

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

BH10A0300 Ympäristötekniikan kandidaatintyö ja seminaari

KAATOPAIKKAKAASUN HYVÄKSIKÄYTTÖ LIETTEEN KUIVAUKSESSA

Landfill Gas Utilization in Sludge Drying

Työn tarkastaja: Professori, Mika Horttanainen

Työn ohjaaja: Tutkijakoulutettava, Antti Niskanen

Lappeenrannassa 14.4.2009

Otso-Pekka Kauppinen

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO	2
1 JOHDANTO	3
1.1 Tausta.....	3
1.2 Työn tavoite.....	4
2 YHDYSKUNTALIETTEEN TERMINEN KUIVAUS	5
2.1 Yhdyskuntaliete.....	5
2.1.1 Yhdyskuntalietteen koostumus	5
2.1.2 Yhdyskuntalietteen käsittely	6
2.2 Terminen kuivaus	8
2.2.1 Yleistä.....	8
2.2.2 Kuivausprosessi	9
2.2.3 Kuivausmenetelmät.....	10
2.2.3.1 Epäsuorat menetelmät eli kontaktikuivurit.....	11
2.2.3.2 Suorat menetelmät eli konvektiokuivurit	13
2.3 Ympäristövaikutukset	16
2.4 Energian terve ja kustannukset.....	17
2.5 Termisen kuivauksen edut.....	19
2.5.1 Lämpöarvon paraneminen.....	19
2.5.2 Lietteen Stabiilisuus	19
2.5.3 Tilavuus ja massa.....	20
3 KAATOPAIKKAKAASUN HYÖDYNTÄMINEN KUIVAUKSESSA.....	20
3.1 Yleistä kaatopaikkakaasusta.....	20
3.1.1 Muodostuminen	20
3.1.2 Puhdistus	22
3.1.3 Koostumus ja ominaisuudet	23
3.2 Kaatopaikkakaasun tuotanto ja käyttö Suomessa.....	25
3.3 Hyödyntäminen kuivauksessa	28
3.3.1 Kaatopaikkakaasu lämmöntuotannossa.....	28
3.3.2 Kaatopaikkakaasulla kuivattavan lietteen määrä Suomessa.....	30
4 YHTEENVETO	34
LIITTEET	

Liite 1. Esimerkkilaskelma

SYMBOLILUETTELO

BOD	Biologinen hapenkulutus
CO ₂	Hiilidioksidin kemiallinen kaava
DOC	Biokemiallisesti hajoava orgaaninen hiili
EU	Euroopan unioni
H ₂ O	Veden kemiallinen kaava
H ₂ S	Rikkihapon kemiallinen kaava
MJ/kg	Megajoulea per kilogramma
g/kg	Grammaa per kilogramma
ka	Kuiva - aine
pH	Happamuus
ppm	Miljoonasosa
TOC	Orgaaninen kokonaishiili
TVOC	Orgaanisten yhdisteiden kokonaismäärä
US\$	Yhdysvaltojen dollari

1 JOHDANTO

1.1 Tausta

EU:n ympäristö- ja jätepolitiikka linjaa Suomen jätepolitiikan päätavoitteet. Vuonna 2002 EU:n parlamentin ja neuvoston julkaisema kuudes ympäristöä koskeva toimintaohjelma painottaa muun muassa luonnonvarojen tehokkaampaa käyttöä ja parempaa hoitoa sekä parempaa jätehuoltoa. Keskeistä on jätteen synnyn ehkäisy, kierrätyksen ja jätteiden hyödyntämisen edistäminen vahingollisten ympäristövaikutusten estämiseksi. Keskeistä on myös kaatopaikoille joutuvien biohajoavien jätteiden määrän jyrkkä vähentäminen. Tämä vaatii syntyvän biohajoavan yhteiskuntajätteen määrän vähentämistä ja materiaali kierrätyksen, kompostoinnin tai mädätyksen sekä energiahyödyntämisen lisäämistä. (Ympäristöministeriö 2008, 33)

Suomalaisista asuu viemäriverkoston piirissä tällä hetkellä yli 70 %:a (Manninen, s. 17). Vuonna 2003 Suomessa syntyi jätevedenpuhdistamoiden lietettä 150 000 tonnia kuiva-aineeksi laskettuna. Vuoteen 2005 mennessä tavoite oli hyödyntää 90 %:a ja tilastollisesti tavoite onkin saavutettu, koska hyödynnetyksi lasketaan kaikki kompostoitu liete. Kuitenkin suurin osa tästä kompostoidusta lietteestä varastoidaan kysynnän vähyyden vuoksi odottamaan loppusijoitusta tai jatkokäsittelyä. Joten käytännössä valtakunnallisen jätesuunnitelman tavoitetta ei ole saavutettu ja uusia hyödyntämiskeinoja tarvitaan. (Ympäristöministeriö 2006)

Suomessa kompostoimalla tai mädättämällä käsiteltyä lietettä käytetään yleensä viherrakentamisessa ja kaatopaikkojen peitemateriaalina tai maanparannusaineena. Vuonna 2003 noin 6 %:a lietteestä sijoitettiin kaatopaikoille. Liete sisältää runsaasti orgaanisia aineita ja ravinteita ja sopii siksi hyvin peltojen lannoitukseen. Kuitenkin lietteen sisältämät haitalliset aineet (raskasmetallit, pysyvät orgaaniset yhdisteet ja taudinaiheuttajat) rajoittavat maatalous- ja muuta viherkäyttöä mikäli niiden määrät nousevat yli sallittujen rajojen. Lietteiden energiahyödynnys on yleistynyt Suomessa viime vuosina, mutta kattaa silti vain noin 1 - 2 %:a kaikista syntyvistä yhdyskuntajätevesilietteistä. (Ympäristöministeriö 2006)

Ilmaston muutoksen voittamiseksi on EU ilmoittanut tavoitteekseen peräti 30 %:n päästöjen vähennyksen 1990 – luvun tasosta vuoteen 2020 mennessä. Tämän lisäksi EU on sitoutunut nostamaan uusiutuvan energian osuutta 20 %:iin. Suomen päästörajoitustavoitteeksi EU esitti 16 %:a ei-päästörajoitussektorilla. (Savolainen et al. 2008, 11) Nämä rajoitukset asettavat kovia paineita uusiutuvien polttoaineiden käytön lisäämiseen ja kasvihuonekaasu päästöjen vähentämiseen.

Jätehuolto on merkittävä kasvihuonekaasupäästöjen lähde, koska kaatopaikoilla syntyvä metaani on voimakas kasvihuonekaasu. Ihmisen toiminnan aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä 3–4 %:a ja noin viidennes ihmisten tuottamista metaanipäästöistä on peräisin jätehuollosta. Kaatopaikkojen metaanipäästöjen vähentäminen on hyvin kustannustehokas keino rajoittaa kasvihuonekaasupäästöjä. Vuonna 2005 Suomessa kerättiin noin 118 Milj. m³ kaatopaikkakaasua 30 kaatopaikalta. (Mroueh et al. 2007, 13) Suomen vuoteen 2016 asti ulottuvan valtakunnallisen jätesuunnitelman mukaan kaatopaikkakaasun talteenottoa ja hyödyntämistä onkin vielä lisättävä. (Ympäristöministeriö 2008, 21)

1.2 Työn tavoite

Täyttyvien varastojen vuoksi esikäsitellylle lietteelle on tarvetta keksiä uusia hyötykäyttömahdollisuuksia. Tämän työn tavoitteena on tutkia jätevedenpuhdistamoilta tulevan lietteen termistä kuivausta yhtenä lietteenkäsittely vaihtoehtona. Tavoitteena on selvittää voidaanko lietettä kuivaamalla saada liete paremmin hyödynnetyksi. Tällä hetkellä yksi syy lietteen vähäiseen energiahyödynnykseen on muun muassa lietteen suuri kosteuspitoisuus. Toisaalta taas lietteen sisältämät orgaaniset, epäorgaaniset ja toksiset yhdisteet rajoittavat muun muassa lietteen lannoitekäyttöä.

Ensin työssä on tarkoitus kartoittaa tällä hetkellä käytössä oleva kuivausteknologia sekä tutkia niiden toimintaperiaatteita. Lisäksi on tarkoitus pohtia mitä hyötyjä ja mahdollisia haittoja lietteen kuivaamisesta on ja arvioida lietteen koostumuksen muutoksen aiheuttamia mahdollisuuksia lietteen loppukäyttöön.

Kaatopaikkakaasun keräys tulee lisääntymään seuraavina vuosina tiukentuneen lainsäädännön vuoksi. Tällä hetkellä osa kerätystä kaasusta poltetaan soihduissa kaatopaikoilla ilman mitään hyötykäyttöä. Tämän työn tavoitteena on arvioida kaatopaikoilta talteen otetun kaasun mahdollista hyödyntämistä lietteen kuivausprosessissa. Tavoitteena on tutkia kaatopaikkakaasun soveltuvuutta lietteen termisessä kuivauksessa sekä laskea Suomessa tuotetun kaatopaikkakaasun riittävyys lietteen kuivauksessa tarvittavan lämmön tuotantoon.

2 YHDYSKUNTALIETTEEN TERMINEN KUIVAUS

2.1 Yhdyskuntaliete

2.1.1 Yhdyskuntalietteen koostumus

Jätevedet voivat sisältää orgaanisia, epäorgaanisia ja toksisia yhdisteitä sekä patogeenisia ja tauteja aiheuttavia mikro-organismeja. Molekyylikooltaan suurimpia orgaanisia yhdisteitä jätevesissä ovat proteiinit, hiilihydraatit, rasvat ja öljyt. Lietteiden kuiva-ainepitoisuus (ka) vaihtelee 2 - 30 %:n välillä. Lietteet sisältävät myös lannoitekäyttöön hyödyllisiä ravinteita ja hivenaineita mutta myös haitallisia raskasmetalleja. Taulukossa 1 on esitetty yhdyskuntalietteiden ravinne- ja raskasmetallipitoisuuksia. (Lohiniva et al 2001, 18–19)

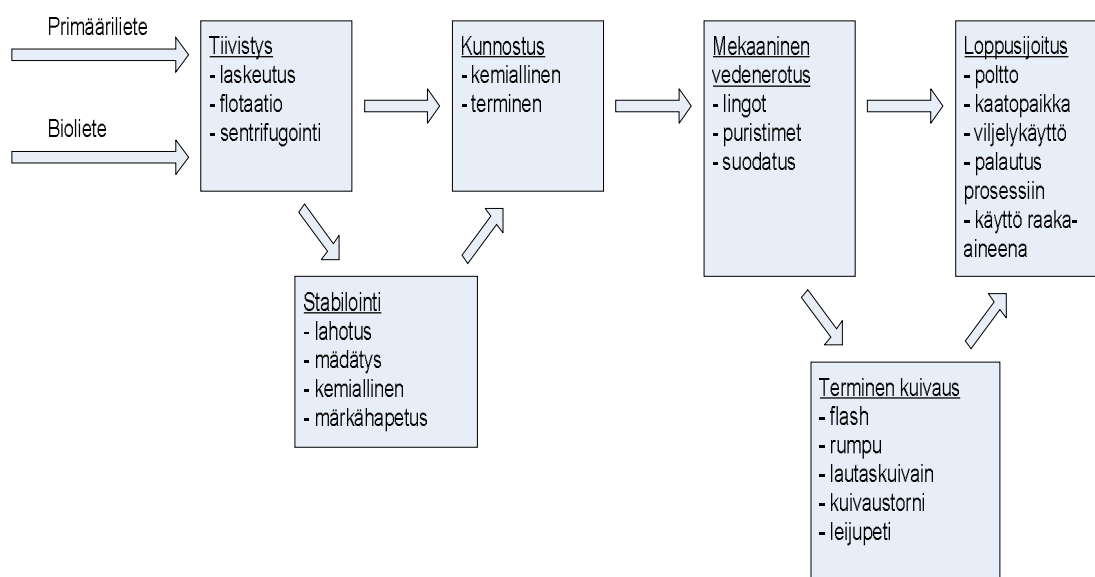
Jätevesilietteiden vesipitoisuus jakautuu siten, että 70–75 %:a on vapaata vettä, 20–25 %:a adheesio- ja kapillaarivettä ja noin 2 %:a on absorptio- ja solunsisäistä vettä. Vapaa vesi voidaan poistaa sakeutuksella. Adheesio- ja kapillaarivesi on partikkeleihin sitoutunut, ja sen poistaminen onnistuu mekaanisella kuivauksella. Absorptio- ja solunsisäinen vesi voidaan poistaa mekaanisesti ja termisesti kemiallisen kunnostuksen jälkeen. (Lohiniva et al 2001, 52)

Taulukko1. Puhdistamolietteiden keskimääräiset ravinne- ja raskasmetallipitoisuudet kuiva-aineessa neljästä eri kirjallisuuslähteestä kerättynä. (Lohiniva et. al 2001, 20)

Alkuaine	Yksikkö	Keskimääräiset pitoisuudet ja massaosuudet
Tehollinen lämpöarvo	MJ/kg	10-12
Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa	MJ/kg	1-2
Kuiva-ainepitoisuus	m-%	3-20
Tuhkapitoisuus	m-%	20
Hiili	m-%	27
Vety	m-%	4,3
Typpi	m-%	3,6
Rikki	m-%	0,975
Kloori	m-%	0,07
Fosfori	g/kg	28,3
Typpi	g/kg	30,2
Kalium	g/kg	2,0
Kalsium	g/kg	41,7
Magnesium	g/kg	3,9
Arseeni	mg/kg	17,4
Kadmium	mg/kg	4,3
Koboltti	mg/kg	17,8
Kromi	mg/kg	172
Kupari	mg/kg	312
Elohopea	mg/kg	2,3
Molybdeeni	mg/kg	1,9
Nikkeli	mg/kg	69,2
Lyijy	mg/kg	119
Sinkki	mg/kg	923
Rauta	g/kg	92,7
Mangaani	mg/kg	404
Alumiini	g/kg	49,3
Seleeni	mg/kg	1,6
Boori	mg/kg	46,8

2.1.2 Yhdyskuntalietteen käsittely

Kuvassa 1 on esitetty lietteen käsittelyn prosessikaavio sekä loppusijoituksen erilaisia vaihtoehtoja. Jokaisen osaprosessikohdan alle on merkitty muutamia eri prosessin toteutusmenetelmiä. Lietteen terminen kuivaus on esitetty vaihtoehtoisena menetelmänä mekaanisen vedenerotuksen jälkeen ja ennen loppusijoitusta.



