



Ulla-Maija Mroueh, Sirke Ajanko-Laurikko,  
Mona Arnold, Anna Laiho, Margareta Wihersaari,  
Ilkka Savolainen, Helena Dahlbo & Marja-Riitta Korhonen

## Uusien jätteenkäsittelykonseptien mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä



# **Uusien jätteenkäsittelykonseptien mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä**

Ulla-Maija Mroueh, Sirke Ajanko-Laurikko, Mona Arnold,  
Anna Laiho, Margareta Wihersaari & Ilkka Savolainen

VTT

Helena Dahlbo & Marja-Riitta Korhonen

Suomen ympäristökeskus



ISBN 978-951-38-6959-5 (nid.)

ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 978-951-38-6960-1 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2007

#### JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 3, PL 1000, 02044 VTT

puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 3, PB 1000, 02044 VTT

tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 3, P.O.Box 1000, FI-02044 VTT, Finland

phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 4374

VTT, Biologinkuja 7, PL 1000, 02044 VTT

puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7026

VTT, Biologgränden 7, PB 1000, 02044 VTT

tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7026

VTT Technical Research Centre of Finland, Biologinkuja 7, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland

phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7026

Toimitus Anni Kääriäinen

Edita Prima Oy, Helsinki 2007

Mroueh, Ulla-Maija, Ajanko-Laurikko, Sirke, Arnold, Mona, Laiho, Anna, Wihersaari, Margareta, Savolainen, Ilkka, Dahlbo, Helena & Korhonen, Marja-Riitta. Uusien jätteenkäsittelykonseptien mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä [New waste management concepts in the reduction of greenhouse gas emissions]. Espoo 2007. VTT Tiedotteita – Research Notes 2402. 170 s. + liitt. 5 s.

**Avainsanat** waste management, greenhouse gas emissions, emission reduction, waste treatment technology, biowaste, landfill, waste incineration, waste recycling, material recovery, Kyoto Mechanisms, CDM, JI, market potential

## Tiivistelmä

Jätehuollon osuus maailmanlaajuisista ihmisen toiminnan aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä on 3–4 %. Merkittävin päästölähde on kaatopaikkojen metaanintuotanto. Jätehuollon voimakkaan kehityksen ja päästöjen vähentämisvaatimusten myötä mahdollisuudet uusien päästöjä vähentävien ratkaisujen, teknologioiden ja osaamisen vientiin ovat parantuneet. Alalle tuo uusia liiketoimintamahdollisuuksia myös Kioton pöytäkirjan hankemekanismien, puhtaan kehityksen mekanismin (CDM) ja yhteistoteutuksen (JI) hyödyntäminen. Näiden joustomekanismien puitteissa Kioton pöytäkirjan liitteen I maat (teollisuus- ja siirtymätalousmaat, joille on määritelty sitovat kasvihuonekaasujen rajoittamis- ja vähentämisvelvoitteet) voivat hankkia päästöyksiköitä, jotka ovat peräisin toisista maista, ja käyttää niitä kansallisen velvoitteensa täydentämisessä.

Uusiin jätteenkäsittelykonsepteihin liittyvien liiketoimintamahdollisuuksien ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämismahdollisuuksien arvioimiseksi tarkasteltiin seuraavien jätehuollon osa-alueisiin liittyviä käsittelykonsepteja: jätteiden jalostaminen tuotteiksi, jätteiden biohajoavan fraktion käsittely ja hyötykäyttö, jätteiden energiakäyttö ja jätteiden kaatopaikkasijoitus. Merkittävimpien uusien teknologioiden toimivuuden ja päästöjen vähentämistehokkuuden arvioinnin lisäksi analysoitiin valittujen konseptien taloudellista kannattavuutta CDM- tai JI-hankkeissa.

Kioton hankemekanismien puitteissa kustannustehokkaimmiksi jätehuoltohankkeiksi osoittautuivat esimerkkilaskelmissa kaatopaikkakaasujen keräys ja soih tupoltto sekä tietyin edellytyksin biokaasun tuotanto ja jätteen käyttö energiantuotannossa. Biokaasun tuotanto maatalouden jätteistä ja lietteistä tai muista biohajoavista lietteistä on CDM- ja JI-hankkeissa yleensä taloudellisesti ja teknisesti parempi vaihtoehto kuin biokaasun tuotanto lajitellusta yhdyskuntajätteestä. Päästövähennyksistä saatavan hyvityksen ja lyhyen, nykyisen Kioton kauden kestäväksi oletetun hyvityskauden takia oli taloudellisesti edullisinta tuottaa nopeasti suuri päästövähennys pienellä investoinnilla. Tässä suhteessa CDM- ja JI-hankkeet poikkeavat muista jätehuoltohankkeista, joissa kaatopaikkakaasun energiahyödyntäminen ja jätteen energiakäyttö usein arvioidaan kaatopaikkakaasun soih tupolttoa kustannustehokkaammiksi kasvihuonekaasupäästöjen vähentämismenetelmiksi.

Tutkimuksessa jätteenkäsittelykonsepteja tarkasteltiin erillisinä kokonaisuuksina. Käytännön hankkeissa lähtöoletukset, tarkasteltava jätehuollon kokonaisuus, syntyvän energian tai tuotteiden hyödyntämismahdollisuudet ym. seikat vaikuttavat merkittävästi tulokseksi saatavaan kasvihuonekaasujen vähentämistehokkuuteen. Tämä ilmeni mm. materiaalihyödyntämisen esimerkkitarkasteluissa, joissa kierrätetystä materiaalista valmistetun tuotteen kasvihuonekaasupäästöjä verrattiin vastaavan neitseellisestä materiaalista valmistetun tuotteen elinkaaren aikaisiin päästöihin. Tuloksiin vaikuttavat mm. vertailukohteena käytetty tuote, jätemateriaalin käsittelytapa ja lopputuotteen kohtalo käytön jälkeen. Esimerkiksi tapauksessa, jossa jätemuovista valmistetun profiilin oletettiin korvaavan kyllästetystä puusta valmistettua tuotetta, prosessointi muoviprofiiliksi vähensi kasvihuonekaasupäästöjä vain tietyin edellytyksin. Tulokset olisivat kuitenkin erilaisia, jos vertailukohteena olisi ollut fossiilisperäinen tuote.

Mroueh, Ulla-Maija, Ajanko-Laurikko, Sirke, Arnold, Mona, Laiho, Anna, Wihersaari, Margareta, Savolainen, Ilkka, Dahlbo, Helena & Korhonen, Marja-Riitta. Uusien jätteenkäsittelykonseptien mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä [New waste management concepts in the reduction of greenhouse gas emissions]. Espoo 2007. VTT Tiedotteita – Research Notes 2402. 170 p. + app. 5 p.

**Keywords** waste management, greenhouse gas emissions, emission reduction, waste treatment technology, biowaste, landfill, waste incineration, waste recycling, material recovery, Kyoto Mechanisms, CDM, JI, market potential

## Abstract

Globally, solid waste disposal causes about 3–4% of anthropogenic greenhouse gas emissions. The most significant emission source is methane production at landfills. The opportunities for export of new waste treatment technologies, solutions and know-how have improved due to the emission reduction requirements and the fast development of waste management both in Europe and developing countries. The CDM (Clean Development Mechanism) and JI (Joint Implementation) programmes under the Kyoto protocol also create new market potential in the waste management area. Within the limits of these mechanisms) the Annex I countries (industrialized countries and countries with economies in transition) can pay for projects that cut or avoid emissions in other countries and are awarded with credits that can be applied to meeting their own emission targets.

The aim of the project was to estimate the market potential and greenhouse gas emission reduction potential of new waste management concepts. Several potential concepts in the following waste management sectors were included in the study: processing of waste into new products, treatment and utilisation of biowaste, energy production from waste and landfill disposal. In addition to the technical feasibility and emission reduction potential of the most significant technological alternatives, the economic feasibility of a few selected concepts for CDM or JI projects was analyzed.

Based on case studies, landfill gas collection and flaring, as well as, with certain preconditions, production of biogas and production of energy from waste, are generally the most cost-effective alternatives in the projects under Kyoto mechanisms. Production of biogas from agricultural waste and sludge, as well as from other biodegradable sludge, is often more feasible in CDM and JI projects than production of biogas from source-separated biological fraction of municipal waste. Because of the crediting and the assumed short crediting period (five year Kyoto period), the projects producing a rapid emission reduction with a small investment proved in case studies to be economically most feasible. In this respect the Kyoto projects differ from other waste management projects where, in many cases, the investment in waste incineration or

energy production from collected landfill gas turns out to be a cost-effective greenhouse gas reduction method.

