

223

Pekka Ojanen

Sellu- ja paperitehtaiden lietteiden käsittely ja hyötykäyttö sekä niitä rajoittavat tekijät



Pekka Ojanen

Sellu- ja paperitehtaiden
lietteiden käsittely ja hyötykäyttö
sekä niitä rajoittavat tekijät

KOUVOLA 2001

Julkaisu on saatavana Internetissä
www.ymparisto.fi/kas >Palvelut ja tuotteet >Julkaisut

ISBN 952-11-0922-X
ISBN 952-11-2153-X (PDF)
ISSN 1238-8610

Kansikuva: Laka YHR-kaasutus-polttokattila asennettuna
VTT:n Kemiantekniikan Ympäristö laboratorion kattilahalliin.
Kuva julkaistu Laatukattila Oy:n luvalla.

Aalef Online Kirjapaino
Lappeenranta, 2001

Alkusanat

Viime aikoina on tullut entistä tarpeellisemmaksi ottaa käyttöön uusia menetelmiä sellu- ja paperitehtaiden lietteiden käsittelyssä. Tähän on johtanut lietteen koostumuksen muutoksesta aiheutuva vedenpoiston vaikeutuminen. Myös hyötykäyttötapoja on syytä arvioida mahdollisimman monipuolisesti.

Lietteen polttoon tarvittavan kuiva-ainepitoisuuden saavuttamiseksi on jatkossa otettava käyttöön uusia kuivausmenetelmiä tähän asti yleisimmin käytettyjen mekaanisten vedenerotusmenetelmien rinnalle. Lietteen tavallisin hyötykäyttötapa on poltto kuorikattilassa lähinnä puupolttoaineen seassa. Tämän menetelmän rinnalle ollaan kuitenkin entistä enemmän tuomassa muita hyötykäyttötapoja lähinnä kaatopaikka- ja tierakentamiseen. Lietteiden kaatopaikkasijoitus kielletään kokonaan lähitulevaisuudessa, mikä osaltaan lisää tarvetta uusien hyötykäyttötapojen etsintään.

Raportissa käsitellään aluksi lyhyesti lietteen syntyminen sekä sen käsittelyyn ja hyötykäyttöön liittyviä lainsäädännöllisiä ja tuotannollisia lähtökohtia. Lietteenkäsittelymenetelmistä on käyty läpi sekä nykyisin käytössä olevat että tulevaisuudessa potentiaalisimmat tekniikat. Hyötykäyttötavoista on esitelty erilaiset energiahyötykäyttömahdollisuudet sekä mahdolliset hyödyntämistavat raaka-aineena.

Tämä raportti on tehty virkatyönä Kaakkois-Suomen ympäristökeskuksen Lappeenrannan toimipisteessä vuoden 2000 syyskuun ja vuoden 2001 huhtikuun välisenä aikana. Työn teki tutkija, DI Pekka Ojanen ja ohjaajana toimi yli-insinööri, TkL Juha Pesari.

Tutkimuksen rahoitti Kaakkois-Suomen ympäristökeskus.

Käytetyt merkinnät

AOX	Adsorbable Organic Halides, orgaanisesti sitoutuneet klooriyhdisteet
BAT	Best Available Technology, paras käytettävissä oleva tekniikka
BFB	Bubbling Fluidised Bed, kupliva leijupeti
BOD	Biological Oxygen Demand, biologinen hapenkulutus 5 tai 7 vuorokauden näytteenotolla määritettynä
BREF	BAT Reference Document, toimialakohtainen BAT-asiakirja
BVS	Biodegradable Volatile Solids, biohajoava haihtuva kiintoaines
CFB	Circulating Fluidised Bed, kiertoleijupeti
CHP	Combined Heat and Power, yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto
EIPPCB	European IPPC Bureau, Euroopan IPPC-toimisto
EU	Euroopan unioni
EY	Euroopan yhteisöt
FBC	Fluidised Bed Combustion, leijukerros poltto
IPPC	Council Directive on Integrated Pollution Prevention and Control, Euroopan yhteisöjen direktiivi ympäristön pilaantumisen ehkäisemisen ja vähentämisen yhtenäistämiseksi
ka	kuiva-aine
MMMp	Maa- ja metsätalousministeriön päätös
PAH	Polyaromaattiset hiilivedyt
PCDD	Polychlorinated dibentsodioxine, polykloorattu dioksiini
PCDF	Polychlorinated dibentsofurane, polykloorattu furaani
RBC	Rotating biocontactor, bioroottori
REF	Refuse Recycled Fuel, syntypaikkalajiteltu energijäte eli uusio-polttoaine
SNCR	Selective Non-Catalytic Reduction, selektiivinen ei-katalyyttinen typenoksidien vähennysmenetelmä
TS	Total Solids, kiintoaine lietteessä
t _s	tonni sellua
VNp	Valtioneuvoston päätös
VOC	Volatile Organic Compounds, haihtuvat orgaaniset yhdisteet

Sisällys

Alkusanat	3
Käytetyt merkinnät	4
I Johdanto	7
2 Jätevesilietteen synty ja ominaisuudet	9
2.1 Syntymekanismit	9
2.2 Lietteen ominaisuudet	11
3 Lietteen käsittelyn ja hyötykäytön lähtökohdat	13
3.1 Nykytilanne	13
3.2 Lainsäädännön vaikutus	13
3.2.1 Kansallinen lainsäädäntö	14
3.2.2 EU:n direktiivit ja muut suositukset	15
3.3 Tuotannon muutosten vaikutukset lietemääriin	15
3.4 Vedenerotuksen ja polton ongelmat	15
4 Lietteenkäsittelymenetelmät	17
4.1 Esikäsittely	18
4.2 Mekaaninen vedenerotus	18
4.2.1 Suotonauhapuristin	19
4.2.2 Ruuvipuristin	20
4.2.3 Linkous	21
4.3 Terminen kuivaus	21
4.3.1 Epäsuorat kuivaustekniikat	22
4.3.2 Suorat kuivaimet	23
4.4 Biotermisen kuivaus	24
4.4.1 Biotermisen kuivauksen tarkoitus ja periaate	25
4.4.2 Prosessin fysikaaliset ja kemialliset vaatimukset	26
4.4.3 Laitteistotyypit	27
4.4.3.1 Rumpureaktorit	28
4.4.3.2 Tunnelireaktorit	29
4.4.3.3 Rakeistava kompostointi	31
4.5 Lietteen stabilointi	32
4.5.1 Mädätys	32
4.5.2 Aumakompostointi	33
4.5.3 Kalkkistabilointi	34
4.5.4 Lahotus	34
5 Käsitellyn jätevesilietteen energiahyötykäyttö	35
5.1 Lietteen poltto	35
5.1.1 Poltto kuorikattilassa	36
5.1.1.1 Leijukerros poltto	36
5.1.1.2 Arinapoltto	38
5.1.1.3 Ilmapäästöjen synty ja hallinta kuorikattilassa	38
5.1.2 Biolietteen poltto soodakattilassa	39
5.1.3 Lietteen polton vaikutuksia	41
5.1.4 Uusien polttoteknisten ratkaisujen kehittäminen	42

5.2	Lietteen kaasutus	43
5.2.1	Kaasutuksen periaatteita	43
5.2.2	Prosessin kuvaus	44
5.2.3	Kaasutustekniikan kehitys ja käytännön kokemuksia	44
5.3	Biokaasun käyttö energiantuotantoon	45
5.3.1	Mädätyksestä tuleva biokaasu	46
5.3.2	Kaatopaikkakaasu	47
6	<i>Muu hyötykäyttö ja loppusijoitus</i>	48
6.1	Viherrakentaminen ja maisemointi	48
6.1.1	Kaatopaikkarakentaminen	49
6.1.2	Tierakentaminen	51
6.2	Käyttö maa- ja metsätaloudessa	52
6.3	Kaatopaikkasijoitus	53
7	<i>Yhteenveto</i>	55
	<i>Kirjallisuus</i>	56
	<i>Liitteet</i>	60
	Liite 1. Metsäteollisuuden lietteiden käsittelymahdollisuudet	
	Liite 2. Kaatopaikan tiivistämiseen käytettävien materiaalien valmistuksen aiheuttama energiankulutus ja ilmapäästöt	

Johdanto

Metsäteollisuuslaitosten jätevedenpuhdistamoilla syntyvälle lietteelle on pyrittävä löytämään laitoskohtaisesti sopiva käsittelymenetelmä ja hyötykäyttötapa. Eri lietteenkäsittelymenetelmien toimivuuteen vaikuttavat puhdistusprosessista tulevan lietteen ominaisuudet, erityisesti kuiva-ainepitoisuus. Samoin lietteen soveltuvuus hyötykäyttöön riippuu lietteen perusominaisuuksista sekä toisaalta myös vedenerotuksen ja stabiloinnin onnistumisesta.

Aktiivilietelaitoksella syntyy kahdenlaista lietettä: jäteveden esikäsittelyssä syntyvää primäärilietettä eli kuitulietettä sekä varsinaisesta biologisesta käsittelyssä tulevaa sekundäärilietettä eli biolietettä. Näistä lietelajeista primääriliete on kuiva-ainepitoisempaa ja muutenkin yleensä helpommin käsiteltävissä ja hyödynnettävissä. Viime aikoina on erilaisten prosessimuutosten seurauksena biolietteen suhteellinen osuus noussut, mikä tekee näistä kahdesta lietetyypistä muodostetun sekalietteen vedenerotuksen aikaisempaa hankalammaksi. Siten ei tähän asti käytetyillä menetelmillä enää aina päästä toivottuun tulokseen. Siksi on pyrittävä löytämään vaihtoehtoisia käsittelymenetelmiä hyötykäytön mahdollistamiseksi myös jatkossa. Näiden kahden lietetyypin lisäksi sellutehtaan kuorimolla syntyy kuorilietettä ja paperitehtaalla pastalietettä. Lisäksi kierrätysmassaa käyttävillä tehtailla muodostuu siistauslietettä.

Tällä hetkellä metsäteollisuuslietteen vedenpoistoon käytetään yleisimmin mekaanisia menetelmiä, kuten suotonauhapuristinta ja ruuvipuristinta. Näillä tekniikoilla on yleensä päästy riittävään kuiva-ainepitoisuuteen esimerkiksi kuorikatilassa suoritettavaa polttoa varten. Kuiva-ainepitoisuuden tulee olla vähintään noin 30 %, jotta liete voidaan hyödyntää energiataloudellisesti. Stabilointimenetelmänä käytetään yleisesti aumakompostointia sekä jonkin verran anaerobista käsitelyä eli mädätystä.

Tulevaisuudessa näyttää lietteen koostumuksen muuttumisen myötä tulevan tarpeelliseksi ottaa käyttöön entistä enemmän muita kuivausmenetelmiä, kuten terminen ja bioterminen kuivaus. Termisillä eli lämmitysilmalla käyttöön perustuvilla kuivausmenetelmillä päästään tarvittaessa melko korkeisiin kuiva-ainepitoisuuksiin. Biotermisillä menetelmillä tarkoitetaan käytännössä suljetussa reaktorikompostorissa suoritettavaa kuivausta.

Sellu- ja paperitehtailla syntyvän lietteen pääasiallinen hyötykäyttötapa on vedenerotuksen jälkeinen poltto apukattilassa lähinnä kuoren, hakkeen ja purun seassa. Lietteiden laadun ja käsiteltävyyden heikkeneminen saattaa kuitenkin joissain tapauksissa tehdä polttamisen kannattamattomaksi, jolloin lietettä voidaan joutua viemään jopa kaatopaikalle. Kaatopaikkasijoitusta ei määräjän jälkeen sallita viimeisimmissä tuotantolaitoksille myönnettyissä ympäristöluvuissa, vaan se on korvattava aumakompostoinnilla. Tälläkin käsittelytavalla on kuitenkin omat haittapuolensa, kuten hajua- ja valumavesiongelmia. Sekalietteen laadun heikettyessä voi varteenotettavaksi vaihtoehdoksi tulla myös primääri- ja biolietteen erilliskäsittely, jolloin bioliete poltettaisiin soodakattilassa mustalipeään sekoitettuna.

Lietteiden energiasisältö voidaan hyödyntää myös ottamalla talteen mädätyksessä syntyvä biokaasu, jota voidaan käyttää mädättämön lämmittämisen ohella myös muuhun energiantuottoon. Orgaanisen aineksen hajotessa syntyvää kaasua voidaan ottaa talteen myös kaatopaikoilta erillisen keräyslaitteiston avulla.

Energiahöykykätön lisäksi käsiteltyä lietettä voidaan käyttää viherrakentamiseen ja maisemointiin. Lietteiden levitys metsiin ja pelloille on myös periaatteessa mahdollista, mutta varsinkin peltolevitystä rajoittavat tarkat pitoisuusmääräykset raskasmetalleille sekä toisaalta yleinen vastustus.

Tämän raportin tavoitteena on tarkastella metsäteollisuuslaitoksille sopivia lietteenkäsittelytekniikoita ja höykykäyttövaihtoehtoja. Erityistä huomiota kiinnitetään lainsäädännön ja tuotannonmuutosten aiheuttamiin vaatimuksiin.

Raportin alkuosassa käydään läpi eri lietetyyppien synty jätteenpuhdistusprosessissa ja niiden ominaisuudet. Jatkossa esitellään sekä yleisimmät nykyisin käytössä olevat että tulevaisuudessa mahdollisesti yleistyvät lietteenkäsittelymenetelmät. Kahdessa viimeisessä osiossa tarkastellaan erilaisia höykykäyttövaihtoehtoja teknistaloudellisesta, ympäristönsuojelullisesta ja lainsäädännöllisestä näkökulmasta.

Jätevesilietteen synty ja ominaisuudet

2

2.1 Syntymekanismit

Syntyvän lietteen määrään ja laatuun vaikuttaa käytettävä puhdistustekniikka. Lietettä syntyy eniten korkeakuormitteisissa aktiivilietelaitoksissa. Puhdistusprosesseissa syntyvien lietteiden ominaisuudet vaikuttavat niiden jatkokäsittelyyn. Myös haluttu loppukäyttötapa vaikuttaa käsittelymenetelmän valintaan. Biomassa kasvaa eri tavalla eri jätevedenkäsittelyprosesseissa, joten prosessin valintaan vaikuttaa osaltaan syntyvän lietteen määrä.

Pipatin ym. (1996) mukaan muodostuvan lietteen määrä ja ominaisuudet määräytyvät jäteveden ominaisuuksien ja käsittelymenetelmän mukaan. Anaerobisessa käsittelyssä vain noin 10 % jäteveden orgaanisesta aineksesta muodostaa lietettä, kun taas aerobisessa käsittelyssä vastaava osuus on noin 40 %.

Taulukossa 1 on esitetty eri puhdistustekniikoita käytettäessä tapahtuva biomassan kasvu ja syntyvän biolietteen määrä.

Taulukko 1. Biomassan kasvu ja biolietteen määrä biologisessa jätevedenkäsittelyssä (Manninen, 1994).

Menetelmä	Biomassan kasvu ($\text{kg}_{\text{ka}}/\text{kg}_{\text{BOD}}$)	Biolietteen määrä ($\text{kg}_{\text{ka}}/\text{kg}_{\text{BOD}}$)
Anaerobinen käsittely	0,05 – 0,15	0,05 – 0,1
Biosuodin	0,25 – 0,3	0,25 – 0,3
RBC (bioroottori)	0,25 – 0,3	0,25 – 0,3
Aktiivilietemenetelmä		
– korkeakuormitteinen	0,6 – 0,7	0,6 – 0,7
– matala/normaali	0,4 – 0,6	0,5 – 0,7
– pitkä ilmastus	0,3 – 0,4	0,3 – 0,6

Puhdistusprosessien eri vaiheissa syntyy erilaisia kiintoaineita ja lietteitä. Seuraavassa taulukossa on esitetty niiden lähteet tavanomaisessa jätevedenkäsittelylaitoksessa.

Taulukko 2. Kiintoaine- ja lietetyyppien synty jätevedenpuhdistamon eri osaprosesseissa (Tchobanoglous ja Burton, 1991).

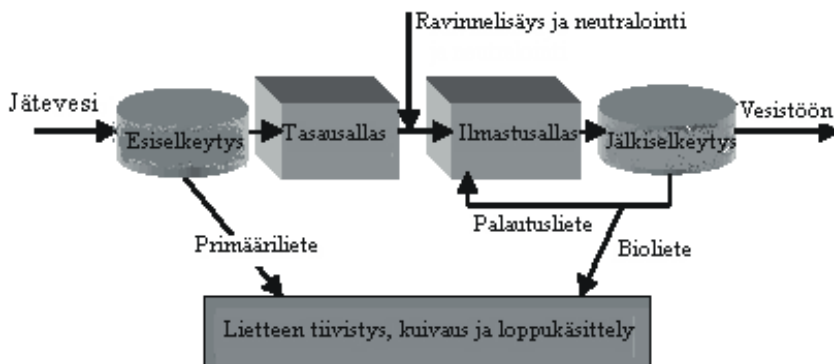
Yksikkötoiminto tai -prosessi	Kiintoaineen tai lietteen tyyppi
Välppäys	Karkea kiintoaine
Hiekanerotus	Hiekka ja vaahto
Esi-ilmastus	Hiekka ja vaahto
Esiselkeyty	Primääriliete ja vaahto
Biologinen käsittely	Kiintoaines
Jälkiselkeyty	Sekundääriliete ja vaahto
Lietteenkäsittely	Liete, komposti ja tuhka

Primääriliete eli kuituliete syntyy biologisen jätevedenpuhdistamon esiselkeytyksessä, jossa vettä raskaammat hiukkaset erotetaan laskeuttamalla ne esiselkeytykseltään pohjalle. Erottunut kiintoainepumppataan raakalietteena lietteenkäsittelyyn. Tiivistykseen menevän primäärilietteen kuiva-ainepitoisuus on tapauksesta riippuen noin 0,5 – 3 %.

Aktiivilietelaitoksen ilmastusaltaassa käytetään jäteveden puhdistukseen mikrobikantaa eli aktiivilietemassaa, joka hajottaa jätevedessä olevia epäpuhtauksia vähentäen näin sekä biologista että kemiallista hapenkulutusta. Aktiivilietelaitoksissa kasvaa suhteessa poistettuun BOD-kg:aan eri tavoilla laitoksesta riippuen. Aktiiviliete laskeutetaan jälkiselkeyttimissä ja palautetaan tämän jälkeen suurimaksi osaksi ilmastukseen. Puhdistusprosessin aikana syntynyt ylijäämäliete eli bioliete ohjataan tiivistykseen yleensä noin 0,5 – 1,5 %:n kuiva-ainepitoisuudessa.

Jätevedenpuhdistuksen yhteydessä liettä syntyy myös kemiallisessa saostuksessa, joka on varsin yleisesti käytössä jätevedenpuhdistamoilla. Saostuksessa poistettavasta kiintoaineesta muodostuu flokkeja, jotka erotetaan yleensä selkeytyksessä ja johdetaan lietteenkäsittelyyn.

Alla on esitetty kaaviokuva lietteen syntymisestä puhdistusprosessin eri vaiheissa.



Kuva 1. Lietteiden syntyminen biologisessa jätevedenpuhdistuksessa (Liimatainen, 2000).

Edellä esitettyjen jätevedenkäsittelyvaiheiden lisäksi kuorimolla syntyy kuoriliettä, kun sahalle tai massan valmistukseen menevästä puusta poistetaan kuori. Irronnut kuori poistetaan kuoripuristimissa ja poltetaan kuorikattilassa yhdessä jälkiselkeyttimeltä palautettavan ylimääräisen biolietteen kanssa. Kuorilietteen määrä on 0,5 – 8 kg/puu-m³. Määrä riippuu kuorimotyypistä, ajotavasta, puulajista tai sen varastoinnista. Uudet kuorimot ovat kuivakuorimoita, jotka toimivat periaatteessa ilman vettä. Talviaikana joudutaan kuivakuorinnassakin käyttämään vettä tai höyryä puiden sulattamiseen, mikä lisää syntyvän lietteen määrää. Kuorilietteen lisäksi kuorimolla syntyy esimerkiksi hiekanerottimen hiekkalietettä ja selkeyttimen liettä. (Isännäinen & Huotari, 1994, Jaakkola, 1993)

Siistausliettä syntyy kierrätysmassaa käyttävillä paperitehtailla keräyspaperin deinking- eli siistausprosessissa, jossa jät-paperista poistetaan painomuste, täyteaineet ja päällysteet, jolloin jäljelle jää uusiokuitu. Siistausliettä syntyy 50 – 205 kg/t tuotetta. Se on koostumukseltaan pääosin tuhkaa ja kuitua. Syntyvän lietteen määrä riippuu käytettävän keräyspaperin laadusta. Siistauslietteiden keskimääräinen kuiva-ainepitoisuus on yli 40 % ja tuhkapitoisuus vaihtelee välillä 30 – 60 % riippuen raaka-aineena käytettävän paperin laadusta ja siistaustekniikasta. Kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo on suurimmillaan vain noin 15 MJ/kg. (Alakangas, 2000)

2.2 Lietteen ominaisuudet

Lietteen hyötykäyttöön vaikuttavia tekijöitä ovat orgaanisen aineen, ravinteiden, patogeenien, raskasmetallien ja tuhkan pitoisuudet. Lietteen kelpoisuus esimerkiksi maanparannusaineeksi perustuu ensisijaisesti typen, fosforin ja kaliumin pitoisuuksiin. Vastaavasti energiahyötykäyttöä ajatellen olennaisia ominaisuuksia ovat kiintoainepitoisuus ja siinä erityisesti orgaanisen aineksen osuus sekä tuhkapitoisuus.

Metsäteollisuudessa syntyvä aktiiviliete eroaa koostumukseltaan ja kuivausominaisuuksiltaan yhdyskuntien lietteestä: se sisältää enemmän puusta peräisin olevia ainesosia kuten ligniiniä, selluloosaa, hiilihydraatteja ja tuhkaa sekä vastaavasti vähemmän rasvaperäisiä ainesosia kuin yhdyskuntalietteet (Pere ym., 1992).

Tuotantolaitosten tekemissä analyyseissä on todettu, että etuselkeytyksestä tuleva primääriliete sisältää kaikkia puuperäisiä aineita, kuten pitkiä kuituja, ligniiniä, selluloosaa, hemiselluloosaa ja kuorimassaa. Sen lisäksi mukana voi olla prosessikemikaaleja, kuten täyteaineita ja päällystyspasta. Primäärilietteen sisältöön sisältyy myös kemiallinen liete silloin, kun biologisen puhdistuksen yhteydessä käytetään kemiallista saostusta.

Bioliete sisältää pääasiassa biologisessa puhdistuksessa muodostunutta mikrobimassaa ja kuollutta soluainesta. Siihen on adsorboitunut myös puusta peräisin olevia uuteaineita ja suurimolekyylisiä yhdisteitä, kuten puun sidosainetta eli ligniiniä ja kuituja. Biolietteestä voi olla ligniiniä noin 30 – 70 %, ja loppuosa on pääasiassa valkuaisaineita, rasvoja ja hiilihydraatteja.

Seuraavaan taulukkoon on koottu muutamalta metsäteollisuuslaitokselta hankittuja tietoja lietteiden koostumuksesta ja lämpöarvoista.

Taulukko 3. Metsäteollisuuden lietteiden tyypillisiä koostumuksia (Liimatainen, 2000, tehtailta saadut tiedot).

Ominaisuus	Primääriliete	Bioliete
Tuhka (%)	5 – 60	15 – 20
Kuidut (%)	40 – 65	–
Kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo (MJ/kg _{ku})	12 – 19	15,5 – 18,5
Hiili (%)	25 – 45	45 – 47
Vety (%)	3 – 5,5	5,4 – 6,5
Happi (%)	15 – 35	25 – 35
Typpi (%)	1,2 – 4,5	1,5 – 4,7
Rikki (%)	< 0,5	1,2 – 3,8
Natrium (%)	–	0,4 – 1,6
Fosfori (%)	< 0,1	0,3 – 0,8
Kloori (%)	0,2 – 0,5	0,1 – 0,7
Kalium (%)	–	0,1 – 0,3
C/N suhde	32 – 930 : 1	6 – 115 : 1

Edellä olevan taulukon tiedot on koottu pääasiassa suurilta lähinnä sellua ja paperia tuottavilta integraateilta. Primäärilietteen lämpöarvo ja alkuainepitoisuudet on arvioitu karkeasti tuhkapitoisuuden vaihteluvälin avulla, sillä mittaustuloksia ei ollut saatavilla. Lietteiden alkuainepitoisuudet vaihtelevat paljonkin sen mukaan, mitä tuotantolaitoksella tuotetaan. Forsiuksen ja Assmuthin (1990) mukaan hienopaperitehtaan primäärilietteessä voi olla tuhkaa muun muassa täyte- ja päällystysaineista johtuen 50 – 60 %, kun taas sellutehtaan biolietteissä tuhkaa on yleensä vain 5 – 20 %. Seuraavassa taulukossa on vertailtu sellu- ja paperitehtaiden lietteiden ominaisuuksia.

Taulukko 4. Sellu- ja paperitehtaiden lietteiden ominaisuuksia (Isännäinen, 1993, Niittymäki, 1992).

Ominaisuus	Sellutehtaan sekaliete	Primääriliete	Paperitehtaan sekaliete	Bioliete	Siistausliete	Kuorimoliete
Hiili (%)	40 – 42	44	44 – 46	47	25 – 45	50
Vety (%)	4,5 – 5,0	6	5,5 – 6,0	5,2	4 – 5,5	6
Rikki (%)	0,4 – 0,9	0,1	0,05 – 0,1	1,2	0,1 – 0,3	0,02
Typpi (%)	1,3 – 1,6	0,4	0,5 – 0,7	1,6	0,1 – 0,3	0,8
Happi (%)	25 – 29	25	?	30	22	34
Tuhka (%)	16 – 21	0,4	12 – 20	16	30 – 60	2,5
Kloori (%)	0,1 – 0,6		0,0 – 0,1		0,2 – 0,6	
Tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa (MJ/kg)	14 – 16			17,4	8 – 13	3,0
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa (MJ/kg)	9,3	2,3		0	2,9	
Kosteus (%)	75 – 80	70		85	60	70

Epäorgaanisia aineita biolietteeseen tulee pääasiassa puusta ja korvauskemikaaleista. Kloori on sitoutunut epäorgaanisiin ja orgaanisiin yhdisteisiin. Myrkyllisten aineiden eli dioksiinien ja furaanien osuus niistä on yleensä häviävän pieni. Koska kloorin käyttö sellun valkaisussa on viimeisen noin kymmenen vuoden aikana vähentynyt huomattavasti, ovat jäteveden AOX-pitoisuudet ja sitä kautta myös lietteiden klooripitoisuudet laskeneet.

Alakangas (2000) toteaa, että metsäteollisuuden raskasmetallipitoisuudet ovat yleensä melko pieniä verrattuna yhdyskuntalietteiden vastaaviin arvoihin eikä patogeenisiä mikrobeja siten juurikaan esiinny. Kahdessa seuraavassa taulukossa vertaillaan metsäteollisuuden lietteiden raskasmetallipitoisuuksia yhdyskuntalietteiden sekä toisaalta puutuhkan ja viherlipeäsakan pitoisuuksiin.

Taulukko 5. Lietteiden raskasmetallipitoisuuksia, mg/kg_{ka} (Isännäinen, 1993).

Aine	Metsäteollisuuden primääriliete	Yhdyskuntaliete
Cd	0,0 – 2,5	2,9 – 4,3
Cr		102 – 150
Cu	3,4 – 31	300 – 319
Hg	0,0 – 0,2	1,4 – 2,2
Ni	7,0 – 26,7	55 – 80
Pb	0,0 – 15,5	114 – 120

Taulukko 6. Metsäteollisuuden eri sivuainejakeiden raskasmetallipitoisuuksia, mg/kg (Thun ja Korhonen, 1999).

Aine	Liete	Puutuhka	Viherlipeäsakka
As	<5	5 – 33	<5
Cd	0,5 – 4	90 – 320	3,5 – 22
Cu	9,3 – 60	90 – 320	110 – 250
Cr	17 – 65	70 – 560	170 – 520
Ni	7 – 40	45 – 390	100 – 330
Pb	5 – 13	5 – 140	5 – 30
Zn	90 – 510	900 – 3000	1400 – 2200

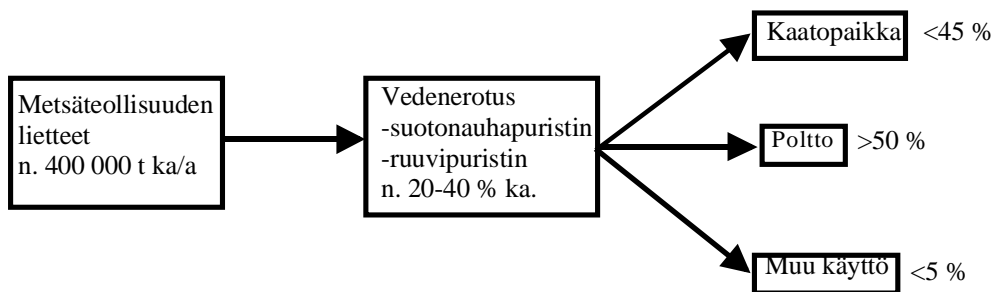
Lietteen käsittelyn ja hyötykäytön lähtökohdat

3.1 Nykytilanne

Tällä hetkellä Suomen metsäteollisuudessa syntyy lietteitä noin 500 000 t/a kuiva-aineena. Tästä määrästä on biolietettä noin 90 000 t ka/a, siistauslietettä noin 120 000 t ka/a ja primäärilietettä noin 300 000 t ka/a. Syntyvistä lietteistä reilusti yli 50 % poltetaan tuotantolaitosten omissa CHP-laitoksissa eli lämmön ja sähkön yhteistuotantolaitoksissa. Loput lietteistä viedään pääosin kaatopaikalle ja pieni osa käytetään muuten hyödyksi. (Kouki, 2001)

Euroopan unionin alueella metsäteollisuuden lietteiden määrät vaihtelevat tuotannon mukaan. Aktiivilietelaitosten käyttö jäteveden puhdistuksessa on yleisintä Suomessa, mikä omalta osaltaan vaikuttaa eri lietetyyppien syntyyn. Käyttökohteet vaihtelevat maittäin; poltto on erityisen yleistä Suomen lisäksi Ruotsissa ja Saksassa.