Kuva1. Lietteen käsittelyn ja loppusijoituksen eri vaihtoehtoja. (Lohiniva et al 2001, 38)

Lietteitä esikäsitellään niiden laadun parantamiseksi, tilavuuden pienentämiseksi sekä loppusijoituksesta aiheutuvien haittojen ehkäisemiseksi. Esikäsitelyssä nostetaan muun muassa lietteen ka - pitoisuutta ja vähennetään biologista aktiivisuutta ennen kuin liete siirretään jatkokäsittelyyn. (Lohiniva et al 2001, 38)

Tiivistyksellä lietteen sisältämää vesimäärää vähennetään. Ka - pitoisuus saadaan nostettua yleensä 2-3 kertaiseksi, 4 - 5 %:iin. Yleisimmin käytetyt laitteet ovat gravitaatio- ja flotaatiotiivistimet, suodatin rummut ja kaariseulat. (Lohiniva et al 2001, 38)

Stabiloinnilla tarkoitetaan lietteessä tapahtuvan biologisen toiminnan keskeyttämistä. Lietteet voidaan stabiloida kemiallisesti (kalkkistabilointi), biologisesti (anaerobinen mädätys), aerobisesti (kompostointi) tai fysikaalisesti (lämpökäsittely). Stabiloinnilla liete kuivataan yleensä yli 20 %:n ka - pitoisuuteen, jolloin orgaanisen aineksen hajoamistoiminta on heikentynyt. (Lohiniva et al 2001, 39–40)

Kunnostuksen tarkoituksena on parantaa lietteen käsiteltävyyttä ja lietteen vedenpoist ominaisuuksia. Kunnostus on fysikaalista (paine- ja lämpökäsittely) tai kemiallista (lisätään sopivaa kemikaalia), mutta fysikaalisia ei juuri enää käytetä. Kemikaalien lisäyksellä saadaan aikaiseksi kiintoainepartikkelien sitoutuminen suuremmiksi kokonaisuuksiksi ja näin ollen saadaan helpotettua vedenerotusta lietteestä. Stabilointi ja kunnostus vaiheet

ovat tärkeitä, koska ne määräävät jatkokäsittelyyn menevän lietteen määrän ja kemiallisen koostumuksen. (Lohiniva et al 2001, 49; Ojanen, P. 2001, 18)

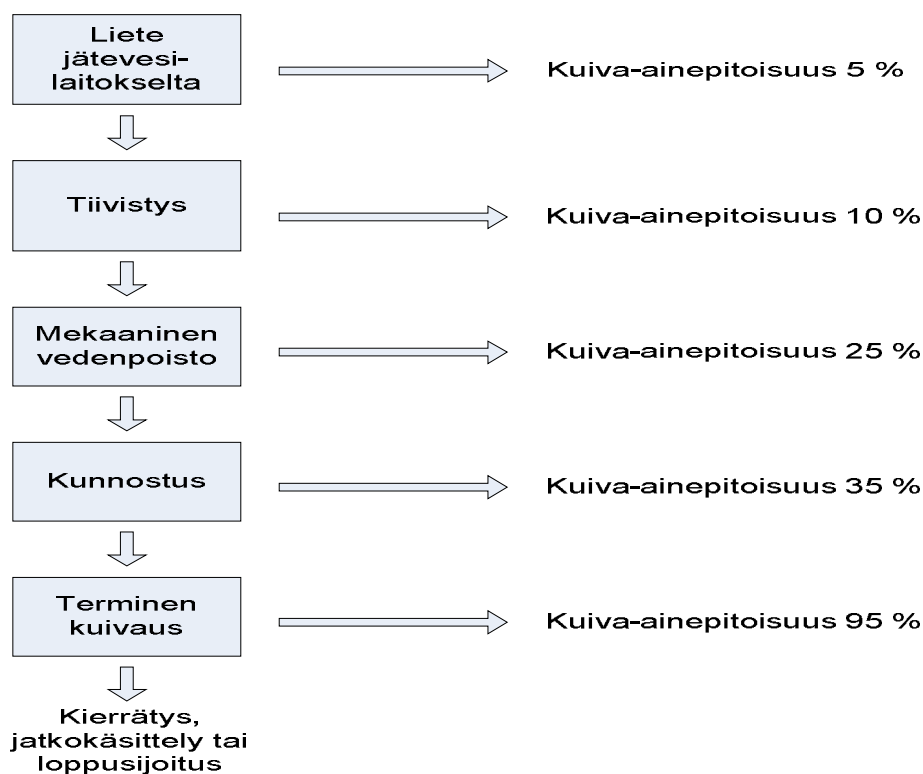
Mekaanisella veden erotuksella lietteen ka - pitoisuus nostetaan 10 – 40 %:iin. Lietteiden jatkokäsittelystä riippuu, kuinka korkeaan ka - pitoisuuteen on tarvetta pyrkiä. Mekaaninen vedenerotus on varmatoiminen ja investointikustannuksiltaan kohtuullinen. (Lohiniva et al 2001, 52–53) Mekaaninen vedenerotus on tärkeä menetelmä, jos lietteiden ka - pitoisuutta on tarkoitus tämän jälkeen nostaa vielä termisellä kuivauksella. Mekaanisesti veden erotus on paljon halvempaa kuin termisesti vettä haihduttamalla, joten mitä enemmän vettä voidaan poistaa mekaanisella vedenerotuksella, sen edullisempää on terminen kuivaus. (Pöyry Environment Oy 2007, 26)

2.2 Terminen kuivaus

2.2.1 Yleistä

Yhdyskunnan jätevesilietteiden ka - pitoisuus on keskimäärin noin 5 %:a ennen esikäsittelyä. Niin kuin edellä mainittiin, mekaanisella vedenerotuksella päästään 10 – 40 %:n ka - pitoisuuteen ja tästä edelleen termisellä kuivaamisella mahdollisesti noin 95 %:n ka - pitoisuuteen. Lietteiden jatkokäsittelystä riippuu kuinka paljon lietettä kannattaa kuivata. Useimpiin jatkokäsittelymenetelmiin riittää 15 – 20 %:n ka - pitoisuus ja esimerkiksi lietettä poltettaessa omassa kattilassa 20 – 45 %:n ka - pitoisuus sallitaan. (Lohiniva et al 2001, 52)

Termisellä kuivauksella tarkoitetaan sitä, että lietteestä haihdutetaan lämmöllä vettä. Kuivauksessa liete voidaan kuivata haluttuun ka - pitoisuuteen (50 – 90 %), mutta on kannattavaa pyrkiä noin 90 %:n ka - pitoisuuteen, koska liete on tällöin stabiilia eli biologinen aktiivisuus on lakannut. Jos liete on tarkoitus polttaa ilman välivarastointia, sopiva kuivaustavoite on noin 70 %:a ka, mutta jos halutaan lietetuote, joka ei homehdu varastossa, olisi ka - pitoisuuden oltava yli 85 %:a. Ka - pitoisuuden nosto lisää tietenkin kuivauksen energiantarvetta ja näin ollen polttoaineen kulutusta. (Lohiniva et al 2001, 61) Kuvassa 2 on esitetty lietteiden ka - pitoisuuksia käsittelyn eri vaiheissa.



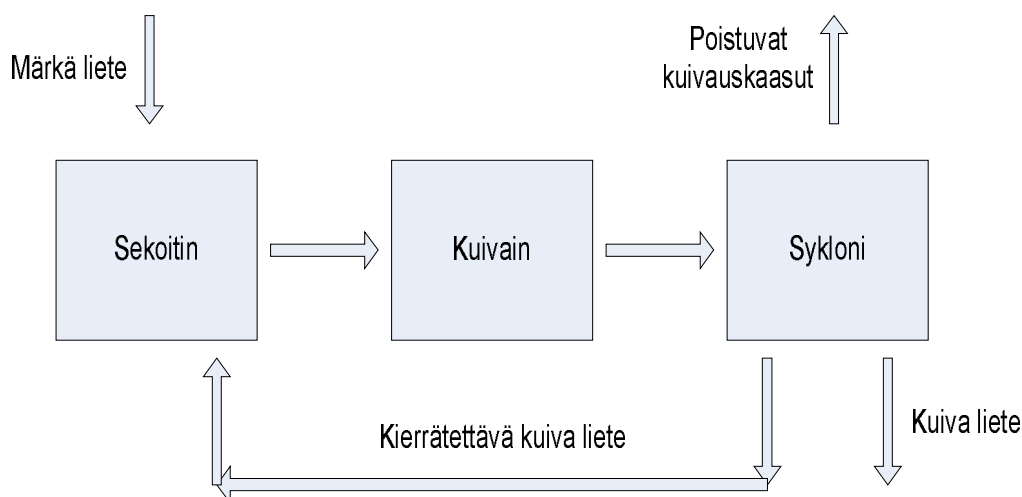
Kuva2. Lietteen kuiva-ainepitoisuuden kasvaminen käsittelyn aikana. (Lohiniva et al 2001, 52)

2.2.2 Kuivausprosessi

Suuri osa jo kuivatusta lietteestä yleensä kierrätetään ja sekoitetaan märän lietteen kanssa ennen kuivausta. Näin saadaan kuivausprosessista tehokkaampi, koska kuivattu liete vähentää tuoreen lietteen kasautumista ja näin ollen suurentaa kuuman kaasun ja lietteen välistä pinta-alaa. Prosessissa syntyvä kuivattu liete ja kaasu erotetaan toisistaan joko prosessissa tai sen jälkeen esimerkiksi syklonilla. Kaasu voidaan vielä puhdistaa tämän jälkeen hajuista ja hiukkasista. (Lawrence K. Wang et al. 2007, 304 - 305)

Kuivausprosessi voidaan jakaa kolmeen eri vaiheeseen: 1) alkukuivaus, jossa lietteen lämpötila sekä kuivausnopeus nousee. Tämä on yleensä lyhyt vaihe eikä kuivumista ehdi paljon tapahtua. 2) Vakaa vaihe, joka on näistä kolmesta vaiheesta pisin ja tässä tapahtuu suurin osa kuivumisesta. Liette pinta on veden kyllästämä ja sitä mukaa, kun vesi haihtuu kaasuun liette sisältä, siirtyy kosteus pinnalle. 3) Loppuvaiheessa riittävä määrä vettä on haihtunut ja liette pinta on vain osaksi veden kyllästämä. Tämän vuoksi kuivaus hidastuu ja liette pinnan lämpötila nousee, koska liette vesi ei enää riitä sen jäädyttämiseen. (Lawrence K. Wang et al. 2007, 304 - 305)

Kuivausprosessi on jaoteltu kolmeen osaan myös lietteen fyysisten ominaisuuksien vaihtelun mukaan: 1) märkä vaihe, jossa liete on juoksevaa ja voidaan siirtää putkessa, 2) tahmea vaihe, jossa liete on tarttuvaa ja huonosti sekoitettavaa, ja 3) rakeinen vaihe, jossa liete on murenevaa ja helposti sekoitettavissa. Näiden fyysisten muutosten (erityisesti tahmeuden) vuoksi lietteen kuivaus eroaa muiden aineiden kuivauksesta. Tahmeusongelma on ratkaistu tavallisesti sekoittamalla jo kuivattua lietettä märän lietteen kanssa, niin että lietteen ka - pitoisuus nousee tarpeeksi suureksi, ja tahmea vaihe ohitetaan jo ennen kuivausta (noin 60–65 %:a ka). Kuvassa 3 on esitetty tästä periaatekuva. Kierrätettävän lietteen määrä määräytyy tulevan lietteen ka - pitoisuuden mukaan. (Werther, J.; Ogada, T. 1999, 84)



Kuva3. Periaatekaavio lietteen kierrättämisestä. (Werther, J.; Ogada, T. 1999, 83)

2.2.3 Kuivausmenetelmät

Kuivausmenetelmät on tavallisesti jaoteltu niiden lämmönsiirtoperiaatteiden mukaan epäsuoriin ja suoriin menetelmiin. Suorissa menetelmissä kuuma kaasu on kosketuksissa kuivattavan lietteen kanssa ja lämpö siirtyy lietteeseen konvektiolla ja lietteen sisältämä kosteus siirtyy ilmaan. Epäsuorissa menetelmissä lämpö siirretään jonkin väliaineen kautta johtamalla lietteeseen. (Lohiniva et al. 2001, 62)

Kontaktikuivuri (epäsuora) sopii hyvin tilanteisiin joissa on paljon halpaa lämpöä saatavissa ja liete on pölyävää. Lisäksi poistokaasujen pieni määrä sekä energiahyötysuhde ovat etuja. Huono puoli on lietteen epätasainen lämpeneminen. Kuumennuspinnassa kiinni oleva liete saattaa kuumentua liikaa tai toisaalta kauempana pinnasta oleva liian vähän. Tämä voi aiheuttaa huonon lietteen hygienisoinnin. (Lohiniva et al. 2001, 62)

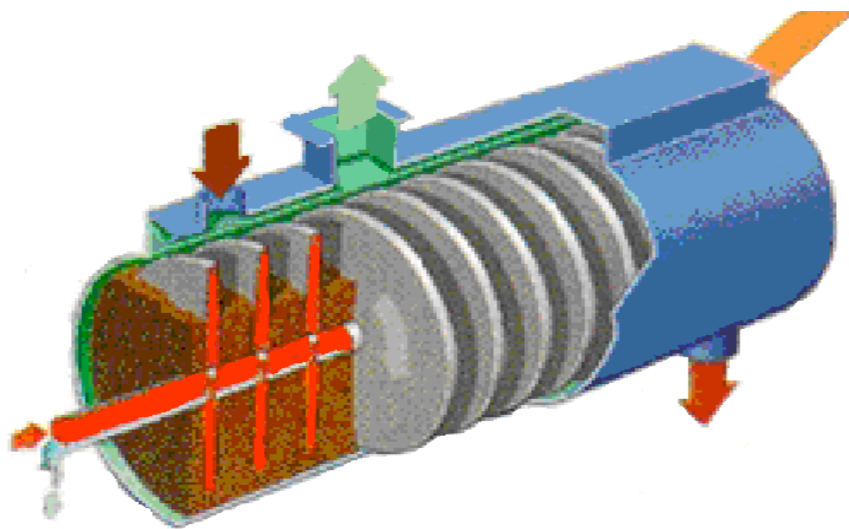
Konvektiokuivurissa (suora) voidaan käyttää kuumia palokaasuja tai lämmönvaihtimella kuumennettua ilmaa. Huonoja puolia on kontaktikuivuria huonompi energiahyötysuhde, poistoilman suuri määrä, runsas pölyn muodostus ja pölyräjähdysriski. (Lohiniva et al. 2001, 62) Kosteuden siirtymiseen lietteestä ilmaan vaikuttaa muun muassa kaasun ja lietteen välinen pinta-ala, ilman vesipitoisuuden ja lietteen pinnan kosteuspitoisuuden välinen ero, ilman nopeus ja turbulenssi (Metcalf & Eddy Inc. 2003, 1579).

2.2.3.1 Epäsuorat menetelmät eli kontaktikuivurit

Kontaktikuivureita on suunniteltu horisontaalisiin sekä vertikaalisiin malleihin. Horisontaalisia malleja ovat muun muassa lautaskuivain ja spiraalikuivain ja vertikaalisia esimerkiksi kuivaustorni.