In this project, each waste management concept was studied as a separate system. In practice, the organization of the whole waste management system and the starting values of calculations may significantly impact the greenhouse gas reduction efficiency of newly introduced measures. This was shown especially in the case studies on material recovery, where life cycle assessment methodology was used in the comparison of the greenhouse gas emissions of a product produced from recycled material with those of a corresponding product made from virgin material. The most significant factors that influenced the results were the product used in the comparison, the method used for processing the waste material and what happened to the product after use. For example, in the comparison of a plastic profile made from recovered plastics with a conventional impregnated wood structure, the reduction of greenhouse emissions depended on whether the products were combusted or sent to a landfill at the end of their life cycle. The results could be different if the virgin product used in comparison was made from a fossil based material.



# Alkusanat

Jätehuoltoon kohdistuu monia vaatimuksia, kuten jätteen synnyn vähentäminen, uusiokäytön ja materiaalin kierrätyksen lisääminen sekä ympäristövaikutusten pienentäminen. Jätehuollon kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen on yksi keskeisistä maailmanlaajuisista muutospainoista. Kioton pöytäkirja vaatii kehittyneitä maita rajoittamaan päästöjään ja samalla pöytäkirja tekee mahdolliseksi käyttää hankekohtaisia mekanismeja, joilla voidaan edistää päästöjen rajoittamisen kustannustehokkuutta ja uuden teknologian käyttöönottoa.

Tutkimuksen ”Uudet jätteenkäsittelykonseptit kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä ja niiden kehittäminen liiketoiminnaksi keskipitkällä tähtäimellä (UJKON)” tavoitteena on tarkastella uusien jätteenkäsittelykonseptien merkitystä ja kustannustehokkuutta kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämisessä sekä edistää tehokkaiden konseptien kehittämistä liiketoiminnaksi Suomessa ja Kioton pöytäkirjan hankemekanismin mukaisissa projekteissa. Tutkimuksessa on osallistuttu myös hallitustenvälisen ilmasto-paneelin (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) neljännen arviointiraportin laadintaan jätesektorin päästövähennystoimien osalta.

Tutkimus on osa Tekesin Climbus-tutkimusohjelmaa. Tutkimushanke koostuu kahdesta tutkimuslaitoshankkeesta, joista toinen toteutetaan VTT:ssä ja toinen SYKEssä. Tutkimushankkeen johtoryhmään kuuluvat Reetta Anderson (YTV, puh.joht.), Timo Nyrönen (Vapo), Antero Vattulainen (Kuusakoski), Aimo Aalto (KTM), Tarja-Riitta Blauberg (YM), Kari Hämekoski (myöhemmin Alec Estlander) (SYKE), Riitta Pipatti (Tilastokeskus), Kai Sipilä (VTT), Jatta Jussila (Technopolis) ja Pia Salokoski (Tekes).

Koko hankkeen projektipäällikkö on Ilkka Savolainen ja VTT:n osahankkeen Ulla-Maija Mroueh ja SYKEN Helena Dahlbo. Tutkimukseen ovat osallistuneet lisäksi VTT:stä Margareta Wihersaari, Sirke Ajanko-Laurikko, Mona Arnold, Anna Laiho ja Tuula Mäkinen sekä SYKEstä Marja-Riitta Korhonen.

Tämän julkaisun lisäksi hankkeessa on tuotettu seuraavat julkaisut:

Ahonen, H.-M. 2006. Kioton hankemekanismit ja jätehuoltosektori – tietopaketti yrityksille. Suomen Ympäristö 20/2006. SY20/2006.

Korhonen, M.-R. & Dahlbo, H. 2007. Reducing greenhouse gas emissions by recycling plastics and textiles into products. The Finnish Environment 30/2007.

Monni, S., Pipatti, R., Lehtilä, A., Savolainen, S. & Syri, S. 2006. Global climate change mitigation scenarios for solid waste management. VTT Publications 603. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2006/P603.pdf>. Espoo: VTT.

Waste management. Chapter 10 in: Mitigation of Climate Change (WG3). The IPCC 4<sup>th</sup> Assessment Report. Contribution by Riitta Pipatti and Suvi Monni.

Arnold, M., Mroueh, U.-M. & Savolainen, I. New MSW Management concepts in the reduction of greenhouse gas emissions – Design of a JI project on recovery and utilization of landfill gas. Sardinia 2007, XI international Waste Management Symposium. 1–5 October 2007. S. Margherita di Pula, Sardinia, Italy.

Hiltunen, M.-R. & Dahlbo, H. 2007. Material recovery of plastics and textile waste – reducing greenhouse gas emissions? The 2nd BOKU Waste Conference April 16–19, 2007, Vienna, Austria.

Otaniemessä huhtikuussa 2007

Ilkka Savolainen

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	5
Alkusanat.....	7
Lyhenneluettelo.....	12
1. Johdanto.....	13
1.1 Tausta ja tavoitteet.....	13
1.2 Yhdyskuntajätteen koostumus ja käsittely.....	14
1.2.1 Suomi ja muut EU15-maat.....	14
1.2.2 Uudet EU-maat.....	17
1.2.3 Kehittyvät maat.....	18
1.3 Päästösäästöön perustuvaa liiketoimintaa.....	20
1.3.1 Jätehuollon laiteinvestointien markkinat.....	20
1.3.2 Kioton pöytäkirjan hankemekanismin hyödyntäminen.....	21
1.3.3 CDM- ja JI-hankkeiden tilanne.....	22
1.4 Taustaselvitykset.....	23
1.5 CDM- ja JI-hanke-esimerkit.....	24
2. Jätteiden jalostaminen tuotteiksi.....	26
2.1 Osa-alueen tavoitteet ja toteutus.....	26
2.2 Kartoitetut konseptit.....	27
2.2.1 Puukuitupohjaiset jätteet.....	27
2.2.2 Lasijätteet.....	31
2.2.3 Tekstiilijätteet.....	35
2.2.4 Muovijätteet.....	38
2.2.5 Metallijätteet.....	41
2.3 Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämismahdollisuudet.....	43
2.3.1 Päästöihin vaikuttavia tekijöitä.....	43
2.3.2 Laskentaperusteet.....	44
2.3.3 Lähemmin tarkasteltavat konseptit.....	45
2.3.4 Tulokset.....	48
2.4 Liiketoimintamahdollisuudet.....	50
2.5 Case-tarkastelut: muovin ja tekstiilin kierrätys.....	51
3. Biojätteen käsittely ja hyötykäyttö.....	53
3.1 Osa-alueen tavoitteet ja toteutus.....	53
3.1.1 Biojäte yhdyskuntajätteessä.....	53
3.1.2 Muita biojätteitä.....	54
3.2 Kartoitetut konseptit.....	55
3.2.1 Aumakompostointi.....	55

3.2.2	Laitosmainen käsittely, aerobinen.....	55
3.2.3	Laitosmainen käsittely, anaerobinen.....	59
3.2.4	Biojätteen käsittely integroituna SRF-tuotantoon.....	61
3.2.5	Omatoiminen pienkompostointi.....	62
3.2.6	Kompostoinnin tukiaineet.....	62
3.2.7	Lopputuotteiden sijoitus ja hyötykäyttö.....	62
3.3	Biojätteen käsittelykustannukset.....	62
3.3.1	Biojätteiden ja jätevesilietteiden käsittelykustannukset.....	62
3.3.2	Biokaasun tuotanto maatilalla.....	64
3.4	Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämismahdollisuudet.....	64
3.4.1	Päästöihin vaikuttavia tekijöitä.....	64
3.4.2	Päästöjen suuruusluokan arviointi.....	66
3.4.3	Kuljetus ja mekaaninen käsittely.....	67
3.4.4	Kompostin poltto.....	67
3.4.5	Kompostin käyttö maaparannusaineena.....	68
3.4.6	Turpeen käyttö kuivikkeena.....	68
3.4.7	Muut ympäristövaikutukset.....	68
3.4.8	Biojätteisiin liittyvien päästötekijöiden arviointiesimerkki: AM0025.....	69
3.4.9	Tiedonpuutteet ja kehitystarpeet.....	70
3.5	Liiketoimintamahdollisuudet.....	70
3.6	Case: jätteen biofraktion käsittely.....	71
3.6.1	Hankkeen yleiskuvaus.....	73
3.6.2	Hankkeen perusura.....	74
3.6.3	Lisäisysehto kustannusten kannalta.....	76
3.6.4	Hankkeen talous.....	77
3.6.5	Hankkeen muut ympäristövaikutukset.....	78
3.7	Johtopäätökset.....	78
4.	Jätteiden energiakäyttö.....	80
4.1	Osa-alueen tavoitteet ja toteutus.....	80
4.2	Kartoitetut konseptit.....	80
4.2.1	Syntypaikkalajittelu.....	80
4.2.2	Jätteenkäsittelykonseptit.....	82
4.2.3	SRF:n valmistusprosesseja.....	83
4.2.4	Energiahyötykäyttökonseptit.....	86
4.3	Kustannukset.....	91
4.4	Päästöjen vähentämismahdollisuudet.....	92
4.5	Case: leijupolttotekniikan ja kaasutusteknologian vienti Kiinaan.....	96
4.5.1	Hankkeen yleiskuvaus.....	97
4.5.2	Hankkeen perusura, lisäisyys, kasvihuonekaasupäästöt ja seuranta....	98
4.5.3	Hankkeen talous.....	101
4.5.4	Hankkeen ympäristövaikutukset.....	103

