tai polttaa. Joensuun Vesi on ensimmäisenä yhdyskuntajätevedenpuhdistamona investoimassa termiseen kuivuriin.

Biokaasutus+mekaaninen vedenerotus+terminen hygienisointi/kuivaus→ poltto tai lannoitekäyttö

EDUT:

- Termisessä kuivauksessa tarvittavaa energiaa saadaan biokaasutuksesta
- Liete voidaan käyttää polttoon tai lannoitteena, käyttöpaikkojen mukaan
- Lietteen määrä pienenee
- Mikrobitoiminta heikentynyt, helppo varastoida

Soveltuvuus: - Jos hydrolyysijäännöstä ei voida aumakompostoida tai sijoittaa kaatopaikalle.
- Jos olemassa oleva lietettä/jätettä polttava laitos.

Investointi- ja käyttökustannukset 5 500 t ka/a lietemäärälle tekniikoista ja laitevalmistajista riippuen noin 700 mk/t ka (terminen hygienisointi, ei kuivaus). Poltosta tai lannoitekäytöstä ei laskettu tuloja.

HAITTAPUOLET:

- Terminen kuivaus kallis investointi- ja käyttökustannuksilta
- Rejektiveden laatu
- Mädätetyn lietteen tuhkapitoisuus korkea (noin 50 %)



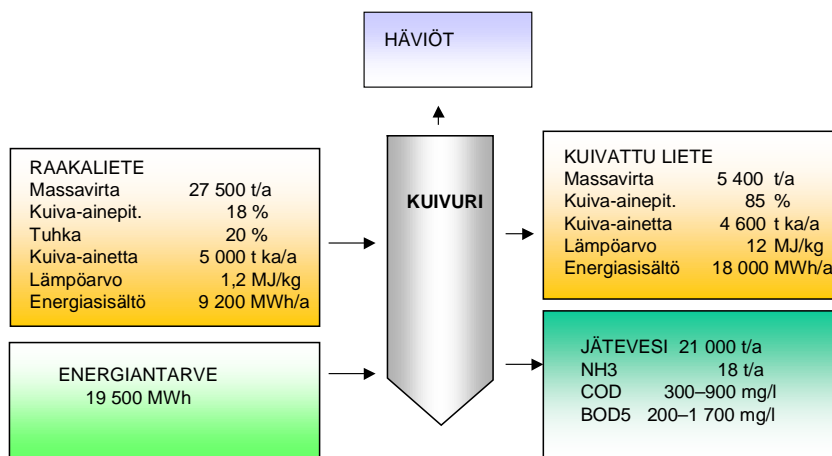
Kuva 44. Biokaasutus, mekaaninen vedenerotus, terminen hygienisointi tai terminen kuivaus, poltto tai lannoitekäyttö – edut ja haitat.

4) Terminen kuivaus + poltto tai kaasutus REF-laitoksella

Yleensä termisissä kuivureissa liete kuivataan joko kontaktikuivurissa tai konvektiokuivurissa. Energian kantajana on tavallisesti öljy tai höyry. Ongelmana voi olla epätasainen kuivuminen, pintojen likaantuminen ja syttymisvaara. Jos höyry lauhdutaan, osa latentista energiasta saadaan hyötykäyttöön.

Kuivurista saadaan tuotteena tavallisesti hienojakoista ainetta, raetta tai pientä pellettiä, riippuen lietteen laadusta. Tuotteen kuiva-ainepitoisuus voi olla välillä 45–95 % ka. Lämmitykseen (savukaasut/pinta) käytetään yleensä höyryä. Poistokaasut tulee puhdistaa ennen johtamista ulos. Parhaiten hajuhaittoja vältetään, jos hajukaasut voidaan polttaa laitoksessa. Hajuhaittoja voidaan vähentää biologisilla puhdistimilla ja pesureilla.

Pelletin tai rakeen tehollinen lämpöarvo on noin 15 MJ/kg 90 %:n kuiva-ainepitoisuudessa. Pelletillä voidaankin korvata esimerkiksi turvetta ilman tehon menetystä. Typen ja fosforin pitoisuudet vastaavat fosforirikasta Y-lannoitetta, mutta kaliumin suhteellinen osuus on pieni verrattuna keinolannoitteisiin. Lietteeseen voidaankin sekoittaa rakeisia ravinnesuoloja, jolloin sen lannoiteominaisuudet paranevat.



$$\eta_{\text{energia}} = \frac{\text{Tuotteen energiasisältö}}{\text{Raakalietteen energiasisältö} + \text{Energiantarve}} = 0,61$$

* Lauhdutin ja lämmön talteenotto kuivurissa



Kuva 45. Terminen kuivaus – aine- ja energiatase.

Järkevältä vaikuttaisi kuivan lietteen energiakäyttö, jos polttolaitos on valmis ottamaan lietteen vastaan. Näin tehdään ainakin vuoteen 2005 asti. Sen jälkeen liete voidaan markkinoida lannoitteeksi mutta siinä vaiheessa on toisaalta todennäköisesti toiminnassa muutamia jätteitä käyttäviä laitoksia, joihin tällainen kuiva polttoaine soveltuisi.

Kuivurin investointi- ja käyttökustannukset ovat 900–1 100 mk/t ka, jos kuivattu liete on 90 %:n kuiva-ainepitoisuudessa. Lämpöenergian hintana on pidetty 120 mk/MWh ja sähkön hintana 0,4 p/kWh. Vuosittaisiksi huoltokustannuksiksi on arvioitu 1 % investointikustannuksista. Rakennuskustannuksissa on otettu huomioon pelletointi- ja varastotila yhden kuukauden tuotannolle. Käyttökustannukset sisältävät energia- ja huoltokulut. Investointien kuoletus on laskettu laitteiston osalta 10 vuodelle, korkokantana on käytetty 5 %:a. Yleensä investointikustannuksiin liittyvät öljypoltin sekä syöttöjärjestelmät kuivuriin. Tarvittava lämpö on laskettu tuotettavan öljyllä.

Terminen kuivaus + poltto/kaasutus REF-laitoksella

EDUT

- Liette voidaan käyttää polttoon tai lannoitteena, käyttöpaikkojen mukaan
- Liette määrä pienenee
- Tuote hygieenistä, helppo varastoida seisokkien ajaksi/lannoitekäyttöön

HAITTAPUOLET

- Terminen kuivaus kallis investointi- ja käyttökustannuksiltaan
- Rejektiveden laatu
- Ei olemassa olevia lietteitä vastaanottavia laitoksia vielä
- Kuivauksessa ammoniakkipäästöt

Soveltuvuus:

- Jos olemassa oleva/suunnitteilla REF:ää polttava laitos
- Halutaan säilyvyydeltään hyvä ja varastoitava polttoaine kesäseisokkien ajaksi.

Investointi- ja käyttökustannukset tekniikoista ja laitevalmistajista riippuen noin 650–850 mk/t ka, jos kuivatulla liettellä korvataan ostopolttoainetta (45 mk/MWh) olemassa olevalla REF-poltto/kaasutuslaitoksella.

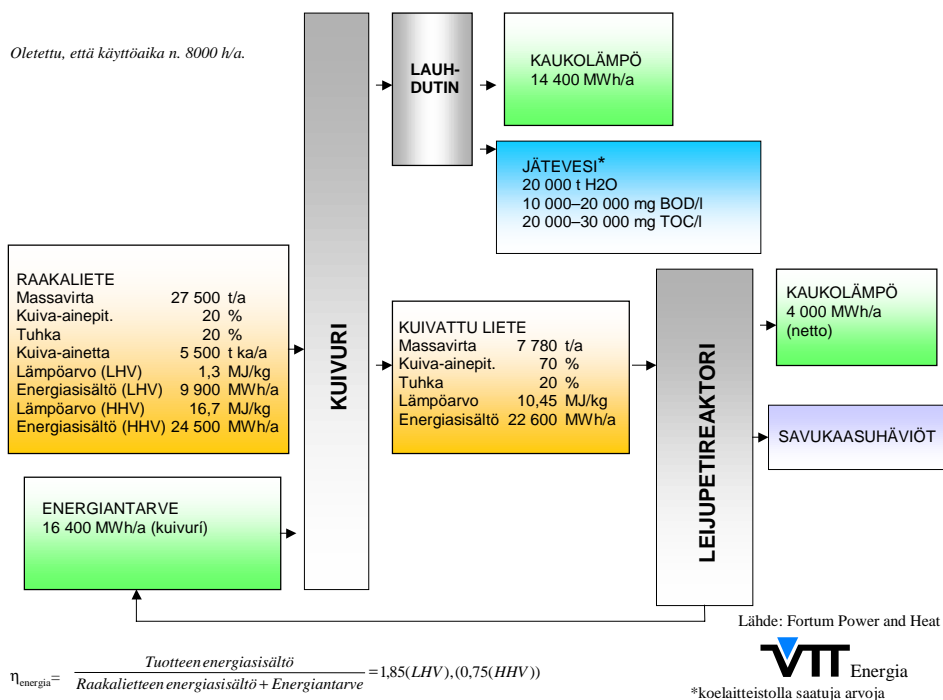


Kuva 46. Terminen kuivaus ja poltto tai kaasutus REF-laitoksella – edut ja haitat.

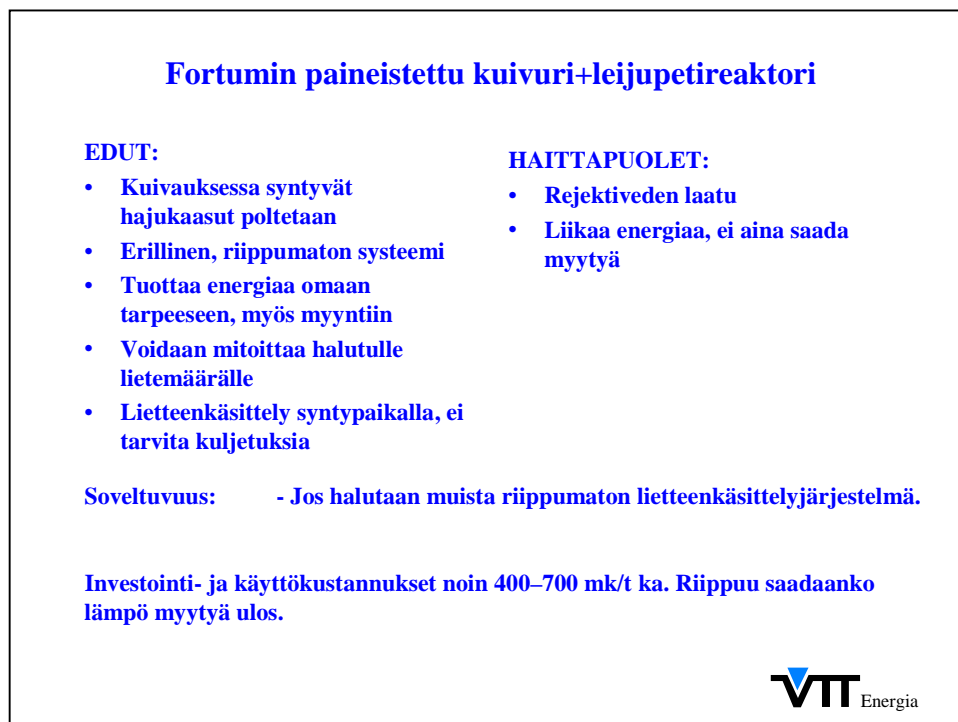
5) Fortumin paineistettu kuivuri + leijupetireaktori

Tässä tarkastellaan Fortumin paineistettua kuivuria ja leijupetireaktoria, johon tuotaisiin liete 20 %:n kuiva-ainepitoisuudessa. Liette kuivataan ja poltetaan omassa järjestelmässä. Tuotettu energia saadaan hyödynnetyksi kuivurissa ja loppu voidaan myydä ulos.

Laitoksessa muodostuu lentotuhkaa, jonka laatu on tunnettava. Tässä on arvioitu tuhkan läjityskustannuksiksi 0–150 mk/t, tämä voi vaihdella riippuen tuhkan laadusta ja läjityspaikasta. Laitos tuottaa kaukolämpöä, ja jos kaukolämpö saadaan myydyksi, investointi- ja käyttökustannukset ovat yhteensä 400–600 mk/t ka. Jos kaukolämmölle ei ole markkinoita, kokonaiskustannukset ovat 500–700 mk/t ka.



Kuva 47. Fortumin paineistettu kuivuri + leijupetireaktori – aine- ja energiatase.



Kuva 48. Fortumin konsepti – edut ja haitat.

6. Metsäteollisuuden lietteenkäsittelytekniikoiden vertailu

Metsäteollisuuden lietteiden tyypillisenä käsittelynä Suomessa on joko poltto tai sijoitus kaatopaikalle. Muita käsittelyvaihtoehtoja ovat lietteen käyttö maanparannusaineena pelloilla tai muissa kohteissa. Lietettä ei Suomessa polteta vielä missään yksin omassa kattilassa. Metsäteollisuuden monipolttoainekattiloissa liete poltetaan usein sekoitettuna tehtaan omien puujätteen, turpeen, kivihiilen, öljyn tai maakaasun kanssa.

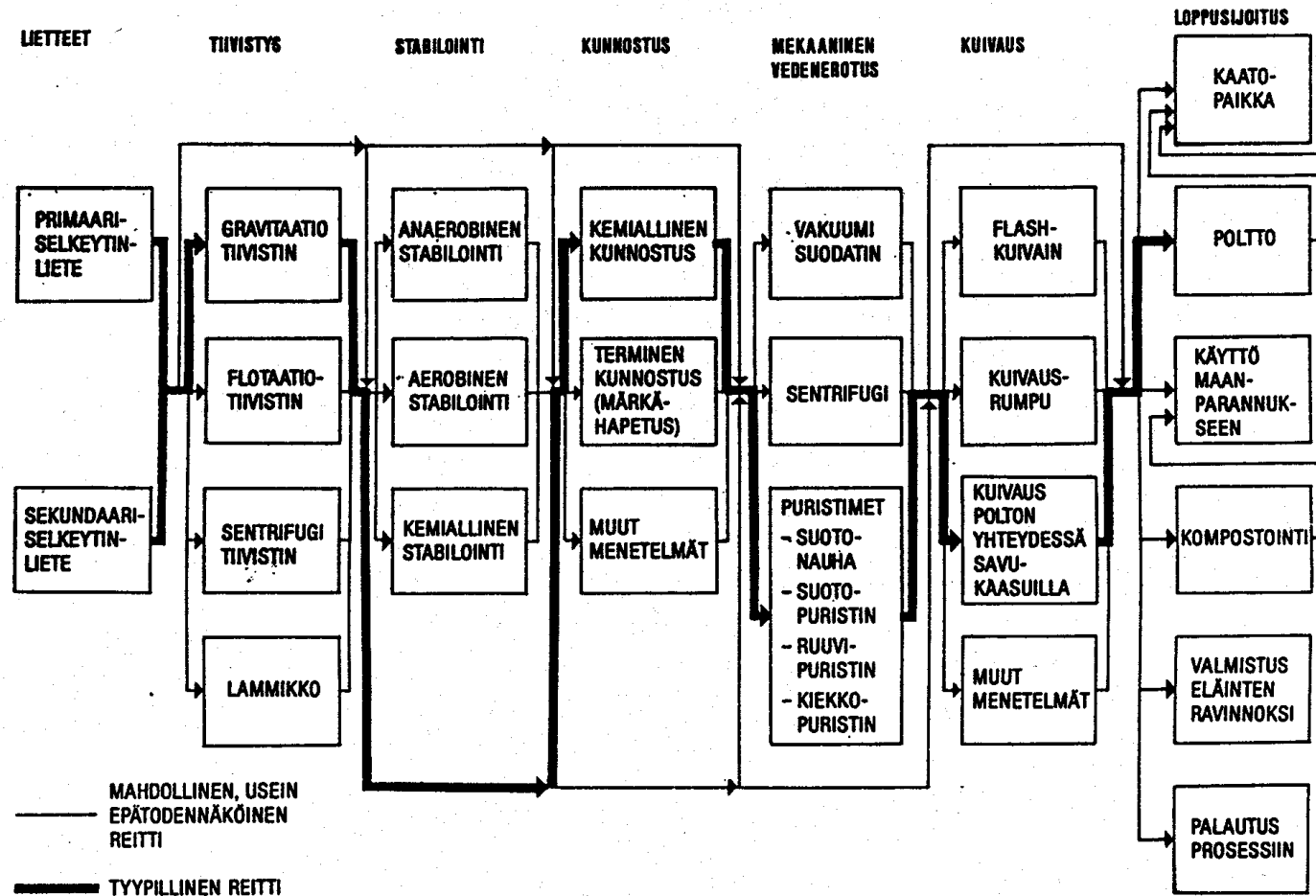
Metsäteollisuuden lietteenkäsittelytekniikat vaihtelevat huomattavasti Euroopan Unionin alueella. Poltto ei ole yhtä selvä vaihtoehto kuin Suomessa, sillä tehtaiden omia kuorikattiloita ei ole samassa määrin. Esimerkiksi Englannissa ja Ranskassa käytetään metsäteollisuuden siistauslietteitä sekä muita lietteitä lannoitekäyttöön.

Metsäteollisuuden lietteiden erilliskäsittelyllä voidaan erityyppiset lietteet ohjata niille sopiviin käyttökohteisiin. Erilaisille lietteille on kehitetty viime vuosina käyttökohteita, kuten kuitu- ja siistauslietteiden käyttö kuitusaven valmistukseen ja kaatopaikkarakenteisiin (Saari ym. 1998). Kuituliete voidaan käyttää polttoaineena tai prosessin raaka-aineena. Bioliete ja tuhka voidaan rakeistaa ja käyttää lannoitteeksi (Pirkonen & Isännäinen 1999). Biolietettä voidaan sekalietteen tavoin joko biokaasuttaa tai kompostoida ja käyttää sitten polttoaineena tai maanrakennus- ja viherrakennuskohteisiin. Yksi mahdollisuus on johtaa bioliete lipeälinjan haihduttamoon ja polttaa soodakattilassa (Räsänen 1999).