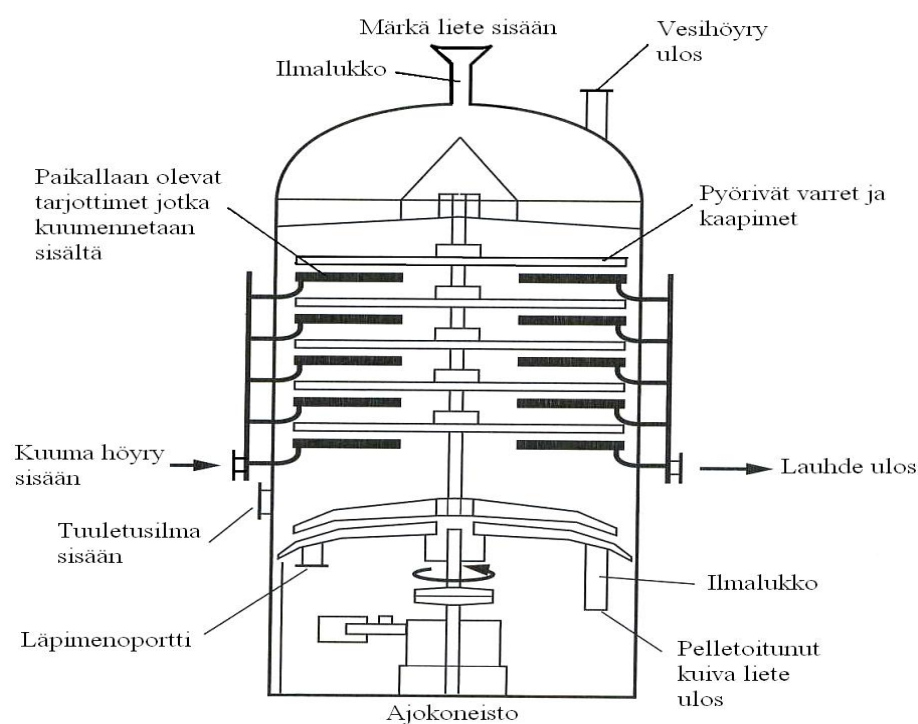
Horisontaalisissa kuivaimissa toimintaperiaatteena on pyörivä spiraali tai kiekosto, joka vie lietettä eteenpäin kuivurissa. Spiraali on ontto ja sen sisällä virtaa kuuma kaasu, jonka lämpö siirtyy spiraalin vaipan kautta lietteeseen. Pyörivä spiraali hajottaa lietettä pienempään palakokoon ja parantaa näin kuivumista. Kuivurissa oleva liete on usein kuumaa ja hankaavaa, joten liikkuvat osat kuluvat lietteen raapimisen johdosta ja vähentää näin kuivurin elinikää. (Metcalf & Eddy Inc. 2003, 1583)

Lautaskuivaimessa (kuva 4) on toimintaperiaate samanlainen kuin spiraalikuivaimessa. Akseliin on kiinnitetty lautasmaiset ontot levyt, joiden sisällä virtaa kuuma kaasu samoin kuin spiraalikuivaimessakin. Paremman sekoittumisen saavuttamiseksi ovat lautaset varustettu kaapimilla, jotka poistavat lautasen pinnalle jääneen kuivuneen lietteen. (Lohiniva et al 2001, 64)



Kuva4. Lautaskuivain. (Lohiniva et al 2001, 64)

Kuivaustornissa (kuva 5) vaakatasossa olevat levyt lämmitetään kuumalla höyryllä tai öljyllä. Liete syötetään ylhäältä ja se kuivuu levyjen päällä. Syötetty liete on esikuivattu noin 20 %:n ka – pitoisuuteen ja sen sekaan on sekoitettu valmiiksi kuivattua lietettä. Kaapimien avulla liete siirretään tasolta toiselle kunnes lopulta se poistetaan kuivurin pohjalta. Lietteen ka – pitoisuudeksi voidaan saada yli 90 %:a ja tuote on valmiiksi pelletoitua. (Metcalf & Eddy Inc. 2003, 1584)



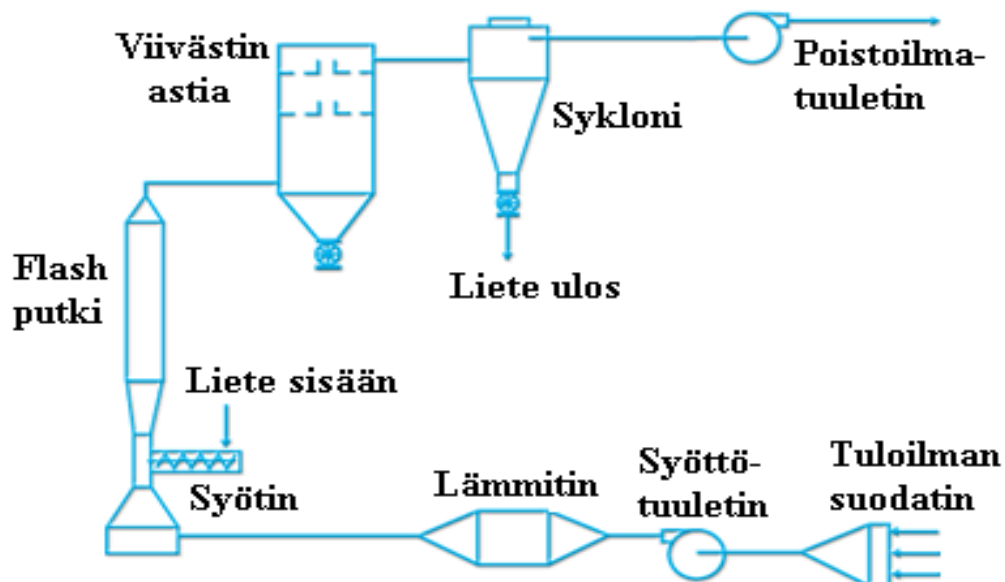
Kuva5. Kuivaustorni. (Metcalf & Eddy Inc. 2003, 1584)

2.2.3.2 Suorat menetelmät eli konvektiokuivurit

Suoria konvektiokuivureita ovat esimerkiksi rumpukuivain, hihnakuivain, leijupeti-kuivain ja flash-kuivain.

Flash-kuivain (kuva 6) koostuu pystysuorasta putkesta, puhaltimesta sekä syklonista. Syötetty liete kulkeutuu pneumaattisesti kuuman kuivauskaasun mukana putkessa kuivuneen samalla. Kuivuminen tapahtuu nopeasti, koska kaasun ja lietteen välinen lämpötilaero on suuri. Hyviä puolia on lyhyt viipymäaika, yksinkertainen rakenne, nopeakäynnistys ja pysäytys sekä pieni tilantarve. (Lohiniva et al 2001, 67)

Flash - kuivaimen yhteydessä on yleensä jonkinlainen mylly, jossa kuivattava liete jauheetaan pienempään palakokoon paremman kuivauksen saavuttamiseksi. Laitteisto suunnitellaan siten, että liete pysyy kuuman kaasun mukana tarpeeksi kauan tarvittavan kaapitoisuuden saavuttamiseksi. Yleensä tuoreeseen lietteeseen sekoitetaan jo kuivattua lietettä ennen kuivaamista. Kuivurin lopussa oleva sykloni erottaa kuivuneen lietteen ja kaasun toisistaan. Flash -kuivaimella voidaan päästä 90 - 92 %:n kaapitoisuuteen. (Metcalf & Eddy Inc. 2003, 1580-1581)

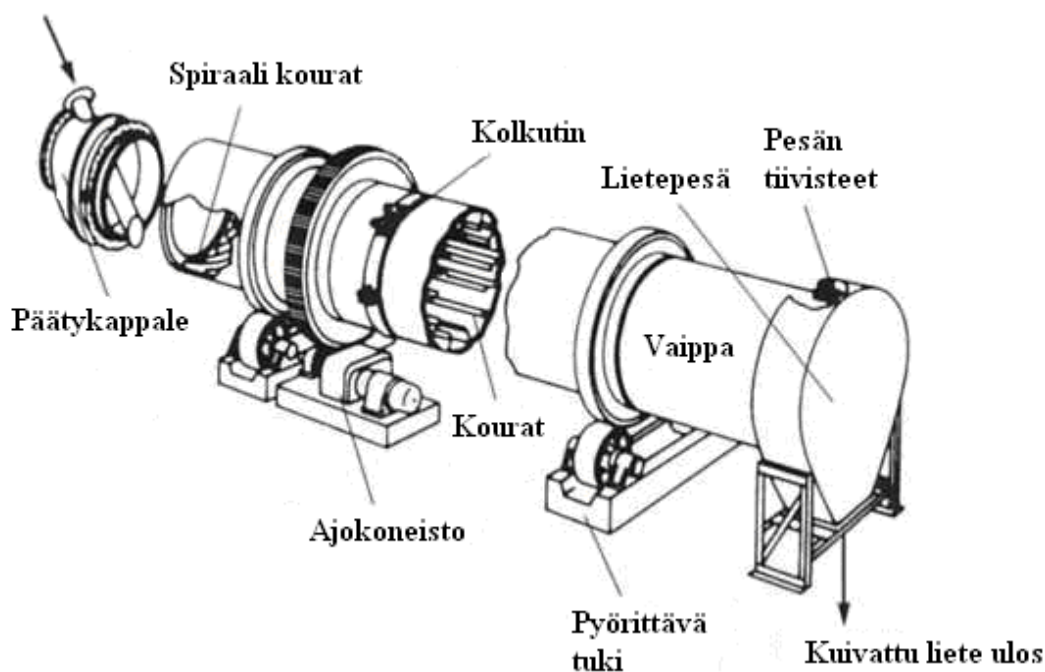


Kuva6. Flash - kuivaimen kytkentäkaavio. (GEA Process Engineering Inc 2009)

Rumpukuivain (kuva 7) koostuu yksinkertaisesti horisontaalisesta ontosta kartionmuotoisesta rummusta. Kuivattava liete syötetään rumpuun toisesta päästä, josta se etenee rumpua pitkin kuuman kaasuvirtauksen vaikutuksesta. Rumpu pyörii vaakaa - akselinsa ympäri sekoittaen lietettä. Kuivauksen jälkeen kuiva lietepöly erotetaan kaasusta syklonilla. Tuotteen ka - pitoisuudeksi saadaan yli 90 %:a. (Lohiniva et al 2001, 64)

Rumpukuivausta on käytetty primääri- ja aktiivilietteen sekä mädätetyn lietteen kuivauksessa. Pyörivän rummun sisäpinta on varustettu kourilla, jotka parantavat lietteen sekoittumista. Kuivattava liete sekoitetaan ennen kuivausta jo kuivatun lietteen kanssa, jotta ka - pitoisuus saadaan tarpeeksi suureksi. Ka - pitoisuuden täytyisi olla vähintään 35 %:a, jotta lietteen tahmeus ei estäisi sen liikkumista rummussa. Kuivunut liete voidaan vielä seuloa eri palakokojen erottamiseksi jatkokäsittelystä riippuen. (Metcalf & Eddy Inc. 2003, 1581-1582)

Tuore liete sisään

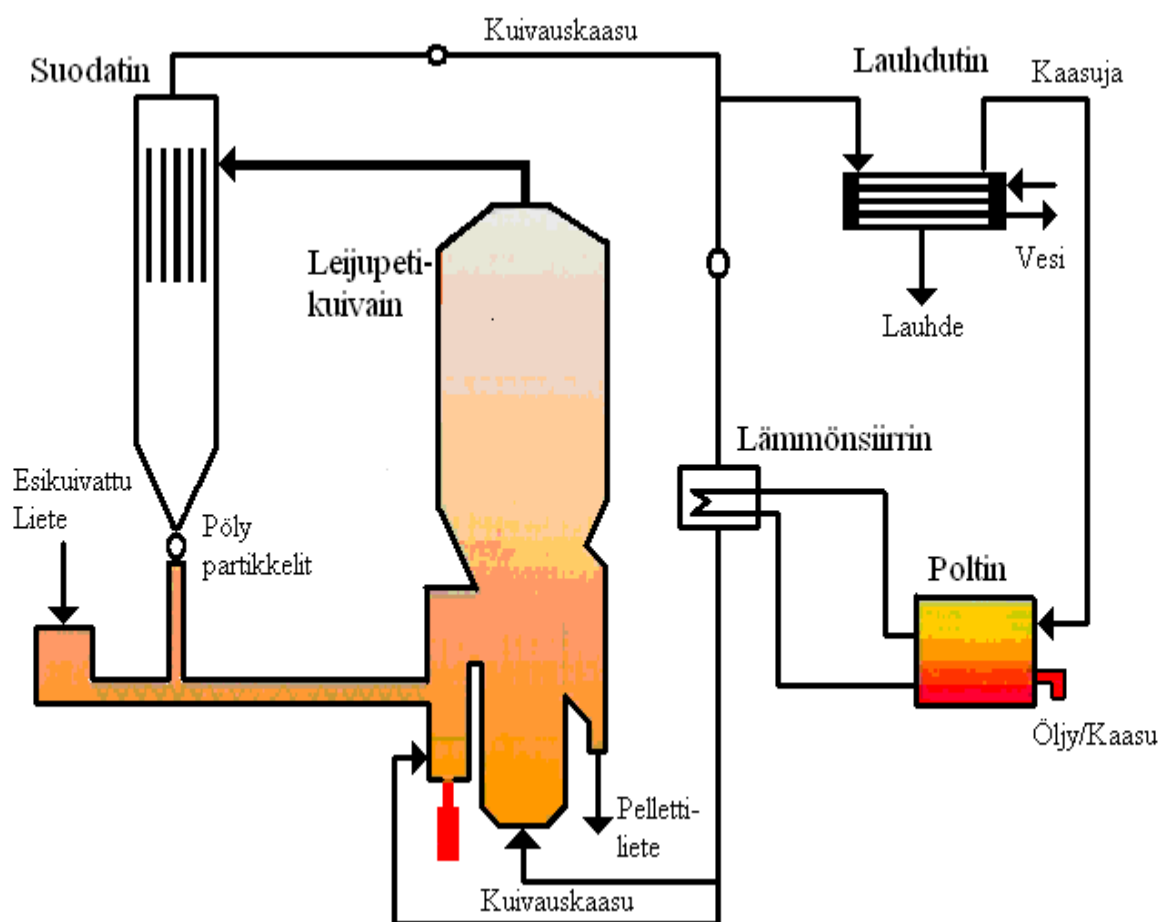


Kuva7. Rumpukuivain. (Metcalf & Eddy Inc. 2003, 1581)

Leijupetikuvaimessakin (kuva 8) tuore liete sekoitetaan jo kertaalleen kuivattuun lietteeseen, joka syötetään ruuvikuljettimella kuivattimeen. Kuuma kaasu puhalletaan leijupetiin alhaaltapäin ja kuivaaminen tapahtuu yleensä suljetussa systeemissä eli kuivauskaasuja ei päästetä ilmaan. Kaasun mukana poistuva kevyt hienoaines erotetaan syklonil-

la tai kuitusuodattimella. Raskaampi aines jakaantuu kuivaimessa kosteutensa mukaan ja kuivattu liete saadaan erotettua ulos pedistä. Haihtunut vesi johdetaan lauhduttimelle, jossa se lauhdutetaan takaisin vedeksi. (Lohiniva et al 2001, 66)

Leijupetikuivaimen etuja on rakeinen lopputuote joka sopii hyvin polttoon tai kaatopaikan peitemateriaaliksi. Lisäksi tuotteen hajuhaitat ovat pienet ja se voi saada toimimaan automaattisesti. Rumpukuivaimen verrattuna sen viemä tila on pienempi, mutta toisaalta taas energian tarve suurempi. (Metcalf & Eddy Inc. 2003, 1582) Kuvassa 6 on periaatekaavio leijupetikuivaimesta.