4.5.5	Suomalaisten yritysten liiketoimintamahdollisuudet vastaavissa hankkeissa .....	103
4.6	Yhteenveto ja johtopäätöksiä .....	105
5.	Jätteiden kaatopaikkasijoitus .....	107
5.1	Osa-alueen tavoitteet ja toteutus.....	107
5.2	Kartoitetut konseptit .....	107
5.2.1	Kaatopaikkakaasun talteenotto- ja hyötykäyttökonseptit.....	107
5.2.2	Kaatopaikkakaasun biologinen käsittely.....	112
5.2.3	Esikäsitellyn jätteen kaatopaikkasijoitus.....	113
5.2.4	Bioreaktorikaatopaikat .....	115
5.3	Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämismahdollisuudet.....	120
5.3.1	Päästöjen arviointimenetelmät .....	121
5.3.2	Perinteinen sekajätteen kaatopaikka .....	124
5.3.3	Kaatopaikkakaasun hyötykäyttö .....	127
5.3.4	Jätteen esikäsitely ennen kaatopaikkasijoitusta .....	128
5.3.5	Bioreaktorikaatopaikat .....	129
5.3.6	Muut ympäristövaikutukset.....	130
5.4	Päästöjen vähentämiskustannukset.....	131
5.4.1	Kaatopaikkakaasun talteenotto ja energiantuotanto.....	131
5.4.2	Bioreaktorikaatopaikat .....	132
5.5	Liiketoimintamahdollisuuksia .....	134
5.6	Case: kaatopaikkakaasun talteenotto ja hyötykäyttö yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa Pietarissa.....	135
5.6.1	Yhdyskuntajätteen kaatopaikat Venäjällä ja Pietarissa.....	136
5.6.2	Hankkeen kuvaus .....	137
5.6.3	Hankkeen tuottama päästövähennys .....	141
5.6.4	Hankkeen talous .....	143
5.6.5	Hankkeen ympäristövaikutukset .....	145
5.7	Yhteenveto.....	146
6.	Jätehuollon metaanipäästöjen vähentämiskustannukset .....	148
7.	Yhteenveto .....	150
7.1	Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistehokkuus .....	150
7.2	Kustannustehokkuus CDM- tai JI-hankkeissa .....	152
7.3	Kokonaisvaikutukset .....	154
	Lähdeluettelo .....	156
	Liitteet	
	Liite 1: Kaatopaikalle sijoitetun jätteen metaaninmuodostuksen arviointi	
	Liite 2: Kaatopaikkahankkeen päästövähennyksen arviointi	
	Liite 3: YTV:n Ämmässuon nykyisen kaatopaikka-alueen metaanin tuoton arviointi	

## Lyhenneluettelo

BFB	Kupliva leijukerros, kerrosleiju (Bubbling Fluidized Bed)
CDM	Puhtaan kehityksen mekanismi (Clean Development Mechanism), Kioton pöytäkirjan hankemekanismi, joka koskee kehitysmaissa toteutettavia päästövähennyshankkeita
CER	CDM-hankkeen tuottama sertifioitu päästövähennys (Certified Emission Reduction). Yksi CER vastaa yhtä ekvivalenttista hiilidioksiditonnia (t CO <sub>2</sub> -ekv.).
CFB	Kiertoleijukerros, kiertoleiju (Circulating Fluidized Bed)
CHP	Yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto
ERU	JI-hankkeen tuottama päästövähennysyksikkö (Emission Reduction Unit). Yksi ERU vastaa yhtä ekvivalenttista hiilidioksiditonnia (t CO <sub>2</sub> -ekv.).
JI	Yhteistoteutusmekanismi (Joint Implementation), Kioton pöytäkirjan hankemekanismi, joka koskee teollisuusmaissa toteutettavia päästövähennyshankkeita
RDF	Syntypaikkalajittelemattomasta jätteestä valmistettu polttoaine (Refuse Derived Fuel)
REF	Kierrätyspolttoaine
SRF	Jätteestä laitosmaisesti valmistettu polttoaine (Solid Recovered Fuel)

# 1. Johdanto

## 1.1 Tausta ja tavoitteet

Jätehuolto on merkittävä kasvihuonekaasupäästöjen lähde, koska kaatopaikoilla syntyvä metaani on voimakas kasvihuonekaasu. 3–4 % ihmisen toiminnan aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä ja noin viidennes ihmisen tuottamista metaanipäästöistä on peräisin jätehuollosta (IPCC 2000b, IPCC 2001). Jätehuollon kokonaispäästöjen odotetaan kasvavan maailmanlaajuisesti, erityisesti kehitysmaiden väestönkasvun ja taloudellisen kasvun seurauksena. Monissa kehittyneissä maissa päästöt ovat tasoittumassa tai jopa vähenemässä. (UNFCCC 2005.)

Suomessa jätehuollon osuus kasvihuonekaasujen kokonaispäästöistä oli laskenut vuoden 1994 4,9 %:sta vuonna 2005 noin 3 %:iin (taulukko 1). Päästövähennykseen ovat vaikuttaneet mm. syntypaikkalajittelun tehostuminen ja kaatopaikkakaasujen talteenoton lisääntyminen. Vuonna 2005 kaatopaikkakaasua kerättiin 30 kaatopaikalla yhteensä noin 118 Mm<sup>3</sup>, josta hyödynnettiin lähes 60 %. Energiasektori oli Suomessa ehdottomasti suurin kasvihuonekaasujen päästölähde. Vuonna 2005 sen päästöt olivat 54,9 milj. tonnia CO<sub>2</sub>-ekv. (Tilastokeskus 2007).

*Taulukko 1. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1994–2005, milj. tonnia CO<sub>2</sub>-ekv. (Tilastokeskus 2007).*

Sektori	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Energia	59,9	56,5	61,8	60,8	57,5	59,7	55,4	60,1	63,2	71,2	66,9	54,9
Teollisuus	4,4	4,3	4,2	4,7	4,6	4,6	4,7	4,6	4,5	5,0	5,3	5,3
Maatalous	6,2	6,3	6,2	6,2	6,1	5,9	5,9	5,8	5,8	5,7	5,6	5,6
Jätteet	3,8	3,8	3,7	3,6	3,4	3,3	3,1	3,0	2,8	2,7	2,5	2,3
Muut lähteet	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,2	1,5	1,4	1,3
<b>Yhteensä</b>	<b>75,3</b>	<b>71,9</b>	<b>76,9</b>	<b>76,4</b>	<b>72,6</b>	<b>71,8</b>	<b>70,7</b>	<b>75,6</b>	<b>77,6</b>	<b>86,0</b>	<b>81,8</b>	<b>69,3</b>

Kaatopaikkojen metaanipäästöjen ehkäisy tai vähentäminen on hyvin kustannustehokas keino rajoittaa kasvihuonekaasupäästöjä. Siksi jätehuollon merkitys päästöjen vähentämisessä on suurempi kuin jätehuollon osuus päästöistä.

Mahdollisuudet erilaisen päästöjä vähentävien teknologioiden ja osaamisen vientiin ovat lisääntyneet jätehuoltoa koskevien päästöjen vähentämisvaatimusten myötä. Myös Kioton pöytäkirjan hankemekanismin, puhtaan kehityksen mekanismin (CDM) ja yhteistoimintatutuksen (JI) hyödyntäminen tuo alalle uusia liiketoimintamahdollisuuksia.

Tämä julkaisu on osa tutkimushanketta ”Uudet jätteenkäsittelykonseptit kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä ja niiden kehittäminen liiketoiminnaksi keskipitkällä ja pit-

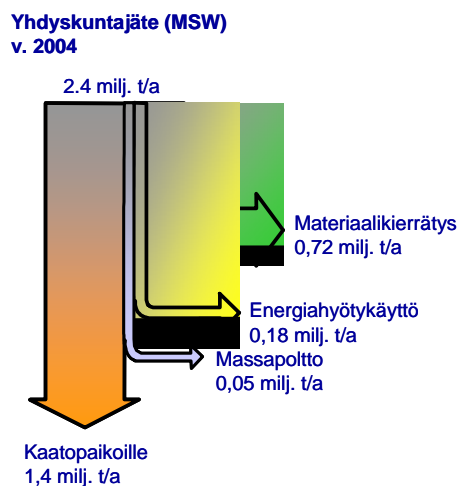
källä aikavälillä”. Hankkeen tavoitteena on tarkastella uusien jätteenkäsittelykonseptien merkitystä ja kustannustehokkuutta kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämisessä, edistää tehokkaiden konseptien kehittämistä liiketoiminnaksi Suomessa ja parantaa konseptien vientimahdollisuuksia JI- ja CDM-hankkeissa.