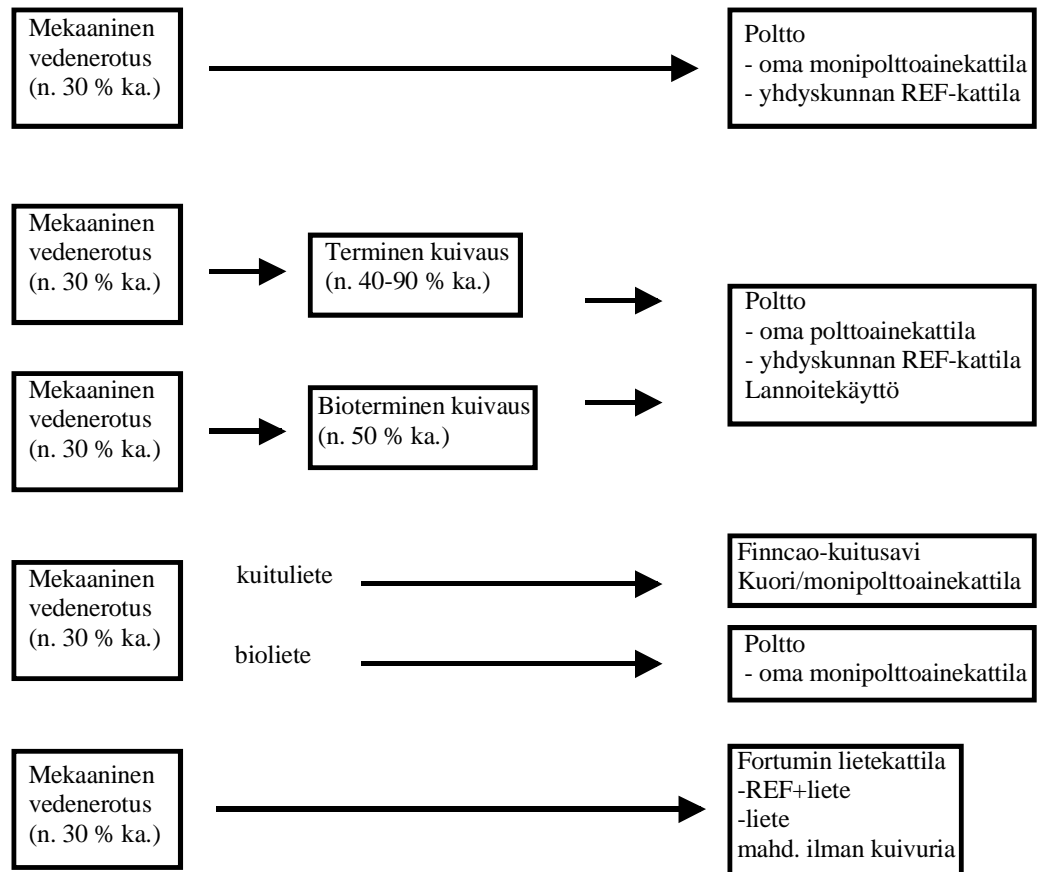
Kahdessa alla olevassa kaaviokuvassa on lietteen käsittelyä ja loppusijoitusta havainnollistettu ensin yleisellä tasolla (kuva 2) sekä mekaanista massaa käyttävää paperitehdasta kuvaavan esimerkin avulla (kuva 3). Paperitehdas tuottaa lietettä noin 10 000 t ka/a, josta primäärilietettä on noin 2/3 ja biolietettä noin 1/3. Lietteen tuhkapitoisuus on noin 30 – 40 %.



Kuva 2. Metsäteollisuuslietteen käsittely Suomessa (Kouki, 2001).

3.2 Lainsäädännön vaikutus

Metsäteollisuuslaitosten lietteenkäsittelylle asettaa omat rajoituksensa muiden tekijöiden ohella kansallinen ja Euroopan unionin laajuinen lainsäädäntö. Kansallisella tasolla lietteen käsittelyä ja loppusijoitusta säädellään jätelain (1072/1993) ja ympäristönsuojelulain (86/2000) ohella valtioneuvoston ja ministeriöiden päätöksillä. EU:n tasolla näitä asioita ohjataan pääasiassa kaatopaikkadirektiivillä (1999/31/EY) ja jätteenpolttodirektiivillä (2000/76/EY) sekä erillisillä lietteenkäsittelyä koskevilla ohjeilla.



Kuva 3. Mekaanista massaa käyttävän paperitehtaan lietteiden käsittely- ja hyötykäyttömahdollisuudet (Kouki, 2001).

3.2.1 Kansallinen lainsäädäntö

EU:ssa käyttöön otettu kaatopaikkadirektiivi saatettiin Suomessa voimaan valtioneuvoston päätöksellä 18.11.1999 (VNp 1049/1999). Tämä päätös astuu voimaan 1.1.2002 alkaen. Samalla muutettiin ja täydennettiin aiemmin annettua päätöstä kaatopaikoista (VNp 861/1997). Tällä päätöksellä tarkennettiin muun muassa kaatopaikalle sijoitettavalle jätteelle asetettavia vaatimuksia.

VNp 861/1997:n liitteessä 1 on annettu määräykset kaatopaikan pohja- ja pintarakenteille. Siten siinä säädellään myös lietteen käyttöä kaatopaikan maisemointiin. Orgaanisen aineen biologisen hajoamisen yhteydessä syntyvän biokaasun talteenotolle on annettu määräykset tämän asetuksen liitteessä 1 sekä kaasun kertymisen ja purkautumisen tarkkailulle liitteessä 3.

Puhdistamolietteen käyttöä maanviljelyksessä säädellään valtioneuvoston päätöksellä 282/1994. Lisäksi maa- ja metsätalousministeriön päätöksessä 46/1994 annetaan raja-arvoja raskasmetallipitoisuuksille.

Jätelain periaatteisiin kuuluu jätteen hyödyntäminen ensisijaisesti materiaalina ja toissijaisesti energiantuotantoon. Lietteiden käsittelyyn ja loppusijoittamiseen liittyvät ympäristöluvut on aikaisemmin myönnetty jätelain ja terveysuojelulain (763/1994) nojalla, mutta yhdenmukaistamiseen siirtymisen jälkeen lupa-asiat on siirretty ympäristönsuojelulain piiriin kuuluviksi. Uusimmat kaatopaikkoja koskevat ympäristöluvut ovat aiempaa tiukempia muun muassa lietteiden kaatopaikkasijoittamisen suhteen.

3.2.2 EU:n direktiivit ja muut suositukset

Tärkein lietteen loppusijoitukseen vaikuttava Euroopan unionin direktiivi on edellä mainittu kaatopaikkadirektiivi. Lisäksi etenkin lupia myönnettäessä otetaan huomioon yhtenäiseen päästöjen vähentämiseen tähtäävä IPPC-direktiivi (1996/61/EY).

IPPC-direktiivissä annetaan pohja erilaisten päästöjen hallintaan tähtääviä toimenpiteitä koskeville viranomais määräyksille. Siinä myös määritellään parhaan käytettävissä olevan tekniikan (BAT) periaatteet. Euroopan unionin IPPC-toimiston eli EIPPCB:n (2000) julkaisemassa massa- ja paperiteollisuuden BAT-referenssidokumentissa kaatopaikalle vietävän lietteen määrän vähentäminen ja lietteen kuiva-ainepitoisuuden nostaminen on määritelty BAT:ksi.

Kaatopaikkadirektiivissä täydennetään IPPC-direktiivissä annettuja ohjeita jätteiden kaatopaikalle sijoittamisen osalta. Siinä kielletään muiden muassa esikäsittelemättömien jätteiden vienti kaatopaikalle sekä määrätään kaatopaikalle sijoitettavan biohajoavan jätteen määrää vähennettäväksi. Tähän direktiiviin pohjautuen on lietteen sijoitus kaatopaikoille muun jätteen sekaan kielletty uusimpien ympäristölupien määräyksissä.

Vuoden 2000 lopussa julkaistussa jätteenpolttodirektiivissä (2000/76/EY) annetaan entistä tarkemmat määräykset jätteen erillis- ja rinnakkaispoltolle. Tämä ei kuitenkaan aseta uusia rajoituksia lietteen poltolle esimerkiksi kuorijätteen kanssa, sillä ensiomassan tuotannon ja massasta valmistettavan paperin tuotannon yhteydessä syntyvä kasviperäinen jäte mukaan lukien lietteet jätettiin direktiivin soveltamisalueen ulkopuolelle. Edellytyksenä tälle käytännölle on kuitenkin, että rinnakkaispoltto tapahtuu tuotantopaikalla ja syntyvä lämpö hyödynnetään.

EU:n komissio on julkaissut lietteen käsittelystä ja käytöstä myös erillisen raportin, jonka viimeisin luonnos on huhtikuulta 2000. Tämä dokumentti on kuitenkin tarkoitettu suositukseksi ja konsultointitarkoituksiin, eikä sillä ole lainvoimaa. Suosituksia annetaan muun muassa raskasmetallien ja orgaanisten yhdisteiden raja-arvoille, tiedotusvaatimuksille, pilaantumisen vähentämiselle, käsittelyprosesseille sekä näytteenotolle.

3.3 Tuotannon muutosten vaikutukset lietemääriin

Liimataisen (2000) tutkimuksessa on kaakkois- ja itäsuomalaisilta metsäteollisuuslaitoksilta saatujen tietojen perusteella todettu, että jätevesikuormituksen kasvu lisää lietteen syntymistä puhdistamoilla eri tavoin riippuen esimerkiksi reduktio- tehokkuudesta. Mikäli jätevedenpuhdistamo on mitoitettu riittävän suureksi kuormituksen nostoa varten ja jos se toimii kuormituksen lisääntyessä samalla teholla, puhdistamon vaikutus lietteen syntymiseen pysyy jokseenkin vakiona.

Tuotannon lisäämisen vaikutus lietemääriin riippuu käytettävissä olevan tekniikan tasosta. Mikäli tehtaalla ei ole toiminnallisia ongelmia, voidaan tuotannon noston ajatella lisäävän lietteiden syntyä lineaarisesti. Jos taas toiminnassa on aikaisemmin havaittu ongelmia, on nämä ongelmat yleensä ratkaistava tuotannon muutosten yhteydessä. Näin ollen voi syntyvän lietteen määrä jopa vähentyä tuotannon kasvun yhteydessä. Myös uuden tekniikan käyttöönotolla ja prosesseja avartamalla saadaan lietemäärät yleensä pieneneväksi.

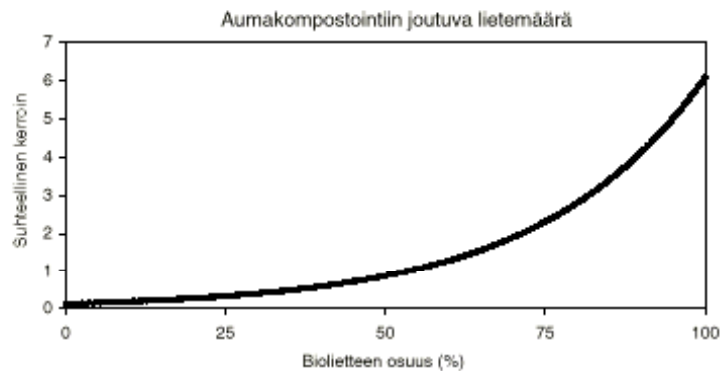
3.4 Vedenerotuksen ja polton ongelmat

Siinä tapauksessa, että tuotantolaitoksen tuotannon kasvu lisää lietemääriä, saataan tarvita lisää puristuskapasiteettia vedenerotuslaitteistoille. Tuotannon muutosten yhteydessä tekniikkaa kuitenkin yleensä kehitetään siten, että kuitupäästöt

vähenevät ja kuitupitoisen primäärilietteen syntyminen todennäköisesti vähenee. Siten myös lietteen kokonaismäärä vähenee, ja samalla biolietteen suhteellinen osuus kasvaa. Tämä asettaa uudenlaisia vaatimuksia lietteen vedenerotukselle ja muulle käsittelylle.

Biolietteen osuuden kasvun seurauksena käsittelyyn tarvittavan polymeerin kulutus kasvaa. Liimataisen (2000) mukaan 30 – 50 % biolietettä sisältävän sekalietteen kuivauksessa polymeerin kulutus on noin 2,5–4 kg/t_{ka}, kun taas 70 – 90 %:n biolieteosuudella kulutus kohoaa 4 – 7 kg:aan/t_{ka}.

Mikäli vedenerotuksella ei saavuteta riittävää kuiva-ainepitoisuutta, seuraa vaikeuksia lietteenpoltossa. Tällöin joudutaan käyttämään entistä enemmän apupolttoainetta. Tällaisissa tapauksissa on lietettä joskus jouduttu sijoittamaan kaatopaikalle tai aumakompostiin. Biolietteen osuuden kasvaessa sekalietteen kuivatavuus heikkenee, jolloin aumakompostointi- tai kaatopaikkasijoituksen tarve lisääntyy. Tämä on havainnollistettu alla olevassa kuvassa.



Kuva 4. Aumakompostointiin menevä lietemäärä biolieteosuuden funktiona (Liimatainen, 2000).

Ongelmia lietteenpoltossa ilmenee viimeistään silloin, jos lietteen kuiva-ainepitoisuus jää selvästi alle 30 – 35 %:n ja jos sitä on liian paljon. Myös tukipolttoaineen, eli lähinnä kuoren ja muun puujätteen, kosteuspitoisuus on ratkaiseva tekijä polton onnistumisen kannalta. Lisäksi on tasaisen palamisen varmistamiseksi polttoaineen liete mukaan lukien oltava homogeenista.

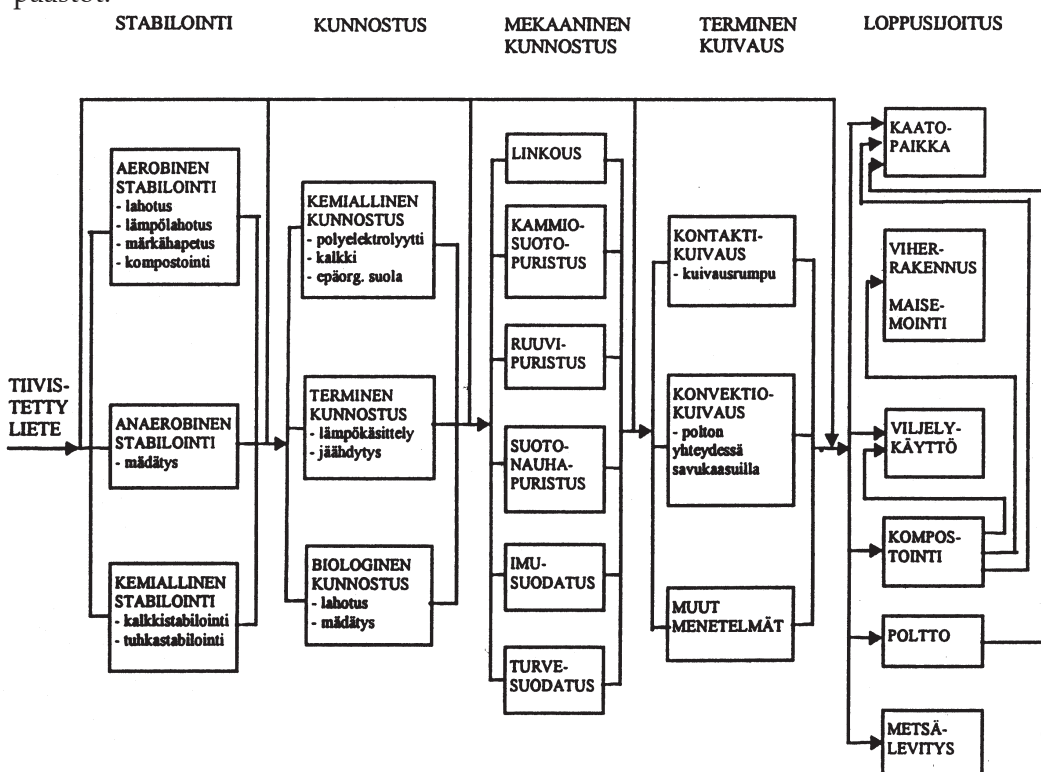
Lietteenkäsittelymenetelmät

Jätevesilietteiden käsittelyä varten on kehitetty monenlaisia menetelmiä. Metsäteollisuuslaitoksilla yleisimmin käytettyjä käsittelymenetelmiä ovat mekaaniset vedenerotustekniikat, kuten suotonauhapuristin ja ruuvipuristin sekä stabilointimenetelmistä lähinnä aumakompostointi ja mädätys. Tulevaisuudessa otettaneen käyttöön myös muita nykyään lähinnä yhdyskuntalietteiden käsittelyssä käytettyjä menetelmiä, kuten reaktorikompostointiin perustuva bioterminen kuivaus sekä termiset kuivaustekniikat.

Käsittelymenetelmän valinta riippuu aiotusta hyötykäyttötavasta. Polttoa varten on lietteen kuiva-ainepitoisuutta nostettava, mihin on tähän asti yleensä riittänyt mekaaninen vedenpoisto. Kuitenkin jatkossa on riittävän kuiva-ainepitoisuuden saavuttamiseksi todennäköisesti sovellettava edellä mainittuja vaihtoehtoisia menetelmiä. Muita hyötykäyttötapoja silmällä pitäen tulee tarkastella erilaisia stabilointivaihtoehtoja.

Lietteenkäsittelyvaihtoehtoja tulee tarkastella myös energiankulutuksen kannalta, sillä lietteenkäsittely muodostaa varsin merkittävän osan jätevedenpuhdistamon energiankäytöstä. Energiantarve riippuu sekä valitusta käsittelymenetelmästä että käsittelyssä muodostuvan lämmön hyödyntämisestä.

Lietteenkäsittely on myös taloudellisesti merkityksellistä. Sen osuuden arvioidaan olevan noin 20 – 35 % puhdistamon investointi- ja käyttökustannuksista riippuen käsittelymenetelmästä ja prosessista (Runeberg, 1993). Kuvassa 5 on esitetty eri lietteenkäsittelyvaihtoehtoja ja -vaiheita. Tämän raportin liitteessä 1 on esitetty Jussilan ja Laxénin (1994) näkemys vastaavasta aiheesta. Tästä esityksestä käyvät ilmi myös käsiteltävän lietteen kuiva-ainepitoisuudet ja eri vaiheissa syntyvät päästöt.



Kuva 5. Lietteenkäsittelyvaihtoehdot (Runeberg, 1993).

4.1 Esikäsitely

Ennen varsinaista lietteenkäsittelyä on yleensä tarpeen suorittaa eräitä valmistavia toimia tasaisen ja homogeenisen lietteensyötön aikaansaamiseksi. Tällaisia toimintoja ovat Tchobanoglousin ja Burtonin (1991) mukaan hienontaminen, hiekanpoisto, sekoitus ja välivarastointi. Lisäksi kiintoainepitoisuutta voidaan nostaa sakeuttamalla eli tiivistämällä lietettä erilaisin menetelmin.

Hienonnuksessa lietteen seassa olevat isot ja kovat aineosat leikataan pieniksi palasiksi. Näin ne eivät tukkeuta laitteita tai kietoudu pyörivän laitteen ympärille.

Hiekanpoisto on yleensä toteutettu jo ennen esiselkeytystä, mutta mikäli näin ei ole tehty tai laitteiston kapasiteetti ei kata jäteveden huippukuormitusta, on lietteessä oleva hiekka erotettava ennen varsinaista lietteenkäsittelyä. Tähän käytetään useimmiten keskipakoisvoimaan perustuvia erottimia eli sykloneja.

Jätevedenkäsittelyn eri vaiheissa syntyvät lietteet eroavat olennaisesti toisistaan koostumukseltaan. Tämän vuoksi sekalietettä käsiteltäessä eri lietelajit on sekoitettava huolellisesti keskenään tasalaatuisen seoksen aikaansaamiseksi. Tasalaatuisuus on tärkeää toiminnan ja käytettävyyden kannalta etenkin lyhyen viipymääjan prosesseissa, kuten vedenpoistossa, lämpökäsittelyssä ja poltossa. Lietteeseen sekoitus voidaan toteuttaa esiselkeytysaltaissa, putkissa, pitkän viipymääjan lietteenkäsittelyprosesseissa tai erillisessä sekoitusaltaassa.

Lietteiden välivarastoinnin tarkoituksena on tasoittaa vaihteluja lietteentuotossa ja antaa lietteen kerääntyä silloin kun lietteenkäsittelylaitteistot eivät ole toiminnassa. Varastointi on erityisen tärkeää tasaisen lietteensyötön aikaansaamiseksi kalkkistabilointia, lämpökäsittelyä, mekaanista vedenpoistoa ja kuivausta varten. Lyhytaikainen lietteenvarastointi voidaan toteuttaa jäteveden selkeytysaltaissa tai lietteen sakeutusaltaissa. Pitkäaikaisesti liete voidaan varastoida pitkän viipymääjan omaavissa aerobisissa ja anaerobisissa stabilointiprosesseissa tai erillisissä säiliöissä.

4.2 Mekaaninen vedenerotus

Jätevedenpuhdistamolta tulevan lietteen kiintoainepitoisuutta on usein nostettava ennen jatkokäsittelyä. Lisäksi vedenerotus on tärkeää monia käsitellyn lietteen hyödyntämisvaihtoehtoja ajatellen.

Lietteiden sakeuttamisen eli tiivistämisen avulla saadaan pienennettyä käsiteltävän lietteen tilavuutta. Tämä on merkityksellistä eräille käsitelyprosesseille, kuten mädätykselle, kompostoinnille, kuivaukselle ja poltolle, sillä se vaikuttaa seuraaviin mitoitusparametreihin (Tchobanoglous ja Burton, 1991):

- tarvittava altainen ja laitteiden kapasiteetti,
- kunnostukseen tarvittavien kemikaalien määrä,
- mädätyksen vaatima lämmön määrä, sekä
- lämpökuivaukseen tai polttoon taikka molempiin tarvittavan lämmön määrä.

Sakeutus toteutetaan yleensä fysikaalisin menetelmin eli laskeutuksella, floataatiolla, linkouksella ja puristimilla. Se voidaan suorittaa joko esiselkeyttimissä, lietteenkäsittelyn yhteydessä tai erillisissä sakeutusyksiköissä. Mikäli käytetään erillisiä yksiköitä, kierrätettävä aines palautetaan yleensä jätevedenkäsittelyyn.

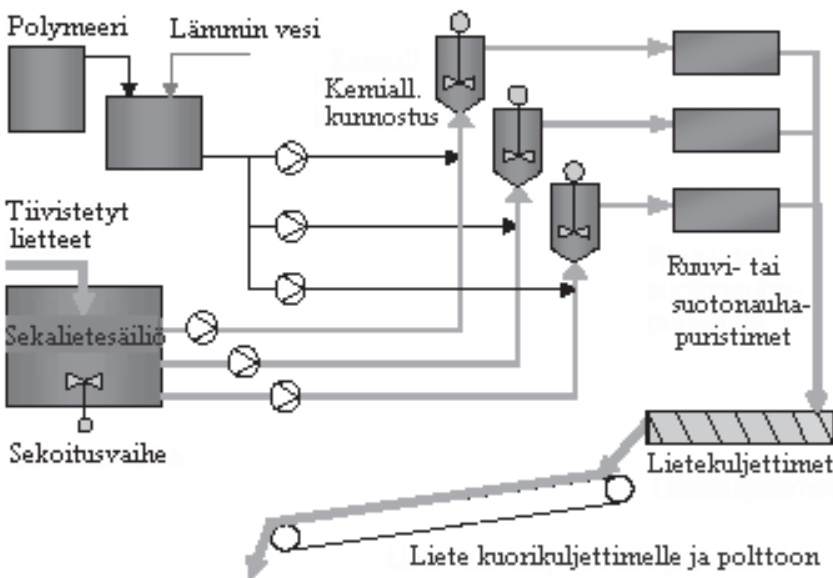
Ennen vedenerotusta liete on yleensä kunnostettava vedenpoisto-ominaisuuksien parantamiseksi. Yleisimmät kunnostusmenetelmät ovat kemiallinen kunnostus ja lämpökäsittely. Kemikaalien, lähinnä polyelektrolyyttien, lisäyksellä

saadaan aikaiseksi kiintoaineen koagulaatio ja absorboituneen veden erottuminen. Lämpökäsittelyllä koaguloidaan kiintoaineet, murretaan massan rakenne ja vähennetään lietteen kiintoaineen vesiaffiniteettia.

Varsinaiseen vedenerotukseen käytetään metsäteollisuuslaitoksilla yleisimmin suotonauhapuristinta ja ruuvipuristinta sekä joissain tapauksissa linkoja. Vedenerotuslaitteiden energiankulutus on yleensä noin 2 – 4 kWh/m³ (van der Roest ym., 1993). Vedenerotus on tärkeää seuraavista syistä (Tchobanoglous ja Burton, 1991):

- kuljetuskustannukset pienenevät,
- kuivattu liete on helpompi käsitellä kuin sakeutettu tai nestemäinen liete,
- energiasisällön nostamiseksi polttoa varten,
- kompostoinnin tukiaineiden tarpeen vähentämiseksi,
- hajun ja mädäntymisen ehkäisemiseksi, sekä
- maantäyttöominaisuuksien parantamiseksi.

Seuraavassa kuvassa on esitetty tyypillinen perinteinen mekaaniseen vedenpoistoon perustuva lietteenkäsittelysystemi eri vaiheineen.



Kuva 6. Perinteinen lietteenkäsittelylaitos (Liimatainen, 2000).

4.2.1 Suotonauhapuristin

Suotonauhapuristin on Suomen metsäteollisuuslaitoksilla yleisimmin käytetty vedenerotusmenetelmä. Sillä saavutetun kuiva-ainepitoisuuden keskiarvo on Rantalan ym. (1998) tekemän selvityksen mukaan keskimäärin 34 %. Puhtaille kuitulietteille voidaan saada 40 – 50 %:n, ja sekalietteilte vastaavasti 25 – 40 %:n kuiva-ainepitoisuus (JP Consulting, 1997).

Ennen puristimeen vientiä liete tulee yleensä kunnostaa polyelektrolyyiteillä, jolloin hienojakoinen kiintoaine flokkuloituu isompirakeiseksi.

Suotonauhapuristimissa kunnostetun lietteen vapaasta vedestä suurin osa poistetaan valuttamalla. Matalapainevaiheessa lietettä puristetaan huokoisten kangasnauhojen välissä. Korkeapainevaiheessa nauhat ajetaan rullien läpi, jolloin puristus- ja leikkausvoimat lisäävät poistuvan veden määrää.

Tämän vedenerotusmenetelmän tehokkuuteen vaikuttavat monet tekijät (Tchobanoglous ja Burton, 1991): lietteen ominaisuudet, kemiallisen kunnostuksen menetelmä, käytettävät paineet, laitteen konfiguraatio sekä nauhan huokoisuus, nopeus ja leveys. Suotautuvuuteen vaikuttaa ennen kaikkea suodatuksen ominaisvastus. Mittaamalla vastusta eri paineissa saadaan puristuserroin, joka kertoo sopivan puristuspaineen (Spinosa, 1997).

Seuraavassa taulukossa on esitetty tyypillisiä suotonauhapuristimilla saavutettavia kiintoainepitoisuuksia eri lietetyypeille.

Taulukko 7. Suotonauhapuristimella saavutettavat vedenpoistotehokkuudet (Tchobanoglous ja Burton, 1991).

Lietetyyppi	Syötettävän lietteen kiintoainepitoisuus (%)	Lietekakun kiintoainepitoisuus (%)
Primääriete	3 – 7	28 – 44
Primääri- ja bioliete	3 – 6	20 – 35
Primääri- ja biosuodiniete	3 – 6	20 – 35
Bioliete	1 – 4	12 – 20
Anaerobisesti käsitelty		
– primääriete	3 – 7	25 – 35
– primääri- ja bioliete	3 – 6	20 – 25
– bioliete	3 – 4	12 – 20
Aerobisesti käsitelty primääri- ja bioliete	1 – 3	12 – 20
Aerobisesti käsitelty primääri- ja bioliete	4 – 8	12 – 30
Termisesti kunnostettu primääri- ja bioliete	4 – 8	25 – 50

4.2.2 RuuVIPuristin

Myös ruuVIPuristinta käytetään yleisesti vedenerotusmenetelmänä suomalaisilla metsäteollisuuslaitoksilla.