Metsäteollisuudessa on vähennetty kaatopaikalle sijoitettavan lietteen määrää huomattavasti viime vuosina. Lietteiden määrät ovat kuitenkin kasvaneet, ja lietteenkäsittelyn tarve on usealla laitoksella akuutti ongelma, johon tulisi löytää uusia ja järkeviä ratkaisuja. Lietteiden laadut ja määrät vaihtelevat huomattavasti eri tehtailla, niin myös käytävissä olevat tekniikkavaihtoehdot ja niiden perusteet.

6.1 Metsäteollisuuden lietteenkäsittelytekniikoiden tekninen vertailu

Kuvassa 49 on metsäteollisuuden tyypillisiä lietteenkäsittelyreittejä (Saunamäki 1991).



Kuva 49. Metsäteollisuuden tyypillinen lietteenkäsittelyreitti (Saunamäki 1991).

Mekaaninen vedenerotus

Metsäteollisuuslietteiden mekaanisessa vedenerotuksessa yleisin laite on suotonauhapuristin, seuraavaksi kuivaus ruuvipuristimella ja lingolla. Noin 25 % tehtaista poistaa lietteen tiivistämösakeudessa ilman kuivausta. Termiset kuivausmenetelmät (kontakti- ja konvektiokuivaus) yleistyvät varmasti tulevaisuudessa silloin, kun kattilan kapasiteetti ei riitä kasvaville lietemäärälle. Mekaanisilla kuivausmenetelmillä päästään yleensä 17–35 %:n kuiva-ainepitoisuuteen, termisillä kuivureilla jopa yli 90 %:iin. Biolietteen kuivauksessa rajoittavaksi tekijäksi muodostuu solubiomassan sisäisen nesteen poistaminen, mikä ei onnistu kuin kuumentamalla. Biolietteen kuivaus ilman kuitu- ja kuorilietteen lisäystä ja polyelektrolyyttien käyttöä ei onnistu suotonauhapuristimessa. (Pere ym. 1992, Harmaa 1987)

Polymeerin käyttö vaihtelee 3–8 kg/t ka (Pere ym. 1992).

Terminen kuivaus

Tehtaitten vesikiertojen sulkeutuessa ja kuidun talteenoton parantuessa primäärilietteen määrä vähenee ja mekaaninen vedenerotus usein vaikeutuu. Tällöin terminen kuivuri voi olla järkevä ratkaisu. Metsäteollisuudessa termisesti kuivattu liete on helppo varastoida (sisätiloissa) ja kuivattu liete ei haise eikä aiheuta hygieniaongelmia. Ongelmana voi olla itsesyttymisriski. (Vanhatalo ym. 1999)

Investointina kuivain on kallis. Varsinkin sellaisissa tapauksissa, jossa kattilan kapasiteetti ei muuten riitä, terminen kuivain on järkevä ratkaisu. Terminen kuivuri on yleensä sitä edullisempi, mitä suuremmista lietemääristä on kysymys.

Tilanteessa, jossa laitoksella on höyryä käytettäväksi liikaa, voidaan osa höyrystä käyttää termisen kuivauksen energiana, jolloin ei tarvita öljyä ja kuivurin talous paranee. Nykyaikaisessa puunjalostusintegraatissa on usein käytettävissä runsaasti sekundäärienergiaa ja sen käyttäminen termisessä kuivauksessa alentaisi käyttökustannuksia huomattavasti.

Kunnostus

Primäärilietteiden käsittelyssä on vähäisin kunnostustarve. Pitkää kuitua sisältävä primääriliete voidaan kuivata ilman kemikaaliannostusta. Täyteainepitoisten primäärilietteiden kuivatus vaatii kuitenkin kemikaloinnin, koska hienojakeinen täyteainepartikkeli estää vedenpoistoa. Sopivin flokkausmateriaali primääriliettele on polyelektrolyytti. Polymeerin käyttö kuiva-ainetonnina kohden on yleensä pieni. (Syväpuro 1991)

Metsäteollisuuden lietteiden kuivaukseen soveltuvat yleensä heikot tai keskikationiset polymeerit (hinta noin 20–25 mk/kg). Polyelektrolyytit orgaanisina aineina eivät aiheuta ongelmia kattilassa, vaan parantavat lietteen lämpöarvoa. Epäorgaaniset kemikaalit (ferrikloridi, alumiinikloridi) voivat lisätä korroosioriskiä kattilassa. (Syväpuro 1991)

Kompostointi ja biokuivaus

Kompostointi on ollut perinteisesti yhdyskuntalietteiden käsittelyvaihtoehto, mutta myös metsäteollisuuden lietteiden kompostointia on tutkittu. Metsäteollisuuden lietteet soveltuvat kompostointiin, mutta ongelmana voi olla lopputuotteen suuri määrä. Kompostoitua lietettä voidaan hyvin käyttää esimerkiksi maisemointiin. Kompostointi voisi-kin olla ratkaisu metsäteollisuudessa, jos lietettä ei jostakin syystä voida polttaa. Metsäteollisuuden lietteet sisältävät kuitenkin yleensä liian vähän ravinteita lannoitekäyttöön. Kompostin markkinoinnissa voi olla vaikeuksia, eikä tehokas kompostointi maksetulla käsittelyhinnalla ole aina kannattavaa. Mikäli tukiaineina käytetään tehtaan jätteitä, ovat tukiaineskustannukset ainoastaan 10–15 mk/lietekuutio.

Metsäteollisuuden lietteiden raskasmetallipitoisuuksia on pidetty ongelmana, mutta Rantalan ym. (1999) mukaan metsäteollisuuden lietteet soveltuvat hyvin kompostoitaviksi ja niiden raskasmetallipitoisuudet ovat yleensä hyvin pieniä lietteissä ja suotoveissä. C:N-suhde on 5–10 eli hyvin erilainen kuin yhdyskuntalietteillä.

Viidellä erilaisella metsäteollisuuden bio- ja primäärilieteseoksella tehdyissä kompostointikokeissa huomattiin biolietteen hajoamisen olevan parhainta (vähennys 83–90 % BOD₅). Myös vesipitoisuus pieneni nopeimmin biolietteen kompostissa. Raskasmetallipitoisuudet olivat kaikissa tutkituissa lietteissä pieniä eivätkä ne rajoittaisi lietteiden maatalouskäyttöä tai lannoitekäyttöä. Lannoitekäyttöä varten valmiiseen tuotteeseen tulee lisätä kuitenkin jonkin verran ravinteita (typeä). (Rantala ym. 1999)

Kompostointi tai biokuivaus soveltuu parhaiten sellaisille lietteille, joissa biolietteen osuus on mahdollisimman suuri. Siistauslietteelle kompostointia ei voida pitää järkevänä lietteen korkean tuhkapitoisuuden vuoksi. Kompostointi on järkevä sellaisissa tapauksissa, joissa tuotteelle on markkinoita tai käyttökohteita.

Biokuivaus tuo mahdollisuuden käyttää tuote joko viherrakentamistarkoituksiin tai polttoon. Polttovaihtoehdossa tukimateriaali käytetään osittain hyödyksi poltossa ja tämä parantaa biokuivauksen taloutta verrattuna kompostointiin. Metsäteollisuuslietteiden vedenerotuksessa kuiva-ainepitoisuus nostetaan yleensä korkeammaksi kuin yhdyskuntalietteillä, mikä vähentää tukiaineen tarvetta.

Biokaasutus

Kokemuksia metsäteollisuuden anaerobisesta lietteidenkäsittelystä on vähän. Biolietteiden anaerobikäsittely sopii Puhakan ja Alavakerin (1989) mukaan tehtaille, joissa liete loppusijoitetaan kaatopaikalle. Kuitulietteen anaerobikäsittely ei näytä olevan kannattavaa, sillä anaerobikäsittelyn mikrobit eivät pysty hajoittamaan lingiiniä. Lisäksi anaerobikäsittely heikentää pelkän biolietteen kuivattavuutta. Mädätyksen ongelmana ovat suuret investointikustannukset reaktoreihin. Teollisuuslietteiden anaerobisessa käsittelyssä ongelmaksi voivat muodostua kemiallisten yhdisteiden ja hajoamattoman ainesosan (mm. lingiini) suuret määrät lietteessä. Lietteiden anaerobikäsittely ei ole käytössä metsäteollisuudessa.

Harmaa (1987) ja Puhakka ja Alavakeri (1989) ovat tutkineet metsäteollisuuden lietteiden anaerobikäsittelyä. Biolietteen anaerobikäsittely vähentää orgaanisen aineksen määrää noin 60 %. Ravinteet voidaan ottaa talteen, kun käytetään hyväksi kuivausrejektiin vapautuneet typpi ja fosfori, jotka konsentroituvat rejektiin. Etuna ovat lietemäärän pieneminen ja ravinteiden saaminen kiertoon puhdistamalla. Haittapuolena on korkea investointikustannus. Biokaasutuksen käyttöä esikäsitellynä ennen polttoa ei pidetä järkevänä, sillä siinä orgaaninen aines pienenee jo huomattavasti ja hydrolyysijäännös sisältää yleensä runsaasti tuhkaa. (Puhakka ja Alavakeri 1989)

Biokaasutusta ei ole sovellettu metsäteollisuuden lietteille eikä se varmaan suuressa mitassa tunnu järkevältä ratkaisulta. Sellaisissa tapauksissa, joissa poltto ei ole mahdollista, voi biokaasutus olla vaihtoehtona. Tällöin kuitenkin lietteen jatkomarkkinointimahdollisuudet huononevat.

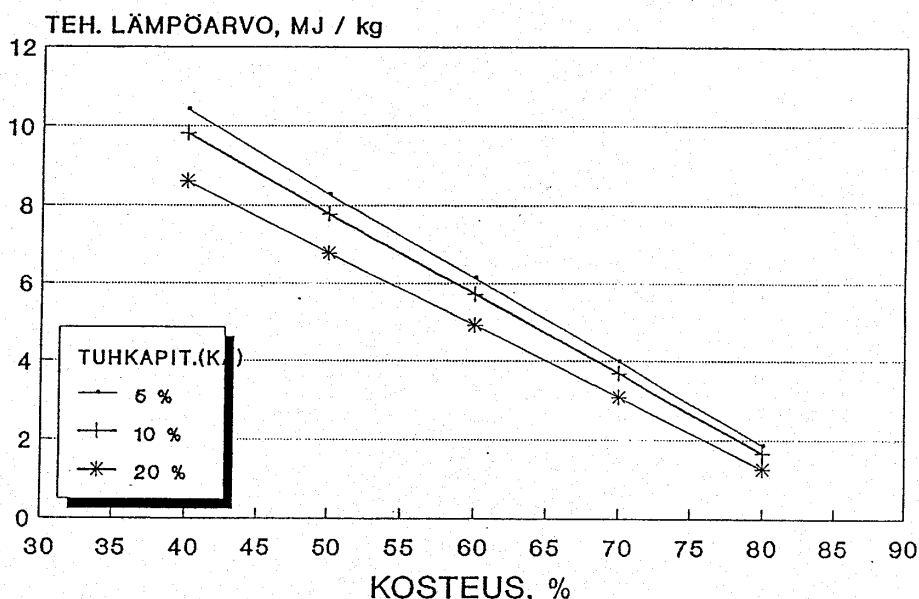
Poltto

Yleisin lietteiden käsittelytapa metsäteollisuudessa Suomessa on sekoittaa bioliete primäärilietteeseen, kuivata liete suotonauhapuristimilla tai ruuvipuristimilla ja polttaa se sitten pääkattilassa. Metsäteollisuus on jo pitkään polttanut suuren osan lietteestään sekoitettuna pääpolttoaineeseen omissa monipolttoainekattiloissaan. Palaminen on melko täydellistä ja tuhkan hyötykäyttö- ja läjitysmahdollisuudet ovat yleensä hyvät. Tavallisesti lietteen osuus on alle 10 % polttoainetehosta. Liete on yleensä kostea, joten sen merkitys tehtaan energiantuotannossa ei yleensä ole suuri.

Lietteen polton ensisijaisena tarkoituksena on lietteen hävittäminen. Se on siis vaihtoehto muille käsittelytekniikoille, ja sen pitäisi pystyä kilpailemaan kustannuksiltaan näiden kanssa. Lietteen aiheuttamat haittavaikutukset tulisi ennakoida ja minimoida. Näitä haittavaikutuksia ovat palamisen epästabiilisuus, kattilan tehon aleneminen, kor-

roosio sekä lämpöpinnoille muodostuvat kerrostumat. Koska lietteen lämpöarvo on yleensä pienempi kuin pääpolttoaineen, sen osuuden polttoaineesta ei tulisi olla liian suuri kattilan tehon tuoton ja päästöjen muodostumisen vuoksi. Kuvassa 50 esitetään kuori- ja lieteseoksen tehollinen lämpöarvo kosteuden funktiona (Louhimo 1992). Vaikka lietteen tuhkatoman kuiva-aineen lämpöarvo on usein suunnilleen sama kuin kuoren lämpöarvo, seoksen lämpöarvo on kuitenkin matalampi kuin kuoren, koska kosteus ja tuhkapitoisuus ovat korkeammat kuin kuorella. Täten lietettä tulee syöttää enemmän kuin kuorta halutun tehon tuottamiseksi. Tämä asettaa vaatimuksia lietteiden syöttölaitteille ja niiden kapasiteetille. On myös mahdollista, että seospolttoaineella ei saavuteta tarvittavaa kattilatehoa vaikka seosta pystyttäisiinkin syöttämään tarvittava määrä.

Lietteen korkea tuhkapitoisuus vaikuttaa myös savukaasupuhdistimien kuormitukseen esimerkiksi pelkkään kuoreen verrattuna. Lämpöpintojen likaantumiseen vaikuttaa mm. tuhkan natriumpitoisuus. Lietteen poltto saattaa aiheuttaa likaantumista, sillä liete sisältää runsaasti kaasuntuuvaa tuhka-ainesta ja lisää natriumin osuutta ja tuhkakuormaa kattilan konvektio-osassa.



Kuva 50. Kosteuden vaikutus teholliseen lämpöarvoon tuhkapitoisuuden funktiona (Louhimo 1992).

Lietteen hyödyntäminen energiantuotannossa on kaatopaikkasijoitusta edullisempi vaihtoehto jo varsin pienillä kaatopaikkakustannuksilla. Lietemäärien kasvaessa, kaatopaikkakustannusten noustessa sekä otettaessa huomioon kaatopaikkojen valumavesiongelmien ym. on poltto varteenotettava vaihtoehto. Lietteen poltto on kannattavaa jo var-

sin pienillä kaatopaikkakustannuksilla, kun lietteenpolton nettohyödyille annetaan arvo. Tuotetun höyryn hinta on laitoskohtainen ja riippuu tehtaan kapasiteetista ja tarpeista. (Vanhatalo ym. 1999)

Pirkonen (1999) on tutkinut jätelämpöjen käyttöä metsäteollisuuden lietteiden kuivauksessa. Lietteiden kuivaustarpeet ovat tehdaskohtaiset, ja tässä tutkimuksessa on tarkasteltu kahden referenssitehtaan oloihin sopivia kuivauskonsepteja ja tehty teknistaloudelliset arviot eri vaihtoehdoille. Mukana on kerroskuivuri (nauhakuivaus) ja rumpukuivuri. Alustavien laskelmien mukaan lietteen kuivauksen vaatima energiamäärä on hieman pienempi kuin lämpöarvon noususta saatava lisäteho. Kuivatun tuotteen lämpöarvo on 2–3-kertainen kuivaukseen tarvittavaan kuivausenergiaan verrattuna. Tutkimuksessa on tarkasteltu tehdaskohtaisesti aine- ja energiataseilla jätelämpöjen käyttömahdollisuuksia lietteen kuivaukseen ja lietteen kuivauksen kannattavuutta sekä taloudellista merkitystä tehtaan kannalta. (Pirkonen 1999)

Jätteenpolttodirektiivi tulee voimaan astuessaan todennäköisesti vähentämään metsäteollisuuden CHP- ja lämpölaitosten kiinnostusta ottaa yhdyskuntalietteitä pääpolttoaineen sekaan poltettavaksi BFB/CFB-laitoksilla johtuen lisäinvestoinneista savukaasunpuhdistuslaitteistoihin, tiukentuvista päästönormeista ja mittausvelvoitteista. Metsäteollisuuden omien lietteiden poltto tuotteen syntypaikalla omassa monipolttoainekattilassa ei kuulu jätteenpolttodirektiivin alaisuuteen. Omat lietteet poltetaan todennäköisesti tulevaisuudessa kasvavassa määrin, mahdollisesti kuivattuna tai suoraan mekaanisen vedenerotuksen jälkeen omassa kattilassa. Jos jokin laitos toisaalta on valmis vastaanottamaan mittauskustannukset ja tarvittavat investoinnit seospolttakseen kierätyspolttoainetta laitoksessaan, ei yhdyskuntalietteen lisääminen tuo silloin juuri ongelmia. Syöttöjärjestelmän tulee olla tällöin lietteelle soveltuva. Osa laitoksista pystyy teknisesti käyttämään lietteitä pääpolttoaineen seassa, mutta esimerkiksi yhdyskuntalietteen osalta nousevat esille patogeenit ja työhygieeniset ongelmat lietteen käsittelyssä laitoksessa, mikä suosisi erikoisratkaisuja (kaasutus, erillinen lietekattila, erillinen REF-laitos, lietteen kuivaus).

Jos biolietteet ja kuitulietteet (ja siistauslietteet) käsitetään molemmat kuitumaisiksi massa- ja paperiteollisuuden jätteiksi, monipolttoainekattiloissa jatkettaisiin lietteiden polttoa pääpolttoaineen seassa ilman lisäinvestointeja tai lisäkustannuksia. Lietteiden poltto näissä kattiloissa pienellä osuudella ei yleensä lisää päästöjä merkittävästi. Osalla paikkakunnista on varmasti vielä tarvetta vähentää kaatopaikkasijoitusta ja ohjata enemmän lietteitä polttoon, jolloin mahdollisesti erilaiset kuivaustekniikat yleistyvät. Toisaalta tilanteissa, jossa määrän lietteen polttaminen ei ole mahdollista kapasiteettisyistä, on varmasti harkittavissa myös erilaisia vaihtoehtoja.

Bioliete on usein parempaa materiaalia polttoa ajatellen, joten sen terminen käsittely tuntuu järkevältä. Paperitehtaiden primäärilietteet sisältävät usein niin paljon tuhkaa ja erilaisia pastamaisia aineita, että niille on kehitetty myös muita hyötykäyttövaihtoehtoja, esimerkiksi käyttämistä kaatopaikkojen tiivistysrakenteissa (Finncao).