Kuva8. Leijupetikuivain (Lohiniva et al 2001, 66)

Hihnakuivaimessa liete pursotetaan suulakkeiden läpi nauhaksi ja pelletiksi hihnakuuljettimelle, jonka läpi puhalletaan kuumaa kaasua. Pursottamisen vuoksi lietteen ja kuuman kaasun välinen pinta-ala saadaan suuremmaksi ja näin ollen kuivaustehokkuus paremmaksi. Poistokaasut puhdistetaan pesurissa tai suotimessa ja sen lämpö otetaan talteen

lämmönvaihtimessa. (Lohiniva et al 2001, 66) Taulukkoon 2 on kerätty kokoon tässä kappaleessa esiteltyjä menetelmiä ja niiden etuja ja haittoja.

Taulukko2. Termisen kuivauksen menetelmät ja niiden hyviä ja huonoja puolia. (Lohiniva et al. 2001, 68)

Menetelmä:	Hyvät puolet:	Huonot puolet:
Epäsuorat menetelmät: - Lautas- ja spiraali-kuivain - Kuivaustorni	– Poistokaasun pieni määrä – Energiankäytön hyötysuhde	– Epätasainen kuumentuminen – Huono hygienisoituminen
Suorat menetelmät: - Flash – kuivain - Rumpukuivain - Leijupetikuivain - Hihnakuivain	– Korkea kuiva-ainepitoisuus – Flash - kuivaimella pieni tilantarve, yksinkertainen rakenne, lyhyt viipymäaika – Leijupetikuivaimen lopputuote sopii hyvin polttoon	– Pölyn räjähdysriski – Poistokaasun suuri määrä

2.3 Ympäristövaikutukset

Kuivauksessa syntyy kaasuja ja pölyä, joiden käsittely vaatii erityistä tarkkuutta ja on otettava huomioon kuivauslaitteita suunniteltaessa. Lietteestä haihtuu orgaanisia höyryjä kuivauksen aikana, joista monet aiheuttavat hajuhaittoja jo pieninä pitoisuuksina. Orgaaninen lietepöly on hengitettynä haitallinen ja sen käsittelyssä tarvitaan suojaimia. Lisäksi lietteen elohopeasta voi haihtua merkittävä osa. Syntynyt höyry voidaan lauhduttaa ja lauhutumattomat kaasut polttaa, mutta tämä vaatii apupolttoainetta ja saattaa tulla kalliiksi pienemmissä yksiköissä. Sykloneja, märkäpesureja ja sähkösuotimia on käytetty vaihtelevalla menestyksellä poistokaasun puhdistukseen. Lauhtunut vesi sisältää muun muassa BOD:tä, TOC:tä sekä ammoniakkia ja kiintoainetta. (Lohiniva et al 2001, 61; Lawrence K. Wang et al. 2007, 308; Pöyry Environment Oy. 2007, 27)

Termisesti kuivattu liete muodostaa myös palo- ja räjähdysriskin. Kuivauksessa syntyvän poistokaasun pöly- ja ammoniakkipitoisuus voivat olla hyvinkin korkeat mikä saattaa

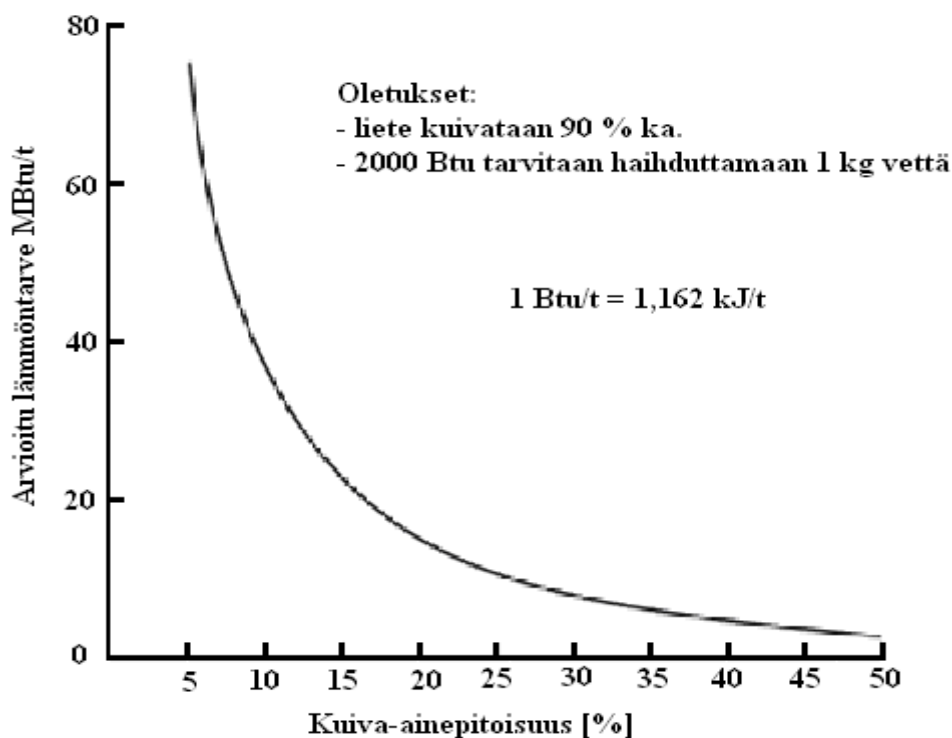
aiheuttaa tulipalo- tai räjähdysvaaroja. Palavat hiukkaset, korkea lämpötila, riittävä happi ja korkeat kaasun nopeudet tekevät kuivaussysteemin erittäin herkäksi tulelle. Riskiä pienentää lietteen granuloiminen, pölymäärän minimoiminen ja räjähdyskelpoisen ilmaseoksen muodostumisen estäminen esimerkiksi työttämällä kuivurin ilmatila. (Lohiniva et al 2001, 62; Lawrence K. Wang et al. 2007, 308; Pöyry Environment Oy. 2007, 27)

2.4 Energian terve ja kustannukset

Veden haihduttaminen lämmöllä vaatii suuria määriä energiaa kuivattavaa lietemäärää kohden, joten lämmityksessä tarvittava polttoaine on suuri kustannuslähde kuivauksessa. Yleisimmin käytetyt polttoaineet ovat maakaasu ja öljy, mutta näiden hinnan nousun ja vähentyvän määrän myötä uusia vaihtoehtoja on etsitty muun muassa mädätyksestä saatavasta biokaasusta ja kaatopaikkakaasusta. Energian talteenotolla poistokaasuista esimerkiksi lämmönsiirtimen avulla voidaan energiantarvetta vähentää. Toinen keino on esimerkiksi hyödyntää energiatuotantolaitoksen hukkalämpöä. Lisäksi kuivattua lietettä polttamalla voidaan tuottaa lämpöenergiaa, jota voidaan hyödyntää kuivauksessa. Tämän vuoksi terminen kuivaus onkin usein liitetty polttoon, jotta lietteen poltossa vapautuva lämpöarvo saataisiin hyödynnettyä. Lisäksi itse kuivausprosessista jää ylimääräistä lämpöenergiaa jota voi hyödyntää esimerkiksi kaukolämpöverkossa. (Lawrence K. Wang et al. 2007, 307–309; Pöyry Environment Oy. 2007, 28)

Termisessä kuivauksessa tarvitaan sähköenergiaa 4 - 5 kWh/m³ mekaanisesti kuivattua lietettä ja lämpöenergiaa noin 3000 – 3500 kJ/haihdutettu kg H₂O. Viiden %:n ka – pitoisuuden nosto lietteessä lisää energiankulutusta yhdeksän %:a. (Lohiniva et al 2001, 61)

Polttoaineen tarvittava määrä riippuu haihdutettavan veden määrästä. Tämän vuoksi veden mekaaninen erotus ennen kuivausta on tärkeää, jotta kuivaamiseen tarvittava energiamäärä saadaan mahdollisimman alhaiseksi. Tarvittavaa energian määrää on vaikea arvioida, koska arvot vaihtelevat suuresti kuivaintyyppin, energian talteenoton, lietteen ominaisuuksien ja kaasun virtauksen mukaan. Kuvassa 9 on kuitenkin esitetty lietteen ka – pitoisuuden ja energiantarpeen välinen suhde, kun liete kuivataan 90 %:n ka – pitoisuuteen. (Lawrence K. Wang et al. 2007, 307-309)



Kuva9. Arvio kuinka paljon energiaa tarvitaan kuivaamaan liete 10 prosentin kosteuspitoisuuteen. (Lawrence K. Wang et al. 2007, 309)

Polttoainekustannuksien lisäksi kuivaaminen aiheuttaa korkeat pääomakustannukset sekä testausta-, toiminta- ja prosessin kontrolloinnin palkkakustannukset. Pääomakustannuksiksi, 20 – 30 tonnia lietettä päivässä käsittelevä laitokselle, on arvioitu noin 5 miljoonaa US\$ ja käyttökustannuksiksi 140 – 230 US\$/kuivatettu liete tonni. (Duu-Jong Lee et al. 2005, 701-702)

Kuiva hankaava liete aiheuttaa kuivaimen eri osissa kulumista ja vähentää näin ollen kuivaimen elinikää ja lisää huoltojen määrää. Lietteen huono seulonta ennen kuivausta tai jotkin lisätyt kemikaalit lisäävät kulumista. Loppuun kulunut laitteisto taas voi lisätä lietteen pölyämisoongelmia. (Lawrence K. Wang et al. 2007, 308)

2.5 Termisen kuivauksen edut

2.5.1 Lämpöarvon paraneminen

Niin kuin edellä on mainittu, lietteen hyötykäyttö polttamalla on yleistymässä suhteessa muihin loppukäyttömahdollisuuksiin. Ongelmia poltossa on kuitenkin aiheuttanut lietteen pieni ka – pitoisuus, joka on suoraan verrannollinen lietteen lämpöarvoon.

Esikuivatun lietteen (ka – pitoisuus noin 20 %) lämpöarvo on noin 3 MJ/kg-esikuivattua lietettä, kun taas lietteen orgaanisen aineksen lämpöarvo on noin 25 MJ/kg-haihtuvia aineita. Vertailun vuoksi esimerkiksi fossiilisten polttoaineiden lämpöarvo on noin 40 MJ/kg. (Duu-Jong Lee et al. 2005, s. 700)

Lietteen taloudellisen polton edellytyksenä on riittävän korkea lämpöarvo. Ilman termistä kuivausta (lämpöarvo alle 3 MJ/kg) lietteen polton energiataloudellinen merkitys on nolla tai negatiivinen. Yleensä poltto vaatii 30 - 50 %:n ka – pitoisuuden. Termisellä kuivauksella voidaan raakalietteen lämpöarvoksi saada yli 12 MJ/kg, jolloin lietteellä voidaan korvata esimerkiksi turvetta ilman tehon menetystä. (Lohiniva et al 2001, 68–69) Holmbergin (et al.1999) mukaan, jos termisesti kuivattu lietepelletti voidaan hyödyntää polttoaineena, on kokonaisenergiatase lämpöenergian osalta lievästi positiivinen.

2.5.2 Lietteen Stabiilisuus

Termisesti kuivaamalla saadaan lietteestä biologisesti stabiili, patogeeni-vapaa tuote, joka on yleensä pellettimäisessä muodossa. Sen käsiteltävyys ja varastoitavuus on helpompaa ja taloudellisempaa ja sen hygieeniset ja ympäristölliset ongelmat pienenevät oleellisesti. Lopputuotteen hajuhaitat ovat olemattomat. Lisäksi pellettiä voidaan hyödyntää useaan eri tarkoitukseen, mikä parantaa jätehuollon varmuutta, koska lietteelle löytyy useita loppusijoituskohteita. Loppuun asti muokatulle, laadukkaalle lietteelle on mahdollista saada jopa taloudellistakin arvoa. (Duu-Jong Lee et al. 2005, 701; Holmberg, T., Lilja, R. 1999, 34)

Lietteen kuivuus sallii myös pitkäaikaisen varastoinnin ilman pelkoa mädäntymisestä ja eliökunnan kasvusta (Lawrence K. Wang et al. 2007, 308). Varsinkin, jos lietettä halu-

taan käyttää polttoaineena energiantuotannossa, saatetaan lietettä joutua varastoimaan pitkiä aikoja.