RuuVIPuristimen sisällä käytetään pyörivää kartioruuvia jonka kartiomaisuus kasvaa lietteen kulkusuunnassa. Kartioruuvi kuljettaa lietettä puristimessa poistaen samalla siitä vettä rei'itetyn vaipan läpi. RuuVIPuristimeen ohjataan kylläistä höyryä, jonka paine on noin 3 – 4 bar. Höyry helpottaa veden poistumista pyörivästä ruuvista laskemalla veden viskositeettia ja parantamalla siten veden poistumisominaisuuksia lietteestä. Höyryn käytöllä saavutetaan noin 5 %-yksikön nousu kuiva-ainepitoisuudessa. Lisäksi sillä voidaan vähentää lietteen ja ruuvin välistä kitkaa. (Turunen, 1998)

Myös ruuVIPuristimien käytön yhteydessä lietteet yleensä kunnostetaan polyelektrolyyteillä. Ruuvien reunojen jatkuva kulutus aiheuttaa tarvetta säännölliselle kunnossapidolle, mikä lisää kustannuksia. (JP Consulting, 1997)

Krogeruksen ja Hynnisen (1992) mukaan ruuVIPuristuksessa syntyvä kirkaste on yleensä kiintoainepitoisuudeltaan alle 1000 mg/l, ja se johdetaan yleensä takaisin puhdistusprosessiin. Kuivatun lietteen kiintoainepitoisuus vaihtelee kuivatavan lietteen laadun mukaan välillä 15 – 50 %.

RuuVIPuristimien suosion on viime vuosina havaittu lisääntyneen johtuen sillä saavutettavasta suhteellisen korkeasta kuiva-ainepitoisuudesta, joka on tärkeä tekijä polttoa ajatellen.

4.2.3 Linkous

Linkous on keskipakoisvoimaan perustuva mekaaninen vedenerotusmenetelmä. Samoja linkoja eli dekantterisentrifugeja voidaan käyttää sekä varsinaiseen vedenerotukseen että sakeutukseen. Lingoissa on pyörivä toisesta päästä kartiollinen rumpu, jonka sisällä pyörii ruuvi. Rummun ja ruuvin pyörimisnopeuksien välillä on pieni nopeusero, jotta kuivattu liete saadaan poistettua rummusta. Lietelingon etuna on täysin suljettu rakenne, jolloin työilmaan ei pääse aerosoleja kuivauksen aikana.

Lietteen lingottavuudella tarkoitetaan lietteen sopivuutta vedenpoistoon keskipakoisvoiman alaisena. Lingottavuuteen vaikuttavia ominaisuuksia ovat Spinosan (1997) mukaan laskeutuvuus, rullattavuus ja flokin vahvuus. Nämä ominaisuudet on mitattava erikseen, sillä laboratoriomittakaavassa ei voida saada aikaiseksi täyden mittakaavan laitteen toiminnassa vallitsevia olosuhteita.

Linkoamalla voidaan poistaa vettä lietteistä ilman kemiallista kunnostusta, mutta kiintoainepitoisuutta ja nesteseoksen laatua voidaan huomattavasti parantaa polymeerien avulla tehtävän kunnostuksen avulla. Tchobanoglousin ja Burtonin (1991) mukaan linkoamalla saatavan lietekakun kiintoainepitoisuus vaihtelee 10 ja 35 %:n välillä.

JP Consultingin (1997) selvityksessä todetaan, että linkouksen suosio on vähentynyt johtuen siitä, että ruuvi- ja suotonauhapuristimilla saavutetaan paremmat kuiva-ainepitoisuudet. Kuitenkin linkousta voidaan käyttää heikot vedenpoisto-ominaisuudet omaavien lietteiden, kuten puhtaan biolietteen ja kemiallisesta puhdistuksesta tulevan lietteen vedenpoistoon. Esimerkiksi biolietettä on vaikea käsitellä puristimilla johtuen veden kertymisestä solukoihin, joten linkous on sopivin vaihtoehto biolietteen erilliskäsittelylle.

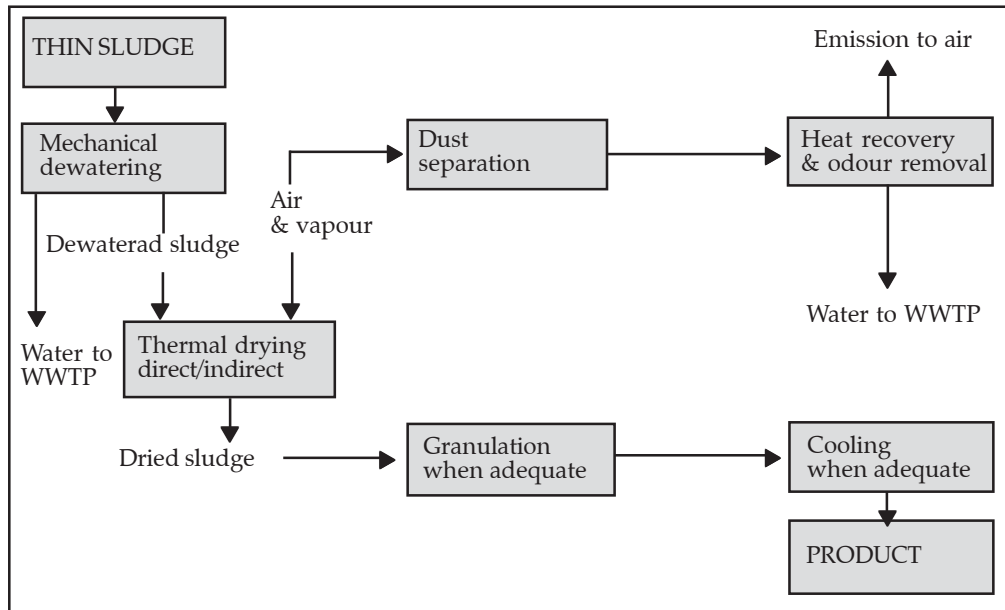
4.3 Terminen kuivaus

Lietteen lämpö- eli termisessä kuivauksessa vähennetään vesipitoisuutta haihduttamalla vettä ilmaan. Termiset kuivausmenetelmät voidaan jakaa suoriin ja epäsuoriin menetelmiin eli kontakti- ja konvektiokuivaimiin lämmönsiirtotavan perusteella, toisin sanoen sen mukaan onko lämmittävä aine suoraan kosketuksissa lämmitettävän materiaalin kanssa vai käytetäänkö väliainetta. Lämpökuivauksen tarkoituksena on poistaa kosteutta märästä lietteestä niin että liete voidaan polttaa tehokkaasti tai käsitellä lannoitteeksi.

Lietteen termistä kuivausta käytetään silloin, kun halutaan lietteelle korkeampia kiintoainepitoisuuksia kuin edellä kuvatuilla vedenerotusmenetelmillä voidaan saada. Sillä voidaan parantaa huomattavasti lietteen poltto-ominaisuuksia. Lisäksi kuivauksella voidaan Tchobanoglousin ja Burtonin (1991) mukaan edistää lietteen hienontumista, vähentää sen painoa ja estää biologisen toiminnan jatkuminen, mikä on tärkeää lannoitekäyttöä ajatellen. Lietteen kosteuspitoisuus saadaan eri kuivausmenetelmillä vähennettyä alle 10 %:iin.

Termiset kuivaimet voidaan jakaa kahteen selkeään ryhmään eli epäsuoriin ja suoriin kuivaimiin (Utvik ym., 1997). Epäsuoria kuivaimia kutsutaan lämmönsiirtotavan perusteella yleensä konvektiokuivaimiksi ja suorina kuivaimia vastavasti kontaktikuivaimiksi.

Seuraavassa kuvassa on esitetty lietteen vedenerotukseen ja kuivaukseen liittyvät prosessivaiheet pääpiirteissään.



Kuva 7. Kuivausprosessin yleisvirtauskaavio (Utvik ym., 1997).

4.3.1 Epäsuorat kuivaustekniikat

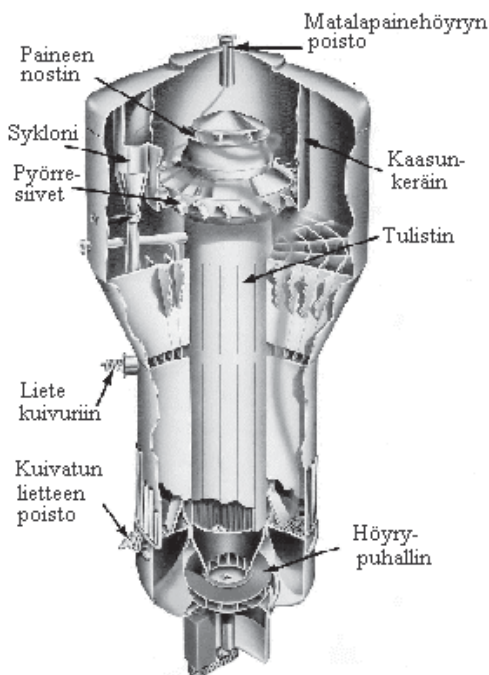
Epäsuorissa kuivaimissa eli konvektiokuivaimissa lämpö siirretään kuivattavaan materiaaliin epäsuorasti lämmönsiirtopinnan läpi. Siten lämmittävä aine, kuten höyry tai lämmitysöljy, ei ole kosketuksissa lietteen kanssa. Epäsuorassa kuivaimessa tarvitaan ilmansyöttöä korkeintaan vähäisiä määriä prosessissa muodostuvan vesihöyryn poistamiseksi. Vähäisen ilmantarpeen ansiosta saadaan pidettyä hajunpoistokustannukset minimissä ja lämmön talteenotto maksimissa.

Kaupallistettujen epäsuorien kuivureitten päätyypit ovat (Ruottu, 2000):

- ruuvikuivurit, joissa pakkautuneessa tilassa olevaa lietettä kuivataan kuumen lämpöpinnan suorassa kosketuksessa samalla kun lämpöpinnat toimivat kuljettimena,
- kuplivaleijupeti- eli BFB-kuivurit, joissa lämpöpinnat on sovitettu kupli-vaan leijukerrokseen, sekä
- kiertoleijupeti- eli CFB-kuivurit, joissa nousukanava muodostuu pysty-suorista putkista, joiden vaippapuolella virtaa lämpöä luovuttava höyry tai neste.

CFB-kuivurin etuina kilpaileviin kuivureihin nähden on mainittu virtaustekniikan hyvä hallinta, tehokas aineen- ja lämmönsiirto, palo- ja räjähdysturvallisuus, hyvä käytettävyys, vähäinen lattiatilantarve sekä kilpailukykyiset investointi- ja käyttökustannukset.

Kuvassa 8 on esitetty Niro A/S:n valmistama kuivuri esimerkkinä leijukerroskuivauksesta.



Kuva 8. Leijukerroskuivain (Niro A/S).

Ruuvikuivain eli levykuivain on Utvikin ym. (1997) mukaan myös yleisesti käytetty epäsuora kuivausmenetelmä. Se on hitaasti pyörivä laite, joka on rakenteeltaan yksinkertainen ja helppokäyttöinen.

Levykuivaimen kiinteä osa eli staattori muodostuu sylinterimäisestä vaakasuorasta rummusta, johon syötetään kuivattava liete. Rummun runkoon on kiinnitetty kaapimet. Staattorin yläosassa on avoin tila pölynerotusta sekä poistuvien höyryjen keräämistä ja ulosjohtamista varten. Kuivain toimii yleensä pienellä alipaineella.

Pyörivä osa eli roottori koostuu yhdensuuntaisista vaakasuoraan varteen kiinnitetyistä levyistä, joiden sisällä lämmitettävä aine virtaa. Levyjen päihin on kiinnitetty sekoittimet. Toiminnan parantamiseksi on mahdollista käyttää pientä ilmavirtausta. Ilmaa tulisi kuitenkin käyttää mahdollisimman vähän tai ei lainkaan pölynerotus- ja hajunvähentämiskustannusten minimoimiseksi.

Riittävän lämmönsiirron takaamiseksi on kuivaimen lämmönsiirtopinnat eli levyt pidettävä puhtaina.

4.3.2 Suorat kuivaimet

Suorissa kuivaimissa eli kontaktikuivaimissa lämpö siirretään kuumista kaasuista suoraan lietteeseen (Utvik ym., 1997). Tähän vaaditaan tiivis kontakti kaasun ja lietteen välillä. Yleisimmät kuivaintyyppit ovat pyörivä rumpukuivain ja leijupetikuivain.

Rumpukuivaimessa liete syötetään kuivaimen toiselle puolelle. Rummun pyörimisliikkeen ja sisäisten voimien seurauksena liete siirtyy toiseen päähän ja joutuu samalla tiiviiseen kosketukseen kuumien kaasujen kanssa. Näin saadaan lopputuotteena lietettä, jonka kuiva-ainepitoisuus on yli 90 %. Rummun tukkeutumisen estämiseksi sinne syötettävän lietteen tulisi olla kuiva-ainepitoisuudeltaan vähintään 65%:sta. Siksi mekaanisesta vedenerotuksesta tuleva liete tulisi sekoittaa kuivan lietteen kanssa ennen sen syöttämistä kuivaimen. Rantala ym. (1998) toteavat omassa tutkimuksessaan, että biolietteen kuivaaminen rumpukuivaimella ei onnistu ilman sideainetta, koska liete tarttuu rummun seinämiin. Käytettäessä hiekkaa sidosainetta saavutettiin tehdyissä kokeissa yli 90 %:n kuiva-ainepitoisuus.

Leijupetikuivaimessa kontakti kaasujen ja lietteen välillä saadaan aikaiseksi johtamalla kuumia kaasuja ylöspäin siten että ne kannattelevat lietehiukkasia siihen asti kun hiukkaset ovat kuivuneet. Kaasun virtaus on tällöin hyvin turbulenttista. Riippuen lietetyypistä kuivatun lietteen kuiva-ainepitoisuus on yli 90 % pölyttöminä rakeina. Savukaasujen sisältämä pöly siirretään kaasujen mukana, poistetaan sykloneilla ja syötetään takaisin kuivaimeen sekoitettuna tulevaan lietteeseen. Leijupetiin voidaan sisällyttää myös lämmönvaihdin, jolloin saadaan aikaan suoran ja epäsuoran kuivauksen välinen kuivaussysteemi.

Suorien kuivainten etuna epäsuoriin verrattuna on usein niiden parempi suorituskyky. Lisäksi rakenne on yleensä yksinkertaisempi. Haittoja taas ovat kaasujen sisältämät epäpuhtaudet, etenkin vahvat hajuyhdisteet, huonompi toimivuus matalissa lämpötiloissa sekä räjähdysten mahdollisuus.

Yksi yleisesti käytetty kuivain on AB Torkapparaterin kehittämä malli, jossa lämmitysenergiana käytetään mädättämöstä saatavaa biokaasua. Sillä on seuraavanlaiset toiminta-arvot (Dahlberg ja Osterman, 1996):

- syötettävän lietteen TS: 25 – 35 %
- lietteen määrä: 1950 – 2750 kg/h
- kuivatun lietteen TS: 90 %
- biokaasun kulutus: 200 m³(n)/h
- asennettu sähköteho: 120 kW
- sähkönkulutus: 60 kW

Ruotun (2000) mukaan suoran kuivauksen käyttöä rajoittaa ensisijaisesti sen suureen poistokaasuvirtaan joutuvat orgaaniset yhdisteet, jotka voivat ylittää päästörajat tai aiheuttaa ympäristöön hajuhaittoja. Toinen suoran kuivauksen rajoite on, ettei se mahdollista monivaiheista haihdutusta, josta olisi etua ainakin erittäin märkien lietteiden kuten biolietteen kuivauksessa.

4.4 Biotermäinen kuivaus

Biotermisillä kuivausmenetelmillä tarkoitetaan erilaisten reaktorikompostointimenetelmien käyttöä lietteiden kuivaukseen lähinnä polttoa varten. Kuivaus toteutetaan haihduttamalla lieteseoksen sisältämää vettä prosessissa syntyvän lämmön avulla.

Reaktorikompostointimenetelmät perustuvat erilaisten jätejakeiden kuten lietteiden käsittelyyn reaktorisäiliön sisällä mikrobitoiminnalle suotuisissa olosuhteissa. Yleisimpiä laitosmittakaavaisia reaktorikompostointitekniikoita ovat rumpu- ja tunnelikompostointilaitokset. Näitä tekniikoita käytetään tällä hetkellä lähinnä yhdyskuntien orgaanisten jätteiden ja lietteiden käsittelyssä, mutta myös metsäteollisuuden lietteiden käsittelyssä ne ovat nousemassa entistä varteenotettavammaksi vaihtoehdoksi.

Reaktorikompostoinnin etuina verrattuna aumakompostointiin ovat prosessin parempi tehokkuus, stabiilius ja hygienia. Reaktorikompostorissa käsitelty aine on kuitenkin jälkikompostoitava aumassa silloin, kun lopputuotteelta vaaditaan erityisominaisuuksia esimerkiksi maanparannuskäyttöä varten.

Biotermisestä kuivauksesta puhutaan silloin kun reaktorissa pyritään saamaan aikaan nimenomaan käsiteltävän lietteen kosteuspitoisuuden väheneminen ja toisaalta välttämään orgaanisen aineksen liiallinen hajoaminen. Näin pyritään parantamaan lietteen lämpöarvoa.

4.4.1 Biotermisen kuivauksen tarkoitus ja periaate

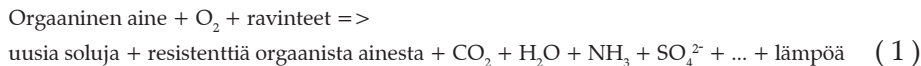
Suljetussa tilassa suoritettava esikompostointiprosessi tuottaa lämpöenergiaa, joka aiheuttaa kosteuden vähenemisen massassa. Kosteutta on pyrittävä poistamaan sen verran kuin on tarpeen käsiteltävän jakeen lämpöarvon nostamiseksi ja polton onnistumiseksi. Liiallinen kuivatus ei ole taloudellista, sillä myös kuivausprosessiin kuluu energiaa, ja energian kulutus kasvaa sitä mukaa kuin pyritään entistä suurempiin kuiva-ainepitoisuuksiin. Lisäksi poltolle tarpeellisten haihtuvien aineiden määrä vähenee erityisen pienillä kosteuspitoisuuksilla. Reaktorikompostoinnissa voidaan ottaa talteen prosessissa syntyvä lämpöylimäärä, joka on Pipatin ym. (1996) mukaan noin 33 – 41 MJ/kg C.

Liian märkien jätteiden kuivaus esikompostoinnin avulla olisi hankalaa ja epätaloudellista, sillä myös kompostointiprosessi vaatii onnistuakseen tietyn kuiva-ainepitoisuuden. Siksi lietteet on esikuivattava mekaanisilla vedenerotusmenetelmillä ennen syöttöä kompostointireaktoriin.

Biotermisellä kuivauksella lietteiden kuiva-ainepitoisuus voidaan nostaa yleensä noin 45 – 55 %:iin. Tehokkaalla jälki-ilmastuksella voidaan päästä teoriassa jopa noin 70 %:n kuiva-ainepitoisuuteen.

Kompostointiprosessissa toimivien mikrobien toiminnan seurauksena käsiteltävän massan kuiva-aineesta haihtuu nimenomaan orgaaninen aines ja samalla sen sisältämät haihtuvat ainekset, jotka ovat polton kannalta merkityksellisiä. Siksi prosessia tulee säädellä siten, että poltolle tärkeät aineosat eivät pääse liiaksi haihtumaan.

Kompostoinnissa tapahtuvaa orgaanisen aineen hajoamista voidaan yleisesti kuvata seuraavalla reaktioyhtälöllä (Tchobanoglous ym., 1993):



Esikompostoinnin avulla prosessoitavasta aineesta saadaan paitsi kuivempaa, myös hienompaa ja tasalaatuisempaa, minkä ansiosta sen syöttöominaisuudet polttoaineena paranevat. Kompostointiprosessin aikana massan tilavuus pienee yleensä muutamia kymmeniä prosentteja.

Kompostointiprosessissa tuhoutuvat patogeenit eli terveydelle vaaralliset mikrobit, minkä ansiosta valmis kompostointituote on terveydelle vaaratonta. Sitä on myös turvallista käsitellä polttoaineena.

Laitevalmistajan tietojen (Vapo Oy, 1996) mukaan kierrätyspolttoaineen minimivaatimukseen kuuluu myös kloorin (Cl) maksimipitoisuus 1,0 mg/kg. Massassa olevan veden haihtuessa sen sisältämä ruokasuola (NaCl) jää sakkana jäljelle kompostiin, jolloin se on helpompi erottaa kuin hyvin kosteasta massasta. Kloorin erottaminen on polttoa ajatellen tärkeää lähinnä siksi, että se reagoi herkästi vedyn kanssa, jolloin muodostuu suolahappoa (HCl). Tämä puolestaan aiheuttaa voimaitoskattiloissa putkien ja lämpöpintojen syöpymistä.

Biokuivaus kompostointilaitoksessa jakautuu tavallisesti seuraaviin prosessivaiheisiin (UPM-Kymmene Oyj., 1997):

1. Lietteiden ja tukiaineiden vastaanotto ja sekoitus;
2. Reaktorikompostointi;
3. Poistoilman hajukaasujen hävitys pesurilla ja biosuodattimella;
4. Lopputuotteen jäädytys jälki-ilmastuksella; sekä
5. Tuotteen siirto polttoon, kierrätys alkuun tai tuotteistus.

Biologisen prosessin onnistumisen takaamiseksi kompostointireaktorissa on ilmastus massan läpi puhaltimia tai imureita käyttäen. Lisäksi ilmastoinnilla voidaan samanaikaisesti säätää reaktorin happipitoisuutta, kosteuspitoisuutta ja lämpötilaa. Ilmastetun reaktorivaiheen viipymäaika on yleensä 4 – 14 vuorokautta. Ilmastus aiheuttaa selvästi suurimman osan prosessin sähkönkulutuksesta.

4.4.2 Prosessin fysikaaliset ja kemialliset vaatimukset

Kompostointiprosessissa toimivat mikrobit tarvitsevat kasvaakseen tiettyjä ravinneaineita sopivassa pitoisuussuhteessa. Eri ravinneaineita tarvitaan solujen rakennusaineiksi ja energianlähteiksi.

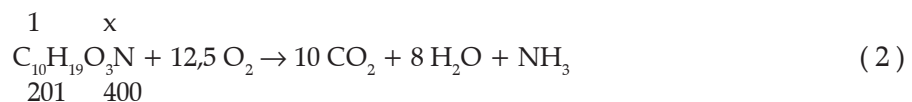
Prosessin toiminnan kannalta tärkein ravinnesuhde on hiilen ja typen määrien suhde eli C/N-suhde. Mikäli typpipitoisuus on liian suuri eli C/N-suhde liian pieni, mikrobit eivät pysty käyttämään kaikkea typpeä ja tällöin syntyy ammoniakkiylimäärä, joka on haitallinen mikrobeille (Golueke, 1991). Hiiltä tarvitaan kompostoinnissa enemmän kuin typpeä, mutta jos hiiltä on hyvin paljon enemmän kuin typpeä, mikrobien aktiivisuus pienenee typen vähyden vuoksi ja kompostointi jää kesken. Kokemuseräinen tieto C/N-suhteen optimista on 25 – 30 useille jätelaaduille; mikäli jätteessä on puuperäisiä aineksia, optimisuhde vaihtelee välillä 35 – 40 (Hänninen ym., 1992). Isännäisen ja Huotarin (1994) mukaan sellutehtailta tulevien lietteiden tyypillinen C/N-suhde on 28, ja paperitehtaiden lietteillä vastaava arvo vaihtelee välillä 60 – 160.

C/N-suhteen säätämiseen voidaan käyttää esimerkiksi kuorta, jota on helppoa saatavilla puunjalostusintegraateissa. Mikäli kuori tai hake on liian märkää, voidaan harkita myös turpeen käyttöä tähän tarkoitukseen.

Muista ravinteista mikrobit tarvitsevat Hännisen ym. (1992) mukaan vetyä ja happea sekä solun sisältämää vettä varten että solujen rakennusaineiksi. Kompostoinnissa molekylaarista happea tarvitaan myös aerobisen hengityksen eli palamisen yhteydessä, jolloin O₂-molekyyli reagoi orgaanisen aineen kanssa. Näiden lisäksi tarvitaan fosforia, rikkiä, kaliumia, magnesiumia ja rautaa sekä pieniä määriä hivenaineita, kuten kobolttia, mangaania, kuparia ja molybdeenia.

Kompostointiprosessin onnistumiseksi tarvittavia fysikaalisia ja kemiallisia tekijöitä ovat kosteuspitoisuus, pH, happipitoisuus ja lämpötila. Mikäli olosuhteisiin ei vaikuteta ulkopuolelta, mikrobien toiminta muuttaa olosuhteita kompostoinnissa (Hänninen ym., 1992).

Stökiometrinen hapentarve voidaan määrittellä syötettävän aineksen koostumuksesta ja kompostoitumisen aikaisesta hajoamisasteesta. Jos esimerkiksi oletetaan lietteen orgaanisen aineksen koostumukseksi C₁₀H₁₉O₃N, hiilen hapentarve voidaan määrittellä seuraavan reaktioyhtälön avulla (Haug, 1986):

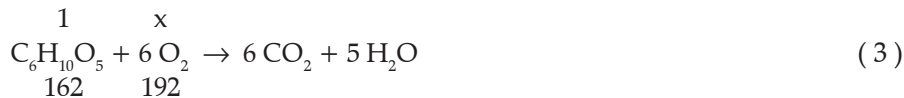


Perustuen edellä oletettuun lietteen koostumukseen hapentarve voidaan määrittää lähtöaineiden moolimassojen avulla seuraavasti:

$$x = \frac{400}{201} = 1,990 \text{ kg O}_2/\text{kg lietteen BVS},$$

jossa BVS = biologisesti hajoava haihtuva kiintoaine.

Selluloosapitoiset aineet hajoavat seuraavan reaktioyhtälön mukaan (Haug, 1986):



Tämän perusteella selluloosapitoisten aineiden hapentarve voidaan arvioida seuraavalla tavalla:

$$x = \frac{192}{162} = 1,185 \text{ kg O}_2/\text{kg aineosan BVS}$$

Hajottajamikrobit pystyvät lisääntymään ja toimimaan ainoastaan vesikerroksessa, joka on kompostoitavan kuiva-aineen pinnalla. Aerobisen prosessin edellyttämä hapensaanti ja hiilidioksidin poistuminen asettavat ylärajan kosteuspitoisuudelle, sillä käsiteltävään massa on jäätävä myös ilmahuokosia. Lisäksi liiallinen kosteus estää massan lämpiämisen, sillä veden haihduttaminen vaatii paljon energiaa.

Massan rakenne vaikuttaa siihen, millainen kosteuspitoisuus on kompostointiprosessin hapensaannin kannalta hyvä (Hänninen ym., 1992). Laittevalmistajat pitävät optimaalisena lähtökuiva-ainepitoisuutena lietettä käsiteltäessä 30 – 40 %:a.

Kompostoinnin yhteydessä on otettava huomioon myös seoksen happamuus eli pH-arvo. Optimi-pH-alue useille bakteereille on 6,0 – 7,5, kun taas sienille se on 5,5 – 8,0 (Golueke, 1991).

Kompostoinnin tehokkuuden varmistamiseksi lämpötilan tulisi olla mahdollisimman monen mikrobin optimaalialueella; toisaalta lämpötila kompostissa nousee mikrobien aerobisen hengityksen ansiosta (Hänninen ym., 1992).

Reaktorikompostoinnissa massa on tarvittaessa esilämmitettävä prosessin käynnistämistä varten, joissain tapauksissa noin 30 °C:een (Jyrkinen & Peltomaa, 1996). Lämpötila nousee kuuma- eli termofiilivaiheessa parhaimmillaan noin 60 – 70 °C:een. Termofiilivaiheessa tapahtuu suurin osa reaktioista ja massan stabiloituminen. Tämän jälkeen massa jäähdytetään noin 40 °C:een. Vettä haihtuu massasta termofiilivaiheesta ja jonkin verran jäähdytysvaiheesta. Patogeenisten organismien tuhoamisen kannalta on tarpeellista pitää lämpötila korkealla riittävän kauan, yleensä muutamia vuorokausia. Lämpötilaa säädellään ilmastuksen avulla.

Alla on esitetty yhteenvedona biotermiselle kuivaukselle optimaaliset arvot ja vastaavat lietteiden tyypilliset arvot.

Taulukko 8. Lietteiden ominaisuudet biokuivauksessa verrattuna optimiarvoihin (Haug, 1993, Arrougè ym., 1999).

Parametri	Optimiväli	Primääriliete	Sekaliete
C/N-suhde	20 – 40	60 – 160	20 – 28
Lähtökuiva-ainepitoisuus (%)	30 – 40	30 – 40	20 – 35
pH	5,5 – 9	7,4	7
Huokoisuus (%)	30 – 36	kuohkeuttaa	riittämätön

4.4.3 Laitteistotyypit

Kompostointireaktorit voidaan toimintaperiaatteensa perusteella jakaa jatkuvatoimisiin ja panostoitimiin. Näistä jatkuvatoimisia käytetään yleisimmin käytännön sovellutuksissa.