Metsäteollisuuden lietteiden raskasmetallipitoisuudet ovat yleensä melko pieniä, joten ympäristöön kohdistuvat haittavaikutukset kohdistuvat lietteen sisältämiin klooriyhdisteisiin (PAH, PCA, kloorihiilivedyt) (Paasivirta 1991).

Fortumin lietekuivuri ja kattila

Fortumin lietekonseptia voidaan soveltaa joko lietekuivurilla tai ilman, riippuen laitoksesta ja tarpeista. Lietekuivuri yhdistettynä jätelämpökattilaan on taloudellinen sellaisessa tapauksessa, että liete ei jostakin syystä enää mahdu nykyiseen kuori- tai monipolttoainekattilaan. Lietteet käsitellään tällöin omana järjestelmänä, eikä lietteen käsittely vähennä pääkattilan käytettävyyttä.

Fortumin konseptissa on mahdollisuus myös pelkkään lietekattilaan. Tässäkin etuna on se, että lietteet voidaan käyttää omassa kattilassa ilman pääkattilan käytettävyysongelmia. Kaikki lietteet voidaan käsitellä yhdessä. Tuhkapitoisten polttoaineiden siirtäminen pääkattilasta voi vähentää kuonaantumista ja korroosioriskiä pääkattilassa.

Kaatopaikka

Lietteiden kaatopaikkasijoituksessa on otettava huomioon lietteen fysikaaliset ominaisuudet, kuten kosteus, huokoisuus ja tuhkapitoisuus, jotka vaikuttavat sen vedenläpäisevyyteen ja kokoonpuristuvuuteen. Lietteiden kaatopaikkasijoituksessa suotovettä muodostuu lietteen pinnalla valuvasta sadevedestä, lietteen läpi suotautuvasta sadevedestä ja lietteen sisältämästä vedestä, joka ajan mittaan puristuu lietteestä. Tämä on otettava huomioon kaatopaikkarakenteessa. (Forsius 1994)

Teollisuuden pysyvien läjitysalueiden ja kaatopaikkojen on 1.11.2007 mennessä täytettävä kaatopaikan pohjarakennetta koskevat vaatimukset. Uuden EU-tasoisien kaatopaikan läjityskustannukset ovat 300–500 mk/t. Kaatopaikkasijoitus on viimeisenä EY:n jätehierarkiassa, joten muut vaihtoehdot tulisi tarkastella aina ensin.

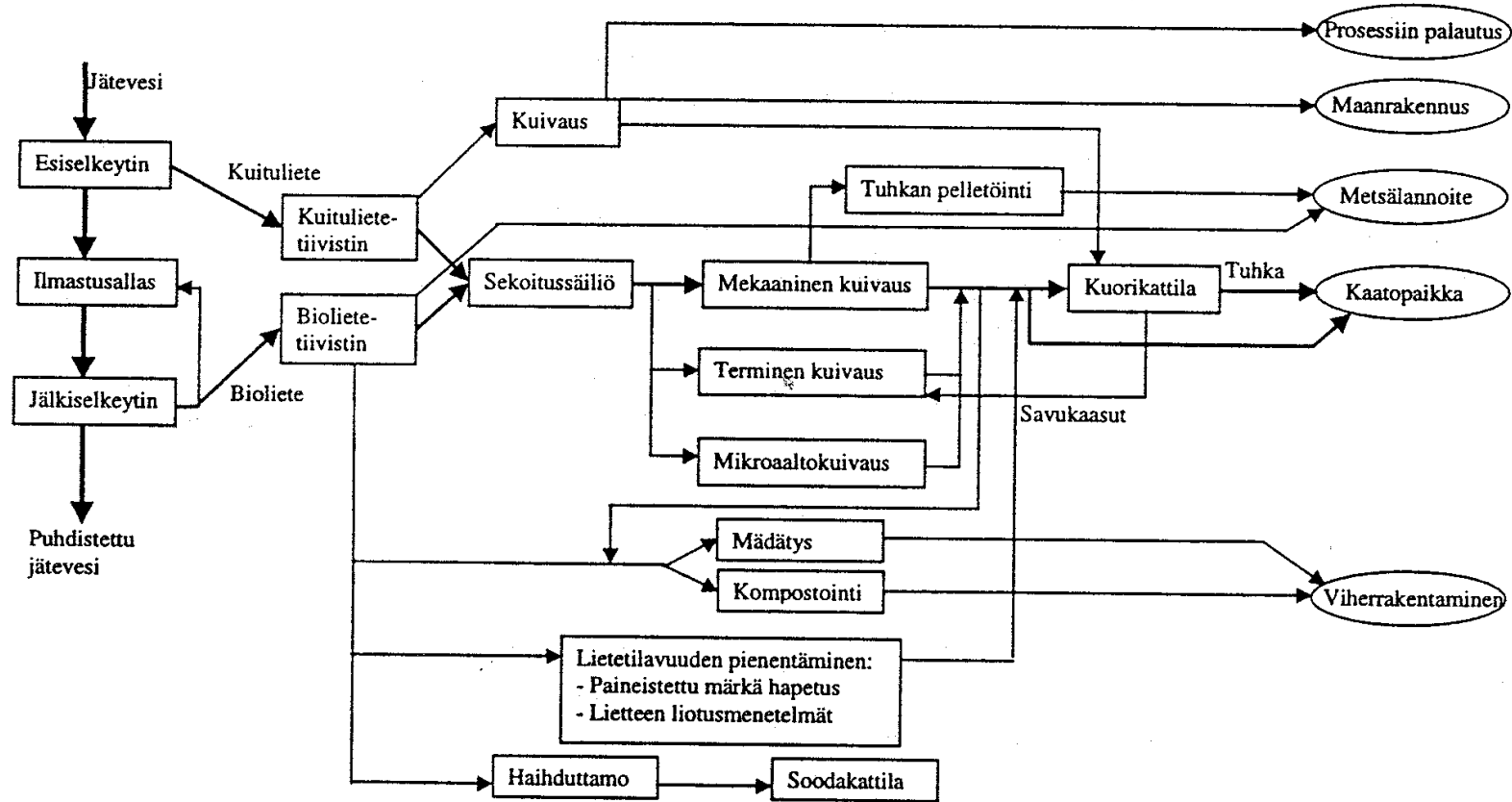
Vaihtoehtoiset käyttökohteet

Keräyspaperin käsittelyssä syntyy jätevirtoja, joiden käsittely on ratkaistava tehdaskohdasta. Jätevedet puhdistetaan siivoustaloksessa sekä mekaanisesti että biologisesti. Kierrätettäessä kuitua paperin raaka-aineeksi muodostuu siivoustaloksesta huomattava määrä jäteliettä. Lietteiden kaatopaikkasijoitus on ollut vallitsevana vaihtoehtona, mutta kaatopaikkamaksujen kohoaminen ja vaatimukset kaatopaikalle sijoitettavalle materiaalille ovat lisänneet siivoustaloksesta polttoa tehtaan omissa kattiloissa. Siivoustaloksesta sisältyy huomattavan määrän tuhkaa (40–50 % ka), joten poltto tarjoaa vain osittaisen ratkaisun. Lietteiden määrä pienenee olennaisesti, mutta hyvin tuhkapitoisen materiaalin polttamisessa ei enää puhuta juuri energiasäilytyksen hyödyntämisestä, vaan hävityksestä. Jäljelle jäävä tuhkamäärä on suuri, ja sen käyttökohteita voi olla mm. rakennusteollisuuden raaka-aineena tai tienrakennuksessa. Usein se kuitenkin vielä läjitetään kaatopaikalle. (Raitio 1992)

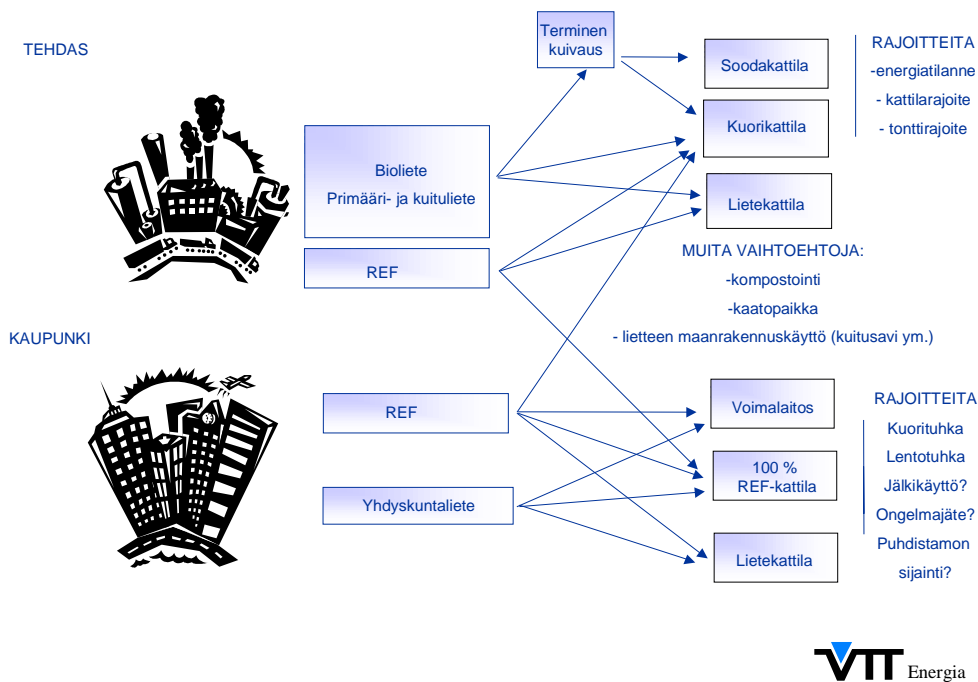
Kuitulietteiden hyötykäyttövaihtoehtoja on tutkittu runsaasti. Kuitulietteiden hyötykäyttöä rajoittavat mm. täyteaine- ja pihkapitoisuudet. Primääriliete voitaisiin periaatteessa palauttaa prosessiin tai lietteiden eri komponentteja voidaan erottaa ja ohjata uudelleen käyttöön. Kuitu- ja siivoustaloksesta on etsitty erilaisia käyttökohteita, esimerkiksi Finncao L8 kaatopaikkarakenteisiin. Aikaisempia kokeiluja on ollut esimerkiksi kuitulevyjen valmistus rakennusteollisuudelle, jossa havaittiin että 15 %:n kuitulisäyksellä ei ollut vaikutusta tuotteen laatuun tai valmistusprosessiin. Kuitulietteiden käyttöä muovien ja vaneriliimojen täyteaineena on tutkittu. Samoin on kokeiltu kuitulietteiden käyttöä tiilituotteissa. Tehdasajossa <10 %:n kuitulisäys ei häirinnyt tuotantoa ja tiili oli moitteeton. Biolietettä on joissakin tapauksissa käytetty mm. kartongin ja kuitulevyjen valmistuksessa. Liete voidaan kuivata ja käyttää esimerkiksi eläinten rehuksi. Muita käyttövaihtoehtoja voi olla esimerkiksi etanolin valmistus. Metsäteollisuuden lietteitä ja tuhkaa voidaan käyttää myös maanparannusaineena. Lietettä ja tuhkaa käytetään lähinnä pelloilla, metsissä ja täyttömaana erilaisissa kohteissa. (Forsius 1994, Söderhjelm 1986)

Lietteiden hyötykäytön ongelmana on se, että liete tulisi voida käyttää itse tehtailla hyödyksi, muutoin kuljetuskustannukset tekevät käytöstä kannattamatonta ja lietteiden raaka-ainearvo menetetään (Harmaa 1987).

Vaihtoehtoiset käyttökohteet ja hyödyntämisvaihtoehdot erilaisille lietteille ovat mielenkiintoisia ja tärkeitä. Kuvassa 51 on erilaisia lietteiden käsittelyn vaihtoehtoja metsäteollisuuden lietteille ja kuvassa 52 ongelmanasettelua eri liete- ja jätefraktioiden osalta tiukentuvien ympäristönormien puitteissa.



Kuva 51. Metsäteollisuuden lietteiden käsittelyvaihtoehtoja (Räsänen 1999).



Kuva 52. Metsäteollisuuden lietteiden käsittelyvaihtoehtoja.

EU:n jätteenpolttodirektiivi ja sen tulkinnat vaikuttavat varmasti metsäteollisuuden lietteiden hyötykäyttöön ja hyötykäyttösuunnitelmiin lähivuosina. Kun kaatopaikka-kuormitusta tulisi vähentää ja toisaalta uusien kaatopaikkojen perustaminen on kallista ja kaatopaikkamaksut nousevat, on usein etsittävä muita vaihtoehtoja. Jos metsäteollisuuden monipolttoainekattiloiden mitoitukset sen sallivat, lietteitä kuivataan todennäköisesti yhä enemmän ja poltetaan sitten muuhun puujätteeseen sekoitettuna CHP-laitoksissa. EU:n jätteenpolttodirektiivissä metsäteollisuuden kaikkien lietteiden katsotaan todennäköisesti jäävän direktiivin ulkopuolelle, jolloin tämä varmasti tulevaisuudessa on vallitseva käsittelytekniikka. Jos olemassa olevan kattilan kapasiteetti ei riitä kuivatun lietemäärän vastaanottamiseen, on vaihtoehtoina esimerkiksi Fortumin tapainen erillinen lietekattila tai lietteen termisten kuivaustekniikoiden yleistyminen.

Yksi vartenotettava vaihtoehto olisi erottaa lietteet mahdollisuuksien mukaan jo niiden syntypaikalla. Tällöin esimerkiksi siistausliete ja paljon lisäaineita ja kaoliinia sisältävä primääriliete voitaisiin käyttää esimerkiksi kuitusavena ja bioliete polttaa kuori-/monipolttoainekattilassa.

Yksi vaihtoehto sellaisilla metsäteollisuuden paikkakunnilla, joilla syntyy paljon kierrätykseen kelpaamatonta pakkaus- yms. jätettä, olisi keskittää sekä yhdyskunnan lietteet että metsäteollisuuden lietteet sekä hyvä ja puhdas kierrätyspolttoaine samaan kattilaan ja tehdä siitä silloin ns. jätteenpolttokattila. Laitoksen omistaja voisi tällöin olla kunta tai kaupunki.

Tällä hetkellä Suomessa monella paikkakunnalla mietitään jätteiden energiakäyttöraatkaisuja polttokelpoiselle yhdyskuntajätteelle. Tällaisissa investointitilanteissa on varmasti järkevää miettiä metsäteollisuuspaikkakunnilla järkeviä synergioita yhdyskunnan ja metsäteollisuuden välillä. Jos yhdyskunnassa ollaan investoimassa laitosta yhdyskuntajätteestä valmistetulle kierrätyspolttoaineelle (REF III), on tähän mitoittukseen järkevää laskea mukaan myös lähialueen lietteet ja muu polttokelpoinen jäte teollisuudesta.

6.2 Metsäteollisuuden lietteenkäsittelytekniikoiden taloudellinen vertailu

Poltto voi olla myös edullisin ratkaisu laitoksella verrattuna perinteiseen kaatopaikkasijoitukseen uusilla EU-tason kaatopaikoilla. Ruotsissa (Ny Teknik 2000) tehdyn tutkimuksen mukaan metsäteollisuuden lietteitä syntyy Ruotsissa yli 1 milj. t/a. Noin 66 % tästä poltetaan (usein ilman energian hyödyntämistä) ja loppu sijoitetaan kaatopaikalle. Tutkimuksen mukaan tulisi edullisemmaksi kuivata liete termisesti, sekoittaa se biopolttoaineeseen ja polttaa olemassa olevassa kattilassa kuin sijoittaa liete kaatopaikalle. Jopa 30 km:n kuljetuskustannukset ovat taloudellisesti järkeviä. Tämä on tilanne Ruotsissa, jossa kaatopaikkaverot on 250 SEK/t jätettä ja polttokelpoista jätettä ei saisi sijoittaa kaatopaikalle vuoden 2002 jälkeen. Suomessa kaatopaikkaverot ei koske ainakaan vielä teollisuuden kaatopaikkoja, joten tämä ei tuo niin suurta taloudellista intressiä vielä muille hyötykäyttövaihtoehdoille.

Tämän hetkisiä kaatopaikkakustannuksia on vaikea arvioida metsäteollisuuden kaatopaikoille. Myös teollisuuden kaatopaikkojen tulisi täyttää vuoteen 2007 mennessä valtioneuvoston kaatopaikkoja koskevan päätöksen pohjavaatimukset, eli niiden tulisi olla EU-tasoisia. EU-tasoisien kaatopaikan perustamis- ja käyttökustannukset ovat kalliimmat kuin nykyisillä kaatopaikoilla. Esimerkiksi YTV (2000) on arvioinut EU-tasoisien kaatopaikan täysimittaisiksi kustannuksiksi 400–450 mk/t.

Taloudellisessa vertailussa on otettava huomioon sekä kiinteät että muuttuvat kustannukset. Kiinteiksi kustannuksiksi lasketaan mm. saostuskemikaalien käyttö ja pH-säätö, sillä nämä tehdään kaikissa tapauksissa laitoksissa. Muuttuvia kustannuksia ovat mm. kuivaimen huollosta ja energiankulutuksesta aiheutuvat kustannukset. Käyttökustannuksiin kuuluvat myös kaatopaikkamaksut. Yleensä oletetaan, että kuivaimen käyttö ei vaadi lisähenkilökuntaa. (Jaakkola 1993)

Pollettaessa kuivempaa lietettä veden haihduttamiseen kuluvan energian tarve vähenee. Kattilan hyötysuhde on parempi ja savukaasupuhaltimien kuormitus pienenee. Tuki-

polttoaineen kulutus vähenee. Jos kaikki kuivattu liete voidaan polttaa, vähenevät kuljetuskustannukset kaatopaikalle. (Nygren 1992).