2.5.3 Tilavuus ja massa

Veden höyrystyttäminen pois lietteestä pienentää merkittävästi lietteen tilavuutta ja massaa. Termisessä kuivauksessa massa voi pienentyä jopa viidesosaan riippuen saavutetusta ka - pitoisuudesta. Tämä vähentää muun muassa kuljetus ja varastointi kustannuksia ja helpottaa loppusijoitusta. (Lohiniva et al 2001, 68)

3 KAATOPAIKKAKAASUN HYÖDYNTÄMINEN KUIVAUKSESSA

3.1 Yleistä kaatopaikkakaasusta

3.1.1 Muodostuminen

Kaatopaikkakaasu on biokaasua joka muodostuu kaatopaikoilla olevasta orgaanisesta jätteestä tämän hajotessa hapettomassa tilassa. Kaatopaikkakaasua muodostuu orgaanisesta aineksesta biologisen hajoamisen seurauksena, haihtumalla sekä kemiallisissa reaktioissa. Suurin osa kaasusta syntyy kuitenkin biologisen hajoamisen seurauksena, jossa bakteerit hajottavat yleensä ruuanjätteistä, puutarhajätteistä, tekstiileistä ja puuaineksista muodostuvaa orgaanista jätettä. Haihtumisessa orgaaninen aines muuttuu nestemäisestä tai kiinteästä faasista höyryksi. Kemiallisien reaktioiden avulla voi vapautua orgaanisia kaasuja jos jäte sisältää sopivia kemikaaleja reaktioiden mahdollistamiseksi. (ATSDR 2001; Tuhkanen 2002, 12)

Kaasun muodostumiseen vaikuttaa merkittävästi kaatopaikalla olevan jätteen koostumus sekä kaatopaikalla vallitsevat olosuhteet. Myös kaatopaikan koko ja rakenteet, mikrobikanta, jätteen sijoittelu ja kaasun kulkeutuminen vaikuttavat kaasun syntymiseen ja talteenottoon. (Karttunen 2007, 20–27)

Koostumuksen kannalta merkittäviä asioita on muun muassa orgaanisen aineksen määrä, partikkelikoko, tiiveys, ikä ja inhiboivat aineet. Orgaaninen aines jaetaan yleensä nopeasti (keittiöbiojäte, paperi, pahvi, puutarhajäte) ja hitaasti (tekstiilit, nahka kumi, puu) ha-

joaviin. Metaanin lähde on orgaanisen aineksen sisältämä biokemiallisesti hajoava orgaanin hiili (DOC). Eri jätejakeilla DOC - pitoisuus vaihtelee. Suurin DOC - pitoisuus on jätevesilietteillä, lehtipaperilla ja kartongilla kun taas esimerkiksi märän keittiö- ja puutarhajätteen DOC – pitoisuus on suhteellisen pieni. Partikkelikoon vaikutus ei ole merkittävä metaanin tuotannon kannalta. Pientämällä palakokoa voidaan halutessa estää metaanin tuotantoa. Tiivistämällä saadaan kosteus jakaantumaan tasaisemmin ja biologinen kontaktipinta suuremmaksi mikä parantaa jätteen hajoamista. Ikä vaikuttaa metaanin tuotantoon riippuen siitä kuinka nopeasti biohajoavaa jäte on. Biologisesti hitaasti hajoavan aineksen metaanin tuotanto huippu on parhaimmillaan vasta vuosikymmenien päästä loppusijoituksesta, kun taas nopeasti hajoavan aineksen tuotanto huippu on jo 0,5 – 1,5 vuoden kuluttua sijoituksesta. Tärkeimpiä inhiboivia eli toimintaa estäviä aineita ovat happi, vety ja sulfaatti. Näitä aineita esiintyy jätetäytössä yleensä kuitenkin niin vähän, etteivät ne kokonaan estä metaanin tuotantoa. (Karttunen 2007, 20–27)

Kaatopaikalla vallitsevia olosuhteita, jotka vaikuttavat metaanin tuotantoon, ovat muun muassa lämpötila, kosteus, pH, ravinteet ja inhiboivat aineet. Optimaalinen lämpötila metaanin tuotannolle kaatopaikoilla on 32 – 35 °C ja lisäksi lämpötilan pitäisi olla tasainen. Liian alhainen lämpötila (<10°C) lamaannuttaa bakteeritoiminnan. Suomessa talviaikojen kylmät jaksot vaikuttavat vain jätetäytön pintakerrokseen. Anaerobisen hajonnan reaktiot tapahtuvat osaksi veden välityksellä joten kosteuspitoisuus vaikuttaa merkittävästi hajoamisnopeuteen. Kaatopaikkakaasun muodostuminen on lineaarista kun kosteuspitoisuus on 20 – 60 %:n välillä. Optimaalisin kosketuspitoisuus olisi yli 50 %:a. Alle 20 %:n ja yli 75 %:n kosteuspitoisuuden arvoilla kaasun muodostuminen laantuu. Optimaalisin pH metaanintuotannolle on 7. Happamuuden ollessa alle 6 tai yli 8, metaanin muodostuminen hidastuu tai pysähtyy kokonaan. Tärkeitä ravinteita kaasun muodostumista ajatellen on typpi, fosfori ja erilaiset mikroravinteet. Eniten kaasun muodostumista rajoittava aine on fosfori, mutta yleensä yhdyskuntajäte sisältää tarvittavat määrät kaikkia ravinteita. Kaatopaikoille saattaa kuitenkin syntyä ravinneköyhiä alueita epätasaisen jätetäytön seurauksena. (Karttunen 2007, 20–27)

3.1.2 Puhdistus

Kaatopaikkakaasun puhdistuksella pyritään poistamaan kaasun käyttöä haittaavia yhdisteitä kuten kosteutta, hiukkasia, korroosiota aiheuttavia yhdisteitä sekä hiilidioksidia. Puhdistuksen perusteellisuus riippuu sen jatkokäytöstä. Tavallisesti kaatopaikkakaasu jaetaan kolmeen ryhmään puhdistuksen mukaan: low-grade, medium-grade ja high-grade. (Karttunen 2007, 37)

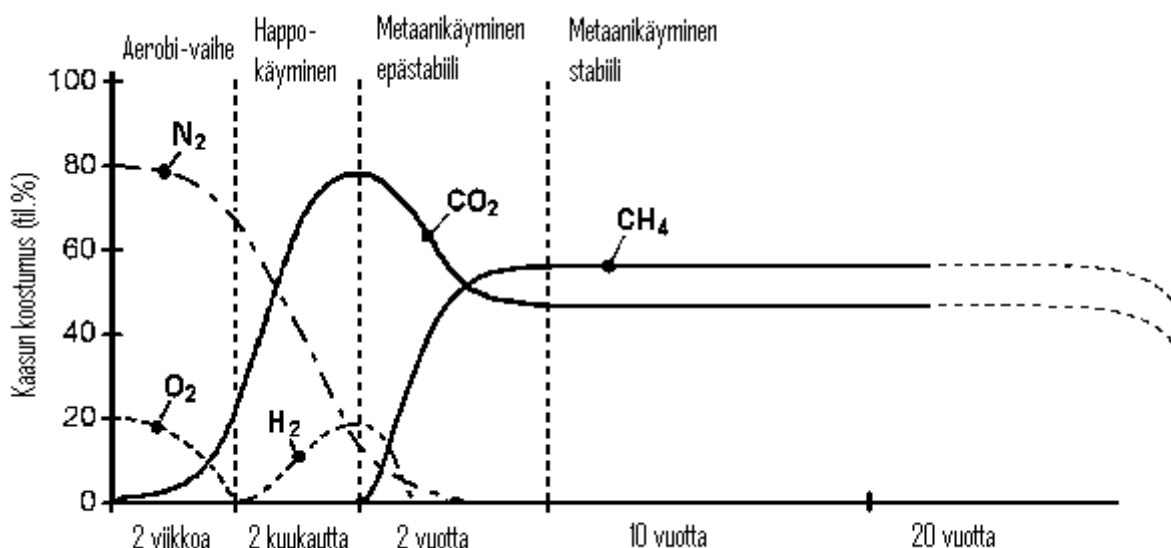
Low-grade kaasu on nimensä mukaisesti vähiten käsitelty kaasu edellä olevista ryhmistä. Low-grade kaasuista on poistettu pelkästään kaasun sisältämään kosteutta esimerkiksi erilaisilla kosteuden erottimilla, jäähdyttämällä kaasu lähelle 0 °C, tai absorboimalla kosteus ja vesi esimerkiksi glykoliin, siligageeliin, aluminiumoksidiin tai silikaattiyhdisteisiin. Kosteuden poiston yhteydessä myös kaasun hiukkaspitoisuus alenee. Low-grade kaasu soveltuu lämmöntuotantoon kaukolämpölaitoksissa, höyryntuotannon polttoaineeksi sekä sähköntuotantoon höyryturbiinilla. Lämpöarvo jää kuitenkin suhteellisen alhaiseksi ja kaasu saattaa aiheuttaa korroosiota laitteistoissa. (Karttunen 2007, 38)

Medium-grade kaasun puhdistus on viety askelta pidemmälle verrattuna low-grade kaasuun. Kosteutta on alennettu enemmän ja lisäksi on poistettu hiukkasia ja haitallisia yhdisteitä. Kaasusta poistetaan muun muassa haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, merkaptaneja ja rikkiyhdisteitä. Poisto tapahtuu erilaisilla pesu- ja suodatuslaitteistoilla, hiukkassuodattimilla sekä kosteuden poistajilla. Vaikka medium-grade kaasulla on melkein sama lämpöarvo kuin low-grade kaasulla, voidaan sitä käyttää tehokkaammin energiantuotantoon. Sähkön- ja lämmöntuotannon hyötysuhde kasvaa ja käytettävyys monipuolistuu. Lisäksi kaasun korrodoivat vaikutukset ovat low-grade kaasua pienemmät. Kaasua voidaan muun muassa hyödyntää lämmön- ja sähköntuotantoon mäntämoottoreilla, mikroturbiineilla ja kaasuturbiineilla. (Karttunen 2007, 38)

High-grade kaatopaikkakaasu puhdistetaan kuten medium-grade kaasu, mutta lisäksi kaasun pääkomponentit metaani ja hiilidioksidi erotetaan toisistaan. Erotus voidaan toteuttaa joko adsorptiolla tai membraanierotuksella. Erotetun metaanin lämpöarvo on noin 37,3 MJ/m³. Erotettua metaania voidaan syöttää suoraan maakaasuverkostoon, käyttää liikennepolttoaineena ja polttokennoissa tai kemianteollisuuden tuotteiden jalostuksessa. Myös erotettu hiilidioksidi voidaan hyödyntää teollisuuden raaka-aineena. (Karttunen 2007, 39)

3.1.3 Koostumus ja ominaisuudet

Kaatopaikkakaasu on räjähtävä, tukahduttava, myrkyllinen ja haiseva kaasu. Räjähtävyys johtuu metaanista ja tukahduttava vaikutus syntyy metaanin ja hiilidioksidin hapetta syntyvästä ominaisuudesta. Kaatopaikkakaasun pääkomponentit ovat metaani ja hiilidioksidi, joiden lisäksi se sisältää myös vesihöyryä, typpeä, hapetta ja vetyä. Lisäksi kaasussa on erilaisia rikki- ja halogeeniyhdisteitä ja muita hiilivetyjä kuin metaania. Koostumus kuitenkin vaihtelee hajoamisvaiheen ja ajan mukaan. (Pipatti et al. 1996, 17; Karttunen 2007, 28) Kuvassa 10 on esitetty kaatopaikkakaasun koostumuksen muutoksia ajan suhteen.



Kuva10. Kaatopaikkakaasun koostumuksen muutos ajan suhteen. (Pipatti et al. 1996, 18)

Tyypillinen metaanipitoisuus kaatopaikkakaasussa on 45 – 60 %:n välillä, kun taas hiilidioksidin osuus on hiukan pienempi. Metaani ja hiilidioksidi muodostuvat kaasun pääkomponenteiksi jo hajoamisprosessin alkuvaiheessa (noin viikkojen tai kuukausien kuluessa) ja niiden pitoisuudet pysyvät melko vakaina tuotannon aikana. Suomessa kerättävän kaatopaikkakaasun metaanipitoisuus vaihtelee 27 – 53 %:n välillä. Metaani on räjähtävä yhdiste kaasu - ilmaseoksena, mikäli kaasussa on metaania 5 - 15 tilavuus - %:a ja happipitoisuus on yli 11 tilavuus - %:a. (Karttunen 2007, 29)

Kaatopaikkakaasun lämpöarvo on suhteellisen alhainen. Se riippuu metaanipitoisuudesta sekä palamattomien yhdisteiden pitoisuuksista. Kaatopaikkakaasun lämpöarvoa voidaan nostaa hyvällä puhdistuksella, jossa kaasusta poistetaan palamattomia kaasuja kuten vesihöyryä ja hiilidioksidia. Kaatopaikkakaasun kosteuspitoisuus vaihtelee yleensä 1 - 10 %:n välillä ja se on, lämpöarvon alenemisen lisäksi, ongelmallinen keräyslaitteiston kannalta, koska se aiheuttaa korroosiota yhdessä muiden haitallisten yhdisteiden kanssa. Tyypillinen lämpöarvo kaatopaikkakaasulle on välillä 14 – 21 MJ/m³. Kun metaanipitoisuus on 50 %:a, on kaasun lämpöarvo noin 16,8 MJ/m³, eli puolet maakaasun lämpöarvosta. (Karttunen 2007, 30)

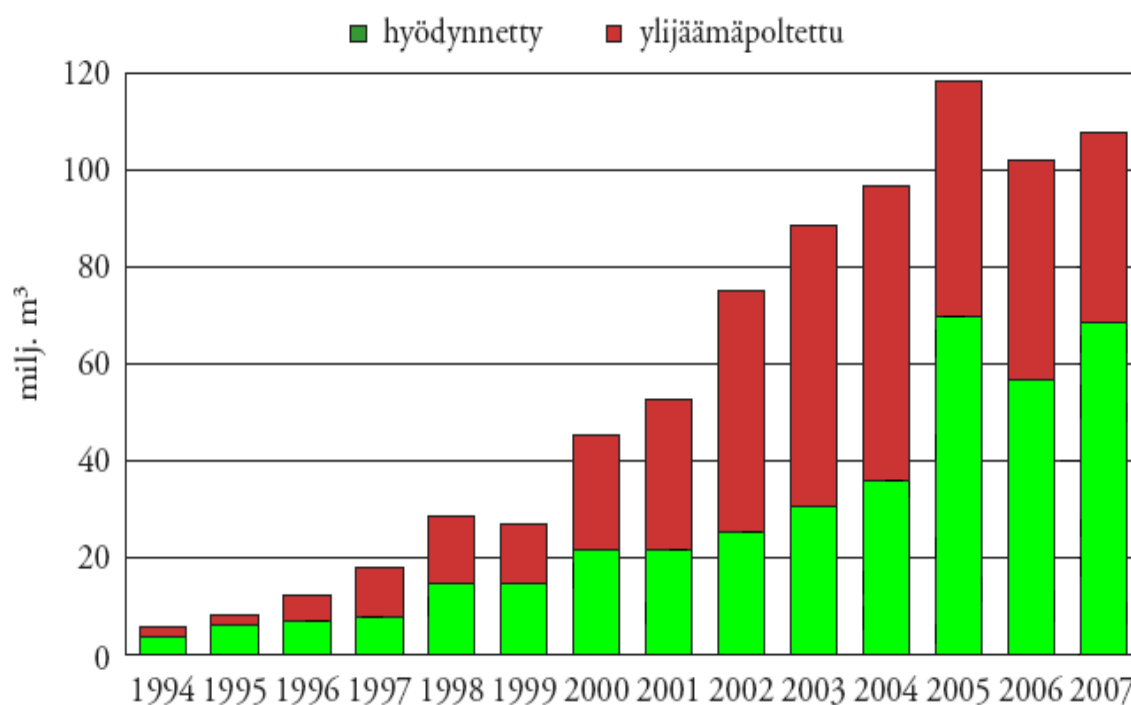
Taulukossa 3 on esitetty Ämmänsuon kaatopaikalta kerätyn kaasun analysoinnin tulokset vuosilta 2005 ja 2006.