Hankkeessa tarkastellaan neljää jätteenkäsittelyn osa-aluetta. Nämä ovat jätteiden jalostaminen tuotteiksi, jätteiden biologisen fraktion käsittely ja hyötykäyttö, jätteiden energiakäyttö ja jätteiden kaatopaikkasijoitus. Tässä julkaisussa kuvataan kunkin osa-alueen potentiaalisia konsepteja sekä analysoidaan konseptien päästövähennys- ja kustannustehokkuutta ja liiketoimintamahdollisuuksia.

## 1.2 Yhdyskuntajätteen koostumus ja käsittely

### 1.2.1 Suomi ja muut EU15-maat

Suomessa syntyi yhdyskuntajätteeksi luokiteltavaa jätettä yli 2,4 miljoonaa tonnia vuonna 2005 (Tilastokeskus 2006). Tästä noin 38 % hyödynnettiin, noin 60 % sijoitettiin kaatopaikalle ja 2 % meni muuhun käsittelyyn (taulukko 2). Materiaalina hyödynnettiin 30 % ja energiana vähän alle 10 % (kuva 1). Lähes kokonaan materiaalihyödynnettäväksi päätyivät erilliskerätyistä jakeista lasijäte (99 %), metallijäte (lähes 100 %) sekä paperi- ja kartonkijätteet (yli 90 %). Biojätteestä noin 80 % hyödynnettiin materiaalina. Muovijäte ja puujäte päätyivät valtaosin energiahyödynnettäväksi. Vaatteiden ja tekstiilien erilliskerätty määrä oli pieni, ja siitä valtaosa päätyi kaatopaikalle. Luku ei sisällä hyväntekeväisyysjärjestöjen keräämiä vaatteita, joista suuri osa menee uudelleenkäyttöön.



Kuva 1. Suomessa syntyvän yhdyskuntajätteen materiaalivirrat 2004 (Tilastokeskus 2005).



Taulukko 2. Yhdyskuntajätteet Suomessa vuonna 2005 (Tilastokeskus 2006).

	Jättemäärä, 1 000 t	Hyödynnetty		Kaatopaikalle, 1 000 t	Muu käsitely <sup>1</sup> , 1 000 t
		Materiaalina, 1 000 t	Energiana, 1 000 t		
Sekajäte yhteensä	1 530	41	65	1 370	47
Erilliskerätyt yhteensä, josta	920	700	115	110	3
– Paperi- ja kartonkijäte	380	350	1	36	0
– Biojäte	210	170	3	41	0
– Lasijäte	120	120	0	1	0
– Metallijäte	25	25	0	0	0
– Puujäte	38	9	26	2	1
– Muovijäte	14	1	13	0	0
– Sähkö- ja elektroniikkaromu	16	15	0	0	0
– Muut erittelemättömät	110	12	72	26	2
Kaikki yhteensä	2 450	740	180	1 480	50

<sup>1</sup> Poltto jätteenpolto- ja ongelmajätelaitoksessa.

Henkeä kohden laskettuna yhdyskuntajätettä syntyi Suomessa noin 460 kiloa, joka on huomattavasti vähemmän kuin EU:ssa keskimäärin (Tilastokeskus 2005). Kaatopaikkasijoituksen osuus on Suomessa suhteellisen suuri (taulukko 3), joskin se on vähentynyt vuosittain erilliskerätyn osuuden kasvaessa. Kaatopaikalle sijoitettavasta jätteestä valtaosa on biologisesti hajoavaa, esimerkiksi pääkaupunkiseudun sekajätteestä 69 % (YTV 2004).

Yhdyskuntajätteen polton osuus on Suomessa pieni, mutta se tulee todennäköisesti kasvamaan lähivuosien kuluessa. Henkeä kohden laskettuna vanhoista EU-maista vain Kreikassa poltetaan yhdyskuntajätettä vähemmän kuin Suomessa. Ruotsissa polton osuus on lähes viisinkertainen Suomeen verrattuna, Tanskassa ja Luxemburgissa tätäkin suurempi (Tilastokeskus 2005).

Taulukko 3. Yhdyskuntajätteen määrä sekä energiakäyttö ja kaatopaikkasijoitus vanhoissa EU-maissa Eurostatin mukaan (Eurostat 2005).

	Jättemäärä ja sijoitettava määrä, kg/as/a		
	Yhdyskuntajäte, yht.	Kaatopaikkasijoitus	Energiakäyttö
Alankomaat	599	16	197
Belgia	446	56	159
Espanja	609	361	40
Irlanti	732	505	0
Iso-Britannia	610	460	45
Italia	523	323	49
Itävalta	610	183	65
Kreikka	428	393	0
Luxemburg	658	149	274
Portugali	452	338	98
Ranska	561	214	189
Ruotsi	471	64	212
Saksa	638	127	146
Suomi	450	285	41
Tanska	675	34	363
EU15	577	259	108

Materiaalihyödyntäminen on Suomessa kansainvälisesti arvioiden melko hyvällä tasolla. Syntypaikkalajiteltuun yhdyskuntajätteeseen jää kuitenkin vielä hyödyntämiskelpoista materiaalia, jonka määrää voidaan arvioida YTV:n alueella (YTV 2004, Jokinen 2005) sekä Turun seudulla (Roström & Uggeldahl 2003) tehtyjen kotitalouksien ja palvelualojen sekajätteiden lajittelututkimusten avulla (taulukko 4). Kotitalouksien sekajätteen osalta tulokset ovat melko hyvin yleistettävissä koko maan kattaviksi. Osa keräyskelpoisiksi luokitelluista materiaaleista on kuitenkin kierrätykseen kelpaamatonta. Ne voivat olla esimerkiksi likaantuneita tai kostuneita. Palvelusektorin monimuotoisuuden vuoksi lajittelututkimuksen tulosten yleistäminen koko maata koskeviksi on hankalaa. Muovia sekä keräyskelpoista paperia ja pahvia on terveydenhuoltosektorin sekajätteessä melko runsaasti, kun taas kaupan ja ravintoalan sekajäte sisältää paljon keittiöjätettä.

*Taulukko 4. Kierrätyskelpoisten materiaalien osuudet sekajätteestä (yhteenvedo tutkimuksista YTV 2004, Jokinen 2005, Roström & Uggeldahl 2003). Taulukkoon on poimittu vain ne jakeet, jotka voisivat olla hyödynnettävissä materiaalina tai energiana.*

Jätejake	Osuus kotitalouksien tai asuinkiinteistöjen sekajätteessä, (%)		Osuus palvelusektorin sekajätteessä, %	
	Turun seutu <sup>1</sup>	YTV:n alue	Turun seutu <sup>2</sup>	YTV:n alue <sup>3</sup>
Keräyskelpoinen paperi ja pahvi	9–16	20	9	9–30
Paperijäte	5–7		4	
Muu paperi, pahvi ja kartonki				1–9
Lasi	2–4	4	1	< 1–3 <sup>4</sup>
Metalli	2–3	4	1	< 1–4 <sup>4</sup>
Muovi			24	12–20
Tekstiilit ja vaatteet				< 1–3 <sup>4</sup>
Muu palava aines, josta	30–32	31	6 <sup>5</sup>	2–4 <sup>6</sup>
– muovia		44		
– puuta		9		
– tekstiilejä		14		
Biojäte / Eloperäinen aines	33–41	38	54	9–55 <sup>7</sup>

<sup>1</sup> Tulokset omakotitaloalueelta, kerrostaloalueelta sekä asuin-/liikekerrostaloista.

<sup>2</sup> Palvelusektorilta vain vähittäiskauppa mukana selvityksessä.

<sup>3</sup> Mukana kauppa, ravintolat ja hotellit, koulut, sairaalat ja toimistot.

<sup>4</sup> Luvut poimittu pylväsdiagrammista, eivät ole tarkkoja.

<sup>5</sup> Puu + muu palava.

<sup>6</sup> Tässä selvityksessä sekajätteestä oli lajiteltu useita jakeita, jotka muissa selvityksissä on laskettu mukaan muuhun palavaan ainekseen. Tämä luku ei siksi ole verrattavissa muihin.

<sup>7</sup> Elintarvikejäte + puutarha- ja muu biojäte.