Jatkuvatoimiset kompostointireaktorit toimivat joko vaakaa- tai pystysuoran massavirtauksen periaatteella. Vaakasuoran massavirtauksen reaktoreita ovat usein lievästi kallellaan olevat rumpureaktorit sekä täysin vaakasuorat tunneli- ja kaukaloreaktorit, kun taas siilo- ja tornireaktorit ovat esimerkkejä pystysuoran massavirtauksen reaktoreista. Reaktorit voidaan edelleen luokitella sekoitustavan mukaan jatkuvasti sekoitaviin ja määräajoin sekoitaviin reaktoreihin. (Hänninen ym., 1992, Paatero, 1984)

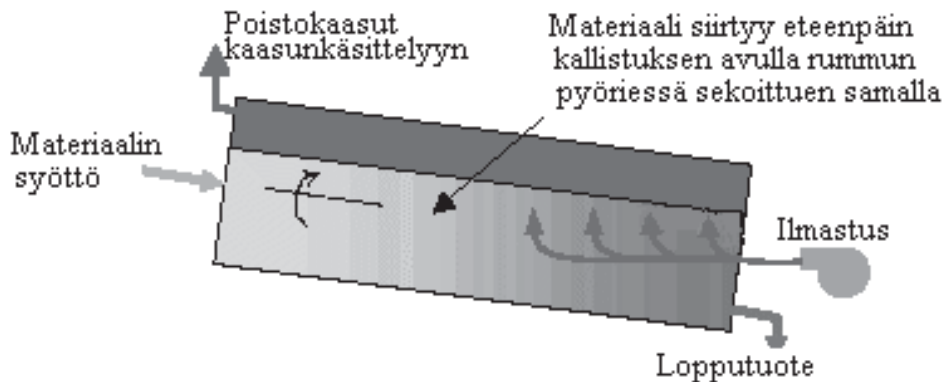
Seuraavassa on kuvailtu erikseen Suomessa yleisimmin käytettyjä reaktori-malleja eli rumpu- ja tunnelireaktoria sekä pilotvaiheessa olevaa rakeistavaan kompostointiin perustuvaa siiloreaktoria.

4.4.3.1 Rumpureaktorit

Pyörivät rumpureaktorit voidaan Haugin (1993) mukaan jaotella kiintoaineen virtausmallin mukaan. Dispergoitun eli hajautetun virtauksen mallissa materiaalin syöttö ja poisto ovat rummun vastakkaisissa päissä. Säiliössä vallitsee tulppavirtausolosuhteet lukuun ottamatta pientä pyörimisliikkeestä johtuvaa hajoamista.

Materiaalin liian nopean läpimenon estämiseksi rumpu voidaan jakaa peräkkäisiin lokeroihin. Yleisin sovellutus on kompostituotteen purku viimeisestä lokeroista. Sen jälkeen jokainen lokero puretaan seuraavaan. Syöttömateriaali lisätään ensimmäiseen lokeroon sen jälkeen kun se on tyhjennetty. Siten syöttö tapahtuu jaksoittaisesti ja reaktoria voidaan kuvata usean hyvin hoidetun lokeron sarjana.

Kolmannessa mallissa pyritään sekoittamaan rummun sisältö täydellisesti homogeenisen kompostointimassan aikaansaamiseksi. Se edellyttää materiaalin syöttöä ja purkua tasaisesti koko reaktorin leveydeltä. Tätä mallia ei käytetä kovin yleisesti johtuen massan syötön ja poiston monimutkaisuuden sekä todellisen täysin sekoitetun systeemin rajallisista eduista.



Kuva 9. Rumpureaktorin toimintaperiaate (Haug, 1993).

Rumpureaktoreilla on useita valmistajia niin Suomessa kuin muualla Euroopassa. Seuraavassa on esitelty Rumen Oy:n rumpukompostointilaitoksen toimintaa valmistajan antamien tietojen perusteella.

Rumen-rumpureaktori edustaa monessa suhteessa tyypillistä rumpureaktoria. Kallistamaton ja yksikammioinen rumpu pyörii noin 4 – 5 kierrosta tunnissa. Pyörityskoneisto on joko hydraulinen tai ketjumekanismi, ja sen keskimääräinen tehontarve on noin 5 kW rumpua kohti, vuodessa siis noin 42 MWh/rumpu. Rummun tilavuus on 160 m³, josta täyttöaste on noin 60 % eli 96 m³. Suositeltava mitoitussviipymä rummussa on noin 4 vuorokautta. Rummun materiaalina on hiiliteräs,

ja sisäpinta on epoksikäsitelty. Eristyksenä on noin 60 – 80 mm:n polyuretaanikerros, ja lämpöhäviöt hallitilaan ovat noin 2 kW rummussa olevaa massakuutiota kohti.

Biokuivattava lietteen ja tukiaineen seos syötetään sisälle rummun päästä. Rumpuja pyöritetään hitaasti, noin 3 – 5 kierrosta tunnissa, jolloin massa sekoittuu, ilmastuu ja kuohkeutuu. Rummun vapaa tila tuuletetaan rummun keskiakselin kautta syötettävällä ilmalla. Akselin kautta johdetaan myös poistokaasut hajunpoistoon. Sekoituksen jälkeen rumpujen pyöriminen pysäytetään. Varsinaiset ilmastussuuttimet ovat rummun vaipassa, ja rummun ollessa pysähtyneenä kiinnittyvät alapuolelle jääneet suuttimet ilmansyöttösiltaan, jonka jälkeen niiden kautta puhalletaan ilmastusilma massan läpi.

Rummuissa massa viipyy noin 3 – 4 vuorokautta, jona aikana lämpötila nousee yli 60 °C:een ja orgaanisesta aineesta kuluu noin 4 – 5 %. Kuiva-ainepitoisuus ei vielä merkittävästi nouse, koska syntyvä lämpö käytetään massan lämpötilan nostoon. Rummun toisesta päästä poistuva massa on homogeenista, ja ravinteita, kosteutta ja mikrobeja on massassa tasaisesti jakautuneena.

Rummuista poistuva massa kuljetetaan ruuvikuljettimella jälkikuivaustunneleihin tai –siiloihin, joissa massaa ilmastetaan happirikkaalla ilmalla massan stabiloimiseksi ja kuivaamiseksi. Lämmön kehitys on tässä vaiheessa yhä voimakasta, ja kosteutta siirtyy ilmapirran mukaan. Tunnelivaihe kannattaa lopettaa jäähdytykseen kuivalla ilmalla, jolloin mikrobin toiminta päättyy. Lopputuloksena on noin 48 – 52 %:n kuiva-ainepitoisuus. Tunnelivaihe kestää noin 1 – 2 viikkoa, ja sen jälkeen massa on valmis vietäväksi voimalaitokselle polttoon. Kokonaisviipymä on siten noin 1,5 – 2,5 viikkoa. Orgaaninen aines vähenee biokuivauksessa yhteensä noin 4 – 15 %.

Taulukossa 9 on esitetty Rumen Oy:n biokuivauslaitoksen teknisiä tietoja. Luvut perustuvat osittain ympäristöklusteriohjelmaan kuuluneessa tutkimusprojektissa mukana olleiden tehtaiden budjettitarjoukseen.

Taulukko 9. Rumen Oy:n biokuivauslaitoksen tekniset tiedot (Liimatainen, 2000, valmistajan tiedot).

Rumpujen lukumäärä metsäteollisuuden mittakaavassa yleensä	9 – 16
Viipymäaika reaktorissa	3 – 4 vrk
Viipymäaika tunnelivaiheessa	n. 7 – 14 vrk
Liete-kuori seoksen lähtökuiva-ainepitoisuus	n. 33 – 35 %
Biokuivatun lietepolttoaineen loppukuiva-ainepitoisuus	n. 48 – 50 %
Polttoaineen (sis. kuoren) tyyppillinen tehollinen lämpöarvo	6,6 – 7,0 MJ/kg
Orgaanisen aineen häviö	4 – 15 %

Laitoksen suurimpia sähkönkuluttajia ovat lähes jatkuvasti toimivat ilmastuspuhaltimet, syöttökuljettimet, sekoittimet, rummun pyörityskoneisto ja purkukuljettimet.

Hajunkäsittelyssä poistoilmasta ensin neutraloidaan ammoniakki happamalla vesipesulla täytekappalepesurissa. Pesuvettä kierrätetään, ja noin kerran vuodessa vedet johdetaan jätevedenpuhdistamolle ja korvataan uudella kiertovedellä. Pesurin jälkeen ilma on jo melko hajutonta, mutta pesuria seuraa normaalisti vielä biosuodatin.

4.4.3.2 Tunnelireaktorit

Tunnelireaktori on poikkileikkaukseltaan suorakulmainen ja sen tilavuus voi vaihdella 10 ja 500 m³:n välillä. Suuremman kokoluokan reaktorit on yleensä valmistettu lujitetusta betonista ja pienikokoisemmat teräksestä (Haug, 1993).

Yleisimmin käytetyssä mallissa käytetään edestakaisin liikkuvaa työntölevyä joka on sijoitettu tunnelin syöttöpäähän. Kun levy vedetään ulos, päivittäinen lasti syöttömateriaalia lisätään syntyneeseen tyhjiin tilaan. Kun syöttökammio on täynnä, työntölevyä työnnetään hydraulisesti eteenpäin, jolloin reaktorin sisään työnnetään uutta materiaalia ja samalla saadaan valmiita kompostia reaktorin toisesta päästä. Sisäänsyöttövaihe kestää noin kaksi minuuttia ja kerralla syötetään 1–8 m³ raakaainetta. Levy siirtyy jokaisessa puristuksessa 0,5 m:n matkan ja palaa sen jälkeen alkuasentoonsa. (Haug, 1993, BAV, 1991)

Ilmaa voidaan syöttää ja kaasuja voidaan poistaa koko reaktorin leveydeltä. Ilmaa puhalletaan myös reaktorin alkupäästä paineella ja imetään loppupäästä. Käytännössä yhtä jätekuutiota kohti tarvitaan noin 50 m³ ilmaa. Tunnelin loppupää on avoin, hieman ennen loppua on levy, joka estää prosessihöyryjen ja ilman karkaamisen reaktorista hallitsemattomasti. (BAV, 1991, Kiiskinen, 1984)

Tällä hetkellä merkittävin tunnelireaktoreiden toimittaja Suomessa on Vapo Oy Biotech. Tämän valmistajan antamien tietojen mukaan laitos sisältää useita vierekkäin ryhmiteltyjä panosperiaatteella toimivia tunnelireaktoreita, joiden viipymäaika reaktorissa on noin kymmenen vuorokautta. Tunnelit ovat teräsbetonirakenteisia ja liukuovien avulla suljettavia.

Reaktorivaiheessa massan läpi puhalletaan erityisen ilmastuslattian kautta kuivauksen kannalta riittävä määrä ilmaa, kymmeniä kuutioita yhtä lietetonna kohti tunnissa. Tunneliin tulee lämpöenergiaa käsiteltävästä lietemassasta sekä tuloilmassa, johon on siirretty osa tunnelista lähtevän poistoilman lämpöenergiasta, ja lisäksi käytetään kiertoilmajärjestelmiä hyödyntämään poistoilman lämpöä. Prosessi kiihtyy noin 0,5 vuorokauden kuluessa 55 °C:n tavoitelämpötilaan, ja käynnistymistä nopeutetaan muista tunneleista otetulla kierrätysilman lämmöllä.

Energiantuotantovaiheessa, joka kestää 5–6 vuorokautta, kompostoituminen hajottaa biolietteen solumassan ja vapauttaa solunsisäistä vettä. Liette muokkautuu polttoaineeksi ja kuiva-ainepitoisuus kasvaa. Syntyvät hajukaasut johdetaan puhdistettaviksi. Tämän vaiheen jälkeen seuraa kuivausvaihe, jossa lietepolttoaine ajetaan haluttuun loppukuiva-ainepitoisuuden suurten ilmamäärien avulla. Lämpöä otetaan tuloilmaan yhden tai useamman reaktorin poistoilmasta lämmönvaihtimen avulla. Kuivattu massa jäähdytetään noin 1 vuorokauden aikana ympäristön lämpötilaan, jonka jälkeen stabiloitunut ja hajuton polttoaine poistetaan ja joko kuljetetaan suoraan polttoon tai varastoidaan tilapäisesti esimerkiksi noin 1–2 viikon ajan. Jälkivarasto toimii laadun tasaajana sekä puskurina kattilalaitokseen päin. Lietteen kokonaisviipymäaika on siis noin 10–20 vuorokautta.

Tunnelilaitteistolla on testattu muun muassa erään paperitehtaan sekalietteen biokuivausta. Kuiva-ainepitoisuus nousi noin 55 %:iin tavoitellussa ajassa.

Tunnelikuivauslaitteiston teknisiä tietoja on lueteltu taulukossa 10. Tiedot pohjautuvat osittain eräissä tutkimusprojektissa mukana olleiden tehtaiden budjettitarjousmitoitukseen.

Taulukko 10. Vapo Oy:n biokuivauslaitoksen tekniset tiedot (Liimatainen, 2000, valmistajan tiedot).

Reaktoreiden lukumäärä metsäteollisuuden mittakaavassa	n. 10–12
Viipymäaika reaktorissa	n. 10 vrk
Viipymäaika jälkivarastoinnissa	n. 0–14 vrk
Lietekuori seoksen lähtökuiva-ainepitoisuus	n. 33–35 %
Biokuivatun polttoaineen loppukuiva-ainepitoisuus	n. 55 %
Polttoaineen (sis. kuoren) tyypillinen alempi lämpöarvo	n. 7,0 MJ/kg
Orgaanisen aineen häviö	n. 10–20 %

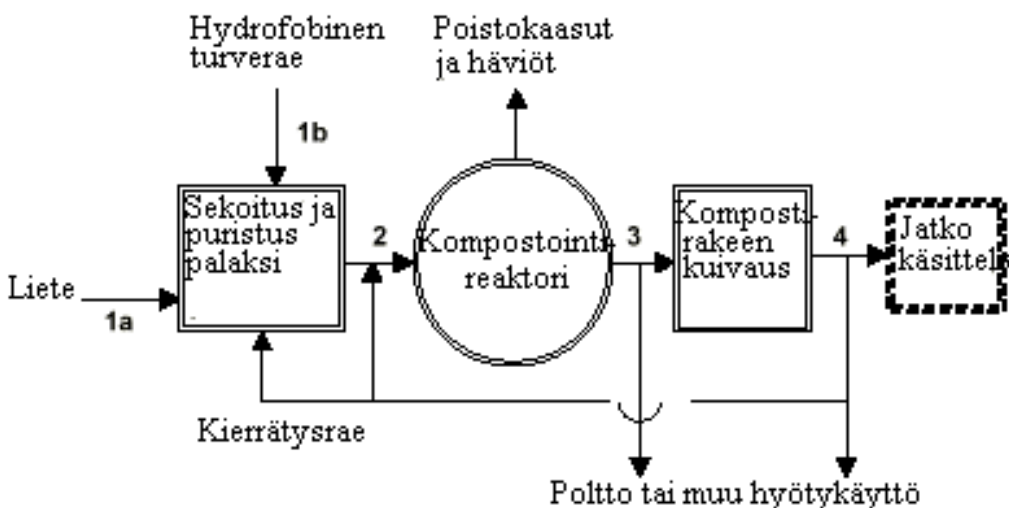
Siikin (1999) mukaan prosessista tulevan poistoilman puhdistamiseen käytetään vesipesuria ja sen jälkeistä biosuodatinta. Massasta suotautuvat vedet puolestaan johdetaan biokuivauksesta suoraan jätevedenpuhdistamolle.

4.4.3.3 Rakeistava kompostointi

Oy Eco Brahe Ltd:n patentoima käsittelymenetelmä soveltuu monenlaisille biologisesti hajoaville materiaaleille, joiden kuiva-ainepitoisuus on vähintään noin 15 %. Se hyödyntää hydrofobiseksi eli vettä hylkiväksi käsiteltyä turvetta. Turverakeen pinta toimii kompostoinnissa mikrobien kasvualustana eli biofilminä. Menetelmällä voidaan käsitellä myös metsäteollisuuden jätevedenpuhdistamoiden sekalietteitä sekä biolietteitä. Menetelmällä voidaan tuottaa perinteisen hygieenisen kompostimullan lisäksi lannoitteita, ympäristörakeita sekä biopolttainetta. Laitteisto on toistaiseksi pilot-asteella.

Menetelmään sisältyy eri vaihtoehtoja, mutta yleensä käsittelylaitos jakautuu neljään osakokonaisuuteen, jotka on lueteltu alla sekä esitetty kuvassa 10.

1. Kompostoitavien materiaalien ja seosaineiden esikäsitely ja sekoitus
2. Kompostiseoksen puristaminen palaksi
3. Kompostointi reaktoreissa
4. Tuotetun rakeen jälkikäsitely, kierrätys ja poistetun rakeen varastointi.



Kuva 10. Rakeistetun kompostoinnin laitteisto (Eco Brahe, 2000).

Kuvassa 10 esitetty kompostirakeen kuivausyksikkö on prosessin kannalta keskeinen, sillä siinä menetelmän käyttämä rae hydrofobisoidaan. Kuivausyksikkö on oltava mukana myös biotermistä kuivausta suunniteltaessa, mutta muun muassa tämän vuoksi kompostointireaktoria ei välttämättä lainkaan tarvita biokuivauksessa. Siten rakeistusmenetelmä voi olla järkevintä toteuttaa puhtaana termisenä kuivauksena.

4.5 Lietteen stabilointi

Lietteen stabiloinnin tarkoituksena on hygieenisten haittojen ja hajuhaittojen ehkäiseminen. Tähän pyritään seuraavilla tavoilla (Tchobanoglous ja Burton, 1991):

- haihtuvien aineiden pitoisuuden vähentämisellä,
- haihtuvan aineksen kemiallisella hapetuksella,
- tekemällä liete sopimattomaksi mikro-organismeille kemikaalien lisäyksellä, sekä
- käyttämällä lämpöä lietteen desinfiointiin tai sterilointiin.

Stabilointimenetelmiä ovat anaerobinen käsittely eli mädätys, aerobinen käsittely eli lahotus, kompostointi, kalkkistabilointi ja lämpökäsittely. Näistä viimeksi mainittu luokitellaan kuitenkin useimmiten kunnostusmenetelmäksi. Menetelmän valintaan vaikuttavat käsiteltävän lietteen laatu ja määrä, stabilointiprosessin yhdistäminen muihin käsittely-yksiköihin sekä lopputuotteen käyttötarkoitus.

4.5.1 Mädätys

Anaerobinen käsittely eli mädätys on yleisesti käytetty lietteenkäsittelymenetelmä. Puhdistamolietteen mädätyksessä syntyy humusta ja biokaasua. Syntyvän humuksen määrä on 30 - 40 % alkuperäisen lietteen painosta, ja biokaasun kertymä on 60 - 80 m³ käsiteltyä lietetonnia kohti. Puhdistamon koosta ja paikallisista olosuhteista riippuen tuotettu biokaasu voidaan käyttää joko pelkän lämmön tai sekä sähkön että lämmön tuotantoon. (Alakangas, 2000)

Mädätysprosessi suoritetaan yleensä mesofiilisessä lämpötilassa noin 30 – 38 °C:ssa. Myös termofiilinen mädätys on mahdollista, ja se suoritetaan 49 – 57 °C:ssa. Koska biokemiallisten reaktioiden nopeus kaksinkertaistuu 10 °C:n välein, termofiilinen mädätys tapahtuu huomattavasti nopeammin kuin mesofiilinen. Termofiilisen mädätyksen etuja ovat lisäksi parempi tehokkuus lietteenkäsittelylle, vedenpoistolle ja bakteerien tuhoamiselle. Haittoja ovat vastaavasti suurempi energiankulutus lämmityksessä, lieteveden heikompi laatu, hajut ja prosessin heikompi stabiilisuus. Näiden tekijöiden takia termofiilisen mädätyksen käyttö on rajoitettua. (Tchobanoglous ja Burton, 1991)

Normaali reaktioaika mädätyksessä on 20 päivää. Reaktioaikaa voidaan lyhentää käsittelemällä lietettä ultraäänellä. Laboratoriokokeissa on todettu merkittäviä reaktioaikojen lyhenemisiä. Hyviä käsittelytuloksia on saavutettu jopa kahdeksassa päivässä. Kaasun tuotto on ollut tasaista ja lopputuote stabiilia (Tiehm ym., 1997).

Mädätetyn lietteen erityispiirteitä ovat seuraavat tekijät (Vainio, 1999):

- liete on lämmintä, noin 35 °C, eikä sitä kannata johtaa välivarastoon jäähtymään,
- liete tuottaa kaasua välivarastossa, jolloin työsuojelu on otettava huomioon, sekä
- lietteen kuivausominaisuudet ovat muuttuneet.

Taulukossa 11 on esitetty Lohjan pilot-mädättämöllä tehdyissä kokeissa saatuja energiankulutuslukuja. Lietteen syöttönopeus oli 3,5 m³/d ja kaasuntuotanto 45 m³/d.

Taulukko II. Lohjan pilot-mädättämön energiankulutus (Suunnittelukeskus, 1986).

Laiteyksikkö	Tehontarve (kW)	Käyntiaika (h/d)	Energiankulutus (kWh/d)
Sekoitin	1,5	7,2	10,8
Kierrätyspumppu	2,2	8,0	17,6
Kiertovesipumppu	0,25	24,0	6,0
Syöttöpumppu	2,2	3,0	6,6
Poltin	0,25	13,0	3,3
Sähkövastukset	10,0	-	-
Yhteensä			44,3

Mädätyksen kaasuntuotanto tapahtuu seuraavan reaktioyhtälön mukaisesti (Tchobanoglous ym., 1993):



$$s = a - nw - m, \text{ ja}$$

$$r = c - ny - 2s.$$

Mädätysprosessissa ei synny ylimääräisiä kasvihuonekaasujen päästöjä, koska metaani ja hiilidioksidi kerätään talteen biokaasun muodossa. Koska biokaasulla voidaan korvata energianlähteenä fossiilisia polttoaineita, kasvihuonepäästöt lopulta pienenevät (Pipatti ym., 1996). Mädätyksessä syntyvän biokaasun talteenottoa ja energiahyötykäyttöä on käsitelty erikseen tämän raportin luvussa 5.3.

4.5.2 Aumakompostointi

Aumakompostointi on entistä enemmän nousemassa korvaajaksi lietteiden kaatopaikkasijoitukselle. Tähän on johtanut ennen kaikkea ympäristölupamääräykset, joissa vaaditaan lopettamaan kaatopaikkasijoitus määräaikaan mennessä ja korvaamaan se aumassa suoritettavalla kompostoinnilla.

Kompostointiaumat sijoitetaan yleensä tuotantolaitoksen kaatopaikan yhteyteen tai sen läheisyyteen. Tuotteena saatavaa massaa voidaan käyttää kaatopaikan pintarakenteiden kasvukerroksissa, mutta tarve maisemointiin on hyvin jaksottaista.

Jätevesiliete ei sovellu sellaisenaan kompostoitavaksi, koska märkä liete on tiivistä ja kokoonpainuvaa. Kaasunvaihto ja kompostoituminen on mahdotonta tällaisessa massassa. Kuitenkin lietettä voidaan sopivan kokoisissa erissä kompostoida sekoitettuna muiden vähemmän vettä sisältävien biohajoavien aineiden kanssa. Kun lietteen kuiva-ainepitoisuus on saatu nostettua yli 15 %:n, sitä voidaan hyvin kompostoida sekoitettuna etenkin puunkuoren tai jonkun muun tukiaineen kanssa, jolloin kompostoitavasta seoksesta saadaan huokoista (Coulomb, 1997).

Ennen kuin massa kootaan aumoihin, se hienonnetaan partikkelikooltaan noin 2,5 – 7,5 cm:n kokoiseksi ja kokonaiskosteus säädetään noin 50 – 60 %:n tasolle. Auma käännetään pari kertaa viikossa ja samalla lämpötila pidetään 55 °C:ssa tai vähän sen yläpuolella. Kääntämisen yhteydessä vapautuu usein voimakkaita hajuja. Tämä vaihe kestää 3 – 4 viikkoa, jonka jälkeen massa jälkikompostoidaan toisen 3 – 4 viikon ajan ilman kääntöjä. (Tchobanoglous ym., 1993)

Biolan Oy:n (1999) esittelemässä tasokompostointiratkaisussa kompostoitava materiaali levitetään kentälle yhtenäiseksi noin 1,5 metrin paksuiseksi "patjaksi". Näin samalla pinta-alalla voidaan käsitellä olennaisesti suurempia massoja kuin

perinteisellä aumakompostointitekniikalla. Tällä menetelmällä voidaan valmistajan mukaan vähentää aumakompostoinnille tyypillisten valumavesien sekä hajuja pölyhaittojen syntymistä.

4.5.3 Kalkkistabilointi

Kalkkistabiloinnissa lietettä käsitellään joko sammutetulla kalkilla (Ca(OH)₂) tai sammuttamattomalla kalkilla (CaO) siten, että lietteen pH > 11 vähintään 14 vuorokauden ajan +20 °C:ssa. Kalkkistabilointi pysäyttää lietteessä olevien mikroorganismien elintoiminnot, minkä vuoksi kalkkistabiloitua lietettä ei voida enää kompostoida. Stabilointiprosessissa lopputuotteen määrä lisääntyy 20 – 30 %. Kalkkistabiloitu liete soveltuu hyvin maatalouden käyttöön, jos lietteessä ei ole liikaa raskasmetalleja. Se ei kuitenkaan sovellu viherrakentamiseen (Runeberg, 1993).

Kalkkistabiloinnissa on kaksi vaihtoehtoista menetelmää: esikäsitely, joka suoritetaan ennen vedenpoistoa, sekä jälkikäsitely, joka suoritetaan vedenpoiston jälkeen (Tchobanoglous ja Burton, 1991).

4.5.4 Lahotus

Aerobisessa käsittelyprosessissa eli lahotuksessa lietteen orgaaniset ainekset hajoavat aerobisissa eli hapekkaissa olosuhteissa. Hajotustoiminnassa vapautuva energia lämmittää lietteen termofiiliselle 45 – 55 °C:n alueelle. Lahotukseen tuleva liete on kuivaamatonta ja sen kuiva-ainepitoisuus on noin 3 – 8 %. Lahotuksessa lietteen määrä vähenee noin 20 – 30 %. Prosessista lähtevää lämmintä lietettä voidaan käyttää tulevan lietteen esilämmittämiseen taikka veden tai prosessitilojen lämmitykseen. Energiaa lahotuksessa kuluu lietteen ilmastukseen (Runeberg, 1993).

Samoin kuin aktiivilieteprosessissa, myös lahotuksessa solumassa hapettuu aerobisesti hiilidioksidiksi, vedeksi ja ammoniakiksi. Ammoniakki hapettuu edelleen nitraatiksi. Lahotusprosessia voidaan kuvata seuraavalla reaktioyhtälöllä (Tchobanoglous ja Burton, 1991):



Lahotusta voidaan käyttää erilaisten biolietejakeiden sekä biolietteen tai suodolietteen ja primäärilietteen sekoitusten käsittelyyn.

Käsittelyn jätevesilietteen energiahyötykäyttö

5

Energiantuotto on yleisin hyötykäyttötapa metsäteollisuuslaitosten jätevesilietteilte. Tämä johtuu pitkälti käytännön syistä; toisaalta energiahyötykäytön tulisi jätelain periaatteiden mukaan olla vasta toissijainen jätteen hyödyntämistapa materiaali-hyötykäytön ollessa etusijalla.

Lietteen sisältämä energia hyödynnetään tavallisimmin polttamalla se muun lähinnä puuperäisen jätteen seassa kuorikattilassa. Lisäksi lähinnä biolietettä on mahdollista polttaa mustalipeän seassa soodakattilassa.

Lietettä voidaan myös kaasuttaa muiden kiinteiden polttoaineiden ohella ja samalla hyödyntää saatavan kaasun energiasisältö. Kaasun poltolla saavutetaan eräitä etuja kiinteän polttoaineen käyttöön verrattuna. Esimerkiksi biomassan käyttöä polttoaineena voidaan merkittävästi edistää.

Mädätyksestä voidaan ottaa talteen siinä syntyvä biokaasu, jota voidaan käyttää esimerkiksi mädättämön lämmittämiseen. Myös kaatopaikoilta voidaan erillisen keräyslaitteiston avulla ottaa talteen orgaanisen aineen hajotessa syntyvä biokaasu.

Lietteen ominaisuuksia liittyen muun muassa poltettavuuteen on esitelty tarkemmin tämän raportin osiossa 2.2.

5.1 Lietteen poltto

Metsäteollisuuslaitoksilla jätevesilietteen poltto on sikäli käytännöllinen vaihtoehto, että polttolaitos sijaitsee yleensä lähellä lietteenkäsittelylaitosta ja poltosta saatava energia voidaan käyttää välittömästi hyväksi tuotantoprosesseissa. Tällä hetkellä metsäteollisuuden lietteistä poltetaan yli puolet, mikä tarkoittaa kuiva-aineena 300 000 – 400 000 t/a.

Lietteenpolton etuna voidaan pitää muun muassa sitä, että lietteen energiasisältö saadaan tietyin edellytyksin hyödyksi. Tärkein merkitys on kuitenkin sillä, että poltto on helppo ja nopea tapa hävittää liete ja tuhota samalla sen sisältämät patogeenit. Toisaalta polttaminen on jätelain (1072/93) pääperiaatteen vastainen käsittelymenetelmä, sillä kyseisen lain nojalla pyritään ensisijaisesti jätteen sisältämän aineen hyödyntämiseen ja vasta toissijaisesti energiasisällön hyödyntämiseen.