Taulukko3. Ämmänsuon kaatopaikkakaasun koostumus. (Mroueh 2007, 109)

Kaasukomponentti	Pitoisuus	Merkitys hyötykäytössä
Metaani, [%]	48–52	Polttoaine
Hiilidioksidi, [%]	38–41	Kasvihuonekaasu, jatkokäyttö teollisuudessa mahdollinen
Typpi, [%]	Ei määritetty	Alentaa kaasun energia-arvoa
Happi, [%]	0-3	Räjähdyksivaara
TVOC, [mg/m ³]	300–700	
Rikki, [mg/m ³]	600–1000	Aiheuttaa korroosiota
Halogeenit, [mg/m ³]	0-20	Korroosiovaara ja dioksiinin muodostumisvaara
Piiyhdisteet (siloksani), [mg/m ³]	0-7	Aiheuttaa polttoaineen seassa moottorivaurioita
Ammoniakki, [mg/m ³]	nd	

3.2 Kaatopaikkakaasun tuotanto ja käyttö Suomessa

Suomessa kerättiin vuoden 2007 lopussa biokaasua talteen 33 kaatopaikalta. Yhteensä biokaasua saatiin talteen 107,8 milj. m³, joka oli 6 %:a enemmän edellisvuoteen verrattuna. Talteen otetusta kaasusta hyödynnettiin 68,549 milj. m³ eli noin 64 %:a. Kaasun suhteellinen hyötykäyttö lisääntyi 8 %:a edellisvuoteen verrattuna. (Kuittinen et al. 2008, 9, 44) Kuvassa 11 on esitetty Suomen kaatopaikkakaasun tuotantoa viime vuosilta sekä hyödynnetyn kaasun osuudet. Taulukossa 4 on lueteltu Suomen kaatopaikkakaasulaitokset sekä niiden kaasun tuotto, ylijäämänä poltetun kaasun osuus ja ylijäämäpoltossa hukattu energia.



Kuva11. Kaatopaikkalaitosten tuottaman kaasumäärän kehitys. (Kuittinen et al. 2008, 9)

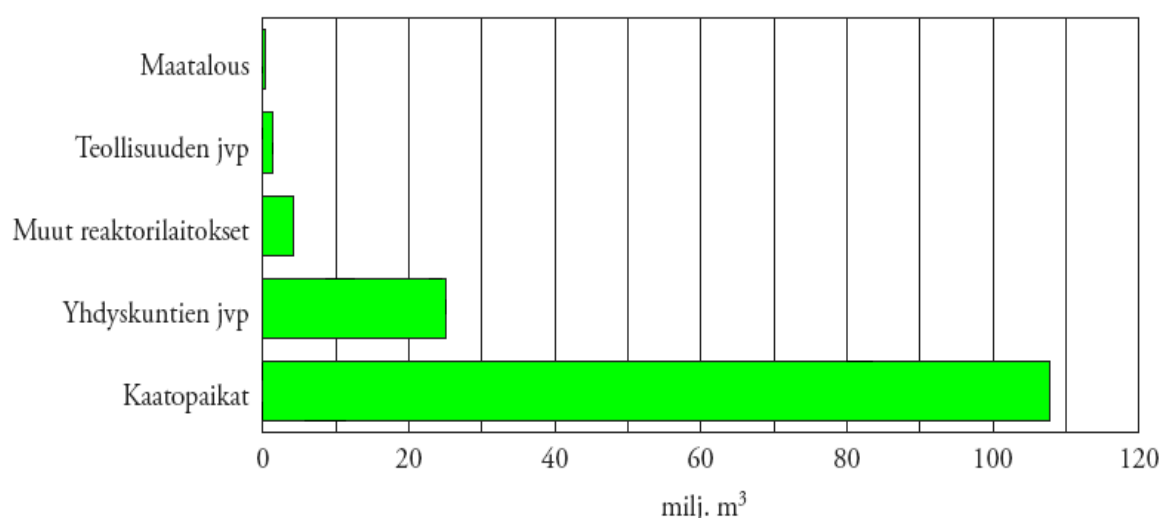
Taulukko4. Suomen kaatopaikkakaasulaitokset sekä niiden biokaasun tuotto ylijäämänä poltetun kaasun osuus ja ylijäämäpoltossa hukattu lämpöenergia. (Kuittinen et al. 2008, 11)

Kaatopaikkapumppaamot	Tuotettu kaasu (1000m³)	Ylijäämäpolton osuus (%) tuotetusta energiasta	Ylijäämäpoltossa hukattu lämpöenergia (MWh)
Anjalankoski, Keltakangas	900	100	2729
Anjalankoski, Myllykoski Paper Oy, Sulento	700	100	2122
Espoo, Mankkaa	1403	100	5347
Espoo, Ämmässuo	59901	41,4	104184
Helsinki, Vuosaari	1545	81,7	4698
Hyvinkää ja Riihimäki, Kapula	2400	0	0
Hämeenlinna, Karanoja	1100	100	4955
Iisalmi, Peltomäki	900	100	3196
Imatra, Kurkisuo	600	95	2716
Joensuu, Kontiosuo	2942	14,1	1405
Jyväskylä, Mustankorkea	3500	0,1	8
Järvenpää, Puolmatka	100	100	364
Kajaani, Majasaarenkangas	530	100	2250
Kerava, Savio	300	0	0
Kouvola, Sammalsuo	1000	100	4071
Kuopio, Heinälammrinrinne	1190	0	0
Kuopio, Silmäsuo	900	0	0
Lahti, Kujala	3490	0	0
Lappeenranta, Toikansuo	338	0	0
Lohja, Munkkaa	150	33,3	238
Mikkeli, Metsä-Sairila	560	0	0
Nokia, Koukkujärvi	1250	0	0
Oulu, Rusko	7510	0	0
Pori, Hangassuo	1653	100	8018
Porvoo, Domargård	760	0	0
Raisio, Isosuo	500	100	1862
Rovaniemi, Mäntyvaara	1668	1	78
Simpele, M-real Oyj, Konkamäki	200	0	0
Tampere, Tarastenjärvi	6000	38,3	9763
Turku, Topinoja	1400	0	0
Uusikaupunki, Munaistenmetssä	300	100	962
Vaasa, Suvilahti	800	100	2980
Vantaa, Seutula	1347	0	0

Muodostuvan kaatopaikkakaasun määräksi Suomen kaatopaikoilla arvioidaan yli 200 milj. m³ vuodessa. Tehostuvan jätteen lajittelun ja biojätteen erilliskeräyksen ei katso-

ta yksinään riittävän biokaasun muodostumisen vähenemiseen, koska biokaasun muodostuminen jatkuu vielä useita vuosikymmeniä jo suljetuilla kaatopaikoilla. (Kuittinen et al. 2008, 43)

Biokaasua tuotetaan Suomessa myös yhdyskuntien ja teollisuuden jätevedenpuhdistamoilla sekä maataloudessa. Kaatopaikoilla syntyy kuitenkin yli kaksi kolmasosaa Suomen biokaasusta. Kuvassa 11 on esitetty eri tuotantolaitosten tuottama biokaasun määrä. (Kuittinen et al. 2008, 10)



Kuva11. Biokaasun tuotanto laitostyypeittäin Suomessa. (Kuittinen et al. 2008, 10)

Vuonna 2007 talteen kerätystä kaatopaikkakaasusta tuotettiin energiaa yhteensä 276,6 GWh. Tästä suurin osa hyödynnettiin lämmön tuotannossa (263,2 GWh) ja sähkön tuotannossa vain pieni osa (13,4 GWh). Lämpöä tuotettiin kaiken kaikkiaan 18 kaatopaikkalaitoksella ja lisäksi neljällä laitoksella kaasua hyödynnettiin yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa. Vain kahdella laitoksella kaasu hyödynnettiin pelkän sähkön tuotantoon. (Kuittinen et al. 2008, 44)

3.3 Hyödyntäminen kuivauksessa

3.3.1 Kaatopaikkakaasu lämmöntuotannossa

Yksinkertaisin ja edullisin tapa hyödyntää kaatopaikkakaasua on tuottaa sillä lämpöä lämpökattilassa. Kaatopaikkakaasun käyttö polttimissa maakaasun, polttoöljyn tai hiilen sijasta on jo suhteellisen vakiintunut käytäntö. Suora poltto kattilassa on yksinkertaista ja laitteiston ja käytön tarvitsemat muutokset ovat suhteellisen pieniä. Myös käyttökokeista sekä luotettavia laitteistoja on saatavilla. Jos kaatopaikkakaasua poltetaan sekoitettuna maakaasuun, ovat polttimen muutostarpeet vielä yksinkertaisempia ja korroosio vähäisempää. (US. EPA. 2009, 1; Karttunen 2007, 46)

Biokaasua, eli tässä tapauksessa kaatopaikkakaasua, voidaan käyttää samoissa sovelluskohteissa kuin maakaasuaakin. Järjestelmän soveltuvuus ja sen muuttaminen kaatopaikkakaasulle soveltuvaksi riippuu käytettävästä polttimesta ja kaasun syöttölaitteistosta. Muutokset johtuvat kaatopaikkakaasun matalammasta lämpöarvosta maakaasuun verrattuna sekä korroosiota aiheuttavista yhdisteistä. Maakaasun ja kaatopaikkakaasun merkittävin ero on, että kaatopaikkakaasu sisältää noin 50 %:a tilavuudestaan palamattomia yhdisteitä, pääosin hiilidioksidia. Tämä tarkoittaa että kaatopaikkakaasua täytyy syöttää polttiin kaksinkertaisesti niin paljon kuin maakaasua jotta saavutettaisiin sama lämpömäärä. Tämä taas saattaa aiheuttaa ongelmia polttoaineen syötössä ja palamisessa, koska polttimella täytyy olla kapasiteettia käsitellä kaksinkertainen kaasuvirta. Toisaalta nykyisin typpioksidipäästöjä vähennetään jo useissa polttimissa palokaasuja kierrättämällä. Jopa 20 - 25 %:n kierrätys ei vaikuta heikentävästi polttimen toiminnan tehokkuuteen. Näin ollen palamattomien kaasujen ja kaasuvirtauksen lisäys, sekä näistä aiheutuva haitta, ei käytännössä ole niin suuri. (US. EPA. 2009, 1; IEA Bioenergy 2005, 12; Karttunen 2007, 46)

Myös kaatopaikkakaasun sisältämät korroosiota aiheuttavat komponentit sekä vesi aiheuttavat muutoksia laitteistoon. Kaatopaikkakaasun lauhteeseen muodostuu hyvin syövyttävää rikkihappoa jonka vuoksi suositellaan että polttoaineen syöttö ja polttimen sisäosat olisi valmistettu korroosiota kestävästä aineista. Tavallisesti on käytetty ruostumatonta terästä. Lisäksi valurautaa suositellaan käytettäväksi lämmönsiirtimissä. (Karttunen 2007, 46; IEA Bioenergy 2000, 5; Pipatti et al. 1996, 38; US. EPA. 2009, 1)

Nykyisin muun muassa puhdistusaineiden, deodoranttien ja kosmetiikkatuotteiden mukana jätteisiin pääsee pii-yhdisteitä, jotka siirtyvät kiinteiden jätteiden hajotessa kaatopaikkakaasuun. Vaikka niiden määrä kaatopaikkakaasussa on yleensä pieni, kaasun polton yhteydessä niistä muodostuu valkoista jauhemaista piioksidia. Tämä talkkimainen jauhe kerääntyy polttolaitteiston pinnoille ohueksi valkoiseksi kerrokseksi. Se, kuinka suuria määriä jauhetta kerääntyy, riippuu kaasun virtausnopeudesta ja piin määrästä kaatopaikkakaasussa. Käyttökokemusten perusteella vuosittainen puhdistus riittää pitämään jauhämäärät tarpeeksi vähäisinä, jos pii-yhdisteiden määrä jätteissä pysyy tulevina vuosina samalla tasolla. Piioksidijauhe on kuitenkin helposti pinnoilta irtoavaa ja yksinkertainen vesipuhdistus riittää poistamaan sen. (US. EPA. 2009, 2-3)

On olemassa erilaisia variaatioita muuntaa poltin kaatopaikkakaasulle sopivaksi ja valinnat vaihtelevat yleensä hyvin tapauskohtaisesti. Esimerkiksi voidaan säilyttää vanha poltin ja muuntaa se kaatopaikkakaasulle sopivaksi (esimerkiksi sijoittaa kaatopaikkakaasulle oma kaasunsyöttö laitteisto). Näin voidaan polttaa molempia kaasuja joko erikseen tai yhdessä. Toisaalta voidaan poltin myös kokonaan vaihtaa kaatopaikkakaasulle sopivaksi. Yleisesti ottaen valinta riippuu paljon omistajan mieltymyksestä tai esimerkiksi vanhan polttimen kunnosta. (US. EPA. 2009, 2)

Kaatopaikkakaasun vaihteleva lämpöarvo saattaa aiheuttaa myös ongelmia prosessin hallinnassa. Kontrolloinnin monimutkaisuus riippuu poltetaanko kaatopaikkakaasua erikseen vai yhdessä maakaasun tai esimerkiksi öljyn kanssa. Tosin nykyisillä mittareilla ja laitteistolla pystytään jo aika tarkkaan ja nopeasti seuraamaan palamisprosessia. (US. EPA. 2009, 2)

Biokaasu sisältää kosteutta ja haitallisia yhdisteitä, joten kaasu vaatii kuitenkin puhdistusta ja metaanipitoisuuden nostamista ennen kuin sillä voidaan korvata maakaasua. Puhdistuksen perusteellisuus vaihtelee käyttösovelluksen mukaan. Lämmityskattiloissa poltettavan kaatopaikkakaasun puhdistus ei tarvitse olla niin perusteellista kuin esimerkiksi sähkön tuotannossa tai ajoneuvojen polttoaineeksi jalostettuna. Lämmöntuotannossa voidaan hyvin käyttää low-grade ja medium-grade kaatopaikkakaasua. Lämmöntuotannon vaatimuksina kaasulle on yleensä annettu, että H₂S - pitoisuus on alle 1000 ppm. (IEA Bioenergy 2005, 12; Karttunen 2007, 46)

Taulukossa 5 on esitetty biokaasun eri käyttösovelluksien mukaan tarvittava kaasun puhdistus ennen käyttöä. Vaikka taulukon mukaan lämmöntuotannossa käytettävän kaasun veden erotusta ei tarvita, sitä suositellaan kuitenkin, koska vesihöyry voi aiheuttaa ongelmia kaasusuuttimessa ja lisäksi veden poisto ennen kaasun käyttöä poistaa myös suuren osan H₂S:stä. (IEA Bioenergy 2000, 5)

Taulukko5. Poistettavien kaasukomponenttien tarve biokaasun hyötykäytön mukaan. (IEA Bioenergy 2000, 5)

Sovellus	Rikkihappo (H ₂ S)	Hiilidioksidi	Vesi
Lämmöntuotanto	< 1000 ppm	Ei	Ei
Kaasuliesi	Kyllä	Ei	Ei
CHP	< 1000 ppm	Ei	Ei tiivistymistä
Ajoneuvon polttoaine	Kyllä	Suosittelua	Kyllä
Syöttö maakaasu putkistoon	Kyllä	Kyllä	Kyllä

3.3.2 Kaatopaikkakaasulla kuivattavan lietteen määrä Suomessa

Niin kuin edellä on mainittu, Suomessa tuotetaan kaatopaikkakaasua 33 kaatopaikalla yhteensä 107,8 milj. m³, joista hyödynnettiin energiana 68,549 milj. m³. Loput 39,251 milj. m³ poltettiin soihduissa taivaalle ilman hyötykäyttöä. Tässä kappaleessa on tarkoitus laskemalla arvioida kuinka paljon lietettä saataisiin kuivattua, jos ylijäämäkaasu hyödynnettäisiin lietteen termisessä kuivauksessa.