## 1.2.2 Uudet EU-maat

Toukokuussa 2005 Euroopan unioniin liittyneet uudet maat sekä lähivuosina (2007–2009) todennäköisesti liittyvät Romania, Bulgaria, Kroatia ja Turkki tuottavat vähemmän jätettä kuin vanhat EU-maat. Yhdyskuntajätteen määrä vaihtelee uusissa ja tulevaisuudessa EU-maissa 300–600 kg/as/a (taulukko 5). Ne uudet EU-maat, joissa jätettä syntyy keskimääräistä enemmän, ovat muita edellä talouskasvussa, tai turismi on niissä merkittävä elinkeino (Malta, Kypros), tai ne eivät kykene erottelemaan yhdyskuntajätettä muusta jätteestä, kuten rakennusjätteestä (Bulgaria) (Bodo ym. 2004).

Taulukko 5. Yhdyskuntajätteen määrä ja kaatopaikkasijoitus uusissa ja tulevissa EU-maissa Eurostatin mukaan (Eurostat 2005).

Yhdyskuntajäte uusissa ja tulevissa EU-maissa v. 2003, kg/as/a			
	Jättemäärä	Kaatopaikalle	Poltto
EU25	534	261	92
Kypros	724	653	0
Tšekki	280	201	39
Viro	418	274	0
Unkari	463	390	24
Latvia	362	248	10
Liettua	263	263	0
Malta	549	549	0
Puola	260	251	1
Slovakia	319	232	29
Slovenia	451	344	3
Bulgaria	499	407	0
Romania	304	288	0
Kroatia	–	–	–
Turkki	474	349	0

Uusien EU-maiden ennustetaan omaksuvan nopeasti vanhojen EU-maiden kulutusmallit, jolloin jättemäärät kasvavat talouskasvun seurauksena vanhojen maiden tasolle. Uuden teknologian käyttöönotto ei riitä ehkäisemään jätteen syntyä vastaavassa määrin.

Lähes 90 % uusien EU-maiden yhdyskuntajätteestä päätyy kaatopaikoille. Jätteenpolton osuus on toistaiseksi hyvin pieni. Kasvihuonekaasupäästöistä noin 4 % aiheutuu jätehuollosta. Koska vain harvat alueen kaatopaikoista vastaavat uuden kaatopaikkadirektiivin vaatimuksia, kasvihuonekaasuja on mahdollista vähentää parantamalla kaatopaikkakäytäntöjä esimerkiksi kaasunkeräysjärjestelmällä tai hapettavilla pintarakenteilla. Kaatopaikkadirektiivin (1999/31/EY) vaatimukset koskevat myös uusia jäsenmaita. Koska vuonna 1995 suurimmassa osassa maita yli 80 % yhdyskuntajätteestä sijoitettiin kaatopaikalle, näillä mailla on kuitenkin mahdollisuus siirtää biohajoavan jätteen vähennystavoitteita neljällä vuodella eteenpäin. Tällöin vuoteen 2020 mennessä tulee biohajoavan jätteen kaatopaikkasijoitusta vähentää 65 % vuoden 1995 luvuista. Ainakin Puola on valinnut tämän tavoitteen.

### 1.2.3 Kehittyvät maat

Kehitysmaissa jätehuoltojärjestelmät ovat puutteellisia, ja siksi jättemääristä on saatavilla vain vähän tilastotietoa. On arvioitu, että yhdyskuntajätteestä pystytään keräämään 50–70 % (Henry ym. 2006). Esimerkiksi Kiinassa kaupunkien ja teollisuuden jättemäärät

on tilastoitu melko hyvin, mutta maaseudulla syntyvän jätteen määrä on vain arvioitava. Kaupungeissa kerättiin vuonna 2002 kotitalousjätettä noin 170 kg/as/a (National Bureau of Statistics 2003). Tämä tarkoittaa 137:ää miljoonaa tonnia, jonka tuottaa kaupungeissa asuva 40 % väestöstä. Maaseudulla jätettä muodostunee asukasta kohden vähemmän.

Kehitysmaissa suuri joukko ihmisiä elää jätteistä ja käyttökelpoinen materiaali kierrätetään uusiokäyttöön. Loppusijoitettava jäte koostuu suurelta osin biohajoavasta materiaalista. Ruokajätteen osuus on suuri kehittyneisiin maihin verrattuna. Esimerkiksi Kenian Nairobissa vuonna 1999 kerätty jäte sisälsi keskimäärin noin 50 % ruokajätettä, ja köyhimmältä väestönosalta kerätyssä jätteessä ruokaa oli lähes 60 % (Henry ym. 2006). Meksikossa vuonna 1998 reilu puolet yhdyskuntajätteestä oli ruoka- tai puutarhajätettä (Buenrostro & Bocco 2003), kun taas Yhdysvalloissa yhdyskuntajätteestä vain 12 % on ruokajätettä ja 12 % puutarhajätettä (<http://www.epa.gov/msw/facts-text.htm>). Talouskasvun myötä jätteen kierrätys ja uusiokäyttö yleensä vähenevät aluksi huomattavasti, mikä vaikuttaa sekä jätteen määrään että laatuun.

Yleisin jätteiden käsittelymenetelmä kehitysmaissa on kaatopaikkasijoitus joko virallisille jätteille varatuille alueille tai vähitellen kaatopaikaksi muuttuville epävirallisille alueille. Kaatopaikat ovat useimmiten hoitamattomia ja haitallisia ihmisten ja ympäristön terveydelle. Lisäksi ongelmajätteiden salakuljetus on noussut ongelmaksi mm. Kiinassa sekä monissa muissa kehitysmaissa. UNEPin ja ISWAN arvion mukaan yli 200 000 avokaatopaikkaa vaatii tulevaisuudessa ympäristönsuojelutoimia (UNEP 2004).

Esimerkkinä Etelä-Amerikan tilanteesta on Brasilia, jossa jätehuolto kattaa koko maan ja tilanne on siis hyvä moniin muihin kehittyviin maihin verrattuna. Vuonna 2000 jätettä kerättiin 99,4 %:ssa kunnista. Syntyneistä 45,7 miljoonasta tonnista yhdyskuntajätettä melkein 70 % päätyi valvotuille kaatopaikoille. Kaatopaikoista kahdessa kolmasosassa on tiivis pohjarakenne, ja jätteet peitetään päivittäin. Pienissä, alle 20 000 asukkaan kaupungeissa jätteet sijoitetaan pääosin avokaatopaikoille tai kosteikkoalueille. Pienten kuntien jätemäärä on kuitenkin vain 12 % koko maan jätteistä (IBGE 2005).

Venäjä on sijaintinsa vuoksi kiinnostava suomalaisille. Nykyisistä jätemääristä ja jätteiden käsittelystä on vaikea saada luotettavaa tietoa, koska tilastointi on puutteellista (Kalyuzhnyi ym. 2003). 90-luvun lopulla yhdyskuntajätteen määräksi arvioitiin 37,5 milj. t/a, josta 97 % sijoitettiin kaatopaikoille. Hyötykäytön osuus oli 1,3 % ja polton 2,2 %. Syntyvän jätteen määrä on ainakin suurissa kaupungeissa kasvamassa voimakkaasti. Esimerkiksi Pietarissa kasvu on vuosittain 5–6 %, joidenkin asiantuntijoiden mukaan jopa 15–20 % (Loikala 2006). Myös jätteen hyötykäyttö on vähitellen lisääntymässä. Käyttökelpoisia materiaaleja palautuu myös uusiokäyttöön jo ennen jätteeseen joutumista. Hoitamattomista kaatopaikoista ollaan siirtymässä suuriin pohjaeristettyihin kaato-

paikkoihin. Vanhoja kaatopaikkoja on poistettu käytöstä melko paljon, mutta kaatopaikkakaasun talteenotto on vielä vähäistä, eikä arvioita kaasumääristä ole juuri tehty (Lappalainen & Kouvo 2004).

## **1.3 Päästösäästöön perustuvaa liiketoimintaa**

### **1.3.1 Jätehuollon laiteinvestointien markkinat**

Jaakko Pöyry julkaisi vuonna 2003 selvityksen ilmastoklusterin suomalaisista toimijoista ja alan globaaleista markkinoista. Selvityksessä arvioitiin jätehuollon laiteinvestointien globaalien markkinoiden olevan 52–70 mrd. USD vuonna 2005, 70–94 mrd. USD vuonna 2010 ja 125–168 mrd. USD vuonna 2020 eli samaa suuruusluokkaa kuin bioenergian, tuulivoiman ja teollisuuden markkinoiden yhteensä. Jätehuollon markkinoiden arvioitiin kasvavan nopeimmin Kiinassa ja muissa Aasian kehitysmaissa, Etelä-Amerikassa ja Itä-Euroopassa. Suomalaisyriyten osuuden jätehuollon laitemarkkinoista arvioitiin olevan 94 M€ (kotimaa ja vienti). Sen arvioitiin noin kolminkertaistuvan vuoteen 2020 mennessä. (Jaakko Pöyry Consulting 2003)

Esimerkiksi Kiinassa erityisesti kaupunkialueiden jätteenkäsittelyssä ja -keräilyssä on tapahtumassa suuria muutoksia. Tavoitteena on vähentää kaatopaikkasijoitusta, korvata vanhoja kaatopaikkoja uusilla, kansainvälisten vaatimusten mukaisilla kaatopaikoilla ja rakentaa mm. polttolaitoksia ja biologisia käsittelylaitoksia. Uudet laitosratkaisut edellyttävät myös keräily- ja syntypaikkalajittelujärjestelmien kehittämistä. Entisissä Itä-Euroopan maissa siirtyminen EU-lainsäädännön vaatimusten mukaiseen jätehuoltoon on edelleen käynnissä, mutta tulevissa jäsenmaissa se on vasta alkamassa, ja jätehuollon kehittyminen tarjoaa niissä markkinamahdollisuuksia.