Lietteenpoltolla ei läheskään aina päästä nettoenergiatyötyyn, joten sillä ei ole käytännössä merkitystä tuotantolaitosten energiantuotannossa. Siten polton todellinen merkitys on kaatopaikalle läjitettävän lietemäärän vähentämisessä. Polton ansiosta lietteen tilavuus pienenee 15 – 30 %:iin alkuperäisestä.

Poltossa syntyy jonkin verran NO_x -, SO_2 - ja hiukkaspäästöjä, jotka kuitenkin ovat hallittavissa puhdistustekniikoiden avulla. Lisäksi poltossa syntyvään tuhkaan jää raskasmetalleja, jotka vaikeuttavat tuhkan hyödyntämistä.

Metsäteollisuuslaitosten lietteen poltolla ymmärretään käytännössä yleensä polttoa kuorikattilassa. Viime aikoina on kuitenkin noussut entistä varteenotettavammaksi vaihtoehdoksi biolietteen poltto soodakattilassa. Tässä osiossa on käsitelty molempia vaihtoehtoja.

5.1.1 Poltto kuorikattilassa

Metsäteollisuuslietteitä poltetaan yleensä kuorikattiloissa kuoren ja hakkeen sekä usein myös turpeen seassa. Kattiloissa voidaan polttaa sekä sekalietettä että puhdasta kuitulietettä. Lietteen osuus massavirrasta on yleensä 5 – 10 %. Lietteen ta-sainen sekoittuminen kuoren joukkoon on tärkeää polton onnistumisen kannalta.

Polton onnistumiselle on edellytyksenä riittävä kuiva-ainepitoisuus ja lämpö-arvo. Lisäksi tuhkapitoisuus vaikuttaa poltettavuuteen. Pipatin ym. (1996) mukaan liete voidaan polttaa ilman tukipolttoaineita vasta, jos kuiva-ainepitoisuus on yli 35 – 45 % ja lietteen sisältämän kuiva-aineen lämpöarvo on luokkaa 8 – 14 MJ/kg. Koko polttoainejakeen lämpöarvon tulisi olla vähintään tasolla 5 MJ/kg, jotta palamista voidaan pitää yllä.

Tavallisimmilla vedenerotusmenetelmillä päästään parhaimmillaan noin 45 – 50 %:n kuiva-ainepitoisuuteen, jolloin palaminen onnistuu ilman tukiainetta. Esiselkeytyksestä tuleville primäärilietteilte on selvästi helpompaa aikaansaada polttoon tarvittava kuiva-ainepitoisuus kuin ilmastusaltaalta tuleville biolietteilte. Biolietteen osuuden noustessa sekalietteen vedenpoisto-ominaisuudet heikentyvät, minkä vuoksi sekalieteseoksen kiintoainepitoisuus jää entistä alhaisemmaksi. Kosteuspitoisuuden samoin kuin lietemäärien kasvaessa lietteenpolton energiataloudellinen kannattavuus saattaa joutua kyseenalaiseksi. Erään Liimataisen (2000) tutkimuksen kohteena olleen tehtaan antamien tietojen mukaan suurimpien lietemäärien syntyessä joudutaan usein turvautumaan esimerkiksi maakaasuun apupolttoaineena, mikä lisää polton kustannuksia huomattavasti.

Polttomenetelmänä kuorikattiloissa käytetään nykyään useimmiten leijukerros-polttoa, joka on pitkälti korvannut vanhan arinapolton. Leijukerros poltto soveltuu näistä vaihtoehdoista paremmin puristetun lietteen sekä yleensä muunkin biomas-san ja jätemateriaalin polttoon. Tämän vuoksi sellu- ja paperiteollisuuden voimantuotanto on ollut edelläkävijänä leijukerros tekniikan kehittämisessä. Kuorikattiloiden lämpöteho vaihtelee välillä 50 - 300 MW. Seuraavassa on kuvattu näiden kahden polttotekniikan pääperiaatteita sekä lietteenpolton vaikutuksia kuorikattilan toimintaan.

5.1.1.1 Leijukerros poltto

Leijukerros poltto (FBC) perustuu kattilan pohjalla olevan hiekkakerroksen eli petimateriaalin leijuttamiseen pedin alta puhallettavan ilman avulla. Petimateriaalissa tapahtuu muutoksia puhallettavan ilmamäärän kasvaessa. Nopeutettaessa ilmamäärää kasvaa hiekkakerroksen aikaansaama painehäviö. Hiekkakerros alkaa il-mavirtauksen vaikutuksesta leijua ja lisättäessä edelleen il-mavirtauksen nopeutta leijuminen voimistuu ja samalla tapahtuu pedin laajenemista. Pedin painehäviö ei tämän jälkeen enää kasva vaan se pysyy leijukerroksen hydrostaattisen paineen suuruisena. Tällaisen kuplivan leijukerroksen omaavia kattiloita nimitetään *kupla-petikattiloiksi* tai *BFB-kattiloiksi*. (Huhtinen ym., 1997)

Pedin alta puhallettavan primääri-ilman lisäksi pedin päälle tuodaan sekundaari-ilmaa, jonka tehtävänä on huolehtia palamistuloksesta. Polttoaine syötetään kattilasiilosta sulkusyöttimelle, josta syötin pudottaa polttoaineen pudotusputken ja syöttöputkien kautta petiin. Ennen pääpolttoaineen syöttöä peti on lämmitettävä öljy- tai kaasulämmitteisillä sytytyspolttimilla 500 – 600 °C:een turvallisen sytytymisen varmistamiseksi.

Lietteiden kaltaisia kosteita ja tuhkapitoisia polttoaineita poltettaessa petilämpötilan pitäminen oikealla tasolla saattaa aiheuttaa ongelmia. Pedin lämpötila on pidettävä riittävän alhaisena, jotta tuhkan sulaminen tai pehmeneminen estyy. Pedin lämpötilaa pidetään noin 100 °C pehmenemispisteen alapuolella. Pehmenemispiste on kotimaisilla polttoaineilla noin 900 °C. Petilämpötila on tyyppillisesti 700 – 950 °C ja lämpötila tulipesässä on 50 – 200 °C tätä korkeampi. (Kinni ja Remes, 1999)

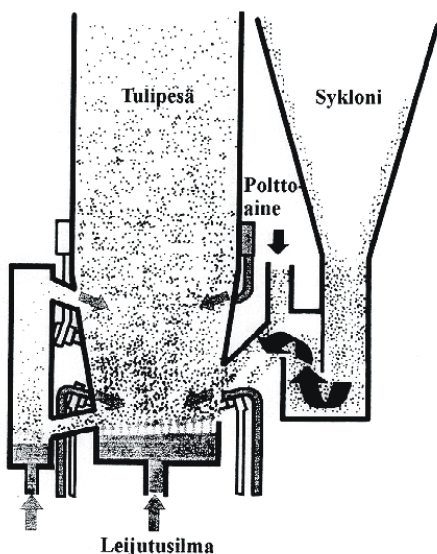
Mikäli polttoaine on suunniteltua kuivempaa tai korkeamman lämpöarvon omaavaa, voidaan petiä jäähdyttää muun muassa vesiruiskutuksella tai savukaasujen kierrätyksellä. Vastaavasti jos käytettävä polttoaine on hyvin märkää ja sen lämpöarvo alhainen, kuten runsaasti biolietettä sisältävän jakeen tapauksessa yleensä on, voidaan leijutila varustaa pedin sisäisillä kaasumaisen polttoaineen ruiskutuslaitteilla eli lansseilla. Petilanssit ovat pedin yläpuolelle sijoitettuja käynnistyspolttimia tehokkaampia riittävän petilämpötilan ylläpidossa, sillä niitä käytettäessä lisäpolttoaine palaa pedin sisällä eikä sen päällä.

Mikäli leijutusnopeutta kasvatetaan hiekkapartikkelien lento- ja lähtönopeutta suuremmaksi, hiukkaset alkavat kulkeutua ilmavirran mukana koko tulipesän leveydellä. Tällaista leijutustapaa käyttäviä kattiloita kutsutaan *kiertopetikattiloiksi* tai *CFB-kattiloiksi*. Kiertopetikattiloissa savukaasujen mukana kulkevat hiukkaset erotetaan savukaasuista syklonissa ja palautetaan takaisin tulipesään. Käytettävä petimateriaali on hienojakoisempaa kuin kuplapetikattilassa.

Kiertopetikattiloissa palamisilma tuodaan kattilaan leijutusilmana ja arinan yläpuolelta tuotavana sekundääri-ilmana. Kattilan käynnistämistä ja ylösajoa varten kattila on varustettu samanlaisin käynnistyspolttimin kuin kuplapetikattilakin. Polttoaineen syöttö tapahtuu joko kattilan etuseinän kautta tai sekoittamalla polttoaine syklonista palaavan hiekan joukkoon syklonista kattilaan menevän lasakuputken kohdalta. (Kara, 1993, Huhtinen ym., 1997)

Näistä kahdesta menetelmästä kuplapetimenetelmää pidetään käyttökelpoisempänä biopolttoaineen poltossa. Tämä johtuu ennen kaikkea tulipesän alaosaan vapautuvasta lämmöstä, jonka ansiosta kuumaan hiekkaan sekoittuva polttoaine kuivaa petissä nopeasti ja lämpenee pian syttymislämpötilaansa. Toisaalta kiertopetipolton etuina on mainittu mahdollisuus polttaa hyvällä hyötysuhteella myös huonolaatuisia, vähän haihtuvia aineita sisältäviä polttoaineita sekä pienet NO_x - ja CO -päästöt. Lisäksi rikinpoisto voidaan toteuttaa edullisesti kalkki-injektiolla.

Leijukerros poltto on yleisesti todettu tehokkaaksi, taloudelliseksi ja ympäristön kannalta edulliseksi polttotekniikaksi useille polttoaineille. Kuplapetikattiloita on markkinoilla 300 MWe:n ja kiertopetikattiloita aina 400 – 600 MWe:n kokoluokkaan asti. Kuplapetikattilat on todettu kannattavaksi ratkaisuksi etenkin pienen kapasiteetin omaavissa biomassaa ja jättepolttoaineita käyttävissä kattiloissa. Kiertopetikattiloissa pystytään vastaavasti polttamaan noin 70 erilaista polttoainetta joko erikseen tai sekapoltona. Uusilla kiertopetikonsepteilla, kuten Foster Wheeler Compact ja Kvaerner Pulping Cymic, uskotaan päästävän entistä kilpailukykyisempään, joustavampaan ja ympäristöystävällisempään alhaisen lämpöarvon omaavien polttoaineiden ja erilaisten jätteiden polttoon. (Alakangas, 1998)



Kuva 11. Kiertopetikattila (Cullichsen ja Fogelholm, 1999).

5.1.1.2 Arinapoltto

Arinapoltto on perinteisesti yleisesti käytetty polttomenetelmä myös metsäteollisuuslaitosten apukattiloissa. Viime vuosina sen merkitys on kuitenkin pienentynyt leijukerrosmenetelmän yleistyttyä.

Lietteen seospolttoon käytetään lähinnä kiinteitä tai mekaanisia viistoarinoita (Kara, 1993). Palaminen viistoarinalla tapahtuu kolmessa vaiheessa: arinan yläosassa polttoaine kuivaa, keskiosassa tapahtuu polttoaineiden pyrolyysi ja pyrolyysituotteiden palaminen sekä alaosassa jäännöshiilen lopullinen palaminen. Palamaton aines ja tuhka päätyvät arinalta pohjatuhkankäsittelyjärjestelmään. Palamisilma syötetään yleensä kahdessa, mutta joissain tapauksissa myös kolmessa vaiheessa. Primääri-ilma syötetään arinan alta, ja sekundääri- ja mahdollisella tertiääriilmalla poltetaan polttoainekerroksesta haihtuneet palamiskelpoiset kaasut. Palamisilman esilämmitys on erityisen tärkeää lietteiden kaltaisia kosteita polttoaineita poltettaessa savukaasuhäviöiden pienentämiseksi ja samalla palamisreaktioiden nopeuttamiseksi. (Raiko ym., 1995, Jagerlund, 1984)

Arinapoltossa on palamislämpötilan ja palamisajan pitäminen oikealla tasolla tärkeää palamisen onnistumiseksi. Polttoaineen kuiva-ainepitoisuuden laskeminen aiheuttaa palamisalueella lämpötilaputouksen neljännessä potenssissa, kun taas leijukerrosoltossa vastaava lämpötilan lasku tapahtuu ensimmäisessä potenssissa. Siten kattilahyötysuhde laskee huomattavasti polttoaineen laadun heikentyessä. Mikäli polttoaineen kuiva-ainepitoisuus pysyy riittävän korkeana ja tasaisena, arinakattila toimii moitteettomasti myös lietettä poltettaessa. (Kara, 1993)

5.1.1.3 Ilmapäästöjen synty ja hallinta kuorikattilassa

Massa- ja paperiteollisuuden BREF-dokumentissa (EIPPCB, 2000) on kuvattu yleisellä tasolla kuorikattilassa syntyvien ilmapäästöjen muodostumista ja esitelty eräitä vähennystekniikoita lähinnä NO_x-päästöille.

Koska pääpolttoaineena käytettävä kuori sisältää hyvin vähän rikkiä, jäävät SO₂-pitoisuudet pieniksi riippuen kuitenkin lisäpolttoaineen rikkipitoisuuksista. Kun kuoren kanssa poltetaan enemmän rikkiä sisältäviä polttoaineita, kuten lietteitä tai fossiilisia polttoaineita, alkalinen kuorituhka sitoo osan rikistä vähentäen näin päästöjä.

Kuorikattilassa myös typenoksidien päästöt ovat tavallista vähäisempiä alhaisen polttolämpötilan ansiosta. Päästötaaso on pelkkää kuorta poltettaessa tavalisesti 70 – 100 mg/MJ, mutta nousee jonkin verran käytettäessä enemmän typpeä sisältäviä polttoaineita. Ylimääräisen hapen syöttö lisää NO_x-päästöjä, mutta alhaisemmat happipitoisuudet lisäävät CO- ja VOC-määriä. Polttoteknisillä keinoilla ja/tai selektiivisellä ei-katalyyttisellä vähennystekniikalla eli SNCR-menetelmällä voidaan saavuttaa noin 30 – 50 %:n vähennys NO_x-päästöissä.

Seuraavassa taulukossa on esitetty eräitä ruotsalaisilta tuotantolaitoksilta kerätyt päästölukujen vaihtelut kaasumaiselle rikille, typen oksideille ja hiukkasille. Pienimmät NO_x-päästölukemat perustuvat optimoituihin poltto-olosuhteisiin ja/tai SNCR-menetelmän käyttöön ja alhaisimmat hiukkaspäästöluvut sähkösuodattimen käyttöön.

Taulukko 12. Kuorikattilan tyypillisiä ilmapäästöjä (EIPPCB, 2000).

Yksikkö	S	No _x	Hiukkaset
kg/t	0,0 – 40,1	0,3 – 0,7	0,1 – 1
mg/MJ	5 – 15	40 – 100	20 – 200

Eräs yleisesti käytetty polttotekninen ratkaisu kuorikattilan typenoksidipäästöjen vähentämiseksi on low-NO_x-polttimien käyttö. Tässä tekniikassa primääripolttoilma tuodaan polttimen läpi polttoaineen ja ilman seoksessa. Sekundääri- ja tertiääri-ilma syötetään erikseen, jotta saadaan ylläpidettyä sopiva suhde primääri-, sekundääri- ja tertiääri-ilmojen välillä palamisvyöhykkeellä vähän NO_x:ia tuottavan polton onnistumiseksi. Tarvittaessa voidaan palamisvyöhykkeen yläpuolelle tuoda lisäilmaa polton täydentämiseksi.

Monivaiheisen ilmansyötön tarkoituksena on polttaa polttoaine ilman ylimääräistä ilmaa jopa pelkistävässä olosuhteissa, jolloin poltossa ei ole riittävästi happea voimakkaaseen NO_x:in muodostukseen. Lisäksi palamislämpötila on pienempi kuin tavallisia polttimia käytettäessä, jolloin termisen NO_x:in syntyminen vähenee.

Low-NO_x-polttimia voidaan käyttää sekä olemassa olevissa että uusissa kattiloissa. Käyttökokemukset ovat olleet myönteisiä sekä uudemmissa että vanhemmissa kattilatyypeissä.

Polttoteknisten menetelmien lisäksi typenoksideja voidaan vähentää erityisillä erotustekniikoilla. Kuorikattiloissa sovelletaan ei-katalyyttistä SNCR-menetelmää ainakin eräillä ruotsalaisilla tuotantolaitoksilla. Tässä menetelmässä käytetään ureaa ((NH₂)₂CO) tai ammoniakkia (NH₃) typpimonoksidin pelkistämiseksi alkuainetypeksi. Ureaa käytettäessä reaktioyhtälö on seuraavanlainen:



Myös tätä tekniikkaa voidaan soveltaa sekä olemassa oleviin että uusiin kattiloihin. Olemassa olevissa kattiloissa on hankala saavuttaa optimaalisia palamisolosuhteita, jolloin potentiaalinen vähennysprosentti jää noin 40:een. Käytettävyyden on ollut yleensä hyvä, mutta joissain tapauksissa on urean syöttö aiheuttanut vaurioita kattilassa. Lisäksi nopeat kuormituksen vaihtelut saattavat aiheuttaa ongelmia.

5.1.2 Biolietteen poltto soodakattilassa

Kuten edellä on todettu, biolietteen osuuden kasvu sekalietteessä voi vaikeuttaa primääri- ja biolietteen yhteiskäsittelyä. Tällöin on usein kannattavaa käsitellä primääriliete ja bioliete erikseen.

Eräs merkittävä biolietteen erilliskäsittelyvaihtoehto on johtaa bioliete mustalipeän joukossa haihduttamon kautta soodakattilaan poltettavaksi. Tällöin biolietteen kuiva-aineen massavirta on noin 1 – 2 %:n luokkaa lipeän kuiva-aineen massavirrasta. Menetelmän avulla bioliete voidaan saada käytännössä täydellisesti hävitettyä. Suomessa menetelmää sovelletaan kattilavalmistajan antamien tietojen mukaan tällä hetkellä kahdessa sellutehtaassa. Primääriliete ei sovellu haihduttamossa käsiteltäväksi, koska siinä olevat kuidut haittaavat haihduttamon toimintaa. Siksi tämä menetelmä sopii ainoastaan biolietteen käsittelyyn.

Biolietteen poltto soodakattilassa edellyttää esikäsittelyä, jonka tarkoituksena on polton lämpötalouden parantaminen poistamalla biolietteestä vettä ensin mekaanisella erotuksella ja sen jälkeen haihduttamalla mustalipeähaihduttamossa. Haihduttamovaiheessa varsinaisen vedenhaihdutuksen lisäksi orgaanista ainesta hajotetaan lipeäkemikaalien avulla korkeissa lämpötiloissa.

Mekaanisella vedenerotuksella saadaan biolietteen kuiva-ainepitoisuus nousemaan 10 – 15 %:iin. Lisäksi sillä voidaan vähentää lietteen sisältämiä klooriyhdisteitä. Vedenerottimeksi soveltuu biolietteen ominaisuuksien vuoksi parhaiten linko, joka on käytössä molemmilla biolietteen lipeälinjakäsittelyä soveltavilla suomalaisilla tehtailla.

Biolietteen lipeälinjakäsittelyä edeltää esikäsittelylaitteisto, jossa lingottu bioliete sekoitetaan mustalipeän joukkoon ja käsitellään tietyssä lämpötilassa tietyn viipymäajan verran. Tuolloin liete sulautuu lipeään ennen haihdutusta.

Bioliete voidaan ajaa joko koko 7-vaiheisen haihduttamosarjan läpi tai vain väkevän pään läpi. Haihduttamon alkupään kapasiteetin rajallisuuden vuoksi ja tukkeumien välttämiseksi yleensä käytetään puolta sarjaa. Siten bioliete tuodaan välilipeävaiheesta lähtien mustalipeän joukkoon, jolloin se käy läpi 3 tai 4 haihdutusvaihetta sekä mahdollisen väkevöityksen. Haihdutus saadaan näin selvästi energiataloudellisemmaksi kuin yksivaiheisessa haihdutuksessa.

Mustalipeän kuiva-aineen tuotto on noin 1680 – 1700 kg kuiva-ainetta sellu-tonnia kohti, kun taas tyypillinen biolietteen tuotto on noin 5 – 20 kg_{ka}/t_s. Siten biolietteen kuiva-aineen osuus on biolietettä haihdutettaessa yleensä 0,5 – 1,0 % mustalipeän kuiva-aineen massavirrasta. Jos tehtaassa on yksi haihduttamo, suurimpana mahdollisena biolietteen osuutena voidaan pitää noin 2 – 3 %:a kuiva-aineesta.

Mustalipeän ominaisuuksista polttoprosessin kannalta tärkeimpiä ovat viskositeetti, lipeän lämpöarvo, kloori- ja kaliumpitoisuudet sekä rikki-natrium-moolisuhde. Haihdutuksen kannalta tärkeimmät ominaisuudet ovat saostumia aiheuttavien kuitujen pitoisuudet, viskositeetti ja kiehumispisteen nousu.

Laihamustalipeän tyypillinen koostumus ja lämpöarvo sekä todennäköiset muutokset biolietettä käsiteltäessä on esitetty taulukossa 13. Käytetyt biolietteen arvot perustuvat useasta eri lähteestä koottuihin arvoihin. Mustalipeä on lähtöisin puoliksi koivusta ja puoliksi männystä. Seoksessa on biolietteen osuus 2 %.

Taulukko 13. Mustalipeän, biolietteen ja niiden seoksen ominaisuuksia (Liimatainen, 2000).

	Mustalipeä		Bioliete	Seos
	Tyypillinen	Vaihtelu	Vaihtelu	Tyypillinen
Lämpöarvo (MJ/kg)	13,5	12,5 – 14,5	16,5 – 18,5	13,6
C (%)	33,7	31 – 37	45 – 47	34,2
H (%)	3,5	3,2 – 3,7	5,5 – 6,5	3,6
O (%)	34,7	33 – 37	25 – 30	34,6
N (%)	0,1	0,06 – 0,2	1,5 – 4,0	0,2
S (%)	5,8	4 – 7	1,2 – 3,8	5,6
Na (%)	19,4	18 – 22	0,5 – 1,6	18,9
Kalium (%)	2,1	1,5 – 2,5	0,07 – 0,3	2,1
Kloori (%)	0,5	0,1 – 0,8	0,1 – 0,5	0,5
S/Na suhde	29,9 %			30,3 %

Tämän taulukon perusteella voidaan todeta, että tässä pitoisuudessa ei biolietteen lisäyksellä ole suurta vaikutusta mustalipeän lämpöarvoon tai alkuaineosuuksiin.

Haihduttamon kannalta tärkeitä lietteen käyttöä rajoittavia tekijöitä voivat tuotantolaitosten edustajien mukaan olla paitsi haihdutuskapasiteetin täyttyminen myös kuitujen aiheuttama tukkeutuminen. Lisäksi sekundäärilauhteiden laatuun on syytä kiinnittää huomiota, jotta niissä ei kulkeudu ei-toivottavia aineita muihin prosesseihin. Menetelmää käyttäneiden tehtaiden tekemisessä testeissä ei ole havaittu vaikutusta sekundäärilauhteiden laatuun. Lisäksi on syytä tarkastella biolietteen mahdollisia vaikutuksia mustalipeän haihdutettavuuteen, jonka osatekijät ovat viskositeetti, mahdollinen likaantuminen ja kiehumispisteen nousu.

Biolietelisyksen mahdolliset vaikutukset soodakattilan palamisprosessissa ovat lähinnä pisanamuodostukseen ja siten keon toimintaan liittyviä. Bioliete voi muuttaa polttolipeän alkuainemääriä, viskositeettia ja paisumisominaisuuksia. Muutoksiin voidaan vaikuttaa säätösuureilla, jotka ovat polttolipeän kuiva-ainepitoisuus ja lämpötila sekä ilmansyötön säädöt. Muutokset pisanamuodostuk-

sessä voivat periaatteessa vaikuttaa keittokemikaalien talteenotto-prosessin tehokkuuteen eli reduktioasteeseen sekä tulipesän lämpötilaan. Aiempien kokemusten perusteella kattilan reduktioaste ei muutu biolietteen vaikutuksesta.

Biolietteen polton korroosiovaikutukset ovat toistaiseksi olleet vähäisiä. Lietteen sisältämän kloorin vaikutus soodakattiloiden korroosioon ei ole kovin suuri, ja muista alkuaineista johtuvia ongelmia ei ole odotettavissa (Klarin ja Bruno, 1998).

Tämän menetelmän ympäristövaikutuksia ovat kaatopaikalle läjitettävän liete-määrän väheneminen sekä toisaalta muutokset soodakattilan savukaasupäästöis-sä. Ilmapäästöistä vaikutuksia on lähinnä typenoksidien muodostumiseen. Kuten taulukosta 13 havaitaan, typpipitoisuus biolietteessä on noin 15 – 40-kertainen verrattuna mustalipeän pitoisuuksiin. Näin ollen biolietteen lisäys aiheuttaa seos-suhteesta riippuen yleensä muutamien kymmenien prosenttien lisäyksen poltto-ainetyypen määrässä. Yleisesti voidaan ympäristövaikutusten kannalta pitää etuna sitä, että päästöjen tarkkailu on soodakattilalaitosten yhteydessä toteutettu yleensä paremmin kuin lietteen polttoon tavallisemmin käytettävien apukattiloiden kohdalla.

5.1.3 Lietteen polton vaikutuksia

Arvioitaessa lietteen polton kannattavuutta on kiinnitettävä huomiota sen vaikutuksiin palamisprosessissa ja sitä kautta kattilan hyötysuhteeseen. Lisäksi on seurattava vaikutuksia poltossa syntyviin savukaasupäästöihin. Myös kustannusvai-
kutukset on otettava huomioon.

Pipatin ym. (1996) raportissa todetaan, että vaikka lietteen poltossa vapautuu lämpöä, on lietteen hävittäminen polttamalla kustannustekijä. Kustannuksia aiheut-tavat lietteen vedenerotus, kattilahyötysuhteen alentaminen, sähkömakäyttö-
tehon kasvu, lisääntynyt nuohous, tukkeutumisesta aiheutuneet seisokit sekä tuki-
polttoaineen käyttö. Kustannuksia alentava vaikutus on lietteen pienentynyt tila-
vuus, joka säästää sekä kuljetuskustannuksia että kaatopaikkakustannuksia.

Karan (1993) mukaan kriittisimpiä poltossa tapahtuvia teknisiä ongelmia ovat lietteen kosteudesta aiheutuva adiabaattisen palamislämpötilan laskeminen ja savu-
kaasumäärän kasvaminen vesihöyryn lisäyksestä johtuen. Lisäksi lietteen sisältä-
mä kloori ja alkaliset aineet saattavat tietyissä olosuhteissa aiheuttaa vaaran lämpö-
pintojen korroosioon.

Chalmersin teknillisellä korkeakoululla Göteborgissa on 12 MW:n kiertopeti-
kattilan avulla tehdyissä kokeissa tutkittu Stora Enson Skoghallin metsäteollisuus-
integraatilta saadun kuitulietteen poltto-ominaisuuksia verrattuna tavallisten kiin-
teiden polttoaineiden, kuten puun poltettavuuteen (Åmand & Leckner, 1999).
25 %:n kosteuspitoisuuteen kuivatun kuitulietteen todettiin olevan ominaisuuks-
siltaan pitkälti puun kaltaista. Haihtuvien aineiden sekä hiilen ja hapen pitoisuu-
det olivat hyvin lähellä puulle normaalisti mitattuja arvoja.

Kuitulietteen poltossa oli kiinnitettävä huomiota samaan seikkaan kuin puu-
ta poltettaessa, eli polton hallintaan suurelle haihtuvien aineiden määrälle, sillä
epätäydellisen polton seurauksena syntyy haihtuvia hiilivetyjä (VOC) ja ammoniak-
kia (NH₃). Tärkeimpien VOC-yhdisteiden eli metaanin (CH₄) ja eteenin (C₂H₄) synty-
mistä ei testeissä havaittu; sen sijaan suolahapon (HCl) ja rikkidioksidin (SO₂)
määrissä havaittiin kasvua johtuen lietteen puuta korkeammista rikki- ja kloori-
pitoisuuksista. SO₂-päästövaatimusten täyttämiseksi tarvittaneen erillistä rikinpoi-
toa kalkin avulla. Tämä pystytään parhaiten toteuttamaan leijukerroskattilassa.

Kuitulietteen typpipitoisuus on jonkin verran korkeampi kuin puun vastaa-
va pitoisuus, mutta tämä ei vaikuta typpimonoksidin (NO) päästöihin mikäli kat-
tilaa ajetaan oikein. Typpioksiduulia (N₂O) havaittiin muodostuvan matalissa kon-
sentraatioissa, kun taas puun poltossa sitä ei muodostu lainkaan. Typenoksidien

muodostumista voidaan vähentää ilmanvaiheistustekniikoilla, joita käytetään yleensä hiilen poltossa. Pienimmät päästöarvot saavutettiin lisäämällä ilmaa 20 % syklonin ulostuloaukkoon, jolloin ilmakertoimen arvoksi saatiin $\lambda = 1,05$.