Lähtöarvoina oletetaan, että kaatopaikkakaasussa on 50 %:a metaania ja alempi lämpöarvo on siten ollen puolet metaanin lämpöarvosta eli noin 16,8 MJ/m³. Vesikilogramman haihduttamiseen tarvittavana lämpömääränä käytetään 3000 kJ/kg_{H₂O} ja 3500 kJ/kg_{H₂O}. Lietteen oletetaan olevan esikuivattua ja termiseen kuivaukseen tullessa sen ka – pitoisuus on 20 %:a ja se kuivataan termisesti 90 %:n ka – pitoisuuteen. Lisäksi oletetaan kaatopaikkakaasun lämmöntuotannon hyötysuhteeksi 90 %:a.

Edellä mainittuja lähtöarvoja käyttäen koko Suomen hukkaan poltettavalla kaatopaikkakaasulla saataisiin kuivattua, jos vesikilogramman haihduttamiseen tarvittava lämpöener-

gia olisi $3000 \text{ kJ/kg}_{\text{H}_2\text{O}}$, noin 254 tuhatta tonnia lietettä. Jos haihdutusenergia olisi $3500 \text{ kJ/kg}_{\text{H}_2\text{O}}$, kuivatun lietteen määrä olisi noin 218 tuhatta tonnia.

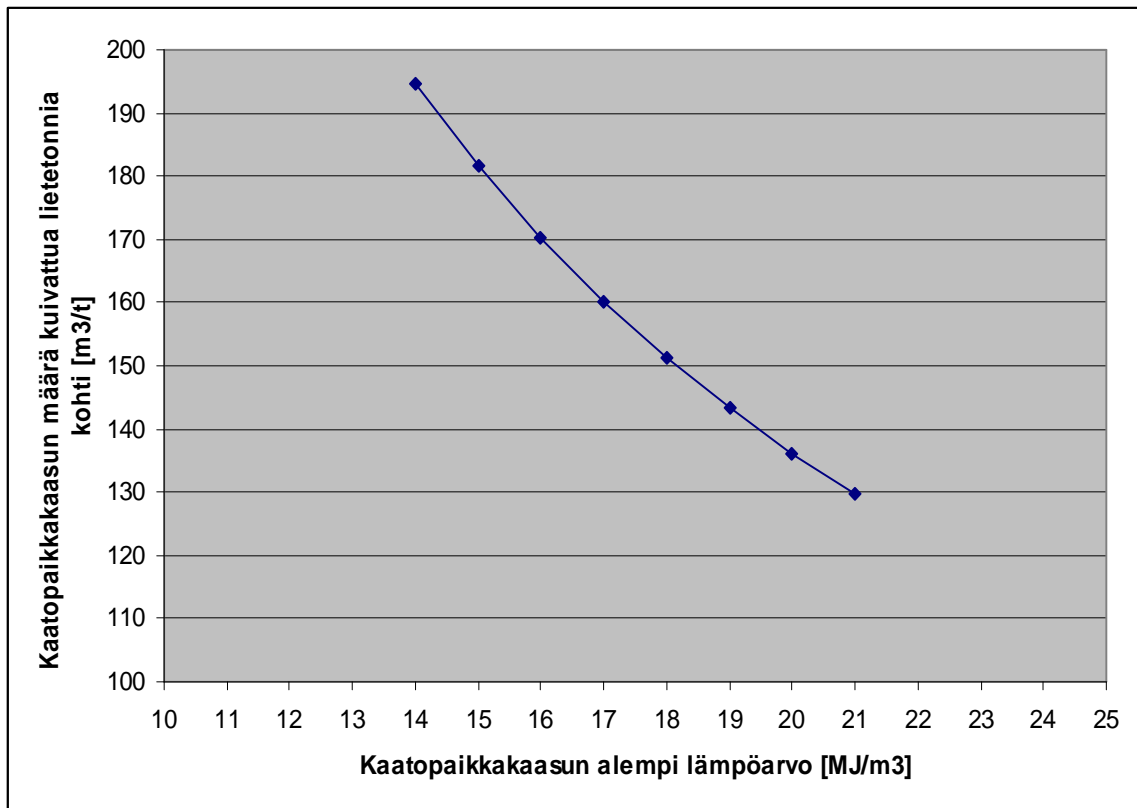
Vuonna 2007 koko Suomen ylijäämäpoltetusta kaatopaikkakaasusta 63 %:a (24,798 milj. m^3) tuotettiin Espoon Ämmänsuon kaatopaikalla (Kuittinen et al.2008, 46). Kun oletetaan taas vesikilogramman haihduttamiseen tarvittavaksi lämmöksi $3000 \text{ kJ/kg}_{\text{H}_2\text{O}}$, niin Ämmänsuon ylijäämäpoltetulla kaatopaikkakaasulla saataisiin kuivattua noin 161 tuhatta tonnia lietettä. Jos haihdutuslämpö olisi $3500 \text{ kJ/kg}_{\text{H}_2\text{O}}$, niin kuivatettu lietemäärä olisi noin 138 tuhatta tonnia.

Taulukossa 6 on esitetty kaikilla Suomen kaatopaikoilla, joissa kaatopaikkakaasua on ylijäämäpoltettu, mahdollisesti kaatopaikkakaasulla kuivattavan lietteen määrä. Kaatopaikkakaasua ylijäämäpoltettiin kaiken kaikkiaan 20 kaatopaikalla. Merkittävimpiä tuotetun kaasumäärän mukaan ovat Espoon Ämmänsuo, Tampereen Tarasteenjärvi, Jyväskylän mustakorkea ja Joensuun Kontiosuo. Ongelma kaatopaikkakaasun hyötykäytössä on se, että hyödyntämislaitoksen täytyisi olla suhteellisen lähellä kaatopaikkaa. Yleisesti taloudellisesti kannattavana etäisyytenä on pidetty alle 10 kilometrin matkaa kaatopaikkakaasun tuotanto- ja hyötykäyttöpaikan välillä (Karttunen 2007, 46).

Taulukko6. Kaatopaikoilla ylijäämäpoltetun kaatopaikkakaasun määrä, hukattu lämpöenergia (hyötysuhde 90 %) sekä lämpöenergialla mahdollisesti kuivattu liete. Kuivatut lietemäärät on arvioitu kahdella eri vesikielogramman haihduttamiseen kuluvan lämpöenergian arvoilla 3000 kJ/kg_{H2O} sekä 3500 kJ/kg_{H2O}. Ylijäämäpoltetun kaasun määrät sekä ylijäämäpoltossa hukatut lämpöenergiat ovat otettu taulukosta 4.

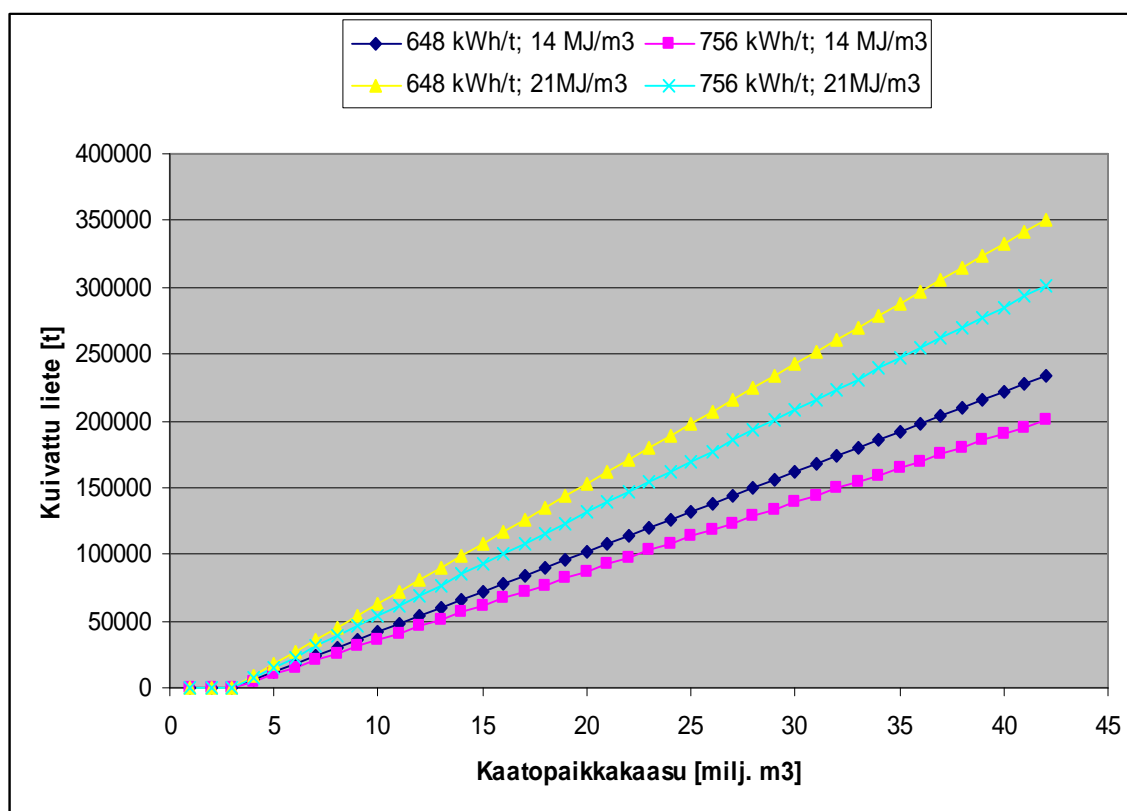
Kaatopaikkapumppaamot	Ylijäämäpoltetun kaasun määrä [1000 m ³]	Ylijäämäpoltossa hukattu lämpöenergia [MWh]	Kaasulla kuivattava lietemäärä [t]	
			3000 kJ/kg _{H2O}	3500 kJ/kg _{H2O}
Anjalankoski, Keltakangas	900	2729	4211	3610
Anjalankoski, Myllykoski Paper Oy, Sulento	700	2122	3275	2807
Espoo, Mankkaa	1403	5347	8252	7073
Espoo, Ämmässuo	59901	104184	160778	137810
Helsinki, Vuosaari	1545	4698	7250	6214
Hämeenlinna, Karanoja	1100	4955	7647	6554
Iisalmi, Peltomäki	900	3196	4932	4228
Imatra, Kurkisuo	600	2716	4191	3593
Joensuu, Kontiosuo	2942	1405	2168	1858
Jyväskylä, Mustankorkea	3500	8	12	11
Järvenpää, Puolmatka	100	364	562	481
Kajaani, Majasaarenkangas	530	2250	3472	2976
Kouvola, Sammalsuo	1000	4071	6282	5385
Lohja, Munkkaa	150	238	367	315
Pori, Hangassuo	1653	8018	12373	10606
Raisio, Isosuo	500	1862	2873	2463
Rovaniemi, Mäntyvaara	1668	78	120	103
Tampere, Tarastenjärvi	6000	9763	15066	12914
Uusikaupunki, Munaisenmetsä	300	962	1485	1272
Vaasa, Suvilahti	800	2980	4599	3942

Kuvassa 12 on esitetty yhden lietetonnin kuivaamiseen tarvitsema kaatopaikkakaasun määrä kaasun alemman lämpöarvon funktiona. Liete on esikuivattu 20 %:n ka. – pitoisuuden ja termisellä kuivauksella nostetaan ka. – pitoisuus 90 %:iin. Kuvasta voidaan nähdä kuinka paljon kaatopaikkakaasun puhdistuksella (ts. kaatopaikkakaasun lämpöarvon nostolla) voidaan vaikuttaa käytetyn kaasun määrään kuivattaessa tonni lietettä.



Kuva12. Kaatopaikkakaasun tarve kuivattua liettonnia kohden alemman lämpöarvon funktiona, kun liete kuivataan 20 %:n ka – pitoisuudesta 90 %:n ka – pitoisuuteen.

Kuvassa 13 on esitetty kuivatun lietteen määrä käytetyn kaatopaikkakaasun funktiona. Kuvassa on neljä eri versiota kaasun lämpöarvon ja lietteen kuivauksen ominaisenergian kulutuksen vaihtelun mukaan. Lietteen kuivauksen ominaisenergian vaihtelu johtuu vesikilogramman haihduttamiseen kuluvaan lämmön mukaan. Tässä 648 kWh/t vastaa 3000 kJ/kg_{H₂O} ja 756 kWh/t vastaa 3500 kJ/kg_{H₂O}.



Kuva13. Lietteen kuivaus kaatopaikkakaasulla, kun lietteen kuivauksen ominaisenergian kulutus on 648 kWh/t ja 756 kWh/t sekä kaatopaikkakaasun alempi lämpöarvo on 14 MJ/m³ ja 21 MJ/m³.

4 YHTEENVETO

Tällä hetkellä suuri osa esikäsitellyistä jätevesilietteistä hyödynnetään joko maanparannusaineena, kaatopaikkojen täyteaineena tai viherrakentamisessa ja osa loppusijoitetaan kaatopaikoille. Nämä loppusijoitusvaihtoehdot eivät kuitenkaan pysty kattamaan lopullisesti kasvavien lietemäärien loppusijoitustarvetta, mikä lisää lietteen loppusijoitusta kaatopaikoille. Kuitenkin EU:n tiukentuneen jätehuoltolainsäädännön sekä ilmastonlämpenemisen suurien haasteiden vuoksi, kaatopaikoille sijoitettavien jätteiden määrää täytyy pyrkiä vähentämään. Koska puhdistamoliete sisältää orgaanisia, epäorgaanisia ja toksisia yhdisteitä sekä patogeenisia ja tauteja aiheuttavia aineita, ei lietteen loppusijoitus ole päästö määrän sallimissa puitteissa helppoa ilman kunnollista esikäsitelyä.

Lietteen termisellä kuivauksella voidaan lietteestä saada stabiili ja patogeeni-vapaa tuote, jota on helppo käsitellä ja jolle on helpompi löytää loppusijoituskohteita kuin termisesti käsittelemättömälle lietteelle. Termisessä kuivauksessa lietteen ka – pitoisuus saadaan

nostettua tarpeeksi korkealle jotta lietteen varastoimisessa ei tarvitse huolehtia lietteen mädäntymisestä. Lisäksi, ka – pitoisuuden kasvaessa, lietteen lämpöarvo kasvaa, joten lietteen hyödyntäminen poltossa on helpompaa ja kannattavampaa. Termisellä kuivauksella saadaan myös lietteen massaa ja tilavuutta pienennettyä merkittävästi, mikä edesauttaa lietteen varastoimisessa ja kuljetuksissa. Termisesti kuivatulle lietteelle on hyvin mahdollista saada kaupallistakin arvoa.