Nygren (1992) on arvioinut rumpukuivurin taloudellisia perusteita seuraavasti. Investointikustannuksiin on laskettu asennuskustannukset, putkistojen, instrumentoinnin, automaation, sähköistyksen ja rakenteiden kustannukset, rakennuskustannukset ym. Käyttökustannuksia laskettaessa sähkön hintana on pidetty 180 mk/MWh, maakaasusta, öljystä ja hiilestä saatavan energian hintana on käytetty 50 mk/MWh. Höyryn hinnaksi on arvioitu sisäisessä kustannuslaskelmassa 43 mk/MWh. On oletettu, että kuivain käy 8 000 h/a. Lietteen kaatopaikkakustannuksiksi on arvioitu 20 mk/m³ (kuljetus kaatopaikalle, kaatopaikan hoitokulut). Käsiteltäväksi lietemääräksi (primääri- ja bioliete, 10 % tuhkapitoisuus, 25 % ka) on arvioitu 11 000 t ka/a. Kuivan lietteen lämpöarvo on 17 MJ/kg, ja sähkönkulutus on 100 kW. Kuivauksessa käytettävän höyryn määrä on 27 440 t/a. Kuivurina on rumpukuivain. Investointilaskelmissa on käytetty 12 %:n korkokantaa, 5 a. Investointi- ja käyttökustannukset tälle lietemäärälle ovat noin 790 mk/t ka (1992).

Nygren (1992) on laskenut rumpukuivurin investointi- ja käyttökustannukset myös 23 700 t:n ka/a lietemäärälle (primääri- ja bioliete, 25 % tuhkaa, 38 % ka). Lietteen lämpöarvo on 11 MJ/kg. Pääpolttoaineena kattilassa on kuori ja hiili. Lietteen poltto ilman tukipolttoainetta edellyttää lähes 60 %:n kuiva-ainepitoisuutta. Kuivaimen ja laitteiden sähkönkulutus on 125 kW. Höyryä kuluu kuivauksessa 39 800 t/a. Tällaisen rumpukuivurin investointi- ja käyttökustannuksiksi on laskettu 410 mk/t ka (12 %, 5 a) (1992).

Kolmanneksi Nygren (1992) on laskenut rumpukuivaimen investointi- ja käyttökustannukset 12 800 t:n ka/a lietemäärälle (primääri- ja sekundäärilietteitä, 8 % tuhkapitoisuus, 30 % ka). Lisäksi syntyy siistauslietettä (40 %:n tuhkapitoisuus). Kokonaislietemäärä on 32 850 t ka/a, jonka tuhkapitoisuus on 25 %. Kuivan lietteen lämpöarvo on 15 MJ/kg. Jos tällainen lietemäärä halutaan polttaa, joudutaan usein tekemään parannuksia tuhkanpoistojärjestelmään. Savukaasupuhaltimen kapasiteetti ei aina riitä käsittelemään näin suurta lietemäärää. Kuivaimen sähkönkulutus on 200 kW ja höyryä kuluu 72 900 t/a kuivaukseen. Investointi- ja käyttökustannukset ovat tällöin 947 mk/t ka (12 %, 5 a) (1992).

Biokuivauksen pääomakustannuksiin lasketaan rakennukset, koneet, laitteet, automaatiolaitteet, sähkölaitteet, biosuodattimet, jne. Käyttökustannuksiin lasketaan laitoksen huolto- ja ylläpitokulut ja tukiainekustannukset sekä jätevesikustannukset. Biokuivauslaitoksen investointikustannukset vaihtelevat metsäteollisuuslietteillä lietteen määrästä ja laadusta riippuen 23–36 milj. mk. Metsäteollisuudessa esimerkiksi sellutehtailla ollaan omavaraisia polttoaineiden suhteen, ja tämä voi vähentää tukiainekustannuksia. Osa

metsäteollisuusintegraateista ei nykyisin kuitenkaan ole omavarainen polttoaineiden suhteen, jolloin tukiainekustannus lisäää käyttökustannuksia jonkin verran. Tukiaineesta vain noin 10 % hajoaa biokuivauksessa, joten tukiaineesta saadaan vielä energiaa hyödyksi. (Vapo Oy Biotech 2000)

Meijerin (1992) mukaan lietteiden hävityskustannukset polttamalla (kuivaus ei mukana) ovat noin 2 580 mk/t ka ja 2 500 mk/t ka kompostoinnissa. Demey ym. (1996) ovat taas laskeneet kontrolloidun lietteen uudelleenkäytön maataloudessa maksavan 2 700 mk/t ka, josta 40 % tulisi mekaanisesta kuivauksesta ja 60 % kuljetuksesta. Erilaiset arviot käsittelykustannuksista vaihtelevat eri maiden viranomais määräysten, käytettyjen tekniikoiden, lietemäärien ja laatuojen yms. mukaan. Siksi suoraa vertailua on vaikeaa tehdä.

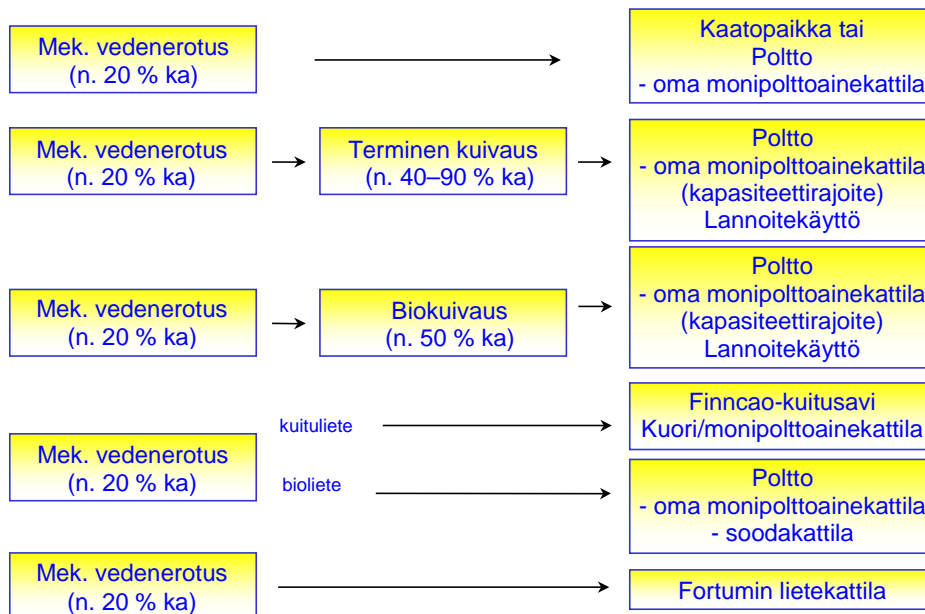
Koska metsäteollisuuslietteiden määrät ja laadut vaihtelevat eri tehtailla, tähän on valittu esimerkinomaisesti kolme erilaista lietefraktiota, joiden käsittelytekniikoita, etuja ja haittoja sekä ympäristönsuojellisia tekijöitä tarkastellaan.

6.2.1 Sellutehdas

Sellutehtaat aiheuttavat huomattavasti suuremman jätevesikuorman jätevedenpuhdistamolle kuin paperitehtaat. Sellutehdas on yleensä energiaomavarainen lämmön ja sähkön suhteen, jolloin lietteen käsittely sellutehtaan kuorikattilassa muodostuu merkittävämmäksi kuin integraatissa, jossa leijukerroskattilassa tuotetaan paperitehtaan tarvitsema energia ostopolttoaineilla. Sellutehtaan energiantuotannosta vastaavat pääosin sooda- ja kuorikattila. (Soukka & Toikka 1999)

Ensimmäisenä on tarkasteltu sellutehdasta, joka tuottaa lietteitä noin 10 000 t ka/a (biolietettä 2/3, primäärilietettä 1/3), lietteiden tuhkapitoisuus yleensä alle 20 %. Mekaanisella vedenerotuksella päästään alle 20 %:n kuiva-ainepitoisuuteen tällaisilla lieteseoksilla riippuen polymeerien käyttömääristä (kuva 53).

Sellutehtailla, jotka tuottavat bio- ja primäärilietettä, on käytettävissä runsaasti lietteenkäsittelytekniikoiden taloudellisesti tai teknisesti järkeviä vaihtoehtoja. Lietteet soveltuvat hyvin sekä termiseen että biologiseen kuivaukseen, biolietettä voidaan polttaa soodakattilassa, ja tuotteita voidaan käyttää mahdollisesti lannoitteena.



Kuva 53. Lietteiden käsittelytavat – sellutehdas 10 000 t ka/a.

1) Mekaaninen vedenerotus + kaatopaikka

Mekaaniseen vedenerotukseen käytetään nykyisin laitoksilla ruuvipuristimia tai suotonaupuristimia. Tällaisella (bioliete 2/3, primääriliete 1/3) lieteseoksella päästään yleensä alle 20 %:n kuiva-ainepitoisuuteen biolietteen suuren määrän takia. Lietteen suora kaatopaikkasijoitus on ollut helppo vaihtoehto, mutta tiukentuvan ympäristölainsäädännön vaatimukset ja imagokysymykset vähentävät varmasti tämän vaihtoehdon mielekkyyttä tulevaisuudessa. Teollisuuden kaatopaikkojen tulee 1.11.2007 täyttää myös valtioneuvoston päätösten 861/97 ja 1049/99 vaatimukset kaatopaikkarakenteista. Uusien EU-tasoisten kaatopaikkojen rakentamiskustannukset ovat korkeat, joten kaatopaikkasijoituksen taloudellisuus vähenee tulevaisuudessa.

Kaatopaikkakustannukset voivat tulevaisuudessa olla 200–400 mk/t.

2) Mekaaninen vedenerotus + poltto omassa monipolttoaine-/kuorikattilassa

EU:n jätteenpolttodirektiivi ei koske tällaisia bio- ja primäärilietettä käyttäviä laitoksia. Tällöin lietteiden poltto muiden polttoaineiden seassa olisi yksi vartenotettava vaihtoehto. Tällainen bio- ja primäärilietteen seos (20 % ka) voidaan syöttää yleensä kattilaan muiden polttoaineiden seassa, kunhan laitoksen kapasiteetti sen kestää ja höyryntuotannon pieneneminen ei haittaa muita tehdasprosesseja.

Sellutehdas on energian suhteen yleensä omavarainen, joten kustannusten laskeminen tällaisessa tapauksessa on hankalaa.

3) Mekaaninen vedenerotus + terminen kuivaus + poltto omassa monipolttoaine-/kuorikattilassa tai lannoitekäyttö

Terminen kuivaus on järkevää, jos voimalaitoksen kapasiteetti ei riitä ottamaan vesipi-toista lietettä vastaan. Kuivaamalla liete termisesti parannetaan sen lämpöarvoa, ja toisaalta kuiva liete on helppo säilöä. Sellutehtailla on yleensä lämpöä ja polttoainetta, jolloin termiseen kuivaukseen tarvittavaa lämpöä voi olla tarjolla edullisesti. Tällaisessa tapauksessa investointi termiseen kuivaukseen voi olla järkevää. Yksi etu on myös se, että termisesti kuivattu liete (90 % ka) voidaan käyttää myös lannoitteena. Tällöin on tosin lisättävä lietepellettiseokseen jonkin verran ravinteita. Lietepellettien suuri määrä vaikeuttaa varmasti jonkin verran markkinointia.

4) Mekaaninen vedenerotus + biokuivaus + poltto omassa monipolttoaine-/kuorikattilassa tai lannoitekäyttö

Biokuivureita ei ole vielä käytössä metsäteollisuudessa. Biokuivaus tuo mahdollisuuden käyttää kuivattu (n. 50 % ka) liete joko lannoitekäytössä tai polttoaineena. Tällainen runsaasti biolietettä sisältävä lieteseos soveltuu hyvin biokuivuriin. Tukiaineena voidaan käyttää haketta tai kuorta, jolloin apuainekustannukset ovat pienet. Vain pieni osa (ehkä noin 10 %) tukiaineesta hajoaa kompostointiprosessissa, joten tukiaine saadaan ainakin osittain käytetyksi polttoaineena. Prosessi soveltuu hyvin paljon biolietettä sisältäville puhdistamolieteteille.

Pääomakustannukset biokuivauslaitokselle, joka käyttää jonkin verran tukiainetta (noin 30 % lietteen massasta) ja tuottaa polttoainetta, ovat noin 270 mk/t ka (5 %, 15 a). Tukiainetta joudutaan lisäämään jonkin verran, mutta toisaalta biokuivauksessa saadaan tuotteesta energiaa. Jos oletetaan, että tukiainekustannus on noin 45 mk/MWh (eli saman verran kuin lietepolttoaineen myyntihinnaksi oletetaan), pääoma- ja käyttökustannukset tällaiselle lietemäärälle ovat yhteensä (tuotteesta saatavat tulot ja tuhkan läjityskustannukset mukaan lukien) noin 415 mk/t ka. Tukiainekustannus voi olla paljon halvempikin, jos tehtaalla on ylimäärin kuorta ja sen arvo tehtaalla on alle 45 mk/MWh.

Konsepti soveltuu silloin, kun halutaan parantaa lietteen käsiteltävyyttä ja säilöttävyyttä sekä mahdollistaa vaihtoehtoiset käsittelymahdollisuudet (lannoitekäyttö).

5) Mekaaninen vedenerotus + kuituliete-Finncao-biolietepoltto monipolttoaine- tai soodakattilassa

Yksi vartenotettava vaihtoehto voi olla erottaa kuituliete ja bioliete erikseen, jos tämä ei tuo suuria prosessimuutoksia. Kuituliete voidaan käyttää esimerkiksi Finncaon materiaalina kaatopaikkarakenteissa ja bioliete voidaan ohjata polttoon soodakattilaan tai omaan CHP-laitokseen. Biolietteen käyttö soodakattilassa on ainakin Kemin Metsä-Botnian kokemusten mukaan hyvä lietteenkäsittelyvaihtoehto.

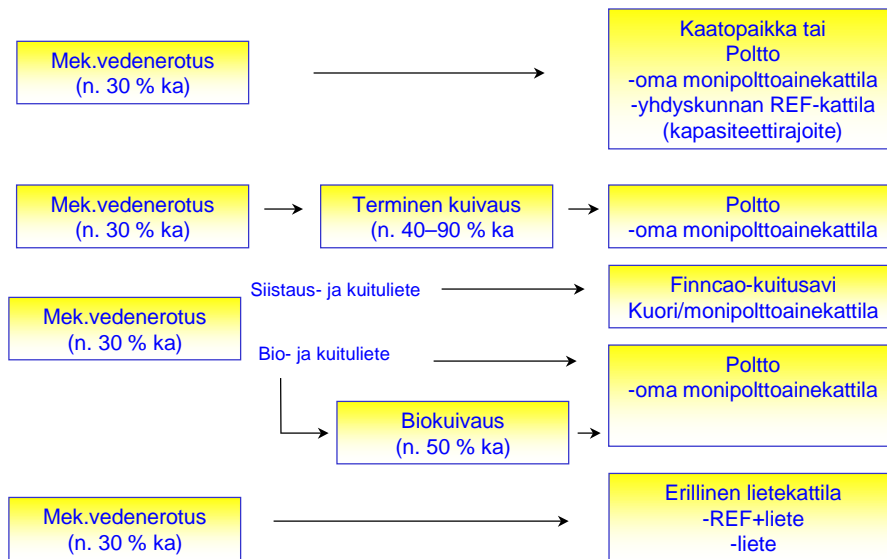
6) Mekaaninen vedenerotus + Fortumin lietekattila

Fortumin lietekattila joko kuivurilla tai ilman kuivuria on mielenkiintoinen vaihtoehto etenkin sellaisessa tilanteessa, jossa kattilan kapasiteetti ei riitä vastaanottamaan märkiä lietteitä. Systemi on lisäksi kompakti, ja hajukaasut poltetaan suoraan kattilassa. Laitoksen taloutta parantaa, jos lämpö saadaan hyödynnetyksi. Näin ei kuitenkaan sellu- tehtaalla välttämättä ole tilanne, jos ylijäämälämpöä on muutenkin. Kattila voitaisiin mitoittaa vastaamaan EU-jätteenpolttodirektiivin vaatimuksia (vaikka liete ei sitä vaatisikaan) ja polttaa samassa kattilassa silloin myös tehtaalla syntyvä polttokelpoinen jäte.

Paineistetun höyrykuivurin ja siihen yhdistetyn leijupetireaktorin kokonaiskustannukset voivat tällaiselle lietemäärälle olla noin 550 mk/ t ka. Tuottovaatimuksena on käytetty 10 a, 15 %:n korko. Tuotettu lämpö on matalapainehöyryä, ja sen arvoksi on laskettu 20 mk/MWh. Tuhkan läjityshintana on käytetty 150 mk/t.

6.2.2 Kiertokuitua käyttävä paperitehdas

Kiertokuitua käyttävällä paperitehtaalla syntyy hyvin erilainen metsäteollisuuslietteiden lieteseos. Tässä on arvioitu syntyväksi lietemääräksi noin 35 000 t ka/a, josta noin 50 % on siistauslietettä, 25 % primäärilietettä ja 25 % biolietettä. Seoksen keskimääräiseksi tuhkapitoisuudeksi on arvioitu noin 40 % (siistauslietteen tuhkapitoisuus noin 50 %, primäärilietteen tuhkapitoisuus 15–30 %, biolietteen tuhkapitoisuus alle 20 %). Lietteet voidaan kuivata joko yhdessä tai erikseen. Jos siistausliete voidaan pitää erillisenä virtana, se on helppo kuivata erikseen ja kuiva-ainepitoisuus voidaan nostaa 30–40 %:iin. Jos käytössä on suotonahapuristin, osa primäärilietteestä on kuivattava biolietteen kanssa kuiva-ainepitoisuuden nostamiseksi ja suotonahapuristimen toiminnan varmistamiseksi. Jos käytössä on muita mekaanisen vedenerotuksen laitteita, asia ei ole niin kriittinen, vaan nämäkin lietefraktiot voidaan tarvittaessa kuivata erikseen. Yleensä seoslietteellä päästään yli 30 %:n kuiva-ainepitoisuuteen käytetyn polymeerin määrästä riippuen.



Kuva 54. Lietteiden käsittelytavat – kiertokuitua käyttävä paperitehdas, 35 000 t ka/a siistaus-, bio- ja primäärilietettä.

1) Mekaaninen vedenerotus + kaatopaikka

Vaihtoehtona on vielä kuivata kaikki lietteet joko yhdessä tai erikseen ja kuljettaa ne kaatopaikalle. Tätä ei voida kuitenkaan pitää pitkällä aikavälillä järkevänä ratkaisuna, ja kustannukset nousevat tulevaisuudessa. Lisäksi tämä on imagokysymys. Kustannukset ovat noin 200–400 mk/t uudella EU-tasoisella kaatopaikalla.