Anttikosken (1992) tutkimuksessa havaittiin lietteenpolton alentavan jonkin verran kattilahyötysuhdetta toisella kahdesta tutkitusta suuren metsäteollisuuslaitoksen kuorikattilasta. Klooripitoisen lietteen todettiin lisäävän polykloorattujen dioksiinien (PCDD) ja furaanien (PCDF) määrää lentotuhkassa, mutta ei merkittävästi savukaasuissa. Lisäksi yhtenä mahdollisena ongelmakohtana mainittiin lisääntynyt korroosioriski kattilan putkistoissa. Tutkimuksessa poltettiin kuorikatiloissa yhteensä noin 3000 i-m³ lietteen ja puujätteen seosta, jossa lietteen osuus oli noin 8 % kuiva-aineesta.

Keskuslaboratorio KCL on tutkinut biolietteen polton aiheuttamia savukaasupäästöjä kolmella suomalaisella sellutehtaalla (Vältilä, 1993). Tutkittavien aineiden listalla olivat kloorattujen dioksiinien lisäksi NO_x, SO₂, hiukkaset, raskasmetallit, PAH-yhdisteet ja palamattomat aineet. Tutkimuksessa ei todettu merkittäviä päästölisäyksiä lietteen polton vuoksi, vaan päästöt alittivat kaikki päästörajat.

Nygrénin (1992) tutkimuksessa todetaan, että lietteen poltto saadaan autogeeniseksi nostamalla lietteen kuiva-ainepitoisuutta termisellä kuivauksella, jolloin tukipolttoaineen käyttö vähenee. Polton avulla saavutetuiksi säästöiksi kuljetus- ja kaatopaikkakustannuksissa saatiin senaikkaisilla hinnoilla 1,4 – 4,5 miljoonaa markkaa, kun poltettava lietemäärä oli 11 000 – 23 000 t kuiva-ainetta. Säästö riippui myös lietteen lämpöarvosta. Keskipokoiseen paperitehtaaseen sijoitettavan kuivaus-poltto-linjan investointikustannuksiksi saatiin 22 Mmk.

5.1.4 Uusien polttoteknisten ratkaisujen kehittäminen

Kattilavalmistajat kehittelevät edelleen uusia ratkaisuja, joilla pyritään saamaan poltonhallinta entistä paremmaksi ja päästöt pienemmiksi erityisesti käytettäessä heikkolaatuisia polttoaineita. Samalla pyritään mahdollisimman kustannustehokkaisiin ratkaisuihin. Alakangas ym. (2000) ovat kuvailleet erästä uudenlaista ratkaisua.

Fortum Power & Heat Technology on tutkinut teollisuus- ja yhdyskuntalietteiden hyötykäyttöä tavoitteenaan taloudellisesti kannattavan ja ympäristön kannalta edullisen konseptin kehittäminen. Uusi konsepti on erillinen ratkaisu lietteen käytölle, eikä siihen sisälly minkäänlaista riskiä pääprosessien toimivuudelle. Ratkaisu sopii kaikille lietetyypeille. Uudella tekniikalla lietteen käsittely saadaan täysin suljetuksi ja samalla hygieeniseksi. Edistyneen tekniikan ansiosta poltto on tehokasta ja päästöt saadaan minimoitua itse polttoprosessissa. Konseptin pienen koon ansiosta sitä voidaan suhteellisen helposti ja edullisesti täydentää savukaasujen puhdistuslaitteistolla.

Konseptiin kuuluu kolme eri tekniikkaa, joita käytetään tapauskohtaisesti. Yksinkertaisin ratkaisu olisi polttoreaktori yhdistettynä jätelämpökattilaan. Tähän ratkaisuun vaadittaisiin lisäpolttoaineen käyttöä, mutta muuten se on varsin yksinkertainen ja luotettava tekniikka. Toinen vaihtoehto on polttoreaktori ja jätelämpökattila yhdistettynä sekoituskuivuriin. Kuivuri vähentää tarvittavan lisäpolttoaineen määrää ja tuottaa lämpöä, joka voidaan hyödyntää poltossa. Kolmas ja edistynein ratkaisu on polttoreaktori painehöyrykuivurin kanssa. Se ei vaadi lisäpolttoainetta, vaan siinä käytetään ainoastaan kuivattua lietettä. Hyvin pienessä yksikössä uskotaan pystyttävän polttamaan suuria määriä lietettä. Tämä konsepti voitaisiin sijoittaa lietteen syntypaikalle. Sen uskotaan olevan demonstroitinvaiheessa parin vuoden sisällä.

Neles Automation on kehittänyt leijukerroskattilan automaatioon perustuvan poltonhallintasovelluksen, joka on otettu käyttöön kahden suomalaisen tehtaan, eli Stora Enson Imatran ja Anjalan tehtaiden voimalaitoksilla. Ratkaisulla pyritään erityisesti prosessin muutostilanteiden ja päästöjen hallintaan. Kokemukset poltonhallinnasta ovat olleet hyviä. Molemmat kattilat polttavat matalalämpöarvoisia polttoaineita kuten puunkuorta, paperijätettä, biolietettä ja turvetta. Anjalan tehtaan kattilassa poltetaan lisäksi merkittäviä määriä maakaasua, mikä lisää prosessin hallinnan haasteellisuutta. Imatran tehtaiden kattilalla on sovelluksen käyttöönoton jälkeen savukaasujen CO-pitoisuusmääräysten ylitysten määrä vähentynyt 67 %. NO_x-pitoisuudet ovat vastaavasti laskeneet 18 % ja määräysten ylitysten määrä on pudonnut neljäsosaan. (Kinnunen, 2000)

5.2 Lietteen kaasutus

Lietteen energiahyötykäytön edistämiseksi on otettu käyttöön myös vaihtoehtoisia tekniikoita kuten kaasutus, jolla saatetaan kiinteä polttoaine kaasumaiseen muotoon. Sen avulla voidaan merkittävästi edistää muiden muassa biomassan ja erilaisten jätejakeiden energiahyötykäyttöä. Kaasutus on suhteellisen uusi menetelmä lietteenkäsittelyssä, eikä sitä vielä sovelleta kovin laajassa mittakaavassa. Viime vuosina kaasutustekniikkaa on kuitenkin kehitetty eräissä tutkimusprojekteissa, ja sen käytöstä on saatu myönteisiä kokemuksia erilaisten jätejakeiden käsittelyssä. Sillä on esimerkiksi pystytty vähentämään poltossa syntyviä päästöjä.

5.2.1 Kaasutuksen periaatteita

Kaasutusprosessissa muunnetaan polttokelpoista ainesta sisältävä materiaali termisesti ilmaa, happea tai höyryä käyttäen syttymättömäksi kaasuksi. Yleisimmät kaasutukseen käytettävät reaktorityypit ovat (Utvik & Matter, 1997):

- kiinteäpetireaktori,
- kupliva leijupetireaktori (BFB), ja
- kiertopetireaktori (CFB).

Ennen kaasutusta liete käsitellään mekaanisessa vedenerottimessa, jonka jälkeen se kuivataan termisesti 85 – 93 %:n kuiva-ainepitoisuuteen riippuen kaasuttimen tyypistä. Tämän jälkeen liete hapetetaan alistokiömetrisesti eli kaasutetaan. Osa lietteen komponenteista hapetetaan osittain ja osa kokonaan. (Utvik & Matter, 1997)

Kaasuttimen pelkistysvyöhykkeessä tapahtuu lukuisia reaktioita. Kokonaisuudessaan prosessi voidaan kuvata seuraavilla kolmella pääreaktiolla (Utvik & Matter, 1997):



Kaasutusprosessin ulostulokaasun koostumus vaihtelee huomattavasti erilaisten jätejakeiden, kuten esimerkiksi lietteen, koostumuksen mukaan.

5.2.2 Prosessin kuvaus

Palonen (1999) on kuvannut kaasutuslaitteistoa ja -prosessia yleisellä tasolla.

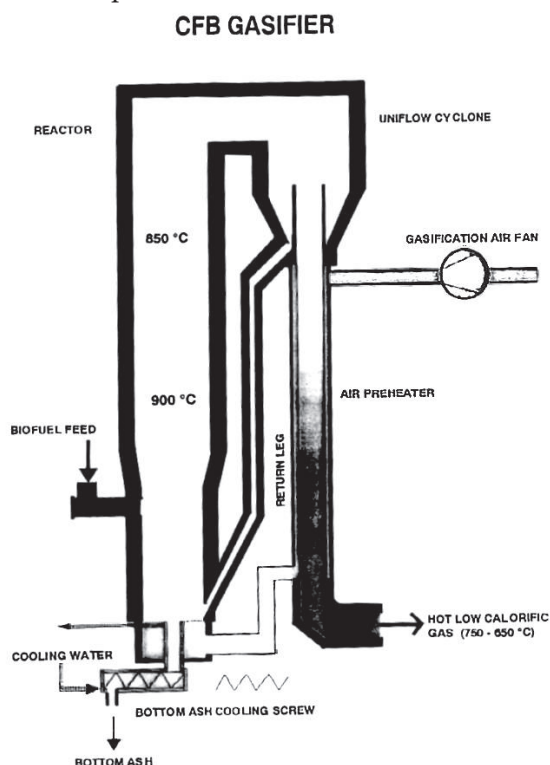
Ilmanpaineessa toimiva CFB-kaasutusjärjestelmä koostuu reaktorista, jossa itse kaasutus tapahtuu, syklonista, jossa petimateriaali erotetaan kaasusta, sekä palautusputkesta, jolla palautetaan kierrätettävä materiaali kaasuttimen pohjaosaan.

Polttoaine syötetään ilmanjakokanavien yläpuolella olevaan kaasuttimen alaosaan. Sisään tuleva polttoaine sisältää tavallisesti 20 – 60 % vettä, 40 – 80 % palavaa ainesta ja 1 – 2 % tuhkaa. Käyttölämpötila on tavallisesti välillä 800 – 1000 °C riippuen polttoaineesta ja laitetyypistä. Reaktoriin jouduttuaan biopolttoainehiukkaset alkavat kuivua nopeasti ja ensimmäinen reaktiovaihe eli pyrolyysi tapahtuu. Pyrolyysin aikana polttoaine muuntuu kaasuiksi, hiileksi ja tervaksi. Osa hiilestä valuu pedin pohjalle ja hapettuu hiilimonoksidiksi ja hiilidioksidiksi tuottaen lämpöä.

Loput edellä mainituista pyrolyysituotteista virtaavat reaktorissa ylöspäin ja toisen vaiheen reaktiot syntyvät. Nämä reaktiot voidaan jakaa heterogeenisiin reaktioihin, joissa hiili on mukana, sekä homogeenisiin reaktioihin, joissa kaikki reaktiointeet ovat kaasumaisessa muodossa. Niistä syntyy lopputuotteena poltettavaa kaasua, joka poistuu syklonin kautta. Suurin osa kiintoaineesta erotetaan syklonissa ja palautetaan reaktorin alaosaan. Pyrolyysin tarvitsema lämpö tuotetaan poltossa. Kiertopetimateriaali toimii lämmönjakajana ja stabiloi prosessin lämpötiloja.

5.2.3 Kaasutustekniikan kehitys ja käytännön kokemuksia

Kaasutuksen merkitystä polttomahdollisuuksien parantamisessa on selvitetty Suomessa esimerkiksi Foster Wheeler Oy:n kaasuttimilla (Palonen, 2000). Kaasuttimien kokoluokka vaihtelee muutaman megawatin suuruisista koeyksiköistä suurimmillaan 40 – 70 MW:n laitoksiin. Polttoaineena käytetään kuoren ja muun biopolttoaineen lisäksi muun muassa REF:iä eli kierrätysmateriaalista valmistettua polttoainetta. Tuotekaasu käytetään esimerkiksi sellutehtailla meesauunin tai apukattilan polttoaineena.



Kuva 12. Foster Wheeler Oy:n kiertopetikaasutin (Palonen, 2000).

Kaasuttimen käytön on havaittu vähentävän poltossa syntyviä CO₂-, NO_x-, SO₂- ja hiukkaspäästöjä. HCl- ja raskasmetallipäästöissä on ollut pientä kasvua, mutta perustaso on pysynyt matalana myös näiden päästöjen osalta. CO- ja dioksiinipäästöissä ei ole havaittu muutoksia. Päästövähennysten lisäksi kaasutuksen todettiin muun muassa mahdollistavan paremman ja laajemman polttoainevalikoiman bio- ja kierrätyspolttoaineiden käytön kautta. Investointi- ja käyttökustannukset ovat olleet vähäisiä.

Tutkimus- ja kehitystyötä tekee myös Finreila Oy yhteistyössä Lappeenrannan teknillisen korkeakoulun ja Moskovan tiedeinstituutin kanssa. Lappeenrannan Toikansuolla toimivassa kooreaktorissa käytetään kaksiportaista jätteiden polttoa, jossa ensimmäisessä vaiheessa yliadiabaattisessa palamistilassa tapahtuu jätteen orgaanisen osan kaasutus ja toisessa osassa syntynyt tuotekaasu poltetaan jätelämpökattilassa. Demolaitteiston ensimmäisessä vaiheessa tuotekaasu poltetaan erillisellä soihutpolttimella. (Lappalainen, 2000)

Kaasutusreaktorissa syötettävä seos laskeutuu painonsa vaikutuksesta kaasutusilmasta ja vesihöyrystä koostuvaa kaasutusvirtaa vasten. Kuivaus-, pyrolyysi-, palamis- ja tuhkan jäähdytysvyöhykkeiden läpi kuljettuaan jätemateriaalin orgaaninen aines on kaasuntuunut ja siirtyy reaktorin yläosan tuotekaasuputkea pitkin prosessin toiseen vaiheeseen. Reaktorin alaosassa muodostunut tuhka poistetaan poistolaitteen avulla. Prosessin toisessa vaiheessa tuotekaasu poltetaan yhdessä tukipolttoaineen kanssa höyry- tai kuumavesikattilassa.

Tuotekaasusoihtupolttimen suunnitteluteho on 7,5 MW ja tuotekaasun energiasältö 4,5 – 6,5 MJ/m³. Reaktorin reaktiovyöhykkeen lämpötila on noin 900 °C, jolloin muun muassa dibentsofuraanien ja -dioksiinien muodostuminen voidaan minimoida. Keskimääräinen arvo näiden yhdisteiden päästöille on 0,2 ng/m³, kun raja-arvo on 1,0 ng/m³. PAH-yhdisteiden päästö 3 ng/m³ alittaa myös lakisäätöisen rajan. Tällä menetelmällä saadaan jätteen tilavuutta pienennettyä noin kymmenesosaan alkuperäisestä.

Suomen sellu- ja paperiteollisuudessa on käytetty Foster Wheeler Energia Oy:n toimittamia kapasiteetiltaan 17 – 35 MW:n kiertopetikaasuttimia 1980-luvun puolivälistä lähtien neljällä tuotantolaitoksella. Näissä kaasuttimissa käytetään pääpolttoaineena puujätettä ja ne toimivat edelleen hyvin. Ensimmäinen kaupallinen sovellus otettiin käyttöön vuonna 1983 Wisaforest Oy:n tehtailla Pietarsaareissa ja sillä tuotetulla kaasulla korvattiin polttoöljy meesauunin polttoaineena. Vastaavia kaasutuslaitoksia on toimitettu myös ulkomaille ainakin Ruotsiin ja Portugaliin. (Palonen, 1999)

Uutena tekniikkana on kehitteillä bioöljyn käyttöön perustuva laitteisto, jossa pyrolyysireaktori yhdistetään CHP-kattilaan. Pyrolyysiin käytetään tässä ratkaisussa biomassaa ja kattilassa voidaan käyttää mitä tahansa kiinteää polttoainetta. Tähän konseptiin kuuluu lisäksi uudenaikainen kuivausjärjestelmä. (Alakan gas ym., 2000)

5.3 Biokaasun käyttö energiantuotantoon

Yleisesti käytetystä lietteenkäsittelymenetelmästä mädätyksestä saadaan talteen biokaasua, jonka energiasältö voidaan käyttää hyödyksi polttamalla kaasu apukattilassa muun polttoaineen seassa. Saatu energia voidaan käyttää esimerkiksi mädättämön lämmittämiseen. Biokaasun käytöllä voidaan jossain määrin korvata fossiilisia polttoaineita. Leinosen ja Kuittisen (1999) raportissa todetaan, että mädättämöltä saatavaa biokaasua hyödynnetään tällä hetkellä kahdella suomalaisella metsäteollisuuslaitoksella. Mädätyksen lisäksi kaatopaikoilta voidaan ottaa talteen orgaanisen aineen hajotessa syntyvää biokaasua.

5.3.1 Määdätyksestä tuleva biokaasu

Määdätyksessä syntyvä biokaasu sisältää yleensä 55 – 75 % metaania (CH₄), 25 – 45 % hiilidioksidia (CO₂), sekä pieniä määriä hiilimonoksidia (CO), typpeä (N₂), vetyä (H₂), rikkivetyä (H₂S) ja happea (O₂) (Biokaasukeskus, 2000a). Yleisesti puhdistamolietteen määdätyksessä syntyvän biokaasun lämpöarvon arvioidaan vaihtelevan välillä 6 – 6,5 kWh/m³ eli 21,6 – 23,4 MJ/m³. Vertailuna todettakoon, että Suomessa käytettävän maakaasun metaanipitoisuus on yli 98 % ja lämpöarvo noin 35,6 MJ/m³ (Alakangas, 2000).

Metsäteollisuuslaitoksilla tuotettu biokaasu voidaan käyttää määdättämön ja mahdollisesti muidenkin tuotantolaitoksen yksiköiden lämmön- ja sähköntuotannon tarpeisiin. Poltto voidaan toteuttaa voimakattilassa, kuten kuorikattilassa tai erillisessä kaasupolttimessa. Energiantuotantoa ajatellen kustannuksiltaan edullisin vaihtoehto on pelkän lämmön tuottaminen, jolla kuitenkin on heikko hyötysuhde. Enemmän pääomaa sitovassa sähkön ja lämmön yhteistuotannossa voidaan päästä 88 %:n hyötykäyttöön. (Alakangas ym., 2000)

Stora Enso Oyj:n Laminating Papers -tehtailla Kotkassa on käytössä 1500 m³:n biokaasureaktori. Laitoksen tuottamat biokaasumäärät vuosina 1996, 1997 ja 1998 on ilmoitettu alla olevassa taulukossa. Lisäksi tästä taulukosta käy ilmi kaasulla tuotetut energiamäärät. Tuotettu biokaasu on käytetty vuosina 1996 ja 1997 kokonaisuudessaan lämmöntuotantoon, vuonna 1998 pieni osa meni ylijäämäpolttoon. Kaasun keskimääräinen metaanipitoisuus on ollut 82 %.

Taulukko 14. Stora Enson Kotkan tehtailla tuotettu biokaasu ja siitä saatu energia (Leinonen ja Kuittinen, 1999).

Vuosi	Tuotettu/hyödynnetty biokaasu (10 ³ m ³)	Saatu energia (MWh)
1996	1800/1800	13 151
1997	1800/1800	13 151
1998	1120/1098	8 022

Stora Enson flutingia eli aallotuskartonkia valmistavalla tehtaalla Heinolassa on käytössä kaksi 1500 m³:n bioreaktoria. Biokaasun ja siitä saadun energian tuotot käyvät ilmi taulukosta 15. Kaasun keskimääräinen metaanipitoisuus oli vuonna 1996 82 %, ja vuosina 1997 ja 1998 80 %.

Taulukko 15. Heinolan fluting-tehtaalla tuotettu biokaasu ja siitä saatu energia (Leinonen ja Kuittinen, 1999).

Vuosi	Tuotettu/hyödynnetty biokaasu (10 ³ m ³)	Saatu energia (MWh)
1996	300/285	2 034
1997	611/600	4 276
1998	639/607	4 328

Edellä mainitusta voidaan havaita, että näillä metsäteollisuuslaitoksilla tuotettu biokaasu on jonkin verran tavallista metaanipitoisempaa. Tämän ansiosta myös lämpöarvo on hieman keskimääräistä korkeampi, noin 7,1 – 7,3 kWh/m³.

Biokaasun käytöllä energiantuotantoon voidaan jossain määrin korvata fossiilisia polttoaineita kuten lämmitysöljyä. Tätä kautta saadaan vähennettyä ilmapäästöjä. Biokaasukeskuksen (2000b) tietojen mukaan tuotettaessa 100 kWh energiaa dieselöljyllä syntyy 7 g:n NO_x-päästö, kun biokaasulla vastaava päästö on 3 g NO_x. Biokaasua voidaan käyttää polttoaineena myös polttomoottorissa, mutta sille asettavat rajoituksia kaasun epäpuhtauksista johtuvat korroosio- ja kulumisongelmat. Biokaasu luokitellaan uusiutuviin polttoaineisiin.

5.3.2 Kaatopaikkakaasu

Mädättämön lisäksi biokaasua syntyy myös kaatopaikoilla orgaanisen aineen hajoamisen seurauksena. Vuositasolla kaasua syntyy 5 – 10 m³/t hajoavaa jätettä (Alakangas ym., 2000).

Kaatopaikoilla syntyvä kaasua voidaan ottaa talteen erityisellä talteenottolaitteistolla ja käyttää hyödyksi energiantuotannossa. Valtioneuvoston kaatopaikoista antaman päätöksen (VNp 861/97) liitteen 1 kohdassa 4 annetaan määräykset kaasun keräilystä ja hyötykäytöstä. Tämä kohta tulee voimaan 1.1.2002 alkaen. Kaatopaikoista annettuun päätökseen perustuen on viimeisimmissä kaatopaikoissa koskevissa metsäteollisuuslaitosten ympäristöluvuissa annettu määräykset kaasun keräilystä viimeistään maisemoinnin toteuttamisen tai tiivistyskerroksen rakentamisen yhteydessä.

Vuonna 1998 kerätystä kaatopaikkakaasusta hyödynnettiin hieman yli puolet ja loput johdettiin ylijäämäpolttoon. Energiahyötykäytön lisäksi kaatopaikkakaasun keräily on perusteltua kaasun vapautuessaan aiheuttamien ympäristö- ja muiden ongelmien takia. Biokaasun sisältämä metaani on erityisen voimakas kasvihuonekaasu, esimerkiksi hiilidioksidia huomattavasti voimakkaampi. Lisäksi hallitsemattomasti virtaava biokaasu aiheuttaa haju-, kasvillisuus- ja terveysongelmia. Kaasu voi aiheuttaa myös tulipalo- ja räjähdysvaaran kaatopaikalla. (Leinonen ja Kuittinen, 1999)

Kaatopaikkakaasun talteenottojärjestelmä koostuu tyypillisesti kaasun imu-kaivoista, kokoojaputkistoista ja kaivoista, kompressori- tai puhallinasemasta sekä tarvittavasta instrumentoinnista ja sähköistyksestä. Kompressori- tai puhallinasemalta kaasua johdetaan joko soihtuun tai hyötykäyttöön. Sovellutuksesta riippuen tarvitaan lisäksi vedenpoisto- ja kuvauslaitteistoja sekä erilaista mittaus- ja analyysilaitteistoa. (Pipatti ym., 1996)

Vaikka tulevaisuudessa ei biohajoavaa jätettä juurikaan viedä kaatopaikoille, biokaasua syntyy suljettavilla kaatopaikoilla vielä muutaman vuosikymmenen ajan. Energian hintojen nousemisen, sähkömarkkinoiden vapautumisen sekä yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon kilpailukykyyn uskotaan lisäävän mielenkiintoa kaatopaikoilta kerättävää biokaasua kohtaan.

Mädätys- ja kaatopaikkakaasujen samankaltaisuuden vuoksi niiden yhteinen keräily ja hyötykäyttö voisi useinkin olla järkevä vaihtoehto esimerkiksi metsäteollisuuslaitoksilla, joiden omat kaatopaikat usein sijaitsevat tuotantolaitosten välittömässä läheisyydessä.

6

Muu hyötykäyttö ja loppusijoitus

Energiahyötykäytön lisäksi lietteille on olemassa muutamia muitakin hyötykäyttövaihtoehtoja. Metsäteollisuuslaitosten lietteille yksi potentiaalinen sijoituskohte on kaatopaikan maisemointi, jonka tarve on kuitenkin vain ajoittaista. Lisäksi lietteitä on mahdollista käyttää viherrakentamiseen sekä metsä- ja peltolevitykseen. Eri loppusijoitusvaihtoehdot asettavat erilaisia vaatimuksia lietteen stabiiliudelle ja hygienialle.

Seuraavassa taulukossa on vertailtu eri lietetyyppien loppusijoitusvaihtoehtoja. Mukana ovat metsäteollisuuslaitosten tuottamien lietteiden lisäksi myös yhdyskuntien ja maatalouden lietteet. Metsäteollisuuslietteistä primäärilietteen suositelluimpia hyötykäyttövaihtoehtoja näyttäisivät olevan käyttö energiantuotannossa ja raaka-aineena. Vastaavasti biolietettä voitaisiin tämän arvion perusteella parhaiten hyödyntää metsän lannoitteena sekä viherrakentamis- ja maisemointitarkoituksiin.

Taulukko 16. Lietteiden loppusijoitusvaihtoehtojen vertailu (Isännäinen, 1993).

	Metsäteollisuuden primääriliete	Metsäteollisuuden bioliete	Yhdyskuntien liete	Maatalouden liete
Poltto	+++	++	++	+
Levitys pellolle	+	++	++(+)	+++
Levitys metsiin	+	+++	+	+
Viherrakentaminen	+(+)	+++	+++	+
Maisemointi	++	+++	+++	+
Käyttö raaka-aineena	+++	+	-	-
Energiantuotto mädätyksellä	+++	++	++	++
Kaatopaikkasijoitus	-	-	-	-

+++ = suositeltavaa

++ = hyvä

+ = mahdollinen

(+) = lietteen laadusta tai paikallisista olosuhteista riippuva

6.1 Viherrakentaminen ja maisemointi

Viherrakentamiseen ja maisemointiin sopii parhaiten kompostoitu liete. Kompostimullan käyttö viherrakentamisessa edellyttää tasalaatuista tuotetta. Viherrakentamisessa ja maisemoinnissa voidaan käyttää kompostimultaa, jossa on viljelykäyttöä ajatellen liian korkeita raskasmetallipitoisuuksia, sillä ympäristö- ja terveysriskit ovat vähäisemmät. Kuitenkin myös tälle käytölle on annettu pitoisuusrajat.

6.1.1 Kaatopaikkarakentaminen

Metsäteollisuuslaitosten lietteitä voidaan tarvittaessa käyttää esimerkiksi tuotantolaitosten omien kaatopaikkojen maisemointiin, vaikkakin tämä tarve on jaksottaista ja väliaikaista.

Samoin lietteitä voidaan luonnollisesti käyttää myös yhdyskuntien kaatopaikkojen peittämiseen. Lietteiden soveltuvuutta tähän tarkoitukseen on selvitetty erilaisissa tutkimuksissa.

Korvaamalla kaatopaikkarakenteissa yleisesti käytetty savi massan ja paperin tuotannossa syntyvillä lietteillä ja tuhalla uskotaan jätteen hyötykäytön lisäksi pystyttävän pienentämään kaatopaikan sulkemiskustannuksia. Tuotantoprosessissa käytettävää kaoliinia sisältävillä paperitehtaan lietteillä on samat tiivistysominaisuudet kuin savella. Lisäksi lietteen sisältämä kuitupitoinen orgaaninen aines antaa materiaalille joustavuutta, mikä vähentää päällysteen halkeilemistä.

Forsiuksen (1997) raportissa selvitettiin paperitehtaan jätevedenpuhdistamolla syntyvän lietteen ja tehtaan energiantuotannossa syntyvän lentotuhkan soveltuvuutta edellä mainittuun tarkoitukseen. Selvitys perustui laboratoriotesteihin, joissa mitattiin permeabiliteettiä eli vedenläpäisevyyttä ja leikkausvoimaa.

Tutkimuksissa todettiin pelkän lietteen sekä erilaisten liete-tuhkaseosten permeabiliteetin olevan vain hieman yli 1×10^{-9} m/s, ja siten täyttävän olemassa olevien kaatopaikkojen vaatimukset. Bentoniitin lisäyksellä lietenäytteisiin ei havaittu olevan suurta vaikutusta permeabiliteettiin. Liete-tuhkaseoksissa bentoniitti vaikuttaa lähinnä tuhkan vedenläpäisykykyyn, mutta ei niinkään lietteeseen johtuen lähinnä heikosta sekoittumisesta.

Lietteen ja liete-tuhkaseosten havaittiin näytteiden perusteella olevan hyvin kokoonpuristuvia eikä selvää myötörajaa voitu havaita tehdyissä kolmiaksisiaalisissa leikkausvoimatesteissä. 1 – 1,5 metriä paksun pintakerroksen asentaminen lisäisi tehollista rasiitusta noin 25 kPa:iin tiivistysmateriaalin päällä. Tämän ei pitäisi aiheuttaa ongelmia tehtyjen leikkauslujuustestien mukaan. Kuitenkin työkonoiden aiheuttama lisäkuorma tulisi ottaa huomioon.