Termisen kuivaamisen suurin ongelma on sen tarvitsema suuri energiamäärä kuivattavaa lietemäärää kohden. Polttoaineen hintojen noustessa kuivaaminen öljyllä tai maakaasulla tulee entistäkin kannattamattomaksi. Kuitenkin käyttämällä hyväksi uusiutuvia energialähteitä kuten biokaasua ja kaatopaikkakaasua, voidaan energiakustannuksia selvästi pienentää. Lisäksi sijoittamalla kuivauslaitteisto esimerkiksi energiatuotantolaitoksen lähelle, voidaan kuivauksessa hyödyntää prosessin hukkalämpöä. Energiantarvetta saadaan myös vähennettyä varustamalla itse kuivauslaitteisto lämmönsiirtimellä ja ottamalla hukkalämpöä talteen. Polttamalla lietettä saadaan myös lämpöä mitä voidaan käyttää kuivaamisessa. Näin liete ei sinänsä tuota mitään, mutta loppusijoitettavaksi jää vain tuhka mikä on tilavuudeltaan ja massaltaan vain murto-osa alkuperäisen lietteen määrästä. Tämän tuhkan sijoittaminen kaatopaikalle on siten huomattavasti helpompaa ja halvempaa eikä käsiteltyä lietettä tarvitse sijoittaa varastoihin odottamaan mahdollista loppusijoituspaikkaa.

Lietteen terminen kuivausprosessi on omanlaatuinen sen vuoksi, että lietteen kuivuessa se käy läpi niin sanotun tahmean vaiheen, missä liete on tarttuvaa ja huonosti sekoitettavaa. Tämä aiheuttaa ongelmia kuivausprosessissa, mutta se on useimmiten hoidettu jo termisesti kuivatun lietteen kierrättämisellä.

Suomessa kerättiin kaatopaikkakaasua vuonna 2007 yhteensä 33 kaatopaikalta noin 107,8 milj. m³, josta hyödynnettiin noin kaksi kolmasosaa. Hyödyntämättä jäänyt osa (noin 40 milj. m³) poltettiin soihduissa taivaalle. Hyödyntämättä jääneellä kaatopaikkakaasulla voitaisiin kuivata noin 250 tuhatta tonnia lietettä. Ongelmana on kuitenkin se, että kaatopaikkakaasun kuljetus on suhteellisen vaikeaa ja taloudellisesti kannattamatonta, joten kuivauksen täytyisi tapahtua kaatopaikkojen lähellä. Suurimmat Suomen kaatopaikkakaas-

sun tuottajat ovat Espoon Ämmänsuo, Tampereen Tarasteenjärvi, Jyväskylän mustakorkea ja Joensuun Kontiosuo, jotka yli 70 milj. m³ kaatopaikkakaasua vuodessa.

Kuitenkin sopivan välimatkan säteellä (aikaisemmin työssä mainittu välimatka noin 10 kilometriä) kaatopaikkakaasua voitaisiin hyödyntää lietteen termisessä kuivauksessa. Helpommin hyödyntäminen tapahtuisi käyttämällä kaatopaikkakaasua jonkin toisen polttoaineen rinnalla (esimerkiksi maakaasun). Pääpolttoaineen kulutusta saataisiin vähennettyä ja energiakustannuksia näin vähennettyä eikä polttimeen tarvitsisi tehdä minkäänlaisia muutoksia kaatopaikkakaasun matalamman lämpöarvon sekä epäpuhtauksien vuoksi. Toisaalta kaatopaikkakaasu soveltuu lämmöntuotantoon suhteellisen hyvin myös pääpolttoaineena ja muutokset polttimeen ovat melko vähäisiä. Korroosiota aiheuttavien yhdisteiden vuoksi polttimen ja polttoaineen syöttölaitteiston materiaalit täytyy olla kestävämpiä. Kaatopaikkakaasun puhdistuksella näitä ongelmia voidaan vähentää, mutta lämmöntuotannossa käytettynä kaatopaikkakaasu ei vaadi kovin perusteellista puhdistusta. Kosteuden ja rikkiyhdisteiden poisto on yleensä riittävä.

LÄHTEET:

ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2001. Landfill gas primer – an overview for environmental health professionals. [verkkodokumentti]. Marraskuu 2001. [Viitattu 29.3.2009]. ATSDR: Department of Health and Human Services. Saatavissa: <http://www.atsdr.cdc.gov/HAC/landfill/html/toc.html>

Duu-Jong Lee, Joo-Hwa Tay, Yung-Tse Hung, Pin Jing He. 2005. Handbook of Environmental Engineering, Volume 3: Physicochemical Treatment Processes. Humana Press. 677–703 s. ISBN: 978-1-58829–165-3 (Print), 978-1-59259–820-5 (Online).

GEA Process Engineering Inc. 2009. Flash Drying - Process Concepts and Variations. [verkkodokumentti]. [Viitattu: 9.4.2009].

Saatavissa: http://www.niroinc.com/food_chemical/flash_drying_concepts.asp

Holmberg, T.; Lilja, R. 1999. Lietteen termisen kuivauksen ja pelletoinnin kannattavuus. Vesitalous, 1999, nro 3. s.34–36. ISSN: 0505–3838

IEA Bioenergy 2000. Biogas upgrading and utilization. [verkkodokumentti] Task 24: Energy from biological conversion of organic waste. Wheeler, P.; Jaatinen, T.; Lindberg, A.; Wellinger, A.; Holm-Nielsen, J.B. & Pettigrew, A. International energy Agency Biogas (IEA Biogas). [Viitattu: 8.4.2009].

Saatavissa: http://www.recyclenow.org/Report_IEA_Bioenergy_1MB.pdf

IEA Bioenergy 2005. Biogas production and utilization. [verkkodokumentti]. Task 37: Energy from Biogas and Landfill Gas. Wellinger, A. International energy Agency Biogas (IEA Biogas). [Viitattu: 8.4.2009].

Saatavissa: <http://www.ieabioenergy.com/Library.aspx>

Karttunen, P. 2007. Kaatopaikkakaasun hyötykäyttömahdollisuudet Anjalankosken Ekoparkissa. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energia- ja Ympäristötekniikan osasto. Lappeenranta. 141 s.

Kuittinen, V.; Huttunen, M. J. & Leinonen, S. 2008. Suomen biokaasurekisteri n:o 11. Tiedot vuodelta 2007. Joensuu: Joensuun Yliopisto, Ekologian tutkimusinstituutti. 78 s. ISBN: 978-952-219-191-5 (pdf)

Lawrence K. Wang, Clint Williford, Wei-Yin Chen, Nazih K. Shammam. 2007. Handbook of Environmental Engineering, Volume 6: Biosolids Treatment Processes. Humana Press. 299-329 s. ISBN: 978-1-58829-396-1 (Print) 978-1-59259-996-7 (Online).

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

Manninen, H-M. 2007. Yhdyskuntalietteen ja biopolttoaineiden käsittelyketjujen ja polton teknis-taloudellinen tarkastelu. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energia- ja Ympäristötekniikan osasto. Lappeenranta. 134 s.

Metcalf & Eddy Inc. 2003. Wastewater engineering, treatment and reuse. 4th edition revised by Tchobanoglous, G.; Burton, F.L.; Stensel, H.D. Boston: McGraw-Hill. 1819 s. ISBN: 0-07-041878-0.

Mroueh, U-M; Ajanko-Laurikko, S; Arnold, M; Laiho, A; Wihersaari, M; Savolainen, I; Dahlbo, H. & Korhonen, M-R. 2007. Uusien jätteenkäsittelykonseptien mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT). 170s. + liitt. 5 s. VTT-tiedotteita 2402. ISBN: 978-951-38-6959-5.

Ojanen, P. 2001. Sellu- ja paperitehtaiden lietteiden käsittely ja hyötykäyttö sekä niitä rajoittavat tekijät. [verkkodokumentti]. Alueelliset ympäristöjulkaisut 223. [Viitattu: 9.4.2009]. Aalef Online kirjapaino Lappeenranta, 2001. ISBN: 952-11-0922-X. ISBN: 952-11-2153-X (PDF). ISSN 1238-8610. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/kas>

Pipatti, R.; Hänninen, K.; Vesterinen, R.; Wihersaari, M. & Savolainen, I. 1996. Jätteiden käsittelyvaihtoehtojen vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT), VTT Energia. 85 s. VTT julkaisuja 811. ISBN: 951-38-4520-6.

Pöyry Environment Oy. 2007. Lietteen käsittelyn nykytila Suomessa ja käsittelymenetelmien kilpailukyky – selvitys. [verkkodokumentti]. Helsinki: Sitra, 2007. 52 s. ISBN: 978-951-563-597-6. [Viitattu: 21.3.2009]. Saatavissa: www.sitra.fi

Savolainen, I.; Similä, L.; Syri, S. & Ohlstrom, M.(toim.). 2008. Teknologia-polut 2050. Teknologian mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen syvien rajoittamistavoitteiden saavuttamiseksi Suomessa. Taustaraportti kansallisen ilmasto- ja energiastrategian laatimista varten. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT). 215 s. VTT Tiedotteita 2432. ISBN 978-951-38-7208-3

Tuhkanen, S. 2002. Jätehuollon merkitys Suomen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä - Kaatopaikkojen metaanipäästöt ja niiden talteenotto. Espoo: Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus (VTT), VTT Prosessit. 46 s. VTT Tiedotteita 2142. ISBN: 951-38-5895-2.

US. EPA. 2008. Adapting Boilers to Utilize Landfill Gas: An Environmentally and Economically Beneficial Opportunity. [Verkkodokumentti]. Landfill Methane Outreach Program (LMOP). 4 s. Syyskuu 2008. [Viitattu: 8.4.2009]. U.S. Environmental Protection Agency.

Saatavissa: <http://www.epa.gov/lmop/res/index.htm>

Werther, J.; Ogada, T. 1999. Sewage Sludge combustion. Progress on Energy and Combustion Science, 1999: vol 25, nro 1. S. 55-116. ISSN: 0360-1285

Ympäristöministeriö 2006. Yhdyskuntien jätevesilietteet. [verkkodokumentti]. Päivitetty: 25.8.2006 [Viitattu: 9.4.2009].

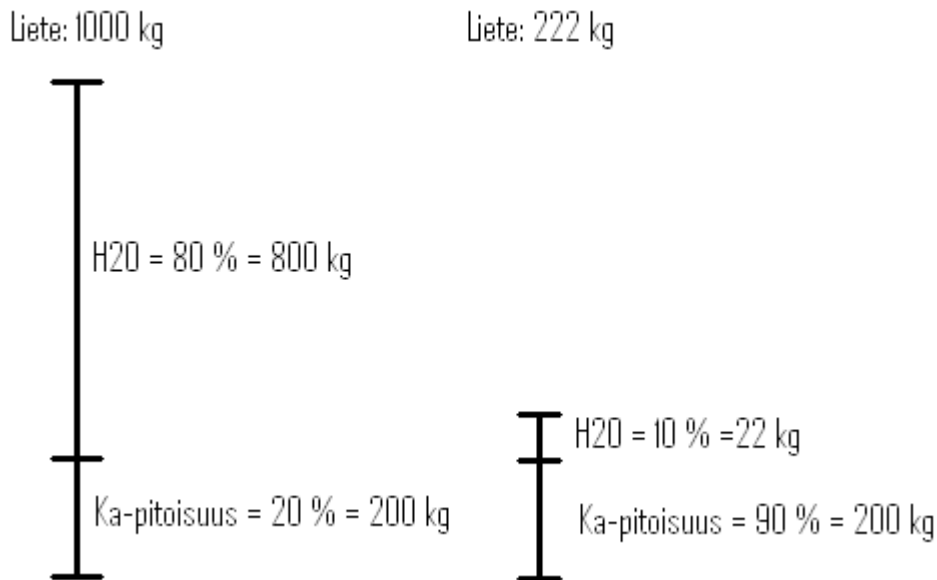
Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=167524&lan=fi>

Ympäristöministeriö 2008. SY32/2008 Kohti kierrätysyhteiskuntaa. Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016. [verkkodokumentti]. Helsinki 2008. Suomen Ympäristö 32 / 2008. [Viitattu: 9.4.2009]. ISBN 978-952-11-3215-5 (nid.). ISBN 978-952-11-3216-2 (PDF).

Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=309523&lan=FI>

Esimerkkilaskelma

Kuivattavan veden määrä, kun lietteen kuiva-aineen (ka) pitoisuus on alussa 20 %:a ja liete kuivataan 90 %:a ka – pitoisuuteen.



Kuva 1. Liette kuivuminen 20 %:n ka - pitoisuudesta 90 %:n ka – pitoisuuteen.

Kuvasta 1 nähdään, että kun kuivataan 1000 kg lietettä, haihdutettavan veden määrä per tonni kuivattavaa lietettä on

$$800\text{kg} - 22\text{kg} = 778\text{kg} = 0,778 \frac{t_{H_2O}}{t_{liete}}$$

Lietetonnin kuivaamiseen kuluva lämpöenergia, kun yhden vesikilogramman kuivaamiseen kuluu lämpöä 3000 kJ/kg_{H₂O}:

$$3000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{H_2O}} = 3000 \frac{\text{MJ}}{t_{H_2O}} = 833 \frac{\text{kWh}}{t_{H_2O}}$$

$$833 \frac{\text{kWh}}{t_{H_2O}} \cdot 0,778 \frac{t_{H_2O}}{t_{liete}} = 648 \frac{\text{kWh}}{t_{liete}}$$

Oletetaan kaatopaikkakaasun lämpöarvoksi $16,8 \text{ MJ/m}^3$ ja lämmöntuotannon hyötysuhteeksi 90 %:a. Soihduissa poltetun kaatopaikkakaasun määrä Suomessa vuonna 2007 oli 39,251 milj. tonnia. Näillä arvoilla ylijäämäpoltetun kaatopaikkakaasun teoreettiseksi lämpöenergiaksi saadaan

$$0,9 \cdot 39251000 \text{ m}^3 \cdot 16,8 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} = 659416800 \text{ MJ} = 164854 \text{ MWh}$$

Jakamalla tämä yhden lietetonin kuivaamiseen tarvittavalla lämmöllä saadaan Suomen kaatopaikkakaasulla teoriassa kuivattavissa oleva määrä lietettä

$$\frac{164854000 \text{ kWh}}{648 \frac{\text{kWh}}{t_{\text{liete}}}} = 254404 t_{\text{liete}} \approx 250000 t_{\text{liete}}$$