Suomessa biohajoavan jätteen kaatopaikkasijoituksen vähentäminen ja EU:n uusi kierrätystä painottava jätestrategia edellyttävät toimia, joilla ehkäistään jätteen syntymistä ja lisätään kierrätystä. Lisäksi on tarpeen lisätä jätteen biologista esikäsittelyä eli kompostointia ja mädätystä sekä hyödyntää jätettä energiantuotannossa. Uutta kapasiteettia tarvitaan mm. biohajoavan jätteen esikäsittelyyn ja energiana hyödyntämiseen. Investointikustannusten arvioitiin olevan 700 miljoonaa euroa vuoteen 2016 mennessä. Biohajoavan yhdyskuntajätteen jätehuollon vuosikustannusten arvioitiin nousevan vuoteen 2016 mennessä nykyisestä noin 280 miljoonasta eurosta noin 430–480 miljoonaan euroon.

### 1.3.2 Kioton pöytäkirjan hankemekanismissien hyödyntäminen

Kioton pöytäkirja antaa päästövähennyksiin sitoutuneille teollisuusmaille mahdollisuuden täyttää osan velvoitteistaan ostamalla päästöyksiköitä muissa maissa toteutettavista kasvi-huonekaasuja vähentävistä hankkeista. Puhtaan kehityksen mekanismi (CDM, Clean Development Mechanism) koskee kehitysmaissa toteutettavia päästövähennyshankkeita ja yhteistoteutusmekanismi (JI, Joint Implementation) vastaavia teollisuusmaissa toteutettavia hankkeita. JI-hankkeet tuottavat päästövähennyksyksiköitä (ERU, Emission Reduction Unit) ja CDM-hankkeet puolestaan sertifioituja päästövähennyksiä (CER, Certified Emission Reduction). Yksi ERU ja yksi CER vastaavat kukin yhtä ekvivalenttista hiilidioksiditonnia (t CO<sub>2</sub>-ekv.). Hankkeen päästövähennykset voidaan lukea hyväksi ainoastaan siltä osin kuin ne ovat normaalikehitystä eli ns. hankkeen perusuraa (baseline) suuremmat. Siksi soveltuvimpia kohdemaita ovat kehitysmaat sekä ne teollisuusmaat, joissa lainsäädäntö ei vielä lähiaikoina velvoita tiukkoihin päästövähennyksiin.

Kioton pöytäkirjan mukaisia projektikohtaisia CDM-hankkeita on ollut mahdollisuus käynnistää vuodesta 2000 alkaen. Ensimmäinen CDM-hanke rekisteröitiin vasta 18.11.2004. CDM-hankkeen rekisteröinnin edellytys on projektien validointi, joka tarkoittaa hankesuunnitelmien arviointia. Siinä arvioidaan, tuleeko projekti täyttämään CDM-vaatimukset ja tuottamaan myyntikelpoisia päästöoikeuksia, jos se toteutetaan suunnitelmien mukaisesti. Projektisuunnitelmassa tulee esittää hankkeen perusura eli arvioida, millaisiksi päästöt muodostuisivat ilman projektin toteutusta. Lisäksi projekti-dokumentaatioon kuuluu päästöjen tarkkailu- ja todentamissuunnitelma, jossa kuvataan kasvihuonekaasupäästöjen seurantaan, mittauksiin ja laskentaan käytettävät menetelmät, aikataulut ja vastuut.

Perusuran kuvaus sekä tarkkailu- ja todentamissuunnitelma tehdään UNFCCC:n verkkosivuilla (UNFCCC 2007) kuvattujen metodologioiden mukaan. Hyväksytyjä ns. isojen hankkeiden monitorointimetodologioita oli helmikuussa 2007 käytössä lähes 40. Niistä yhteensä 10 kpl oli jätehuollon soveltamisalan metodologioita (taulukko 6).

Taulukko 6. Isojen jätehuollon CDM-hankkeiden (> 15 kton CO<sub>2</sub>-ekv.) arviointimetodologia<sup>1</sup>. Tilanne helmikuussa 2007.

	Metodologia
AM0002	Greenhouse gas emission reductions through landfill gas capture and flaring where the baseline is established by a public concession contract. Version 3 <sup>1</sup>
AM0003	Simplified financial analysis for landfill gas capture projects. Version 4 <sup>1</sup>
AM0010	Landfill gas capture and electricity generation projects where landfill gas capture is not mandated by law
AM0011	Landfill gas recovery with electricity generation and no capture or destruction of methane in the baseline scenario. Version 3 <sup>1</sup>
AM0013	Avoided methane emissions from organic waste-water treatment. Version 4 <sup>1</sup>
AM0022	Avoided Wastewater and On-site Energy Use Emissions in the Industrial Sector. Version 4 <sup>1</sup>
AM0025	Avoided emissions from organic waste through alternative waste treatment processes. Version 5. Projektin lisäisyys demonstroidaan ja arvioidaan seuraavan ohjeen mukaan: Tool for the demonstration and assessment of additionality. Version 2.
AM0039	Methane emissions reduction from organic waste water and bioorganic solid waste using co-composting.
ACM0001	Consolidated methodology for landfill gas project activities. Version 5 <sup>1</sup>
ACM0010	Consolidated methodology for GHG emission reductions from manure management systems. Version 2 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Soihdutusmetaanipäästöjen arvioinnissa käytetään seuraavaa ohjetta: Tool to determine project emissions from flaring gases containing methane.

Pienen mittakaavan hankkeiden metodologia<sup>1</sup> on jaettu kolmeen luokkaan. Jätehuoltoon liittyvät hankkeet kuuluvat luokkaan III (other project activities). Vuonna 2007 luettelossa oli seuraavat hanketyypit:

- III.D Methane recovery in agricultural and agro industrial activities
- III.E Avoidance of methane production from biomass decay through controlled combustion
- III.F Avoidance of methane production from biomass decay through composting
- III.G Landfill methane recovery
- III.H Methane recovery in wastewater treatment
- III.I Avoidance of methane production in wastewater treatment through replacement of anaerobic lagoons by aerobic systems.

### 1.3.3 CDM- ja JI-hankkeiden tilanne

CDM-hankkeiden määrä on kasvanut nopeasti. Helmikuussa 2006 oli UNFCCC:n verkkosivujen mukaan rekisteröity kaiken kaikkiaan 100 CDM-hanketta, ja 58 hanketta oli odottamassa rekisteröintiä (<http://cdm.unfccc.int/index.html>). Tammikuun 2007 alussa rekisteröityjen CDM-hankkeiden määrä oli jo 480 hanketta, joista noin 10 %:ssa kohteena oli kaatopaikkakaasun talteenotto ja lähes 10 %:ssa biokaasun tuotanto- ja hyötykäyttö. Kaikkiaan CDM-hankkeita oli validoitavana, rekisteröitävänä tai jo rekisteröity

<sup>1</sup> <http://cdm.unfccc.int/Projects/pac/ssclistmeth.pdf>.