2) Mekaaninen vedenerotus + poltto (oma monipolttoaine-/kuorikattila)

Jos siistausliete määritetään jätteenpolttodirektiiviin ulkopuolelle kuuluvaksi jätteeksi, sitä on järkevää polttaa pienenä osuutena muiden lietteiden kanssa pääpolttoaineeseen sekoitettuna. Siistauslietteen korkea tuhkapitoisuus ja raskasmetallipitoisuudet vähentävät kuitenkin energiataloudellista kiinnostusta. Kaikki lietteet voidaan kuivata mekaanisessa vedenerotuksessa 30–40 %:n kuiva-ainepitoisuuteen ja polttaa muihin polttoaineisiin sekoitettuna, jos lietteen osuus on pieni ja toisaalta kattilan kapasiteetti sallii sen.

3) Mekaaninen vedenerotus + terminen kuivaus + poltto (oma monipolttoaine-/kuorikattila) tai lannoitekäyttö

Terminen kuivaus voi olla järkevää tilanteessa, jossa laitoksen kapasiteetti ei pysty vastaanottamaan kaikkea lietettä. Terminen kuivaus on mahdollista myös siistauslietteelle,

vaikka sen osalta päästään yleensä muutenkin melko korkeaan kuiva-ainepitoisuuteen jopa mekaanisella vedenerotuksella. Siistauslietteen lannoitekäyttö ei ole järkevää, mutta jos siistausliete ohjataan muuhun käyttöön ja vain bio- ja kuituliete kuivataan termisesti, tämä voidaan käyttää joko polttoaineena tai lannoitteena. Lieteseokseen joudutaan mahdollisesti lisäämään lisäravinteita.

4) Mekaaninen vedenerotus +

– **siistausliete + kuituliete-Finncao-kuitusavi**

– **bioliete + kuituliete-biokuivuri + poltto omassa monipolttoaine-/kuorikattilassa**

Finncao on kehittänyt siistaus- ja kuitulietelle materiaalihyötykäyttövaihtoehtoja. Tuotteelle tulisi olla jatkuva kysyntä, ei vain hetkellistä käyttöä. Tällaisissa tapauksissa voitaisiin bioliete esimerkiksi kuivata biologisella kuivurilla tai termisesti ja polttaa se omassa CHP-kattilassa.

Jos bioliete ja kuituliete (yhteensä noin 17 500 t ka/a) käsitellään biokuivurilaitoksessa, pääomakustannukset ovat noin 211 mk/t ka (15 a, 5 %). Tällöin käyttökustannukset laitoksella ovat noin 45 mk/t (128 mk/t ka). Yhteensä pääoma- ja käyttökustannukset (mukaan lukien tuotot valmiista polttoaineesta, 45 mk/MWh, ja tuhkan läjityskustannukset 150 mk/t) tällaisella laitoksella ovat noin 315 mk/t ka. (Vapo Oy Biotech 2000)

5) Mekaaninen vedenerotus + Fortumin lietekattila

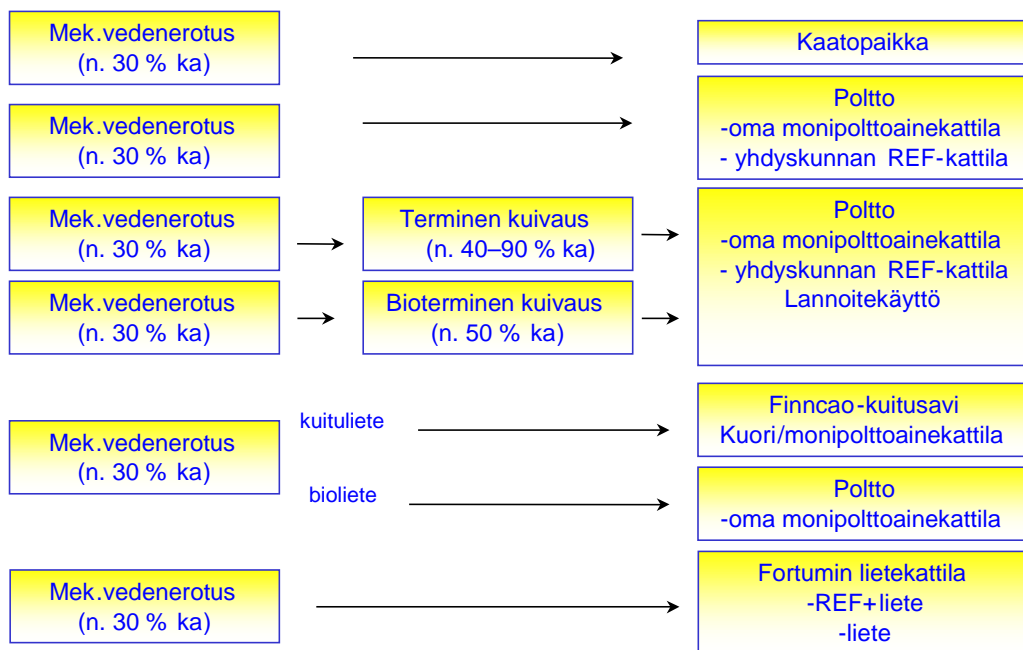
Fortumin kattilaa voidaan joko ohjata vain bio- ja kuituliete tai sitten kaikki lietteet. Laitos voidaan haluttaessa sovittaa täyttämään jätteenpolttodirektiivin raja-arvot. Laitos voidaan rakentaa joko kuivurilla tai ilman. Tässä on tarkasteltu pelkkää leijupetireaktoria kaikille lietteille. Tämä vaikuttaisi tällaisessa tapauksessa taloudellisimmalta vaihtoehdolta.

Leijupetireaktorin kokonaiskustannukset tällaisessa laitoksessa ovat noin 120 mk/t ka sisältäen tuhkan läjityskustannuksen (120 mk/t) sekä lämmön myynnistä saatavat tulot. Tuotettu höry on korkeapainehöyryä ja sen hinnaksi on arvioitu 50 mk/MWh. Tuottovaatimuksena on käytetty 10 a, 15 %:n korko. Tässä tapauksessa tarvitaan hieman tuki-polttoainetta (POR). Kustannukset vaihtelevat eri tehtaissa, oheiset luvut esimerkkejä.

6.2.3 Mekaanista massaa käyttävä paperitehdas

Kolmanneksi tarkastelukohteeksi valittiin mekaanista massaa käyttävä paperitehdas, jossa lietettä syntyy noin 10 000 t ka/a (primäärilietettä noin 2/3, biolietettä noin 1/3). Jos tehtaalla on päällystävää paperikone, päällystysaineita on paljon ja se nostaa lietteen tuhkapitoisuutta.

Mekaanisella vedenerotuksella päästään helposti yli 30 %:n kuiva-ainepitoisuuteen seosaineen määrästä riippuen. Olennaisesti tehdas eroaa lietteenkäsittelyn suhteen selutehtaasta siinä, että lämmön hinta on laitoksessa korkeampi ja laitoksessa on lisäsähkön tarvetta. Tehtaassa voi olla sellainen tilanne, että erillistä kuorikattilaa ei ole. Laitoksessa voi olla esimerkiksi kombivoimala sähköntuotantoon, jolloin lietteiden poltto omassa CHP-kattilassa ei ole enää vaihtoehtona. Jos kuori- tai monipolttoainekattila on, se on usein melko pieni.



Kuva 55. Mekaanista massaa käyttävä paperitehdas, 10 000 t ka/a.

1) Mekaaninen vedenerotus + kaatopaikka

Kuten edellä on todettu, kaatopaikkakustannukset nousevat tulevaisuudessa, ja kaatopaikkaa ei siten voida pitkällä aikavälillä pitää järkevänä lietteiden käsittelytapana.

2) Mekaaninen vedenerotus + poltto omassa monipolttoaine-/kuorikattilassa

Laitos olisi tulevaisuudessakin jätteenpolttodirektiivin ulkopuolella. Tällöin bio- ja kuitulietteet voitaisiin polttaa omassa kattilassa, kuten ennenkin. Märkä liete vähentää kuitenkin kattilan höyryntuotantoa. Paljon päälylysteaineita käyttävissä paperitehtaissa kuitulietteen tuhkapitoisuus on korkea ja tämä vähentää polton mielekkyyttä. Jos kuitenkin kattilan mitoitus sallii ja toisaalta lietettä poltetaan esimerkiksi pienellä suhteella muun polttoaineen seassa, on tämä varmasti yksinkertaisin lietteenkäsittelyvaihtoehto tällaisessa tehtaassa.

3) Terminen kuivaus + poltto omassa monipolttoaine-/kuorikattilassa tai lannoitekäyttö

Termisellä kuivauksella voidaan nostaa lieteseoksen lämpöarvoa. Terminen kuivaus kuluttaa jonkin verran sähköä ja lämpöä ja on investointi- ja käyttökustannuksiltaan melko kallis ratkaisu. Lietteen säilöttävyys kuitenkin paranee, ja toisaalta mukaan tulee vaihtoehto käyttää liete lannoitteena (lisättävä kuitenkin usein ravinteita). Terminen kuivaus on järkevä sellaisissa tapauksissa, että liete ei mahtuisi enää vanhaan kattilaan.

4) Biokuivaus + poltto omassa monipolttoainekattilassa tai lannoitekäyttö

Biokuivauksessa lietteen kuiva-ainepitoisuus nostetaan noin 50 %:iin. Tämä sopii bio- ja kuitulietteilte, joiden tuhkapitoisuus ei ole korkea. Jos laitoksessa on CHP-kattila, joudutaan siihen yleensä ostamaan polttoaine, joten ilmaista tukiainetta ei aina ole saatavilla. Biokuivauksen tuote voidaan polttaa CHP-kattilassa tai käyttää lannoitteena.

Tällaisen laitoksen pääomakustannukset ovat noin 241 mk/t ka (15 a, 5 %). Käyttökustannukset ovat noin 50 mk/t (143 mk/t ka). Tähän ei ole arvioitu tuotteesta eikä tarvittavista lisäaineista muodostuvia tuloja eikä kustannuksia.

Biokuivaus on järkevä silloin, kun halutaan parantaa lietteen käsiteltävyyttä ja tuoda mahdollisuus käyttää tuote joko lannoitteena tai polttoaineena.

4) Mekaaninen vedenerotus + kuituliete-Finncao-kuitusavi-bioliete + kuituliete-biokuivuri + poltto omassa monipolttoaine-/kuorikattilassa

Finncao on kehittänyt kuituliettele materiaalihiötykäyttövaihtoehtoja. Tällaisissa tapauksissa voitaisiin bioliete esimerkiksi kuivata biokuivurilla tai termisesti ja polttaa se omassa CHP-kattilassa.

5) Mekaaninen vedenerotus + Fortumin lietekattila

Fortumin kattilaan voidaan ohjata bio- ja kuituliete sekä mahdollisesti myös tehtaassa syntyvä polttokelpoinen jäte. Kun laitos suunnitellaan valmiiksi tällaiselle lieteseokselle ja vastaamaan jätteenpolttodirektiivin vaatimuksia, lisäkustannukset eivät ole suuret. Laitos voidaan rakentaa joko kuivurilla tai ilman. Tässä on tarkasteltu leijupetireaktoria, sillä se vaikuttaisi tällaisessa tapauksessa taloudellisemmalta vaihtoehdolta.

Leijupetireaktorin kokonaiskustannukset tällaisessa laitoksessa voivat olla luokkaa 430 mk/t ka. Tuottovaatimuksena on käytetty 10 a, 15 %:n korko. Höyryn hintana on tällöin käytetty 50 mk/ MWh (korkeapainehöyry). Tuhkan läjityshintana on käytetty 150 mk/t.

Fortumin konseptit ovat järkeviä tapauksessa, jossa halutaan hoitaa lietteet paikan päällä vähentämättä pääkattilan käytettävyyttä.

7. Yhteenveto

Lietteiden määrät ovat viime vuosikymmeninä kasvaneet ja kasvavat edelleen sekä yhdyskuntajätevedenpuhdistamoissa että metsäteollisuuden ja muun teollisuuden jätevedenpuhdistuksessa. Perinteiset käsittelytavat, kuten mekaaninen vedenerotus ja sen jälkeinen sijoitus kaatopaikalle tai energiakäyttöön, ovat olleet vallitsevia käsittelytapoja, mutta tiukentuvat ympäristönormit, kustannukset sekä negatiiviset asenteet kaatopaikkasijoitusta kohtaan ovat lisänneet myös muiden käsittelytapojen mielekkyyttä.

Yhdyskuntalietteiden käsittelyssä ovat biokaasutus, laitos- ja aumakompostointi sekä lannoite tai maanviljelykäyttö olleet perinteisiä lietteiden käsittelytapoja. Tekniikoiden valinta riippuu laitoksen koosta ja tuotteiden mahdollisista käyttökohteista. Yhdyskuntien jätevesilietteitä ei Suomessa ole poltettu lämpö- ja voimalaitoksissa. Termiset kuivurit sekä biokuivurit ovat tulossa yhdyskuntapuolelle ja tuovat uusia mahdollisuuksia paremmin varastoitavien ja syötettävien lietetuotteiden muodossa. Yhdyskuntalietteiden energiakäyttösuunnitelmia jarrutti jonkin verran jätteenpolttodirektiivin valmistelu, mutta direktiivi hyväksyttiin joulukuussa 2000, ja se selkeyttää varmasti tilannetta. Jätteenpolttodirektiivi asettaa yhdyskuntien jätevesilietteitä polttaville laitoksille mittaus- ja päästövelvoitteita, jotka nostavat ainakin pienessä mittakaavassa kustannuksia.

Lietteiden lannoitekäyttö sekä maanviljelyssä että metsissä tuo uusia harkinnanarvoisia vaihtoehtoja. Arvioiden mukaan lietteiden energiakäyttöä lisätään EU:n alueella. Lietteet voidaan polttaa joko kuivattuna tai ilman mm. laitoksen kapasiteetista riippuen. Lietteet voidaan polttaa joko pelkästään lietteelle tarkoitettussa laitoksessa (esimerkiksi Fortumin tarjoama lietekonsepti) tai rinnakkaispolttona muiden pääpolttoaineiden seassa. Rinnakkaispoltossa ja ehkä toisaalta Fortumin lietekonseptissakin olisi ainakin paikakuntakohtaisesti järkevää miettiä polttokelpoisesta jätteestä valmistetun kierrätyspolttoaineen (REF) polttamista samassa kattilassa, jolloin mittauskustannukset ja muut investoinnit (syöttöjärjestelmät, savukaasunpuhdistus, mittausjärjestelmät) tulevat taloudellisemmiksi isommalla jätemäärällä.

Lietteiden käsittelytekniikoita on monenlaisia, ja uusia konsepteja tulee markkinoille. Niiden soveltuvuus ja taloudellisuus riippuvat paljolti lietemääristä, laadusta, nykyisestä käsittelytekniikasta, alueesta sekä tuotteiden jälkikäsittelymahdollisuuksista ja markkinoista, eikä yhtä ainoaa oikeaa tekniikkaa ole.

Metsäteollisuuden lietteiden määrät ovat kasvaneet, kun varsinkin Suomessa on siirrytty aktiivilietelaitoksiin. Biolietteiden määrät ovat nousseet, mikä on vaikeuttanut lietteiden kuivausta ja vedenerotusta. Perinteisesti Suomessa lietteet on poltettu tehtaan omissa kuori- tai monipolttoainekattiloissa muuhun polttoaineeseen sekoitettuna tai läjitetty kaatopaikalle. Termiset ja biotermiset kuivaimet, kompostointi, siistaus- ja kuitulietteen

käyttö kaatopaikkarakenteissa, poltto soodakattilassa tai erilliset lietekattilat (esim. Fortumin konsepti) ovat mielenkiintoisia vaihtoehtoja lietteenkäsittelyyn. Varsinkin hyvin tuhkapitoisten lietteiden polttoa kuorikattilassa voi usein kutsua vain hävitykseksi. Metsäteollisuudessa pyritään vähentämään kaatopaikkasijoitusta entisestään, ja tämä tuo paineita uusille lietteen käsittelytekniikoille. Lietteiden laadut ja määrät vaihtelevat tehdaskohtaisesti, ja jokaisessa tehtaassa tulee tapauksittain harkittavaksi vaihtoehdot lietteenkäsittelylle. Tarkoituksenmukaista olisi varmasti tehdä jätehuollon ja lietteiden ratkaisut alueellisesti ja metsäteollisuuspaikkakunnilla tehdä yhteistyötä kuntien ja metsäteollisuuden kesken.

Lähdeluettelo

- Alfa Laval. 1998. Dekantterilinko lietteenkuivauksessa. Esite.
- Alin, J. & Salokoski, P. 2000. Lietteiden ominaisuuksia. Suullisia ja kirjallisia tiedonantoja.
- Alpha Environmental Technology. 2000. ALPHA-Drum Dryer. <http://www.alphaut.ch/E/DrumDryers.htm>. (Luettu 4.5.2000).
- Andriz Oy. 1999. Environment & Process. Sludge treatment. Thickening and dewatering. Esite.
- Bebin, J. 1997. Sludge problem in France: Technical advances, changes in regulations, and French involvement in CEN/TC308. European Water Pollution Control, Vol. 7, Issue 2, March 1997, s. 18–28.
- Biofacta. 2000. Kompostointilaitteistot laitospompostointiin. <<http://www.biofacta.fi>>. (Luettu 3.3.2000).
- Citec. 1999. The Waasa process. Esite.
- Gyllenhammar, M. & Herstad Svärd, S. 2000. Slam från skogsbruket blir prima biobränsle. NyTeknik, 17.8.2000, s. 8.
- Dahlbo, H., Petäjä, J., Jouttijärvi, T., Melanen, M., Tanskanen, J.-H., Koskela, S. & Pylkkö, T. 2000. Jätesektorin mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 100 s. (Moniste 197).
- Davis, R. D. & Hall, J. E. 1997. Production, treatment and disposal of wastewater sludge in Europe from a UK perspective. European Water Pollution Control, Vol. 6, Issue 2, March 1997. S. 9–17.
- Demey, D., Goethals, L., Liessens, B., Vanderhaegen, B., Van Eyck, L. & Van Meenen, P. 1996. Processing of primary and secondary sludge by means of the BEVA-process. 10th Forum for Applied Biotechnology, 25–26 Sept 1996, Brugge, Belgium. S. 1800–1808.
- Eco-Brahe. 2000. Biologisesti hajoavien materiaalien käsittelymenetelmä. Esite.
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/76/EY, annettu 4. päivänä joulukuuta 2000, jätteenpoltosta. 2000. EYVL L332/91.