Selvityksessä todetaan lisäksi, että käyttöolosuhteissa permeabiliteetti saattaa nousta johtuen vaikeuksista päällystysmateriaalin tiivistämisessä, materiaalin halkeilusta, biologisesta hajoamisesta ja muista vastaavista seikoista. Ylikuormituksesta aiheutuva painuminen kuitenkin luultavasti laskee permeabiliteettiä. Jäätymisellä ja sulamisella ei ilmeisesti ole suurta merkitystä johtuen kaatopaikan sulkemiselta vaadittavista suojaominaisuuksista.

Finncao Oy on selvittänyt metsäteollisuuden kuitulietteistä ja siistausjätteistä koostuvan kuitusaven soveltuvuutta kaatopaikkojen pintasuojarakenteen tiivistyskerroksen materiaaliksi. Tällaisia maarakentamiseen soveltuvia sivutuotteita muodostuu Suomessa koko metsäteollisuudessa noin 1 000 000 t/a, eli kuiva-aineena noin 430 000 t/a. (Soikkeli, 2000)

Yrityksen selvitysten mukaan Finncao-kuitusavi soveltuu pienen vedenläpäisevyytensä ($k \leq 1 \times 10^{-8}$ m/s) ansiosta erinomaisesti kaatopaikkarakentamiseen. Kuitusaven on lisäksi todettu tiivistyvän ajan myötä ja siten sen vedenläpäisevyyden pienenevän. Siitä ei liukene ympäristölle haitallisia aineita, eikä sen ole todettu hajoavan helposti biologisesti. Kuitusavi kestää epätasaisia painumia ja kuitumaisen ominaisuuksiensa ansiosta se ei myöskään murru.

Kaatopaikkakohteiden lisäksi tämän materiaalin käyttöä tutkitaan muiden muassa teiden parannuksessa, erilaisissa kenttärakentamishankkeissa ja saastuneiden maiden kapseloinneissa.

Niutanen (2000) on tutkinut kuitusaven käyttöä teollisuusekologian kannalta. Mahdolliset hyödyt ympäristön kannalta on esitetty 3-portaisina:

1. Vähennetään kaatopaikkojen turhaa kuormitusta.
2. Säästetään energiaa ja samalla vähennetään päästöjä.
3. Vähennetään uusiutumattomien luonnonmateriaalien käyttöä kaatopaikkarakentamisessa.

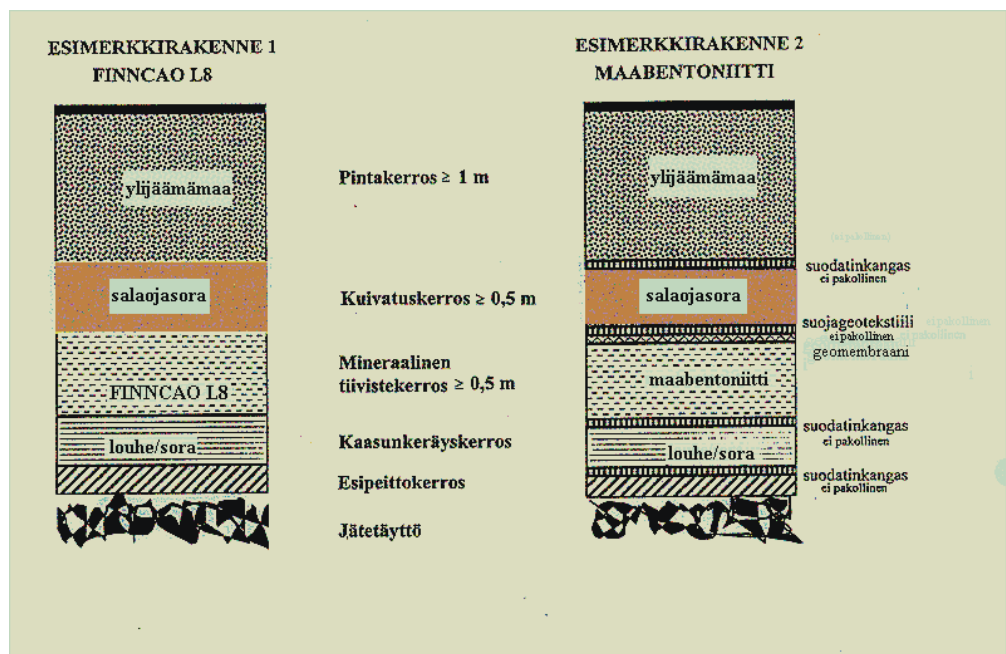
Energiankulutusta ja ilmapäästöjen muodostumista eri tiivistysmateriaalien käytöllä on havainnollistettu liitteessä 2 esitetyissä diagrammeissa. Näiden tulosten perusteella kuitusaven käyttö kaatopaikan tiivistyskerroksessa näyttäisi olevan muita vaihtoehtoja selvästi energiatehokkaampaa ja sitä kautta myös vähemmän päästöjä tuottavaa.

Alla olevassa taulukossa on eri tiivistemateriaalien hintavertailu. Taulukon hinnat sisältävät niihin liitettävät kuljetukset ja asennustyöt.

Taulukko 17. Eri materiaaleilla rakennettavan kaatopaikan tiivistekerroksen kustannukset (Niutanen, 2000).

Materiaali	Yksikköhinta (mk/m ²)	Hinta 1 ha:n tiivistekerroksessa (mk)
Kuitusavi	40	400 000
Savi/siltti	35	350 000
Hiekkabentoniittirakenne	105	1 050 000
Geomembraanirakenne	100 – 120	1 000 000 – 1 200 000
Bentoniittimattorakenne	55 – 70	550 000 – 700 000

Alla olevassa kuvassa on esitetty esimerkkeinä kahden eri pintasuojarakennevaihtoehdon läpileikkaukset.



Kuva 13. Pintasuojarakenteissa käytettävät kerrokset (Kouki, 2001).

6.1.2 Tierakentaminen

Kaatopaikkojen tiivistämisen lisäksi lietettä voidaan käyttää esimerkiksi tierakentamisessa. Lietettä ja muita sivutuotteita voidaan käyttää eri sovelluksiin riippuen niiden ominaisuuksista. Seuraavassa taulukossa on esitetty eri käyttötarkoituksiin vaadittavat ominaisuudet.

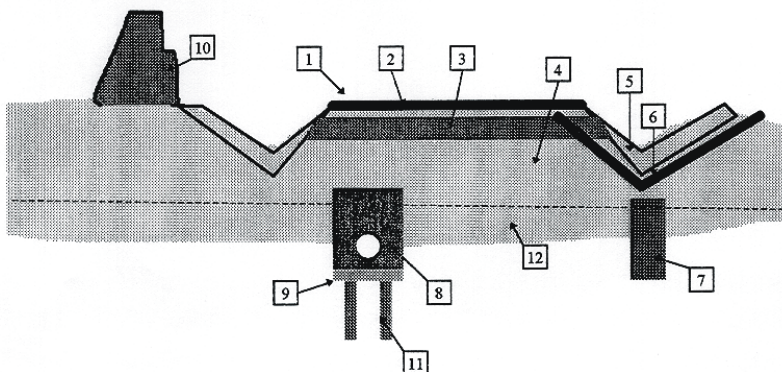
Taulukko 18. Sivutuotesovelluksilta vaadittavat ominaisuudet tierakentamisessa (Lahtinen, 1997).

Ominaisuus	Sovellus											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Koostumus	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Puristuvuus	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Rasituksen kestävyys	x	x	x	x	x	x	(x)	x	x	x	x	x
Vedenpitävyys	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		(x)
Käyttätyminen rasituksen alaisena	x	x	x									
Viruminen			x	(x)								(x)
Jäätymis-sulamiskestävyys	x	x	x			x				x		
Lämmönjohtavuus	x	x	x	(x)								
Routivuus	x	x	x	x								
Vedenläpäisevyys	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Veden imeytyminen pitkällä ajanjaksolla		x	x			x	x					
Turvallisuus ympäristön kannalta	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Hajoavuus pitkällä ajanjaksolla	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Sovellusten numerot:

- | | |
|-----------------------|-----------------------------|
| 1. Päällyste | 7. Kuivatusrakenne |
| 2. Rakennekerrokset | 8. Salaoituksen täyttö |
| 3. Pakkaseristys | 9. Ristikon rakenne |
| 4. Pengerrys | 10. Meluvalli |
| 5. Rinteen peitto | 11. Syvä stabilointirakenne |
| 6. Pohjaveden suojele | 12. Massastabilointirakenne |

Sovelluksien käyttöä tie- ja katurakenteissa on havainnollistettu seuraavan kuvan avulla. Kuvassa 14 on käytetty vastaavaa numerointia kuin edellä esitettyssä taulukossa.



Kuva 14. Sivutuotteiden käyttö tie- ja katurakenteissa (Lahtinen, 1997).

Ronkainen (1997) on selvittänyt siustauslietteen ja lentotuhkan käyttöä erään maantienosan rakenteissa. Tutkimuksessa vertailtiin eri materiaalien käytettävyyttä 800 metrin pituisella tienpätkällä tehtyjen testien avulla. Näitä materiaaleja olivat liete ja lentotuhka eri seossuhteilla sidosaineen kanssa, pelkkä lentotuhka sidosaineen kanssa sekä vertailukohteena tavallisimmin käytetty materiaali eli hiekka-murske.

Rakenteiden ominaisuuksien muutosta mitattiin useilla erilaisilla testausmenetelmillä. Kokeiltavan materiaalin havaittiin vuoden mittaisen tarkkailujakson aikana täyttävän sille asetetut vaatimukset.

Kuitu-tuhkarakennetta on kokeiltu myös päällystetyn taajamatien korjaamisessa. Yksi tavoitteista oli saada parannukset aikaan mahdollisimman ohuella rakennekerroksella, jolloin rakenteen kokonaispaksuus oli 45 cm ja kuitu-tuhkakerroksen vain 20 cm. Kuitu-tuhkakerros oli suunniteltu toimimaan rakenteen kantavana ja eristävänä kerroksena. Koerakenteista voitiin todeta, että kuitu-tuhkaosuus oli säilynyt tasaisena ja vaurioitta neljä vuotta rakentamisesta, kun taas vertailukohteena ollut perinteinen kiviainesrakenne oli pahoin vaurioitunut jo kahden vuoden kuluttua rakentamisesta. Kuitu-tuhkaosuuden kantavuus todettiin kaksinkertaiseksi vertailuosuuden kantavuuteen nähden. Lisäksi kuitu-tuhkaosuuden routivuus oli huomattavasti vähäisempää kuin vertailuosuudella. (Suni ym., 2001)

6.2 Käyttö maa- ja metsätaloudessa

Maanviljelyssä lietteen käytön tarkoituksena on käyttää ravinteet, kuten typpi ja fosfori, hyödyksi sekä osittain hyödyntää orgaaninen aine maanparannukseen. Maanviljelykseen voidaan käyttää periaatteessa kaikentyyppisiä lietteitä, mikäli ne täyttävät lainsäädännön asettamat laatuvaatimukset raskasmetalli- ja patogeenipitoisuuksille sekä esikäsitellylle. Näiden raja-arvojen lisäksi eniten rajoituksia lietteen käytölle maataloudessa asettavat vaatimukset ravinnepitoisuudelle ja kuivaainepitoisuudelle. (Saabye, 1997)

Suomessa on annettu raja-arvot lietteen raskasmetallipitoisuuksille maanviljely- ja maanparannuskäyttöä varten valtioneuvoston päätöksessä puhdistamolietteen käytöstä maanviljelyssä (VNp 282/1994) sekä maa- ja metsätalousministeriön päätöksessä eräistä lannoitevalmisteista (MMMp 46/1994).

Taulukko 19. Kompostiuotteen suurimmat sallitut raskasmetallipitoisuudet maanviljely- ja maanparannusainekäytössä.

Raskasmetalli	Maanviljelykäytön enimmäispitoisuudet (mg/kgka) ¹	Maanparannuskäytön enimmäispitoisuudet (mg/kgka)
Elohopea (Hg)	1,0	2,0
Kadmium (Cd)	1,5	3,0
Arseeni (As)	–	50
Nikkeli (Ni)	100	100
Lyijy (Pb)	100	150
Kupari (Cu) ²	600	600
Sinkki (Zn) ²	1500	1500
Kromi (Cr)	300	–

1 = Kadmiumpitoisuusrajoituksen saa tilapäisesti ylittää korkeintaan 20 prosentilla. Muiden raskasmetallien pitoisuusrajoituksia saa ylittää korkeintaan tilapäisesti tapauskohtaisen arvioinnin perusteella.

2 = Näille ravinteille voidaan sallia korkeintaan kaksinkertaiset pitoisuudet silloin, kun niistä on puutetta maaperässä, johon lietettä on tarkoitus levittää.

VNp 282/1994:n 6 §:ssä säädetään, että lietettä saa käyttää vain viljelymaalla, jolla kasvatetaan viljaa, sokerijuurikasta tai öljykasveja taikka sellaisia kasveja, joita ei käytetä ihmisen ravinnoksi tai eläimen rehuksi. Lisäksi tämän asetuksen 4 §:ssä määrätään, että liete on ennen käyttöä maanviljelyksessä käsiteltävä mädättämällä tai kalkkistabiloinnilla taikka muulla sellaisella tavalla, jolla voidaan merkittävästi vähentää taudinaiheuttajien määrää ja hajuhaittoja sekä lietteen käytöstä aiheutuvia ympäristö- tai terveyshaittoja.

Mannisen (1994) mukaan puhdistamolietteen käyttö maanviljelyssä on vähentynyt huomattavasti ja tulee vähenemään yleisen vastustuksen takia. Lietettä ei pidetä riittävän turvallisena lannoitteena ruuaksi käytettävien kasvien kasvatuksessa. Sen sijaan yksi lietteiden hyödyntämismahdollisuus maataloudessa voisi olla Mannisen ja Laukkasen (1995) kuvaama non-food-tuotanto, jolloin viljelyalaa käytettäisiin elintarvikkeiden tuottamisen sijaan teollisuusraaka-aineen kuten biopolttoaineen tuottamiseen.

Puhdistamolietettä on mahdollista käyttää myös metsien lannoitukseen esimerkiksi poltossa syntyvän tuhkan ohella, ja joissakin maissa tätä pidetään hyvänä vaihtoehtona. Tutkimusten mukaan liete soveltuu metsien lannoitukseen erityisesti istutusten yhteydessä, taimikoille ja harvennushakkuiden jälkeen. Mahdollisesti lisääntyviä ravinnehuuhtoumia lukuun ottamatta ei lietteen ole metsälannoituksen yhteydessä todettu aiheuttaneen merkittäviä haittoja. (Levinen, 1991)

Metsälannoituksen ongelmana pidetään muun muassa lietteen käsittelemistä tarkoitukseen soveltuvaksi sekä metsien virkistyskäytölle aiheutuvia haittoja. Myöskin levityksen toteutus saattaa olla ongelmallista ja kallista varsinkin vaikeissa maastoissa. Metsälevitystä helpommin liete voisi soveltua esimerkiksi energiapuiden viljelyn lannoitus- ja maanparannusaineeksi.

Levityksen aiheuttamia haittoja virkistyskäytölle voidaan vähentää pellettimällä tai rakeistamalla tuote. Näin lietteestä saadaan valmistettua hygieenistä ja helposti käsiteltävää lopputuotetta.

6.3 Kaatopaikkasijoitus

Lietteet voidaan vielä tällä hetkellä sijoittaa kaatopaikalle silloin, kun niille ei löydy sopivaa hyödyntämiskohdetta. Metsäteollisuuslaitoksilla on yleensä omat luvanvaraiset kaatopaikkansa. Yksityisten kaatopaikkojen käyttö on tähän asti ollut verotonta, mutta julkisuudessa on ollut esillä niiden saattaminen jäteveron alaisiksi. Tämä voisi merkitä huomattavia lisäkustannuksia lietteen kaatopaikkaläjäytykselle, jolloin toiminnanharjoittajalle olisi taloudellisesti entistä kannattavampaa pyrkiä lietteen samoin kuin muun tuotannosta syntyvän jätteen entistä laajempaan hyötykäyttöön.

Kaatopaikalle vietävät lietteet tulee kuivata vedenerottimissa tilavuuden pienentämiseksi ja kuljettamisen helpottamiseksi. Kaatopaikkasijoitukselle on annettu tarkat säädökset voimassa olevassa lainsäädännössä. Valtioneuvoston päätöksessä kaatopaikoista (VNp 861/1997) on annettu määräykset muun muassa kaatopaikkojen pinta- ja pohjarakenteille sekä tarkkailulle ja jälkihoidolle.

Lietteen sisältämän orgaanisen aineen hajoaminen synnyttää biokaasua, jonka hallitsematon virtaaminen aiheuttaa muun muassa ympäristö- ja terveysongelmia. Esimerkiksi kaasun sisältämä metaani voi vapautuessaan lisätä kasvihuonepäästöjä tuntuvasti.

Nykyään tuotantolaitoksilta edellytetään ympäristöluvissa kaasunkeräyslaitteiston rakentamista viimeistään kaatopaikan sulkemisvaiheessa. Kaatopaikkakaasun keräily- ja hyötykäyttömahdollisuuksia on käsitelty kappaleessa 5.3.2.

Uusimmissa kaakkoissuomalaisten metsäteollisuuslaitosten kaatopaikkoja koskevissa ympäristöluvista on lietteiden sijoittaminen kaatopaikoille määräajan jälkeen kielletty tiettyjä poikkeustilanteita lukuun ottamatta sillä perusteella, että niiden käsittely yhdessä kiinteiden jätteiden kanssa ei ole kaatopaikkateknisesti järkevää. Ne lisäävät suotovesien määrää ja lisäävät mahdollisuutta hajuhaittoihin sekä vähentävät kaatopaikan leikkauslujuutta lisäten sortumavaaraa. Lisäksi ne ovat turvallisuusriski aitaamattomalla kaatopaikalla. Mikäli lietemäisiä jättejakeita halutaan läjittää kaatopaikalle, on ne sijoitettava muista jätteistä erillisiin tiivistettyihin altaisiin.

Yhteenveto

Metsäteollisuuslaitoksilla on tullut tuotannon muutosten ja niistä aiheutuvan lietteen koostumuksen muuttumisen myötä entistä ajankohtaisemmaksi harkita vaihtoehtoisia lietteenkäsittelymenetelmiä nykyisten mekaanisten vedenerotustekniikoiden rinnalle. Tällaisia vaihtoehtoja voisivat olla lähinnä termiset ja biotermiset kuivaustekniikat. Näiden menetelmien avulla pystytään saavuttamaan lietteen poltossa vaadittava kuiva-ainepitoisuus myös entistä hankalammin käsiteltäville lieteseoksille.

Lietteiden stabilointiin käytetään yleisimmin aumakompostointia sekä josain määrin muita menetelmiä kuten mädätystä. Aumakompostoinnin tarve yleisyy, koska käsittelemättömiä lietteitä ei jatkossa saa viedä kaatopaikoille.

Tällä hetkellä selvästi yleisin hyötykäyttömenetelmä metsäteollisuuslietteille on poltto kuorikattilassa kuori- ja muun puujätteen seassa. Edellytyksenä lietteen polton kannattavuudelle on riittävän kuiva-ainepitoisuuden saavuttaminen edellä mainituilla vedenerotus- ja kuivausmenetelmillä. Joissain tapauksissa polton onnistumista voidaan edistää myös kaasutuksella. Eräillä sellutehtailla poltetaan biolietettä myös soodakattilassa mustalipeään sekoitettuna.

Lietteiden sisältämä energia voidaan käyttää hyväksi myös biokaasun muodossa. Biokaasua saadaan mädätyksestä ulostulokaasuna sekä kaatopaikoilta orgaanisen aineen hajoamisen kautta. Uusimmissa ympäristöluvista teollisuuslaitosten kaatopaikoilta edellytetään kaasunkeräyslaitteiston rakentamista. Biokaasun käytön avulla voidaan osittain korvata fossiilisia polttoaineita.

Käsiteltyjä lietteitä voidaan hyödyntää myös viherrakentamisessa ja maisemoinnissa, jolloin voidaan vähentää neitseellisen raaka-aineen käyttöä. Yleisimmin lietettä sisältäviä raaka-aineita käytetään kaatopaikkojen tiivistämiseen, mutta niitä voidaan käyttää myös tie- ja katurakenteissa. Maa- ja metsätaloudessa käyttö on rajoitetumpaa johtuen tiukemmista laatuvaatimuksista.

Jatkossa näyttäisi olevan aiheellista tarkastella metsäteollisuuslietteiden käsittelyä ja hyötykäyttöä ekotehokkuuden näkökulmasta. Tämä tarkoittaa käytännössä käsittely-hyötykäyttökettulla saavutettujen hyötyjen arvioimista suhteessa ympäristöön kohdistuvaan kuormitukseen eli energian ja materiaalien kulutukseen ja päästöihin sekä niistä aiheutuviin ympäristövaikutuksiin. Edellytyksenä luotettavalle arvioinnille on mahdollisimman laajamittainen hyötyjen ja haittojen tarkastelu koko elinkaaren ajalta.

Kirjallisuus

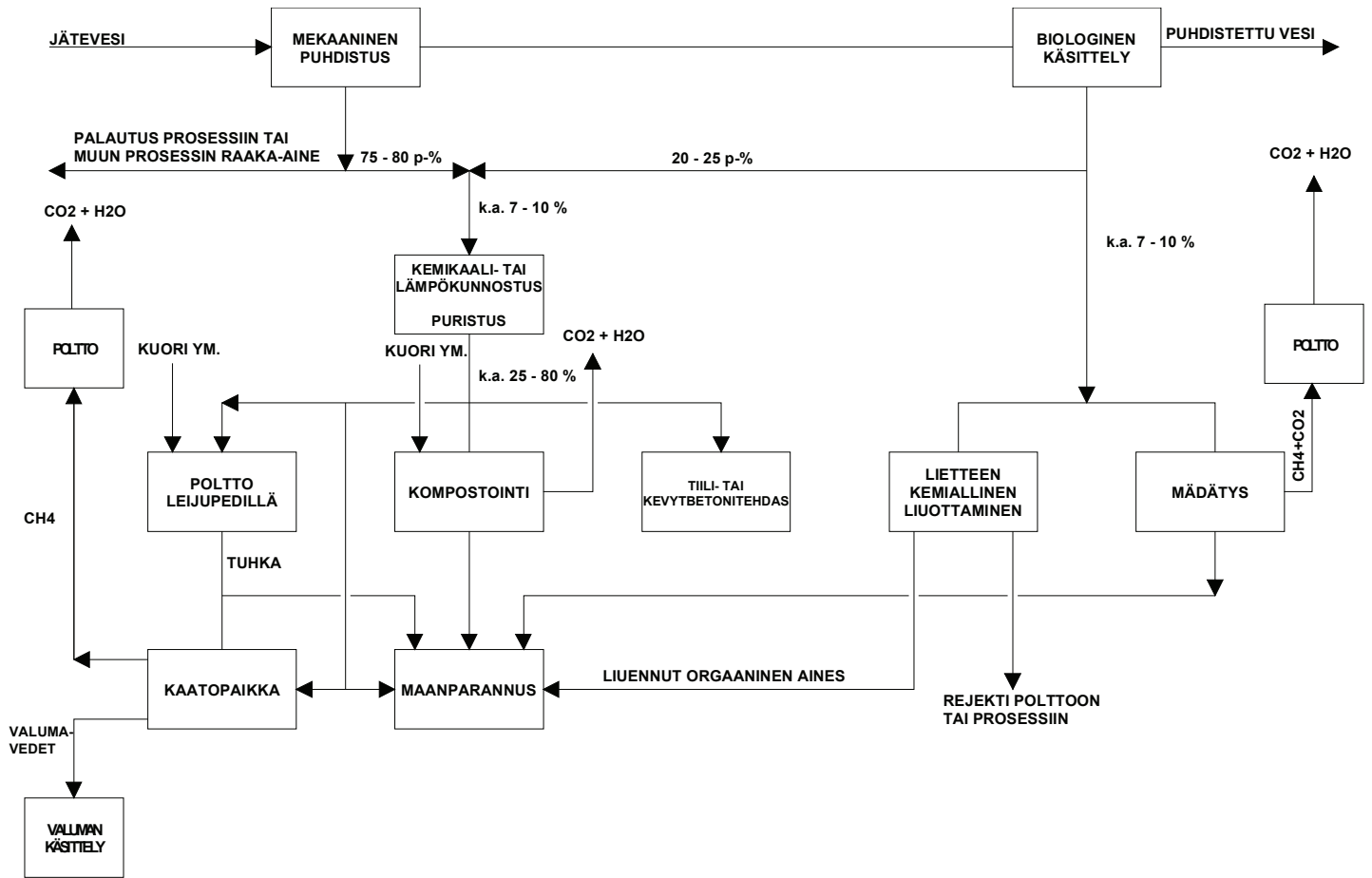
- Alakangas, E. 1998. Bioenergy in Finland - Review 1998. Finbio publications 6. Jyväskylä: VTT Energia. ISBN 952-5135-05-5.
- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Tiedotteita 2045. VTT Energia, Energian tuotanto, Jyväskylä. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. ISBN 951-38-5699-2. ISSN 1235-0605 (nid.). ISBN 951-38-5740-9. ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>).
- Alakangas, E., Hietanen, L., Lohiniva, E., Sipilä, K. 2000. Evaluation of energy recovery from biomass and waste in Finland. VTT Energia. Julkaisussa: de Vries, R., Meijer, R., Hietanen, L., Lohiniva, E., Sipilä, K. Evaluation of the Dutch and Finnish situation of energy recovery from biomass and waste. Technology Review 99/2000. Helsinki: Teknologian kehittämiskeskus. ISSN 1239-758x. ISBN 952-457-007-6.
- Anttikoski, T. 1992. Aktiivilielaitoksen ylijäämälietteen poltto kuorikattiloissa. Diplomityö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Energiatekniikan osasto.
- Arrougè, T., Moresoli, C. & Soucy, G. 1999. Primary and secondary sludge composting: a feasibility study. Pulp & Paper Canada. Vol. 100, no. 4, p. 33 – 36.
- BAV. 1991. Kompostieren im Tunnel-Reaktor System. Esite.
- Biokaasukeskus. 2000a. Perustietoja biokaasusta [www-dokumentti]. URL: <http://www.kolumbus.fi/suomen.biokaasukeskus/perus.html>
- Biokaasukeskus. 2000b. Biokaasu-tiedote. Biokaasu-tiedote [www-dokumentti]. URL: <http://www.kolumbus.fi/suomen.biokaasukeskus/koe.htm>
- Biolan Oy. 1999. Esitemateriaali.
- Coulomb, I. 1997. Composting. Julkaisussa: Sludge Treatment and Disposal. Management Approaches and Experiences. Environmental Issues Series no. 7. p. 22 – 26. International Solid Waste Association. Copenhagen: European Environment Agency.
- Cullichsen, J. & Fogelholm, C.-J. 1999. Paper Making Science and Technology. Chemical Pulping. Book 6b. s. B237. Helsinki. ISBN 952-5216-06-3.
- Dahlberg, A.-G. & Osterman, A. 1996. Thermal drying of sewage sludge at Himmerjärden. IAWQ Yearbook 1995-96. s. 15 – 20. London: International Association on Water Quality. ISSN 1357-1729.
- Oy Eco Brahe Ltd. 2000. Esitteet.
- EIPPCB. 2000. Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry. European Commission. Directorate-General. Joint Research Centre. Institute for Prospective Technological Studies. Technologies for Sustainable Development. Seville: European IPPC Bureau.
- Forsius, K. 1997. Use of paper mill solid wastes as landfill cover material: a laboratory study. Julkaisussa: Saarela, J. & Zimmie, T. (Eds). First International Workshop on the Use of Paper Industry Sludges in Environmental Geotechnology and Construction. Proceedings, 11 – 16 August 1997. Suomen ympäristökeskuksen moniste 116. Helsinki: Suomen ympäristökeskus 1998. ISBN 952-11-0276-4. ISSN 1455-0792.
- Forsius, K. & Assmuth, T. 1990. Metsäteollisuuden jätteet ja niiden käsittely. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja, nro 272. Helsinki: Vesi- ja ympäristöhallitus. ISBN 951-47-3056-9.
- Golueke, C. G. 1991. Principles of composting. Julkaisussa: The Biocycle guide to the art & science of composting. p. 14 – 27. The JG Press Inc. USA.
- Haug, R. T. 1986. Composting Process Design Criteria. Part III - Aeration. Biocycle. Vol. 27, No. 9, p. 53 – 57. ISSN 0278-5055.
- Haug, R. T. 1993. The Practical Handbook of Compost Engineering. Lewis Publishers. Boca Raton, USA. ISBN 0-87371-373-7.
- Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P., Pakkanen, H. 1997. Höyrykattilatekniikka. 2. tarkastettu painos. Helsinki. ISBN 951-37-1327-X.
- Hänninen, K., Huotari, H. & Malinen, H. 1992. Kompostoinnin biotekniikka ja laitteet. VTT Tiedotteita 1371. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