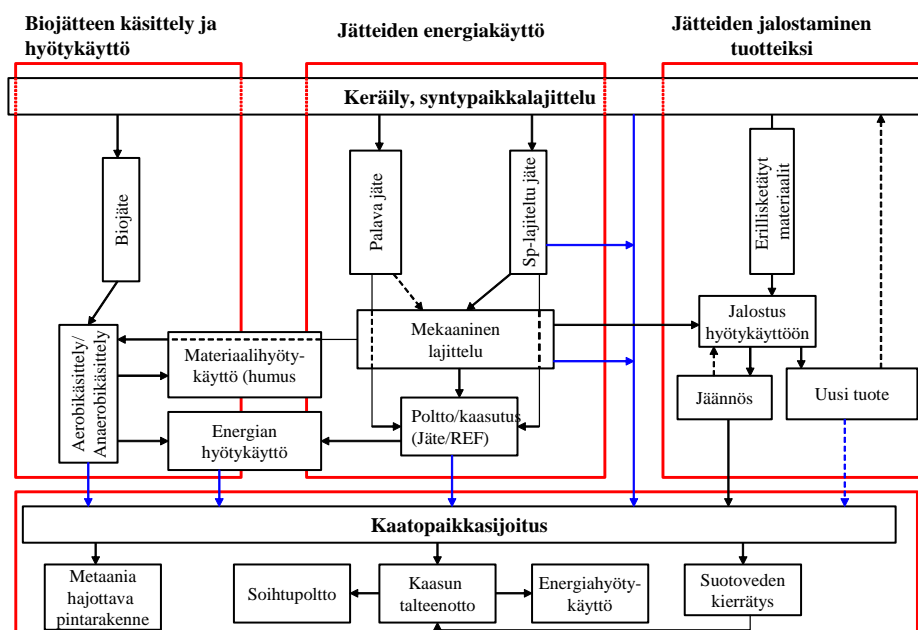


lähes 1 600 (<http://www.cd4cdm.org/Publications/CDMpipeline.xls>). Merkittävimpiä CDM-kohdemaita ovat olleet Intia, Brasilia, Meksiko ja Kiina. Jätehuoltohankkeista yli 65 % on toteutettu Meksikossa ja Brasiliassa.

Eri vaiheissa olevia JI-hankkeita oli helmikuussa 2006 lähes 160. Niistä noin 10 % oli kaatopaikkakaasuhankkeita. JI-hankkeiden merkittävimpiä kohdemaita ovat Venäjä, Ukraina, Bulgaria, Romania, Tšekki, Puola ja Viro. JI-hankkeiden kokonaisvolyymi jäänee 10–20 %:iin CDM-hankkeiden volyymista. Hankkeiden määrää rajoittaa toisaalta JI-maiden pieni määrä ja toisaalta se, että EU:n ja Kiiton päästökauppa ovat teknisesti helpompia ja vähemmän byrokraattisia kuin JI-hankkeet. JI-hankkeiden käsittelyssä käytetään kahta rataa (mm. Ahonen 2006): Nopeaa rataa voidaan käyttää, kun maan päästökirjanpito on hyväksyttävässä kunnossa. Muuten käytetään hidasta rataa, joka on CDM:n kaltainen ja melko mutkikas.

## 1.4 Taustaselvitykset

Tässä julkaisussa tarkastellaan uusia käsittelykonsepteja kuvan 2 mukaisilta jätteenkäsittelyn osa-alueilta. Nämä osa-alueet ovat jätteiden jalostaminen tuotteiksi, jätteiden biologisen fraktion käsittely ja hyötykäyttö, jätteiden energiakäyttö ja jätteiden kaatopaikkasijoitus. Tarkasteltavaksi valitut konseptit ovat sellaista uutta teknologiaa, jossa suomalaisilla yrityksillä on liiketoimintamahdollisuuksia sekä kotimaassa että mahdollisesti myös CDM- tai JI-hankkeissa. Konseptien on myös alustavasti arvioitu tuottavan kasvihuonekaasupäästösäästöjä perinteiseen teknologiaan verrattuna. Vertailukohtena esitetään vastaavat perinteiset tekniikat.



Kuva 2. Julkaisussa tarkasteltavat yhdyskuntajätteen käsittelyn osa-alueet.

Kunkin osa-alueen potentiaaliset konseptit kuvataan. Lisäksi analysoidaan konseptien päästövähennys- ja kustannustehokkuutta sekä niihin liittyviä liiketoimintamahdollisuuksia. Tarkasteluun on valittu osa-alueittain seuraavat jätteenkäsittelykonseptit:

1. Jätteiden jalostaminen tuotteiksi:
  - Paperikuidusta rakennus- tai lämmöneristeitä
  - Kierrätyslasin valmistus uusiolasiksi
  - Jätetekstiileistä mattoja tai huopia
  - Jätemuovista muoviprofiiliksi
  - Kierrätysmetallin valmistus uusiometalliksi
2. Biojätteen käsittely ja hyötykäyttö
  - Aumakompostointi
  - Laitoskäsittelyvaihtoehdot: aerobiset ja anaerobiset laitoskäsittelykonseptit, SRF-tuotantoon integroitu biojätteen käsittely
  - Omatoiminen pienkompostointi
3. Jätteiden energiakäyttö
  - Suomalaiset jätteiden syntypaikkalajittelun vaihtoehdot
  - Laitosmaiset lajittelukonseptit: jätteen mekaanis-biologinen käsittely ja SRF:n valmistuskonseptit
  - Energiakäyttökonseptit: leijukerros poltto, kaasutus, tuotekaasun poltto hiilikattilassa sekä arinapoltto
4. Kaatopaikkasijoitus
  - Kaatopaikkakaasun keräys ja hyötykäyttövaihtoehdot
  - Käsitellyn yhdyskuntajätteen loppusijoitus: mekaanisesti tai mekaanis-biologisesti käsitelty jäte, tuhkat
  - Anaerobinen, semiaerobinen ja aerobinen bioreaktorikaatopaikka.

Lisäksi hankkeessa on tehty yrityksille tietopaketti Kioton pöytäkirjan hanke-mekanismeista eli yhteistoteutus (JI) ja puhtaan kehityksen mekanismi (CDM) siltä osin kuin ne kytkeytyvä jätehuoltoon. Tietopaketti on julkaistu Suomen ympäristö -sarjassa (Ahonen & Savolainen 2006).

## 1.5 CDM- ja JI-hanke-esimerkit

Kustakin edellä mainitusta neljästä osa-alueesta valittiin 1–2 konseptia jatkotarkasteluun. Tavoitteena oli tehdä tarkennettu arvio konseptien soveltuvuudesta ja liiketoimintamahdollisuuksista CDM- tai JI-hankkeissa. Tarkasteluun valitut konseptit ovat seuraavat:

- Jätteiden jalostaminen tuotteiksi -osuuden jatkotarkastelun kohteina ovat muovi- ja tekstiilijätteen hyödyntämiskonseptit. Muovijätteestä valmistetaan profiilia, jolla voidaan korvata kyllästettyä puuta, betonipalkkeja tai teräspalkkeja erilaisissa rakenteissa. Tekstiilijättekonseptissa käytöstä poistetuista tekstiileistä valmistetaan mm. öljynimeytysmattoja.
- Biojäte-osuuden jatkotarkastelussa tarkastellaan biojätteestä mädättämällä tuotetun kaasun käyttöä liikennepolttoaineena ja siihen liittyviä liiketoimintaedellytyksiä JI-hankkeissa.
- Energiakäyttö-osuudessa tarkasteltava konsepti on hiilikattilan korvaaminen joko jätepolttoaineen kaasutuksella ja tuotekaasun rinnakkaispoltolla tai jätteen massapoltolla. Kohdemaana on Kiina.
- Kaatopaikkaosuuden jatkotarkastelun kohteena on kaatopaikkakaasun talteenotto Pietarin Volkhonkan kaatopaikalta yhdistettynä kaasun hyödyntämiseen sähkön tuotannossa tai vaihtoehtoisesti talteenotetun kaatopaikkakaasun soihtupoltto.

## 2. Jätteiden jalostaminen tuotteiksi

### 2.1 Osa-alueen tavoitteet ja toteutus

”Jätteiden jalostaminen tuotteiksi” -osaprojektissa tarkoituksena oli kartoittaa erilaisia uusia jätteiden käsittelyteknologioita ja -konsepteja ja tehdä laskennallisia arvioita niiden mahdollisuuksista kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Aluksi kaikki valitut konseptit analysoitiin ja sen jälkeen tehtiin karkeahko päästöjen laskenta luvussa 1.4 mainituille materiaalille kierrätyskonsepteille. Näistä valittiin kaksi konseptia yksityiskohtaisiin case-tarkasteluihin, jotka on raportoitu erillisessä julkaisussa (Korhonen & Dahlbo 2007).

Työn alussa valittiin materiaaliryhmät, joihin konsepteja pyrittiin löytämään. Näitä ryhmiä ovat puukuitupohjainen jäte, lasijäte, tekstiilijäte, muovijäte sekä metallijäte. Kartoitusvaihe tehtiin vuonna 2005 ja siinä käytiin läpi jätealan lehtiä, Tekesin teknologiaohjelmien hankkeita (mm. Streams-teknologiaohjelman hankkeet) ja edunvalvontajärjestöjen ja tuottajayhteisöjen sekä yksittäisten yritysten internetsivustoja. Kartoituksessa keskityttiin kotimaassa käytössä oleviin konsepteihin, mutta muutama ulkomainenkin konsepti otettiin mukaan.