European Environment Agency. 1997. Sludge treatment and disposal. Management approaches and experiences. Document by ISWA's Working Group on Sewage & Wastewater Sludge. Albrecht, R. B. ym. Environmental Issues Series No. 7. 54 s.

EEA. 1999. Waste generation and management. – Environment in EU at the turn of the century – Chapter 3.7. <<http://www.themes.eea.int/theme.php/issues/waste>>. (Luettu 28.8.2000).

ETC-waste. 2000. European topic centre of waste. Waste water treatment plants. [<http://www-etcwaste.int>]. Luettu 28.08.2000.

Energia 1999. 1999. Lietteestä arvokasta energiaa kerrosleijukattilassa. Energia 9/1999, s. 30–32.

Ernstbrunner, L. 1992. Clinker quality and operational experience using the residue from paper processing as secondary raw material. Wopfing: Wopfinger Baustoffe. 6 s. Esite.

EU. 2000. Working Document on Biodegradable Waste Management. <http://www.europa.eu.int/comm/environment/waste/facts_en.htm>. (Luettu 6.11.2000)

Fagnäs, L. & Wilen, C. 1988. Steam drying process for peat and their organic condensates. Proc. VIII International peat congress, Leningrad, 14.–20.8.1988. 16 s.

Fagnäs, L. 1992. Peat and bark extractives and their behaviour in drying processes. Espoo: VTT. 51 s. + liitt. 95 s. (VTT Publications 121).

Fagnäs, L. 1997. Lietteiden kuivauksessa ja jätevesien haihdutuksessa vapautuvan ainesosan karakterisointi jatkokäsittelyä varten. Julkaisussa: Saviharju, K. & Korhonen, M. (toim.) SIHTI 2 Energia- ja ympäristöteknologia. Tutkimusohjelman vuosikirja 1995. Projektiesittelyt. Espoo: VTT. S. 195–208. (VTT Symposium 169).

Fagnäs, L., McKeough, P. & Buchert, J. 1999. Kiertovesien käsittelyn kokonaisratkaisu perustuen haihdutukseen. Julkaisussa: Alakangas, E. & Edelman, K. (toim.). KLT 01. CACTUS-Teknologiaohjelma. Vuosikirja 1999. Jyväskylä: VTT Energia. S. 271–282.

Fanikom Oy. 2000. FANI-maatilakompostorit. Esite.

Fitzpatrick, J. 1998. Sludge processing by anaerobic digestion and superheated steam drying. Water Research, Vol. 32, No. 10, s. 2897–2902.

Forsius, K. 1994. Metsäteollisuuden jätteen ja niiden käsittely. Espoo: Teknillinen korkeakoulu. Ympäristönsuojelutekniikan laboratorio. 10 s. (Ympäristönsuojelutekniikan julkaisuja 5/1994).

Fortum 2000. Technology for economical sludge incineration. Esite.

Hagström, L., Jönsson, L.-E., Magnusson, P., Bouwman, R., Cassidy, S., Hansen, B., Karlsson, I. & Pettersson, L. 1998. Krepro recycling project. Recovery of phosphorus and energy out of waste water sludge. 98 s.

Hansen, B. 2000. Puhelinkeskustelu ja sähköinen tiedonanto 13.7.2000.

Harila, P. & Kivilinna, V.-A. 1999. Biosludge incineration in a recovery boiler. Water Science and Technology, Vol. 40, No. 11–12, s. 195–200.

Harmaa, K. 1987. Metsäteollisuuden kuitu-, kuori- ja biolietteiden anaerobinen energiantuotantoyksikkö: esiselvitys. Oulu: Oulun yliopisto. 84 s.

Hedlund, M. 2000. Slam blir bränsle hos Korsnäs. Svensk Papperstidning, No. 1/2000. s. 42.

Heinonen-Tanski, H. 1997. Ympäristömikrobiologian luennot 1997. Kuopio: Kuopion yliopisto. 92 s. (Ympäristötieteiden laitosten monistesarja 1/1997).

Helsingin Vesi. 2000. Jäteveden puhdistuskaavio.
[www.hel.fi/vesi/jatevedenpuhdistus.htm]. Luettu 9.9.2000.

Holmberg, T. 1999a. Lietteiden kuivaus. Julkaisussa: Marttila, E., Hammo, S. & Erjava, I. (toim.). Valtakunnalliset jätteen hyötykäyttöpäivät 16.–17.11.1999. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. (EN-D66).

Holmberg, T. 1999b. Lietteen termisen kuivauksen ja pelletoinnin kannattavuus. Vesitalous, No. 3/1999, s. 34–36.

Hulkkonen, S. & Harju, A.-M. 2000. Environmental benefits with advanced steam drying of fuels. Julkaisussa: Proc. 2nd Biennial Johan Gullichsen Colloquium, Espoo, 8–10 Sept 1999. Espoo: Finnish Paper Engineer's Association. S. 195–204.

Hänninen, K. & Leinonen, S. 1996. Biometanointi. Loppuraportti. Joensuu: Joensuun yliopisto. 51 s. (Karjalan tutkimuslaitoksen monisteita 1/1996).

Institut für Verfahrens-Brennstoff-Umwelt. 2000. Technische Universität Wien. <<http://www.vt.tuwien.ac.at>. > Luettu 5.10.2000.

Isännäinen, S. 1994a. Jätevesilietteistä ja niiden hyötykäytöstä. Espoo: Teknillinen korkeakoulu. Ympäristönsuojelutekniikan laboratorio. 39 s. (Ympäristönsuojelutekniikan julkaisuja 4/1994).

Isännäinen, S. 1994b. Metsäteollisuuden jätejakeet ja niiden hyötykäyttö. Metsäteollisuuden jätehuolto, METSKOn koulutustilaisuus 13.–14.2.1994, luentokansio. Helsinki: AEL. 19 s.

Isännäinen, S. & Huotari, H. 1994. Tuhkan ja metsäteollisuuden muiden jätejakeiden prosessointi lannoitekäyttöön soveltuvaksi. Esiselvitys. Jyväskylä: VTT Energia. 70 s.

Jaakkola, K. 1993. Metsäteollisuuslietteiden käsittelymenetelmät ja niiden kustannusmalli. Diplomityö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Kemiantekniikan osasto, Tehdassuunnittelun laboratorio. 74 s.

Kvaerner Eureka. 1999. Process systems and equipment and Multicoil. Esite.

Krogerus, M. & Hynninen, P. 1992. Sellu- ja paperiteollisuuden päästöjen käsittelyvaihtoehdot ja kustannukset. Helsinki: Vesi- ja ympäristöhallitus. SYTYKE-ohjelma. 226 s. (Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja A114).

Kruger. 1996. Drying of sludge with heat recovery. Esite.

Kyllönen, H. 1986. Treatment of waste sludges from the pulp and paper industry. Espoo: VTT. 44 s. (Tiedotteita 637).

Lakeuden Jätekeskus Oy. 2000. Lietteiden käsittelytapoja ja kustannuksia. Suullinen tiedonanto.

Latva-Somppi, J. 1998. Experimental studies on pulp and paper mill sludge ash behaviour in fluidized bed combustors. Espoo: VTT. 89 s. + liitt. 86 s. (VTT Publications 336).

Latvanen, H. & Rainio, H. 1999. Kompostointi vai biokaasutus biojätteiden käsittelymenetelmäksi? Kunnalliselämä, No. 8, s. 34–39.

Lilja, R., Matilainen, A. & Holmberg, T. 1998. Pelletoidun jätevesilietteen hyötykäytön edellytykset. Raportti. Vesihuolto 2001 -ohjelma. Helsinki: Tekes. 63 s.

- Levinen, R., Ympäristöministeriö. 2000. Puhdistamoilietteen käyttöä maanviljelyksessä koskeva direktiivi ja kompostointidirektiivi. Suullinen tiedonanto 25.5.2000.
- Louhimo, J. 1992. Lietteenpoltteknikka. Teollisuuden jätevesilietteet. Seminaari, Espoo 8.4.1992. 17 s.
- Lundberg, S. 2000. Direktiv om kompost och slam stödjer återvinning. RVF Nytt, No. 1/2000, s. 31.
- Lurgi. 1999. Lurgin Envirotherm. Modern Sewage sludge Incineration plants. Esite.
- Manzel, J. 1989. Sevar-drying process in a thin bed. Düsseldorf: Klärschlamm-sorgung. VDI-Bildungswerk, s. 74–81.
- McKeough, P. & Fagnäs, L. 1999. Further evaporation and final treatment of process-water concentrates. Water Science Technology, Vol. 40. No. 11–12, s. 25–32.
- Meijer, H. A. 1992. Long-term sludge disposal policy in the Netherlands. Water Science and Technology, Vol. 26, No. 5–6, s. 1157–1164.
- Metsäteollisuus ry. 2000. Ympäristönsuojelun vuosikirja. Massa- ja paperiteollisuus. Vuoden 1999 tilastot. Helsinki: Metsäteollisuus ry. 126 s.
- Myreen, B. 1989. Energiatalouden ja ympäristönsuojelun vuorovaikutus tehdastasolla. Energian käyttö kemiallisessa metsäteollisuudessa, Tampere, 13.–14.12.1989. Helsinki: INSKO. 10 s. (INSKO 195-89).
- Myreen, B. & Anhava, J. 1992. Suomen metsäteollisuuden tila vuonna 1995. SYTYKE-ohjelma, projekti 6. Helsinki: Vesi- ja ympäristöhallitus. 173 s. (Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja, sarja A 117).
- Nygren, J. 1992. Jätevesilietteen kuivaus. Diplomityö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Kemiantekniikan osasto. 88 s.
- Ny Teknik. 2000. Slam från skogsbruket blir prima biobränsle. Ny Teknik, 17. Aug. 2000, s. 08.
- Paasivirta, J. 1991. Lietteen polton ympäristövaikutukset. Metsäteollisuuden lietteiden käsittelyn tehostaminen. Helsinki: INSKO. (INSKO 3-91 VII).

Paatero, P. 2000. Puhdistamolietteiden hyödyntämis- ja loppusijoitusvaihtoehdot ja niiden vertailu. Suomen ympäristökeskuksen moniste 210. 70 s.

Peuraniemi, P. 1999. KREPRO-lietteenkierrätysprosessi (KEMWATER RECYCLING PROCESS). Valtakunnalliset jätteen hyötykäyttöpäivät, LTKK, 16.–17.11.1999. EN D-66. 5 s.

Pere, J. 1992. Metsäteollisuuden lietteiden ominaisuudet. Metsäteollisuuden lietteet -seminaari, Helsinki, 10.–11.12.1992.

Pere, J., Thun, R., Alen, R., Kyllönen, H. & Viikari, L. 1992. Metsäteollisuuden jäte-
lietteet. Helsinki: Vesi- ja ympäristöhallitus. 68 s. (Vesi- ja Ympäristöhallinnon julkaisuja, sarja A 120).

Pirkonen, P. & Isännäinen, S. 1999. Tuhkan ja metsäteollisuuden muiden jätejakeiden prosessointi hyötykäyttöön soveltuviksi. Julkaisussa: Thun, R. & Korhonen, M. (toim.) SIHTI-2 Energia- ja ympäristöteknologia. Tutkimusohjelman vuosikirja 1998. Espoo: VTT. S. 411–432. (VTT Symposium 191).

Pirkonen, P. 1999. Jätelämpöjen käyttö metsäteollisuuden lietteiden kuivauksessa. Julkaisussa: Alakangas, E. & Edelman, K. (toim.). CACTUS-Teknologiaohjelma. Vuosikirja 1999. Jyväskylä: VTT Energia. S. 283–284.

Puhakka, J. & Alavakeri, M. 1989. Sellutehtaan lietteiden anaerobikäsittely ja sen vaikutukset lietteiden kuivattavuuteen. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu. Rakennustekniikan osasto, Vesi- ja ympäristötekniikan laitos. 127 s. (A 39).

Puolanne, J. 1994. Lietteen ja tuhkan maanparannuskäyttöä koskevat vaatimukset. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, Ympäristönsuojelutekniikan laboratorio.

Raitio, L. 1988. Aktiivilietteen lämpökäsittely. Diplomityö. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, Prosessi- ja materiaalitekniikan osasto, Kemian tekniikan laitos. 79 s.

Raitio, L. 1992. Siistausprosessin ympäristökuormitus. SYTYKE-ohjelma Projekti 9. Helsinki: Vesi- ja ympäristöhallitus. 139 s. (Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja. Sarja A 103).

Ranta, J. 1999. Autonpaloittelujätteen ja rengasromun terminen konversio energiaksi ja raaka-aineeksi. Espoo: VTT. 81 s. (VTT Tiedotteita 1960).

Rantala, P.-R., Nevalainen, J. & Jokela, P. 1998. Metsäteollisuuslietteiden kuivausmenetelmiä. Suomen ympäristö 228. Tampere. 38 s.

Rantala, P.-R., Vaajasaari, K., Juvonen, R., Schulz, E., Joutti, A. & Mäkelä-Kurto, R. 1999. Composting of forest industry wastewater sludges for agricultural use. *Water Science and Technology*, Vol. 40, No. 11–12, s. 187–194.

Rintala, J. 1989. Teollisuusjätevesien anaerobinen käsittely termofiilisessä lämpötilassa. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennustekniikan osasto. (Kirjallisuuskatsaus. N:o B 38).

Ruhanen, M. 1992. Viljelykokeita sellutehtaan jätevesilietteillä. Yhtyneet Paperitehtaat Oy Joutseno Pulp. Moniste.

Rumen Oy. 1999. Oikea ratkaisut jätteen käsittelyyn. Esite.

Räsänen, J. 1999. Metsäteollisuuden sivutuotteet raaka-aineena ja energiana. Valtakunnalliset jätteen hyötykäyttöpäivät 16.–17.11.1999. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. 10 s. (LTKK EN D-66).

Saari, O., Nenonen, M., Oasmaa, K., Lönnqvist, S. 1998. Kuitusaven tuotteistaminen Raportti. FINNCAO L8. 63 s.

Saunamäki, R. 1991. Metsäteollisuuden lietteiden määrä, laatu ja käsittelyongelmat. Helsinki: INSKO. 31 s. (INSKO 3-91).

Seghers. 2000. Segher sludge dryer & pelletizer.
<<http://www.bettertechnology.com/seghers/seghersgroup.nsf>>. (Luettu 4.5.2000)

Soukka, R. & Toikka, M. 1999. Materiaalivirrat ja energian käyttö metsäteollisuus-integraatissa ja niihin liittyvät toimintastrategiat ympäristövaikutuslähtöisesti. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Energiatekniikan osasto. 46 s. (LTKK EN D-60).

Suomen ympäristökeskus. 2000. Jätevesien käsittely.
[<http://www.vyh.fi/hoito/vesihuo/jatevesi/kasittel.htm>]. Luettu 28.12.2000.

Söderhjelm, L. 1986. Kuitulietteet raaka-aineena. 13 s. (INSKO 41-86).

Syväpuro, T. 1991. Lietteiden kemiallinen kunnostus. Helsinki: INSKO. Helsinki. 15 s. (INSKO 3-91).