- Isännäinen, S. 1993. Jätevesilietteistä ja niiden hyötykäytöstä. Seminaariesitelmiä. Vesiensuojelu. s. 19 – 40. Teknillisen korkeakoulun julkaisuja 4/1994. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, Ympäristötekniikan laboratorio. ISBN 951-22-2180-2.
- Isännäinen, S. & Huotari, H. 1994. Tuhkan ja metsäteollisuuden muiden jätejakeiden prosessointi lannoitekäyttöön soveltuva. Esiselvitys. Jyväskylä: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.
- Jaakko Pöyry Consulting. 1997. Solid waste minimisation in the pulp and paper industry. Another environmental challenge. Lidingö. Sweden.
- Jaakkola, K. 1993. Metsäteollisuuslietteiden käsittelymenetelmät ja niiden kustannusmalli. Diplomityö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Kemianteeniikan osasto, Tehtaansuunnittelun laboratorio.
- Jagerlund, R. 1984. More Efficient Firing of Wet Bark is Possible. Paper Trade Journal. October 1984. s. 42 – 44.
- Jussila, H. & Laxén, T. 1994. Kiinteiden jätteiden minimointi. PREPARE-projektin "Kaatopaikalle vietävän kiinteän jätteen minimointi" loppuraportti. Kymn Paperiteollisuus Oy ja Rintekno Oy. Sisäinen muistio.
- Jyrkinen, S. & Peltomaa, S. 1996. Reaktiokompostointi. Lappeenranta: Jyrekom Oy.
- Kara, M. 1993. Firing pulp and paper making residues at small power plants. Paperi ja Puu - Paper and Timber. Vol. 75. No 8/1993. s. 576-582.
- Kiiskinen, S. 1984. Kompostireaktorit ja niiden mitoitusperiaatteet. Julkaisussa: Kompostointitekniikka. INSKO 113-84. Helsinki: Insinööritieto Oy. ISSN 0357-3451. ISBN 951-794-297-4.
- Kinni, J. & Remes, K. 1999. Bark and sludge combustion in bubbling fluidized bed (BFB) boiler. Appita: 53rd Appita Annual Conference, Rotorua, New Zealand. 19 – 23. April 1999. s. 701 – 708.
- Kinnunen, L. 2000. Artikkelit. Energia 8/2000. s. 72 – 74. Vol. 15. Helsinki: Energiafoorumi ry. ISSN 0781-9463.
- Klarin, A. & Bruno, F. 1998. Korroosiosymposiumi Kanadassa, osa 1. Soodakattilan korrosio. Paperi ja Puu. Vol. 80, nro 7, s. 497 – 500.
- Kouki, J. 2001. Lietteenkäsittelyvaihtoehdot. UPM-Kymmene Oyj Energia. Tuotannon tehostaminen, Ympäristövaikutukset & Pääomamarkkinat-seminaari 8. – 12.1.2001. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu.
- Krogerus, M. & Hynninen, P. 1992. Sellu- ja paperiteollisuuden päästöjen käsittelyvaihtoehdot ja kustannukset. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A. No 114. Helsinki: Vesi- ja ympäristöhallitus. SYTYKE-ohjelma. ISBN 951-47-6552-4. ISSN 0786-9592.
- Lahtinen, P. 1997. Utilization of industrial by-products for soil constructions in Finland. Julkaisussa: Saarela, J. & Zimmie, T. (Eds). First International Workshop on the Use of Paper Industry Sludges in Environmental Geotechnology and Construction. Proceedings, 11 – 16 August 1997. Suomen ympäristökeskuksen moniste 116. Helsinki: Suomen ympäristökeskus 1998. ISBN 952-11-0276-4. ISSN 1455-0792.
- Lappalainen, R. 2000. Kaasutuslaitosten valmistus Lappeenrannassa. Finreila Oy. Lappeenranta: 5. valtakunnalliset jätteen hyötykäyttöpäivät 14. – 15.11.2000.
- Leinonen, S. & Kuittinen, V. 1999. Suomen biokaasulaitosrekisteri II. Tiedot vuosilta 1996 – 1998. Biokaasukeskus ry. Joensuun yliopisto. Karjalan tutkimuslaitoksen monisteita. No 1/1999. ISSN 0781-1969. ISBN 951-708-780-2.
- Levinen, R. 1991. Puhdistamoliete ja sen hyödyntäminen. Julkaisussa: Kemia-Kemi 2/1991. Vol. 81. s. 116 – 119.
- Liimatainen, P. 2000. Metsäteollisuuden jätevedenpuhdistamon lietteiden vaihtoehtoiset käsittelymenetelmät. Diplomityö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Energiatekniikan osasto.
- Manninen, R. 1994. Yhdyskuntalietteiden käsittely ja sijoitus Mikkelin läänissä. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 562. s. 41 – 50. Helsinki: Vesi- ja ympäristöhallitus. ISBN 951-47-8255-0.
- Manninen, R. & Laukkanen, K. 1995. Toimenpiteitä jätevesilietteen hyötykäytön edistämiseksi Pohjois-Savossa. Ympäristö ja terveys-lehti 6/1995. s. 27 – 33. Pori. ISSN 0358-3333.
- Niittymäki, I. 1992. Bubbling fluidized bed boiler for biofuel combustion. Julkaisussa: Alakan-gas, E. (ed.). Proceedings of the Biofuels Workshop II. Hanasaari Cultural Centre, August 24 – 30, 1992. Jyväskylä: VTT Energy 1993.
- Niro A/S. 2000. Esitemateriaali.

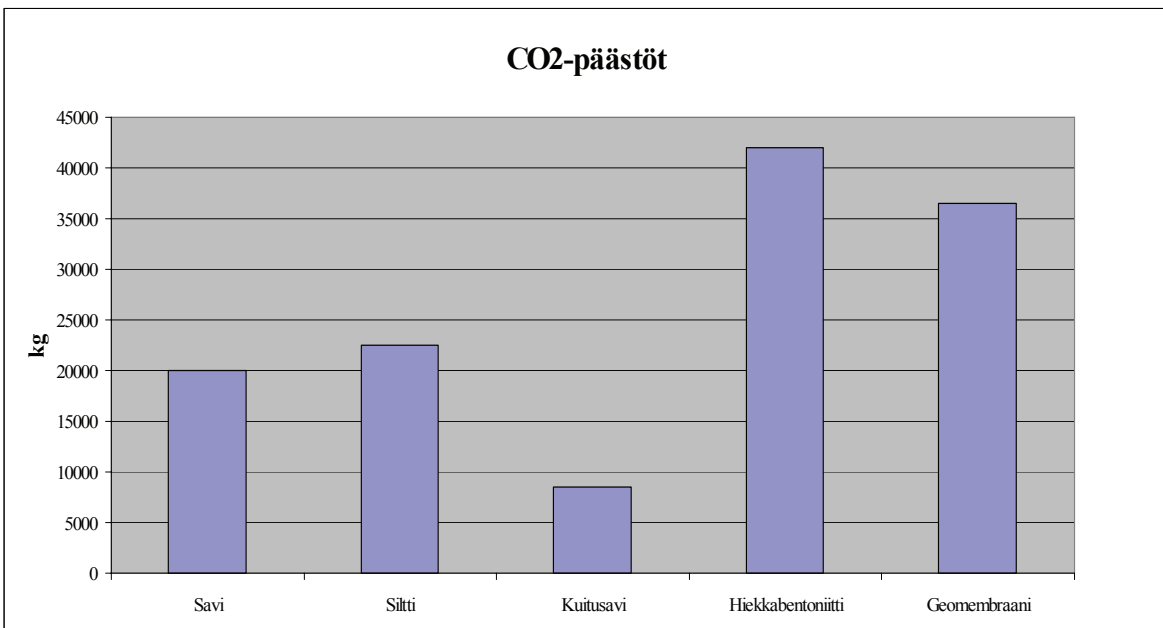
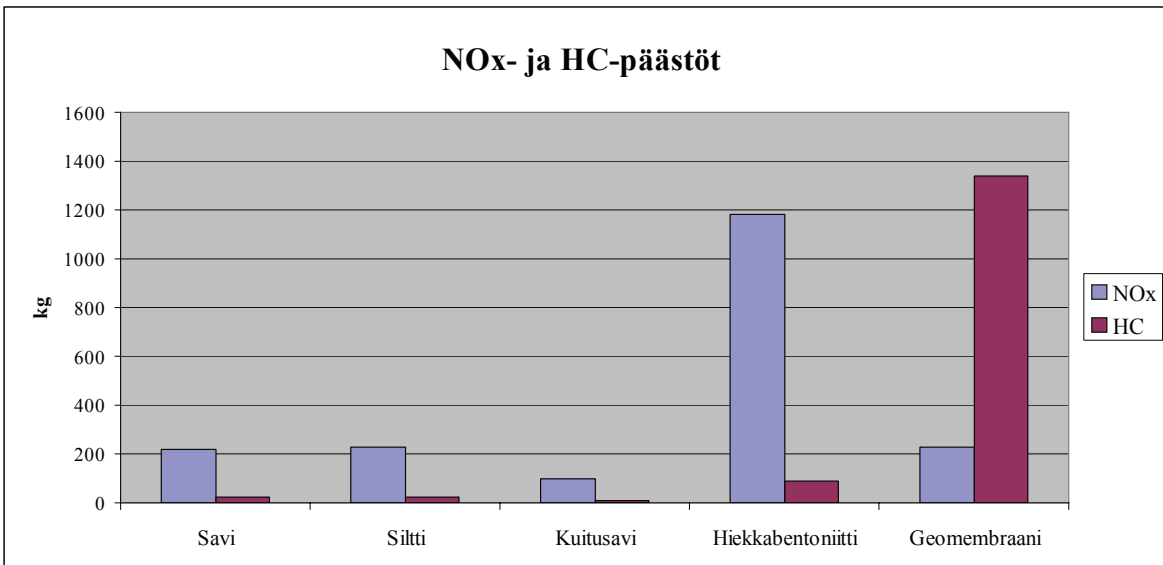
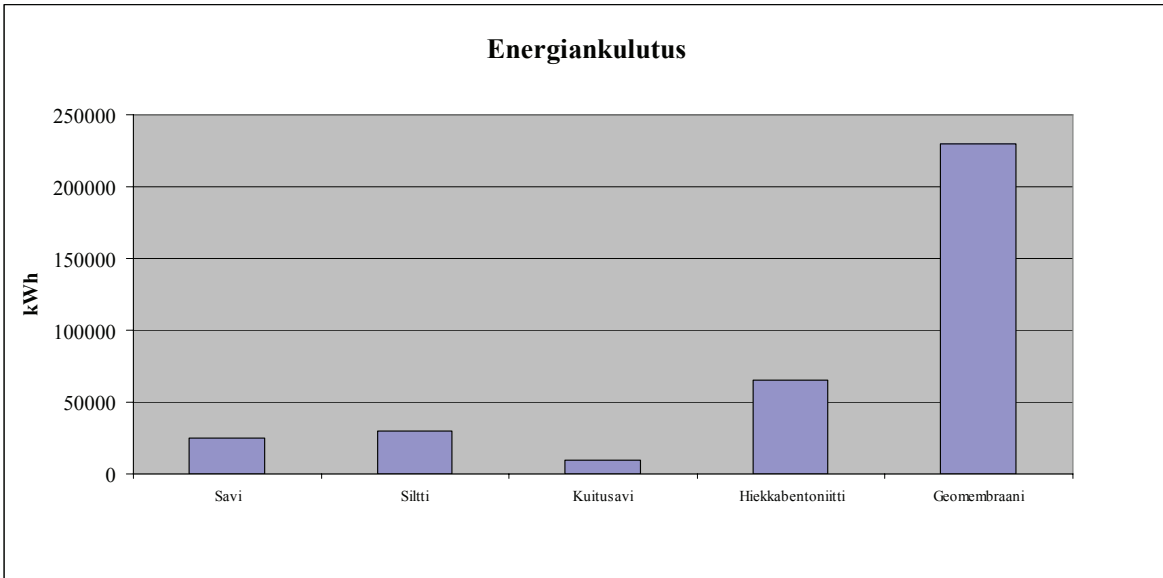
- Niutanen, V. 2000. Teollisuusekologinen näkökulma metsäteollisuuden ja energiantuotannon sivutuotteiden käyttöön kaatopaikkarakentamisessa. Finncao Oy. Lappeenranta: 5. valtakunnalliset jätteen hyötykäyttöpäivät 14. – 15.11.2000.
- Nygrèn, J. 1992. Jätevesilietteiden kuivaus. Diplomityö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Kemianteeniikan osasto.
- Paatero, J., Lehtokari, M. & Kempainen, E. 1984. Kompostointi. WSOY. Juva. ISBN 951-0-12502-4.
- Palonen, J. 2000. Kaasutustekniikka polttomahdollisuuksien lisääjänä. Foster Wheeler Energia Oy. Lappeenranta: 5. valtakunnalliset jätteen hyötykäyttöpäivät 14. – 15.11.2000.
- Palonen, J. 1999. Lahti biomass and REF gasification project. Foster Wheeler Energia Oy. Malmö: Waste-to-Energy. The latest technical development. 30 September- 1 October 1999.
- Pere, J., Thun, R., Alen, H., Kyllönen, H. & Viikari, L. 1992. Metsäteollisuuden jäteliitteet. SYTYKE-ohjelma. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A. Helsinki: Vesi- ja ympäristöhallitus.
- Pipatti, R., Hänninen, K., Vesterinen, R., Vihersaari, M. & Savolainen, I. 1996. Jätteiden käsittelyvaihtoehtojen vaikutus kasvihuonepäästöihin. VTT julkaisuja 811. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. ISBN 951-38-4520-6.
- Raiko, R., Kurki-Suonio, I., Saastamoinen, J. & Hupa, M. 1995. Poltto ja palaminen. Jyväskylä: International Flame Research Foundation - Suomen kansallinen osasto. s. 139 – 151, 393 – 405. ISBN 951-38-5365-9. ISSN 1455-0849.
- Rantala, P.-R., Nevalainen, J. & Jokela, P. 1998. Metsäteollisuuslietteen kuivausmenetelmiä. Suomen ympäristö 228. Tampere: Pirkanmaan ympäristökeskus.
- van der Roest, H. F., Salome, A. A. & Koornneef, E. 1993. New generation belt presses and decanters for sludge dewatering. Water science & technology. Volume 28. Number 1 1993. p. 37 - 45. London: International association on water quality. ISBN 0 08 042348 5.
- Ronkainen, M. 1997. Deinking sludge and fly ash road in Luopioinen. Julkaisussa: Saarela, J. & Zimmie, T. (Eds). First International Workshop on the Use of Paper Industry Sludges in Environmental Geotechnology and Construction. Proceedings, 11 – 16 August 1997. Suomen ympäristökeskuksen moniste 116. Helsinki: Suomen ympäristökeskus 1998.
- Runeberg, J. 1993. Stabilointimenetelmien teknistaloudellinen vertailu. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 550. Jätevesilietteen käsittely ja sijoitus. s. 41 – 50. Helsinki: Vesi- ja ympäristöhallitus. ISBN 951-47-8255-0.
- Ruottu, S. 2000. Jätteen terminen prosessointi. Einco Oy. Lappeenranta: 5. valtakunnalliset jätteen hyötykäyttöpäivät 14. – 15.11.2000.
- Saabye, A. 1997. Agricultural use. Julkaisussa: Sludge Treatment and Disposal. Management Approaches and Experiences. Environmental Issues Series no. 7. p. 20 – 21. International Solid Waste Association. Copenhagen: European Environment Agency.
- Siik, S. 1999. Jätteenkäsittelylaitosten hajuhaittojen ehkäisy. Vapo Oy Biotech. Lappeenranta: Valtakunnalliset jätteen hyötykäyttöpäivät 16. – 17.11.1999.
- Soikkeli, J. 2000. Finncao-konseptin hyödyntäminen kaatopaikkojen sulkemisessa. Finncao Oy. Lappeenranta: 5. valtakunnalliset jätteen hyötykäyttöpäivät 14.-15.11.2000.
- Spinosa, L. 1997. Sludge Characterisation. Julkaisussa: Sludge Treatment and Disposal. Management Approaches and Experiences. Environmental Issues Series no. 7. p. 13 – 16. International Solid Waste Association. Copenhagen: European Environment Agency.
- Suni, H., Lahtinen, P. & Jyrävä, H. 2001. Uusia materiaaleja ja rakenteita teollisuuden sivutuotteista. Tuotannon tehostaminen, Ympäristövaikutukset & Pääomamarkkinat-seminaari 8.-12.1.2001. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu.
- Suunnittelukeskus Oy. 1986. Pienehköjen jätevedenpuhdistamojen lietteen energian talteenotto. s. 43. Helsinki: Suunnittelukeskus Oy.
- Tchobanoglous, G. & Burton, F.L. 1991. Wastewater Engineering. Treatment, Disposal and Reuse. Metcalf & Eddy, Inc. McGraw-Hill International Editions. Civil Engineering Series. ISBN 0-07-100824-1.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. & Vigil, S. 1993. Integrated Solid Waste Management. Engineering Principles and Management Issues. McGraw-Hill, Inc. ISBN 0-07-112865-4.
- Thun, R. & Korhonen, M (toim.). 1999. SIHTI 2. Energia- ja ympäristöteknologia. Tutkimusohjelman vuosikirja 1998. Projektiesittelyt. VTT Symposium 191. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

- Tiehm, A., Nickel, K. & Neis, U. 1997. Ultrasound speeds digestion. *Water Quality International*: September/October 1997. p. 28. London: International Association on Water Quality. ISSN 0892-211 X.
- Turunen, A. 1998. Puunjalostustehtaiden jätevedenpuhdistamoiden energiankäyttö ja energiansäästömahdollisuudet. Insinööritö. Helsinki: Helsingin teknillinen oppilaitos, Koneosasto, energiatekniikan opintolinja.
- UPM-Kymmene Oyj., Kaukaan tehtaas. 1997. Lietteiden kompostointi lietepolttoaineeksi. Vapo Oy Biotech. Hankekuvaus. Sisäinen asiakirja.
- Utvik, Å.Ø. & Matter, B. 1997. *New Technologies (Gasification, Wet Oxidation)*. Julkaisussa: *Sludge Treatment and Disposal. Management Approaches and Experiences*. Environmental Issues Series no. 7. p. 42 – 43. International Solid Waste Association. Copenhagen: European Environment Agency.
- Utvik, Å.Ø., Bresters, A.R. & Würdemann, M. 1997. *Drying*. Julkaisussa: *Sludge Treatment and Disposal. Management Approaches and Experiences*. Environmental Issues Series no. 7. p. 27 – 30. International Solid Waste Association. Copenhagen: European Environment Agency.
- Vainio, O. 1999. Puhdistusprosessien vaikutus jätevedenpuhdistamon energiankulutukseen. Diplomityö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Energiatekniikan osasto.
- Vapo Oy Biotech. 1996. Kierrätyspolttoaineen valmistus. Esite.
- Välttilä, O. 1993. Biolietteen poltto - keskeiset tulokset. KCL-seloste 2102. Espoo: Oy Keskuslaboratorio Ab.
- Åmand, L.-E. & Leckner, B. 1999. Results from Pre-Tests with Fibre Sludge from Stora Enso's Pulp and Paper Mill in Skoghall. Joint Swedish/German Research Project: Advanced Air Staging Techniques to Improve Fuel Flexibility, Reliability and Emissions in Fluidized Bed Co-Combustion. Göteborg: Chalmers University of Technology. Department of Energy Conversion.

Liite I. Metsäteollisuuden lietteiden käsittelymahdollisuudet



Liite 2. Kaatopaikan tiivistämiseen käytettävien materiaalien valmistuksen aiheuttama energiankulutus ja ilmapäästöt



Kuvailulehti

Julkaisij	Kaakkois-Suomen ympäristökeskus		Julkaisuaika	kesäkuu 2001
Tekijä(t)	Pekka Ojanen			
Julkaisun nimi	Sellu- ja paperitehtaiden lietteiden käsittely ja hyötykäyttö sekä niitä rajoittavat tekijät			
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut	Julkaisua on saatavana Internetistä http://www.ymparisto.fi/kas >Palvelut ja tuotteet >Julkaisut			
Tiivistelmä	<p>Tämän raportin tarkoituksena oli tarkastella erilaisia metsäteollisuuslietteiden käsittely- ja hyötykäyttötapoja.</p> <p>Raportin alussa esitellään lietteiden syntymekanismit ja ominaisuudet sekä lähtökohdat niiden käsittelylle ja hyötykäytölle. Tämän jälkeen käydään läpi käytettävissä olevat lietteenkäsittelymenetelmät sekä mahdolliset energia- ja muut hyötykäyttötavat.</p> <p>Tällä hetkellä yleisimpiä lietteenkäsittelymenetelmiä ovat mekaaniset vedenpoistotekniikat. Niitä käyttämällä on tähän asti päästy riittävään kuiva-ainepitoisuuteen lietteen polttoa varten. Poltto kuorikattilassa kuoren ja muun puujätteen seassa on tällä hetkellä selvästi yleisin hyötykäyttömenetelmä. Yli puolet lietteistä poltetaan, minkä lisäksi osa niistä käytetään raaka-aineena esimerkiksi maanrakentamisessa. Kaatopaikkasijoittaminen kielletään määräajan jälkeen.</p> <p>Tulevaisuudessa lietteen käsittelylle tulee uusia vaatimuksia, sillä tuotannon muutoksista johtuvan lietteen koostumuksen muuttumisen takia vedenpoisto-ominaisuudet heikkenevät. Tämän vuoksi jatkossa todennäköisesti yleistyvät termiset ja biotermiset kuivausmenetelmät. Hyötykäyttöä varten on kehitelty vaihtoehtoisia menetelmiä, kuten biolietteen poltto sellutehtaan soodakattilassa sekä toisaalta erilaisten lietettä sisältävien seosten käyttö eri maanrakennussovellusten raaka-aineena. Lisäksi mädätyksestä ja kaatopaikoilta voidaan ottaa talteen biokaasua, jota voidaan käyttää energian tuottamiseen.</p>			
Asiasanat	liete, käsittely, hyötykäyttö			
Julkaisusarjan nimi ja numero	Alueelliset ympäristöjulkaisut 223			
Julkaisun teema				
Projektihankkeen nimi ja projektinumero	Sellu- ja paperitehtaiden lietteiden käyttö ja sitä rajoittavat tekijät, D5459			
Rahoittaja/ toimeksiantaja				
Projektiryhmään kuuluvat organisaatiot				
	ISSN	ISBN	ISBN	
	1238-8610	952-11-0922-X	952-11-2153-X (PDF)	
	Sivuja	Kieli		
	64	Suomi		
	Luottamuksellisuus	Hinta		
	julkinen	30 mk (sis. alv 8 %)		
Julkaisun myynti/ jakaja	Kaakkois-Suomen ympäristökeskus, p. (05) 75 441, telefax (05) 371 0893 Edita Oyj, Asiakaspalvelu, p. 020 450 05, telefax 020 450 2380			
Julkaisun kustantaja	Kaakkois-Suomen ympäristökeskus			
Painopaikka ja -aika	Aalef Online Kirjapaino, Lappeenranta 2001			

Presentationsblad

Utgivare	Sydöstra Finlands miljöcentral	Datum	Juni 2001
Författare	Pekka Ojanen		
Publikationens titel	Behandling och återvinning av cellulos- och papperfabrikernas slam och faktorer som begränsar dem		
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma project	Publikationen finns tillgänglig på Internet: www.ymparisto.fi/kas >Palvelut ja tuotteet >Julkaisut		
Sammandrag	<p>Målsättningen av denna rapport var att undersöka olika metoder för behandling och återvinning av skogindustrins slammen.</p> <p>I början av rapporten har presenterats slammens uppkomst och egenskaper och premisser för deras behandling och återvinning. Efter detta har genomgått användbara slambehandlingmetoder och möjliga energi- och andra återvinningsmedlen.</p> <p>Numera mest använda metoder för slambehandlingen är mekaniska avvattningstekniker. Med användning av dem har hittills uppnåtts tillräckliga torrsubstansen för förbränning av slam. Förbränningen i barkpannan är idag klart mest allmänna återvinningsmetoden. Över halv av slammen är förbränt, förutom vilket del av dem är använt som råvara till exempel i jordbyggning. Förläggningen på tippar ska förbjudas efter terminen.</p> <p>I framtiden blir det nya kraven för slambehandlingen, eftersom avvattningsegenskaper ska bli sämre därför att produktion förändras. Därför ska termiska och biotermiska torkningsmetoder troligt bli mer allmänna. För återvinningen har utvecklats alternativa metoder, som bioslamförbränningen i cellulosafabrikens sodapannan och dels som råvaran i landsbyggning. Vidare från slamrötningen och avstjältningsplatser kan man ta tillvara biogas, som kan användas för energi produktion.</p>		
Nyckelord	slam, behandling, återvinning		
Publikationsserie och nummer	Regionala miljöpublikationer 223		
Publicationens tema			
Projektets namn och nummer	Användningen av cellulos- och papperfabrikernas slam och faktorer som begränsar det, D5459		
Finansiär/ uppdragsgivare			
Organisationer i projektgruppen			
	ISSN 1238-8610	ISBN 952-11-0922-X	ISBN 952-11-2153-X (PDF)
	Sidantal 64		Språk Finsk
	Offentlighet Offentlig		Pris 30 FIM (inkl. moms 8 %)
Beställningar/ distribution	Sydöstra Finlands miljöcentral, tel. (05) 75 441, telefax (05) 371 0893 Edita Oyj, Asiakaspalvelu, tel. 020 450 05, telefax 020 450 2380		
Förläggare	Sydöstra Finlands miljöcentral		
Tryckeri/ tryckningsort och -år	Aalef Online Kirjapaino, Lappeenranta 2001		

Documentation page

Publisher	Southeast Finland Regional Environment Centre		Date	June 2001
Author(s)	Pekka Ojanen			
Title of publication	Treatment and utilization of pulp and paper mill sludges and factors limiting them			
Parts of publication/ other project publications	The Publication is available in the Internet: http://www.ymparisto.fi/kas >Palvelut ja tuotteet >Julkaisut			
Abstract	<p>The aim of this study was to examine different methods for treating and utilizing wood industry sludges.</p> <p>In the beginning of this report is described origins and properties of sludges and basis for treatment and utilization of theirs. After this is gone through available sludge treatment methods and possible energy and other utilization methods.</p> <p>At the moment the most commonly used sludge treatment methods are mechanical dewatering techniques. By using them has so far been achieved sufficient solid content for burning sludge. Incineration in bark boiler mixed with bark and other wood waste is now clearly the most common utilization method. Over half of sludges is burned, and some of them are used as raw materials for example in land construction. Disposal in landfills will be prohibited after fixed time.</p> <p>In future there will be new demands for sludge treatment, because dewatering properties will get worse because of changes in sludge composition due to variations in production. In consequence of this thermal and biothermal drying methods will probably get more common in near future. For utilization have been developed alternative methods, like biosludge incineration in recovery boiler of pulp mill and on the other hand use of sludge containing mixtures as raw material in land constructions. In addition to that from anaerobic digestion and landfills can be recovered biogas, which can be used for energy production.</p>			
Keywords	sludge, treatment, utilization			
Publication series and number	Regional Environmental Publications 223			
Theme of publication				
Project name and number, if any	Use of pulp and paper mill sludges and factors limiting it, D5459			
Financier/ commissioner				
Project organization				
	ISSN 1238-8610	ISBN 952-11-0922-X	ISBN 952-11-2153-X (PDF)	
	No. of pages 64	Language Finnish		
	Restrictions For public use	Price 30 FIM (include value added tax 8 %)		
For sale at/ distributor	Southeast Finland Regional Environment Centre, tel. (05) 75 441, telefax (05) 371 0893 Edita Oyj, Asiakaspalvelu, tel. 020 450 05, telefax 020 450 2380			
Financier of publication	Southeast Finland Regional Environment Centre			
Printing place and year	Aalef Online Kirjapaino, Lappeenranta 2001			

Sellu- ja paperitehtaiden lietteiden käsittely ja hyötykäyttö sekä niitä rajoittavat tekijät

Tässä raportissa selvitetään metsäteollisuuden lietteiden erilaisten käsittelymenetelmien ja hyötykäyttötapojen toimivuutta ja soveltuvuutta muuttuvissa olosuhteissa.

Tällä hetkellä käytetyimpiä metsäteollisuuslietteiden käsittelymenetelmiä ovat mekaaniset vedenerotustekniikat, joiden avulla on saavutettu riittävä kuiva-ainepitoisuus lietteen polttoa varten. Tuotannonmuutoksista aiheutuvan lietteen koostumuksen muuttumisen takia ei perinteisillä menetelmillä kuitenkaan jatkossa aina päästä toivottuun lopputulokseen, jolloin joudutaan ottamaan entistä enemmän käyttöön tehokkaampia kuivausmenetelmiä.

Polton lisäksi lietteelle voidaan tuotekehittelyn myötä harkita entistä enemmän myös muita hyötykäyttötapoja. Tällaisia ovat esimerkiksi käyttö kaatopaikka- ja tierakentamisen raaka-aineena tai lannoitteena. Näin voidaan vähentää neitseellisen raaka-aineen käyttöä. Lietteiden kaatopaikkasijoittaminen kielletään määräajan jälkeen, mikä omalta osaltaan lisää tarvetta hyötykäyttöön.

Julkaisu on saatavissa Internetissä:

<http://www.ymparisto.fi/kas> >Palvelut ja tuotteet >Julkaisut

ISBN 952-11-0922-X

ISBN 952-11-2153-X (PDF)

ISSN 1238-8610

Myynti:

Kaakkois-Suomen ympäristökeskus

Kauppamiehenkatu 4, 45100 Kouvola

puh. (05) 754 41

Edita Oyj:n asiakaspalvelu

puh. 020 450 05, faksi 020 450 2380