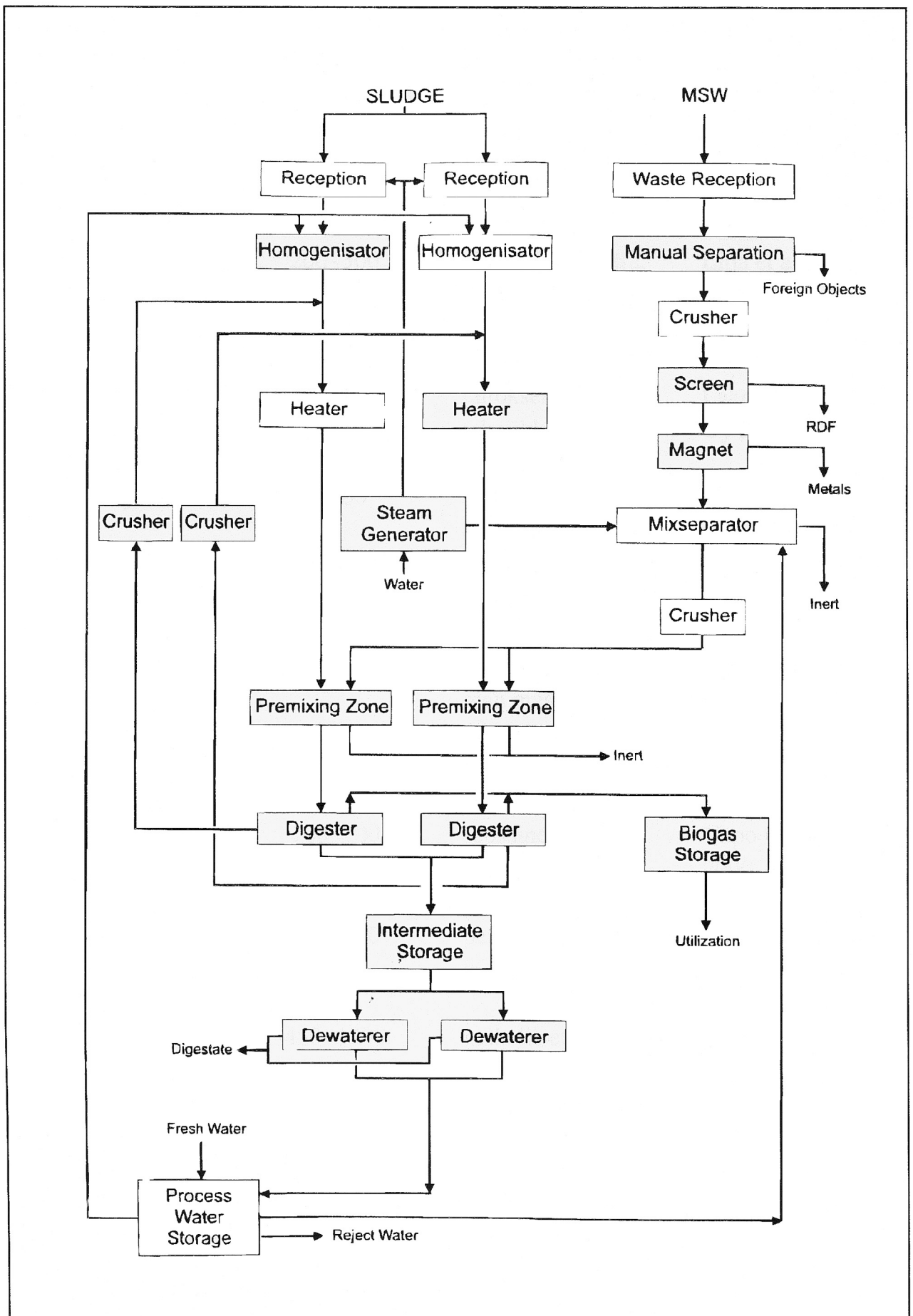
- Tilastokeskus. 2000. Ympäristötilasto. Ympäristö ja luonnonvarat, 2000:1. 160 s.
- Uusio Uutiset. 2000. Lietteen terminen kuivauslaitos Joensuuhun. Uusio Uutiset, No. 4/2000, s. 13.
- Vanhatalo, A., Kiisikilä, E. & Ahtila, P. 1999. Metsäteollisuuden lietteiden kuivaus alipainetekniikalla energiantuotantoa varten. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, EVO-laboratorio. 134 s. (TKK-EVO-A3).
- Vapo Oy Biotech. 2000. Biokuivurilaitoksen prosessikuvaus, aine- ja energiatase erilaisilla biotermistä kuivausta käyttävillä laitoksilla, kustannustietoja. Kirjallinen ja suullinen tiedonanto. Sampo Siik ja Jyri Nummela 29.9.2000.
- Vapo Oy Biotech. 1999. Vapo Oy Biotech. <<http://www.vapo.fi/>>. (Luettu 3.2.2000)
- Werther, J. & Ogada, T. 1999. Sewage sludge combustion. Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 25, s. 55–116.
- Viikari, L., Mustranta, A. & Fagernäs, L. 2000. Menetelmä prosessivesien LK-aineiden konsentroimiseksi. Patentti 105833. Myönnetty 13.10.2000.
- Viitasaari, M., Peltokangas, J. & Heinänen, J. 1994. Vesihuoltotekniikan yksikköoperaatiot ja yksikköprosessit. Osa II: Jäteveden käsittely. Tampere: Tampereen teknillinen korkeakoulu, Vesi- ja ympäristötekniikan laitos. 150 s.
- VNp 46/1994. 1994. Maa- ja metsätalousministeriön päätös eräistä lannoitevalmisteista.
- Vnp 495/1996. 1996. Jäteverolaki.
- VNp 282/1994. 1994. Valtioneuvoston päätös puhdistamolietteen käytöstä maanviljelyksessä.
- VNp 861/97. 1997. Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista.
- VNp 1049/99. 1999. Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista annetun valtioneuvoston päätöksen muuttamisesta.
- Väänänen, P., Hevonlahti, E. & Pelkonen, J. 1991. Metsäteollisuuden lietteiden määrän pienentäminen ja kuivauksen tehostaminen. Helsinki: INSKO. 11 s. (INSKO 3-91).

Ympäristöministeriö. 1998. Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2005. Suomen ympäristö 260. 243 s.

VTT Energia. 1999. Energia Suomessa. Tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset. Espoo: VTT Energia. 368 s.

YTV. 2000. Mäkinen, T., Sipilä, K., Hietanen, L., & Heikkonen, V. Pääkaupunkiseudun jätteiden energiakäyttöselvitys. Loppuraportti. Helsinki: YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta. 69 s. + liitt. 12 s. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 2000:10.

Liite 1: CITEC-biokaasutusprosessi



Liite 2: Käsittelytekniikoiden kustannusyhteenveto

Käsittelytekniikka	Kustannukset (pää- oma- ja käyttökustan- nukset/a) (mk/t)	Kustannusten vaihte- luun vaikuttavat seikat	Lähde
Aumakompostointi	65–150	seosaineen määrä	Lilja et al. 1998, Nygren 1992
Laitoskompostointi	200–300 250–475	seosaineen määrä, tekniikka, hajukaasu- jen puhdistus	Lilja et al. 1998 EEA 1997
Biokaasutus	155	laitoksen koko, tekniikka	Lakeuden Jätehuolto Oy 2000
Kaatopaikkasijoitus	0–360 350–1800	paikalliset viran- omaismääräykset, esimerkiksi biohajoa- van jätteen osalta	(Suomi) Saksa, Itävalta
Terminen kuivaus	160–380	tekniikka, sähköener- gian määrä, hajukaa- sut, käyttökohteet, lietteen laatu ja määrä	Lilja et al. 1998, Holmberg 1999
Biokuivaus	100–200	seosaineen määrä, käyttö	Vapo Oy Biotech 2000
Metsälannoitus	250–300	pelletoitu liete, mark- kinointi	Lilja et al. 1998
Lannoitekäyttö	450–1200	paikalliset olosuhteet	EEA 1997
Poltto 100 % liete	270–460	paikalliset säädökset, lietteen määrä	EEA 1997
Fortumin lietekuivuri+kattila	100	kaukolämmön myyn- timahdollisuus	Fortum 2000

Lähteet

EEA. 1997. European Environment Agency. Sludge treatment and disposal. Management approaches and experiences. Document by ISWA's Working group on Sewage&Wasteworks Sludge. Albrecht, R.B. ym. Environmental Issues Series No. 7. 54 s.

Fortum. 2000. Suullinen ja kirjallinen tiedonanto.

Holmberg, T. 1999. Lietteen termisen kuivauksen ja pelletoinnin kannattavuus. Vesitalous No. 3/1999, s. 34–36.

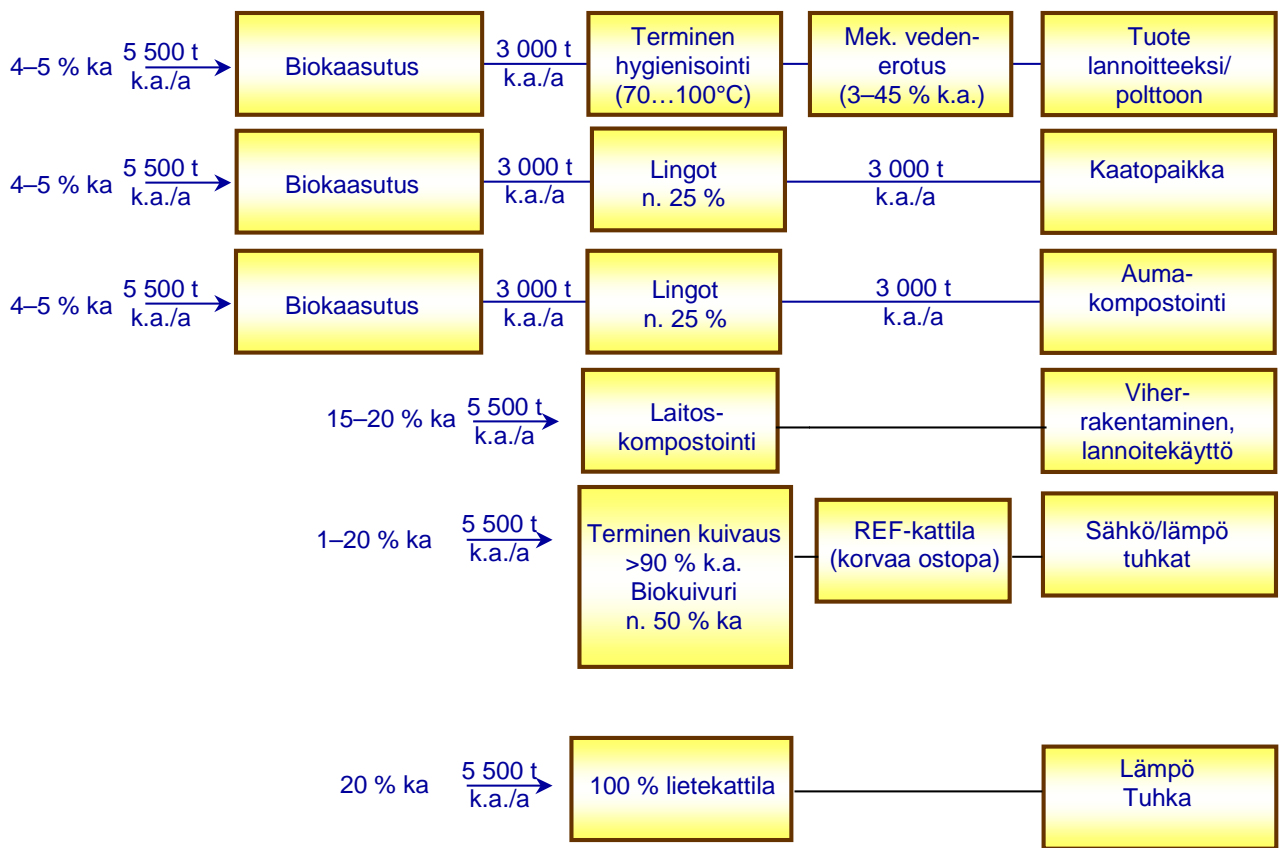
Lakeuden Jätehuolto Oy. 2000. Suullinen tiedonanto, Esko Pajula.

Lilja, R., Matilainen, A. & Holmberg, T. 1998. Pelletoidun jätevesilietteen hyötykäytön edellytykset. Raportti. Vesihuolto 2001 -ohjelma. Helsinki. 63 s.

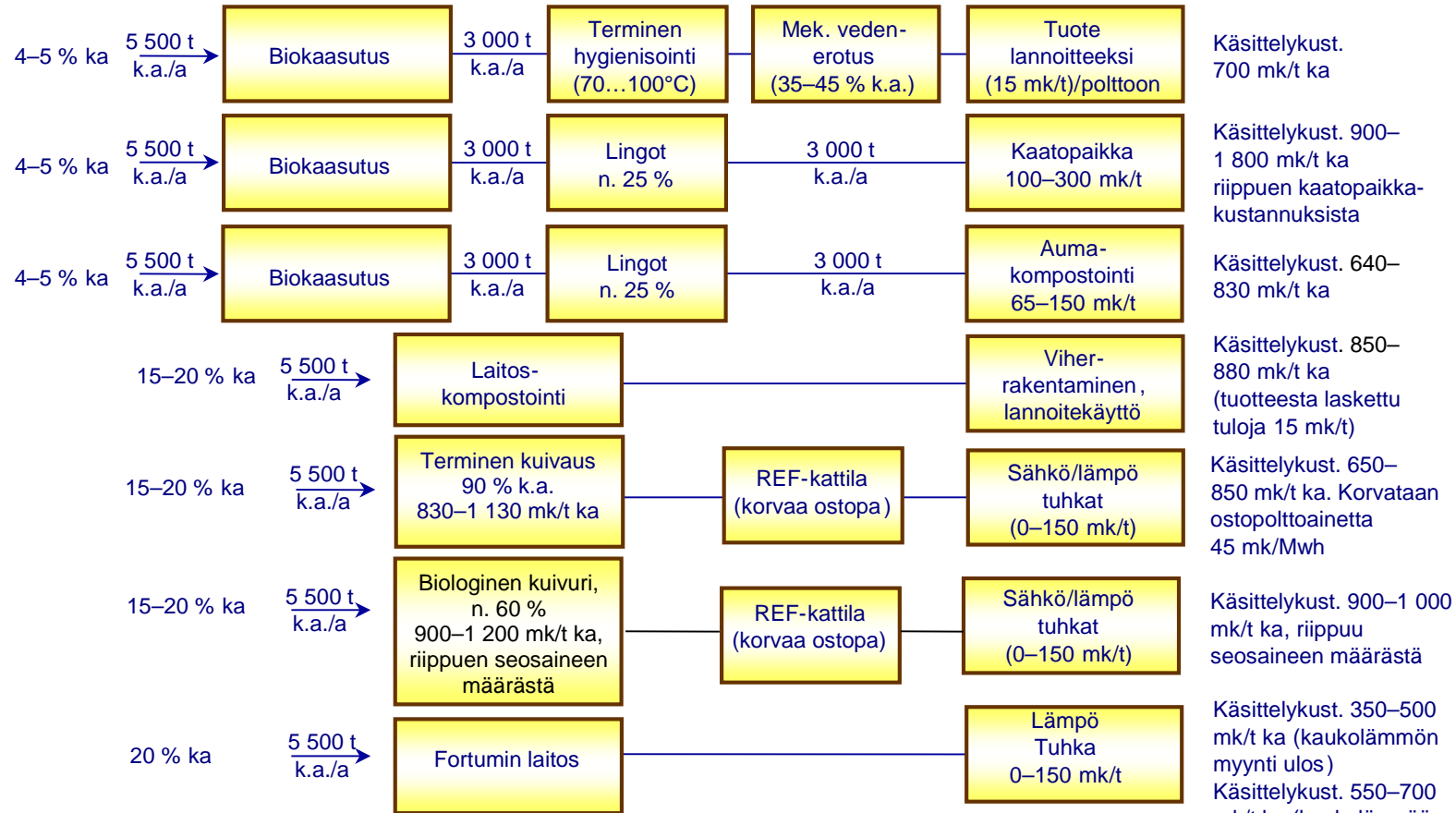
Nygren, J. 1992. Jätevesilietteen kuivaus. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Kemiantekniikan osasto. 88 s.

Vapo Oy Biotech. 2000. Suullinen ja kirjallinen tiedonanto.

Liite 3: Yhdyskuntaliitteiden käsittelyvaihtoehtoja ja niiden kustannuksia



YHDYSKUNTALIIETTEET, 5 500 t k.a./a



Kokonaiskustannusten arviot kirjallisuudesta kerättyjä, yhdenmukaistettu 5 500 t ka/a liitemäärälle, 15 a, 5 %.
Kustannukset suuntaa antavia.

YHDYSKUNTALIETE	EDUT	HAITAT
BIOKAASUTUSLAITOS	+ kompostointia edullisempi + ei juuri hajuhaittoja + tilantarve kompostointia pienempi + energiatase positiivinen	– prosessin epävarmuus – herkkä olosuhdemuutoksille – korkeahko investointikustannus
+ <i>lingot + terminen hygienisointi (50 % ka)</i> + <i>lannoitekäyttö</i>	+ tuote lannoitekäyttöön/ käyttö materiaalina	– lannoitteen markkinointi – biokaasutuksessa tuhkapit. nousee, org. aineksen määrä pienenee noin 50 %, arvo lannoitteena huononee
+ <i>lingot (20–30 % ka) + kaatopaikka</i>	+ yksinkertainen + halpa, jos kaatopaikkakustannukset alhaiset	– kustannukset tulevat nousemaan tulevaisuudessa uusien kaatopaikkojen myötä
+ <i>lingot (20–30 % ka) + aumakompostointi + viherrakentaminen</i>	+ yksinkertainen prosessi	– hajuhaittoja – aumakompostin myyminen
KOMPOSTOINTILAITOS		
+ <i>viherrakentaminen/lannoitekäyttö</i>	+ massan määrä pienenee noin 30 % + käyttö viherrakentamiseen, maanparannukseen, tuloja + yksinkertainen prosessi + ravinteet kiertoon	– org. aineksen vähenemä noin 20 % – kaikelle kompostimullalle ei aina kysyntää – seosaineen tarve suuri – hajuhaittoja – herkkä prosessi – tilantarve suuri – lopputuotteen markkinointi
LIETTEEN KUIVAUS+POLTTO	+ positiivinen energiatase + P, K kiertoon tuhkasta	– Hg – typpi menetetään – happamoittavat päästöt (S, N) – suuri tuhkan määrä – lietteen arvo polttoaineena ei korkea – jos ei valmiiksi jätteenpoltto-kattila, lisäkustannuksia mittauksista ja mahdollisista parannuksista savukaasunpuhdistukseen
LIETTEEN KUIVAUS + LANNOITEKÄYTTÖ	+ pienemmät ravinnehäviöt verrattuna kompostiin + korvataan keinolannoitteita + N ja org. aineen kierrätys	– raskasmetallien kertyminen – markkinointi, mielikuvat

BIOLOGINEN KUIVAUS, n. 60 % ka		
+ <i>seospolto/kaasutus/ lannoitekäyttö</i>	+ mielenkiintoinen + käyttö lannoitteena/ polttoaineena	– org. aineksen vähenemä 20 % kompostoinnissa, vähentää arvoa lannoitteena – seosaineen määrä suuri, lisää kustannuksia
TERMINEN KUIVAUS, n. 60 % ka		
+ <i>seospoltto/kaasutus/ lannoitekäyttö</i>	+ tuote pellettiä/raetta, helppo käyttää	– korkeat investointi/ käyttökustannukset
TEMINEN KUIVAUS, n. 90 % ka		
+ <i>sesopoltto/ lannoitekäyttö</i>	+ tuote stabiili + tuote pelletinä/rakeena + parantaa hyötykäyttö- mahdollisuuksia	– korkeat investointi/ käyttökustannukset
FORTUMIN KUIVAUS + LIETEKATTILA		
KAATOPAIKKA	+ helppo + vielä edullinen	– epävarmuus tulevaisuudessa, kun orgaanisen materiaalin määrä pitää vähentää – kaatopaikkamaksut tulevat nousemaan
AUMAKOMPOSTOINTI	+ helppo tapa + edullinen	– hajuhaitat, NH ₃ – epästabiili, hajoaminen ei täydellistä – tuotteen laadunvaihtelut – pitkä hajoamisaika – ei järkevä asutuksen lähellä

Liite 4: Metsäteollisuuden lietteiden käsittelyvaihtoehtojen etuja ja haittapuolia

SELLUTEHDAS, (bioliete 2/3, kuituliete 1/3)			
	EDUT	HAITAT	KÄYTTÖ
MEK. VEDENEROTUS (n. 30 %) + POLTTO OMASSA MONI-POLTTOAINE-KATTILASSA	+ P, K kiertoon tuhkasta + soveltuu laitoksille, joissa ylimääräistä kapasiteettia + helppo ratkaisu	– Hg, happamoittavat päästöt S, N? – lietteen (30 % ka) arvo polttoaineena ei korkea – pienentää höyryntuotantoa – lietteellä ei juuri polttoainearvoa	Soveltuu laitoksille, jossa ylimääräistä kapasiteettia. Muita vaihtoehtoja mm. biolietteen poltto soodakattilassa tai kuitu- ja biolietteen käyttö REF/lietkekattilassa
TERMINEN KUIVAUS (90 % ka) + LANNOITEKÄYTTÖ – kuitu & bioliete	+ pienemmät ravinnehäviöt verrattuna kompostiin + korvataan keinolannoitteita + N ja org. aineen kierrätys + kuiva (>90 % ka) liete pelletti helppo säilöä, kuljettaa + materiaali kierrätystä	– raskasmetallien kertyminen – markkinointi, mielikuvat – metsäteollisuuslietteissä ravinteita vähemmän kuin yhdyskuntalietteissä, joudutaan lisäämään lannoitetarkoituksiin – metsäteollisuuslietteiden suuri määrä	Soveltuu bio- ja kuitulietteilte, jos lisätään tarvittavia ravinteita. Tuo useita vaihtoehtoja, lannoitekäyttöä tulisi harkita ennen energiakäyttöä. Suurelle määrälle lietteitä on vaikeampaa löytää hyötykäyttökohdetta
TERMINEN KUIVAUS (60–90 % ka) + POLTTO – OMA CHP MONI-POLTTOAINE-KATTILA – (YHDYSKUNNAN REF-KATTILA)	+ polttoaine helpommin säilöttävää (>90 % ka), varastointimahdollisuus + polttoaineen lämpöarvo parempi + taloudellisuutta parantaa mahd. suuri lietemäärä	– terminen kuivuri korkea investointikustannus	Jos kapasiteetti CHP/monipolttoainekattilalla ei muuten riitä. Yhdyskunnan REF-kattila vaihtoehtona, jos kapasiteettirajoite omilla kattiloilla ja toisaalta jos omaa REF:iä yhdyskunnan kattilaan Sellutehtaalla usein termiseen kuivaukseen lämpöä tarjolla edullisesti
MEK. VEDENEROTUS + KAATOPAIKKA	+ yksinkertainen, + edullinen vaihtoehto vielä	– kustannukset tulevat nousemaan VNp 861/97 ja VNp 1049/99 mukaisilla kaatopaikoilla	Kaatopaikkasijoituksen kustannukset tulevat nousemaan, myös teollisuuden uusilla kaatopaikoilla
BIOKUIVAUS, n. 60 % ka			
+ <i>seospolttomaassa CHP-kattilassa</i> + <i>polttomaassa yhdyskunnan REF-kattilassa</i>	+ tuotteen ka-pitoisuus noin 50 % + ei ulkopuolista kuivausenergiaa + itsenäinen prosessi + lietteen tyypipitoisuuden aleneminen + mahd. käyttää kompostina	– org. aineksen vähenemä 20 % kompostoinnissa, vähentää arvoa lannoitteena/polttoaineena – seosaineen määrä suuri, kustannukset riippuen seosaineesta (kuori?/turve?)	Soveltuu hyvin lietteelle, jossa biolietteen osuus mahdollisimman suuri

FORTUMIN – KUIVAUS + LIETEKATTILA – LIETEKATTILA	+ kompakti + muista riippumaton ratkaisu + energiaa omaan tarpeen, myyntiin jos tarvetta + hajukaasut suoraan polttoon	– ylimäärä lämpöä, jos ei käyttökohdetta	Edullinen ratkaisu, jos lämpö saadaan myytyä/käyttöön Erillinen kattila, ei vähennä pääkattilan käytettävyyttä
KIERTOKUITUA KÄYTTÄVÄ LAITOS (Siistausliete 50 %, bioliete 25 %, kuituliete 25 %), tuhkapitoisuus noin 40 %			
Käsittelyketju	EDUT	HAITAT	KÄYTTÖ
MEK. VEDENEROTUS + KAATOPAIKKA	+ yksinkertainen, + edullinen vaihtoehto vielä	– kustannukset tulevat nousemaan VNp 861/97 ja VNp 1049/99 mukaisilla kaatopaikoilla – imagosyyt	Kaatopaikkasijoituksen kustannukset tulevat nousemaan, myös teollisuuden uusilla kaatopaikoilla
MEK. VEDENEROTUS (n. 30–40 % ka) + POLTTO OMASSA CHP-KATTILASSA + POLTTO YHDYSKUNNAN REF-KATTILASSA (polttoaineen arvo 0 mk/t, olemassa oleva REF-kattila)	+ P,K kiertoon tuhkasta + soveltuu laitoksille, jossa ylimääräistä kapasiteettia + helppo ratkaisu + yhdyskunnan REF-kattila erillinen ratkaisu, ei vaikuta paperitehtaan lämmön/sähkön- tuotantoon	– siistauslietteen korkea tuhkapitoisuus (50 %) lisää tuhkan määrää läjitykseen, kuonaantumisongelmia – lietteen (30 % ka) arvo polttoaineena ei korkea – pienentää höyryntuotantoa	Jos siistaus- ja bio- ja kuituliete voidaan erottaa, erilliset käsittelymahdollisuudet (FINNCAO ym./bio/kuitulietteen poltto) kannattaa harkita Yhdyskunnan REF-kattila vaihtoehtona esimerkiksi siistauslietteelle & tehtaan REF:lle, riippuen direktiivien tulkinnoista
TERMINEN KUIVAUS (90 % ka)+ LANNOITEKÄYTTÖ – kuitu & bioliete	+ pienemmät ravinnehäviöt verrattuna kompostiin + korvataan keinolannoitteita + N ja org. aineen kierrätys + kuiva (>90 % ka) liete- pelletti helppo säilöä, kuljettaa + materiaalikierrätystä	– raskasmetallien kertyminen – markkinointi, mielikuvat – metsäteollisuuslietteissä ravinteita vähemmän kuin yhdyskuntalietteissä, joudutaan lisäämään lannoitetarkoituksiin – metsäteollisuuslietteiden suuri määrä	Soveltuu bio- ja kuitulietteille, jos lisätään tarvittavia ravinteita. Tuo useita vaihtoehtoja, lannoitekäyttöä tulisi harkita ennen energiakäyttöä. Suu- relle määrälle lietteitä on vaikeampaa löytää hyötykäyttökohdetta Ei siistauslietteelle
TERMINEN KUIVAUS (60–90 % ka) + POLTTO – OMA CHP MONIPOLTTOAINE- KATTILA – YHDYSKUNNAN REF-KATTILA	+ kaikki lietteet mahdollista + polttoaine helpommin säilöttävää (>90 % ka), varastointimahdollisuus + polttoaineen lämpöarvo parempi + taloudellisuutta parantaa mahd. suuri lietemäärä	– terminen kuivuri korkea investointikustannus – siistauslietteen korkea tuhkapitoisuus	Jos kapasiteetti CHP/monipolttoainekattilalla ei muuten riitä. Yhdyskunnan REF-kattila vaihtoehtona, jos kapasiteettirajoite omilla kattiloilla ja toisaalta jos omaa REF:ää yhdyskunnan kattilaan Tuhkapit. siistauslietteelle myös muita vaihtoehtoja tarkasteltava

BIOKUIVAUS, n. 60 % ka			
<p>+ seospolttu omassa CHP-kattilassa</p> <p>+ poltto yhdyskunnan REF-kattilassa</p>	<p>+ tuotteen ka-pitoisuus noin 50 %</p> <p>+ ei ulkopuolista kuivaus- energiaa</p> <p>+ itsenäinen prosessi</p> <p>+ lietteen typpipitoisuuden aleneminen</p> <p>+ mahd. käyttää kompos- tina</p>	<p>– org.aineksen vähenemä 20 % kompostoinnissa, vähentää arvoa polttoai- neena</p> <p>– seosaineen määrä suuri, kustannukset riippuen seosaineesta (kuo- ri/turve)</p> <p>– siistauslietteen raskas- metallit/tuhkapitoisuus rajoittavat käyttöä?</p>	<p>Ei siistauslietteelle</p>
<p>FORTUMIN</p> <p>– KUIVAUS + LIETEKATTILA</p> <p>– LIETEKATTILA</p>	<p>+ kompakti</p> <p>+ muista riippumaton ratkaisu</p> <p>+ energiaa omaan tarpee- seen, myyntiin jos tar- vetta</p> <p>+ hajukaasut suoraan polttoon</p> <p>+ vaihtoehtona joko ilman kuivausta tai kuvurilla</p>	<p>– siistauslietteen korkea tuhkapitoisuus?</p>	<p>Edullinen ratkaisu, jos lämpö saadaan myy- tyä/käyttöön</p> <p>Erillinen kattila, ei vähen- nä pääkattilan käytettä- vyyttä</p>

MEK.MASSAA KÄYTTÄVÄ LAITOS, biolietettä 1/3, kuitulietettä 2/3			
	EDUT	HAITAT	KÄYTTÖ
MEK. VEDENEROTUS (n. 30 %) + POLTTO OMASSA MONI-POLTTOAINE-KATTILASSA	+ P, K kiertoon tuhkasta + soveltuu laitoksille, jossa ylimääräistä kapasiteettia + helppo ratkaisu	– Hg, happamoittavat päästöt S, N? – suuri tuhkan määrä, kuonaantumisongelmia – lietteen (30 % ka) arvo polttoaineena ei korkea – pienentää höyryntuotantoa – kuitulietteen korkea tuhkapitoisuus, voi aiheuttaa kuonaantumista	Yleisesti käytössä metsäteollisuudessa. Laitoksille, joissa kattilassa ylimääräistä kapasiteettia
TERMINEN KUIVAUS (90 % ka) + LANNOITEKÄYTTÖ – kuitu & bioliete	+ pienemmät ravinnehäviöt verrattuna kompostiin + korvataan keinolannoitteita + N ja org. aineen kierrätys + kuiva (>90 % ka) liete pelletti helppo säilöä, kuljettaa + materiaalikierrätystä	– raskasmetallien kertyminen – markkinointi, mielikuvat – metsäteollisuuslietteissä ravinteita vähemmän kuin yhdyskuntalietteissä, joudutaan lisäämään lannoitetarpeiksi – metsäteollisuuslietteiden suuri määrä	Soveltuu bio- ja kuitulietteilteille, jos lisätään tarvittavia ravinteita. Kuitulietteen suuri osuus voi vähentää lannoiteominaisuuksia. Suurelle määrälle lietteitä on vaikeampaa löytää hyötykäyttökohdetta
TERMINEN KUIVAUS (60–90 % ka) + POLTTO – OMA CHP MONI-POLTTOAINE-KATTILA – YHDYSKUNNAN REF-KATTILA	+ kaikki lietteet mahdollista + polttoaine helpommin säilöttävää (>90 % ka), varastointimahdollisuus + polttoaineen lämpöarvo parempi + taloudellisuutta parantaa mahd. suuri lietemäärä	– terminen kuivuri korkea investointikustannus	Jos kapasiteetti CHP/ monipolttoainekattilalla ei muuten riitä. Yhdyskunnan REF-kattila vaihtoehtona, jos kapasiteettirajoite omilla kattiloilla ja toisaalta jos omaa REF:iä yhdyskunnan kattilaan Sähkön/ostosähkön määrä suuri, lämmön hinta korkeampi, joten kuivaus 'kallista'. Ei aina omaa monipolttoainekattilaa
MEK. VEDENEROTUS + KAASTOPAIKKA	+ yksinkertainen + edullinen vaihtoehto vielä	– kustannukset tulevat nousemaan VNp 861/97 ja VNp 1049/99 mukaisilla kaatopaikoilla	Kaatopaikkasijoituksen kustannukset tulevat nousemaan, myös teollisuuden uusilla kaatopaikoilla
BIOKUIVAUS, n. 60 % ka			
+ <i>seospoltto omassa CHP-kattilassa</i> + <i>poltto yhdyskunnan REF-kattilassa</i>	+ tuotteen ka-pitoisuus noin 50 % + ei ulkopuolista kuivausenergiaa + itsenäinen prosessi, + lietteen typpipitoisuuden aleneminen + mahd. käyttää kompostina	– org.aineen vähenemä 20 % kompostoinnissa, vähentää arvoa lannoitteena/polttoaineena – seosaineen määrä suuri, kustannukset riippuen seosaineesta (kuori?/turve?)	Hyvin tuhkapitoiselle lietteelle ei järkevä vaihtoehto
FORTUMIN – KUIVAUS + LIETEKATTILA – LIETEKATTILA	+ kompakti + muista riippumaton ratkaisu + energiaa omaan tarpeeseen, myyntiin jos tarvetta		Edullinen ratkaisu, jos lämpö saadaan myytyä/käyttöön Erillinen kattila, ei vähennä pääkattilan käytettävyyttä



Tekijä(t) Lohiniva, Elina, Mäkinen, Tuula & Sipilä, Kai			
Nimeke Lietteiden käsittely Uudet ja käytössä olevat tekniikat			
Tiivistelmä Lietteiden määrät ovat viime vuosikymmenenä kasvaneet, kun viemäriverkostot ovat laajenneet ja toisaalta on siirrytty biologis-kemiallisiin jätevedenpuhdistamoihin. Lietteitä koskevat ympäristönormit ovat tiukentuneet. Kaikki nämä seikat ovat johtaneet siihen, että uusia lietteenkäsittelyvaihtoehtoja etsitään sekä metsäteollisuuden että yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoissa vastaamaan tiukentuviin ympäristönormeihin. Yhdyskuntalietteille perinteiset mekaaniset vedenerotustekniikat, mädätys ja kompostointi sekä maatalouskäyttö ovat vakiinnuttaneet asemansa. Kaatopaikkamaksujen kallistuminen tulee nostamaan käsittelykustannuksia, ja siksi erilaiset jälkikäyttömahdollisuudet tulevat kiinnostavammiksi. Erilaiset termiset tai biologiset kuivurit sekä poltto ovat uusina tekniikoina myös yhdyskuntien jätevesilietteilte. Yhdyskuntien lietteiden käsittelyssä tulisi harkita paikallisten jätejakeiden yhteistä käsittelyä, varsinkin jos puhutaan lietteiden ja jätteiden poltosta. Metsäteollisuuden lietteet on perinteisesti mekaanisen vedenerotuksen jälkeen poltettu omissa kuori/moni-polttoainekattiloissa sekoitettuna muuhun polttoaineeseen tai sitten sijoitettu kaatopaikalle. Kaatopaikkasijoitusta on vähennetty viime vuosikymmeninä, mutta vielä osa lietteistä sijoitetaan kaatopaikalle. Kallistuvat kaatopaikkamaksut sekä imagosyyt lisäävät muiden käsittelytekniikoiden mielekkyyttä. Koska metsäteollisuuden lietteiden laadut ja määrät vaihtelevat tehdaskohtaisesti, eri tehtailla ovat erilaiset tekniikat kilpailukykyisiä. Lietteiden käsittelyssä termiset kuivaustekniikat ja mm. kuitusavi tuovat uusia ratkaisuja, joissa eri lietefraktiot käsitellään eri tekniikoilla. Lietteen käsittely on kasvava ongelma, ja uusia tekniikoita on tulossa markkinoille. Tekniikoiden soveltuvuus on tapauskohtainen. Ympäristönormit tulevat kiristymään ja ne tulevat parantamaan ympäristönsuojelun tasoa, ja ohjaamaan lietteiden käsittelyä.			
Avainsanat municipal wastes, sewage sludge, wood processing industry, sludges, processing, drying, dewatering, digestion, composting, incineration			
Toimintayksikkö VTT Energia, Uudet energiatekniikat, Biologinkuja 3-5, PL 1601, 02044 VTT			
ISBN 951-38-5795-6 (nid.) 951-38-5796-4 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Projektinnumero N9SU00443	
Julkaisu-aika Maaliskuu 2001	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 146 s. + liitt. 11 s.	Hinta D
Projektin nimi Uuden tekniikan soveltuvuus metsäteollisuuden ja yhdyskuntien lietteiden hävittämiseen		Toimeksiantaja(t) Fortum Oyj	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. (09) 456 4404 Faksi (09) 456 4374	



Author(s) Lohiniva, Elina, Mäkinen, Tuula & Sipilä, Kai			
Title Sludge treatment New and presently employed technologies			
Abstract <p>Sludge amounts have increased in recent years, when sewage networks have been extended and, on the other hand, biological-chemical sewage treatment plants have been taken into use. The environmental standards for sludges have also been tightened. All these factors have brought about searching for new sludge treatment methods for sewage treatment plants of both wood-processing industries and municipalities to meet the tightening environmental standards.</p> <p>Conventional dewatering technologies of municipal sludges, digestion and composting, and use in agriculture have asserted their position. Increasing landfill fees will raise the cost of treatment, and hence, different recycling alternatives will become more interesting. Different thermal or biological dryers and combustion are of latest technology for sewage sludges of municipalities as well. Combined treatment of local waste fractions should be considered in the treatment of municipal sludges, especially when combustion of sludges and wastes is concerned.</p> <p>Sludges from the wood-processing industries have traditionally been burned after mechanical dewatering mixed with some other fuel or have been disposed to landfills. Landfill disposal has been decreasing during the last decade, but part of sludges is still disposed to landfills. Increasing fees of landfill disposal and and imago issues are improving the significance of other treatment technologies. As the quality and amount of sludges are mill-specific in the wood-processing industry, different technologies are competitive at different mills. As regards sludge treatment, thermal drying techniques and, i.a., fibre clay offer new solutions for treating different sludge fractions with different techniques.</p> <p>Sludge treatment is a growing problem, and new treatment technologies are being introduced into the market. The suitability of techniques is case-specific. Environmental standards will become more stringent and improve the level of environmental protection and hence, direct sludge treatment.</p>			
Keywords municipal wastes, sewage sludge, wood processing industry, sludges, processing, drying, dewatering, digestion, composting, incineration			
Activity unit VTT Energy, New Energy Technologies, Biologinkuja 3-5, P.O.Box 1601, FIN-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-5795-6 (soft back ed.) 951-38-5796-4 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Project number N9SU00443	
Date March 2001	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 146 p. + app. 11 p.	Price D
Name of project Uuden tekniikan soveltuvuus metsäteollisuuden ja yhdyskuntien lietteiden hävittämiseen		Commissioned by Fortum Oyj	
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1235-0605 (soft back ed.) 1455-0865 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 9 456 4404 Fax +358 9 456 4374	