Uusien jätteenkäsittelykonseptien kartoituksessa ongelmaksi nousi dokumentoidun tiedon vähäinen määrä. Pääasiassa tietoa löytyi internetistä sekä muutamien konseptien osalta kirjallisuudesta. Jos tietoa ei ollut saatavilla julkisista lähteistä, konseptin kehittäjän otettiin henkilökohtaisesti yhteyttä. Kehittäjiltä saatiin yleistä tietoa prosessista, mutta energiankulutus- ja päästötietoja ei usein ollut saatavilla, tai niitä ei haluttu antaa julkaistavaksi. Tämä vaikeutti huomattavasti konseptien mahdollistaman kasvihuonekaasupäästöjen vähenemisen laskentaa.

Kartoituksen perusteella valittiin viisi konseptia lähempään tarkasteluun, jossa arvioitiin niiden mahdollisuuksia kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen. Valinnassa käytettiin seuraavia kriteerejä:

- Jokaisesta tarkasteltavasta materiaaliryhmästä valittiin yksi konsepti.
- Mikäli mahdollista, valittiin konsepti, jossa jätemateriaalista valmistettiin selkeästi uusi tuote (kaikissa materiaaliryhmissä tämä ei kuitenkaan ollut mahdollista).
- Konsepti olisi käytössä Suomessa.
- Konseptilla voisi olla vientimahdollisuuksia.

## 2.2 Kartoitetut konseptit

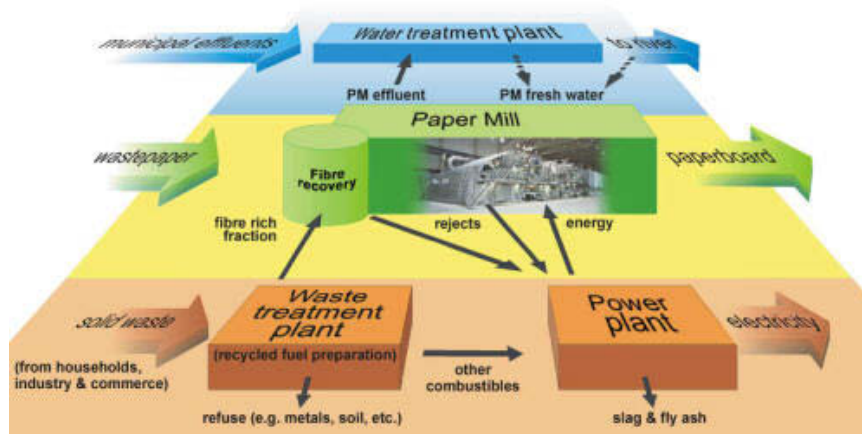
### 2.2.1 Puukuitupohjaiset jätteet

Puukuitupohjaisten jätteiden kierrätyksellä ja hyödyntämisellä on Suomessa pitkät perinteet. Keräyspaperin ja -pahvin hyödyntäminen teollisuuden raaka-aineena aloitettiin jo 1930–1940-luvuilla. Niiden talteenottoaste kohoaa jatkuvasti, ja vuonna 2004 se oli jo noin 72 % (800 000 t paperia ja pahvia) (Metsäteollisuus ry 2005). Keräyspaperista ja pahvista valmistetaan jo vakiintuneesti sanomalehtipaperia, pehmopaperia sekä hylsy- ja pakkauskartonkia. Keräyspaperin perinteinen käyttö on kuitenkin tässä yhteydessä tietoisesti jätetty tarkastelun ulkopuolelle, koska painopiste on haluttu suunnata uusien jätteenkäsittelykonseptien esittelyyn. Myös puuperäisten rakennusjätteiden hyötykäyttö on jätetty tarkastelun ulkopuolelle, sillä yleensä niitä ei käytetä uusien tuotteiden valmistukseen, vaan ne joko hyödynnetään energiana tai viedään kaatopaikoille. Puukuitupohjaisten jätteiden hyödyntämiskonsepteista esitellään tässä yhteydessä Urban Mill -konsepti, jossa voidaan integroida paperitehdas, jätteiden käsittelijä sekä energiantuotanto. Toisena esitellään konsepti, jossa monimateriaalipakkauksista valmistetaan hylsykartonkia, alumiinia ja energiaa, ja kolmantena konsepti, jossa paperikuiduista valmistetaan rakennus- ja lämmöneristettä.

#### Urban Mill

Urban Mill on Metso Oyj:n kehittämä konsepti, jossa kierrätyskuitua käyttävä paperitehdas sijoitetaan samalle tontille sekä jätteitä lajittelevan laitoksen että niitä polttavan laitoksen kanssa. Konsepti synnyttää jätteiden käsittelijän, energiayhtiön ja paperintuottajan välille kaikkia osapuolia hyödyntävän konsortion. Idean lähtökohtana on tuoda paperintuotanto lähelle suuria kaupunkeja, joissa jätepaperiraaka-aine sekä paperituotteen markkinat ovat lähellä. Kaupungeissa myös tarvittava infrastruktuuri on valmiina tarjoten hyvät materiaalien kuljetusyhteydet sekä jätevedenpuhdistusmahdollisuuden. (High Technology Finland 2002.)

Urban Mill -konseptissa kiinteä kuivajäte toimitetaan jätteenkäsittelylaitokseen, jossa jäte märkäkäsitetään kuidun erottamiseksi muusta jättejakeesta. Myös metallit ja lasi erotetaan kierrätystä varten. Tämän jälkeen kuiturikas fraktio käytetään paperitehtaalla hylsykartongin ja uusiopaperin raaka-aineena. Jäljelle jäänyt raskaampi jae (mm. muovi ja puu) sekä paperintuotannossa syntyneet siivous- ym. lietteet poltetaan viereisessä jätteenpolttolaitoksessa joko leijupetikattilassa tai kaasutusteknologialla. Syntynyt energia käytetään viereisessä paperitehtaassa ja ylijäämäenergia myydään sähköinä konsortion ulkopuolelle. (Lohiniva ym. 2002.) Urban Millin toimintaperiaate esitetään kuvassa 3.



Kuva 3. Urban Mill -konseptin periaatteet (Metso Oyj).

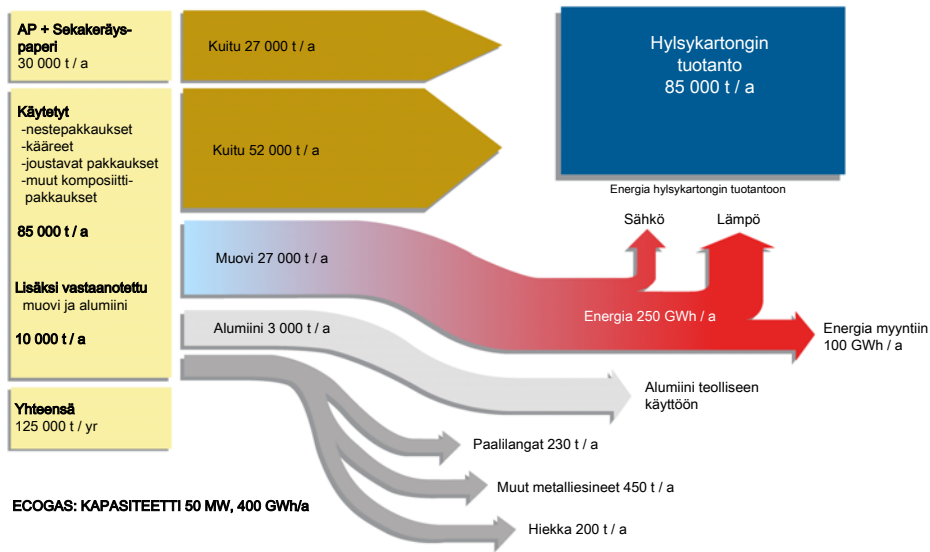
Konseptilla voidaan saavuttaa kustannussäästöjä sekä ympäristöllisiä etuja. Konseptin tuominen kaupungin läheisyyteen vähentää esimerkiksi infrastruktuurikustannuksia (jo valmiiden jätevedenkäsittelylaitosten hyödyntäminen) sekä jätteiden ja keräyspaperin kuljetuskustannuksia. Myös paperituotteen markkinat ovat lähellä. Voimalaitos ja paperitehdas saavat synergiaetuja ja vakaan ympärivuotisen asiakassuhteen. Konsepti tehostaa materiaalien kierrätystä, vähentää kaatopaikkakuormaa ja samalla pienentää kaatopaikkojen kasvihuonekaasupäästöjä. Myös raaka-aineen ja valmiin lopputuotteen kuljetuksista aiheutuvat ympäristövaikutukset pienenevät. (Ristola 2001.)

Vaikka Urban Mill -konseptilla on paljon hyviä ominaisuuksia, prosessin edelleen kehittäminen on kuitenkin tällä hetkellä jäissä. Teollisen mittakaavan laitosta ei näillä näkymin ole tulossa markkinoille ainakaan lähitulevaisuudessa (Ristola 2005).

### **Monimateriaalipakkauksista hylsykartonkia, alumiinia ja energiaa**

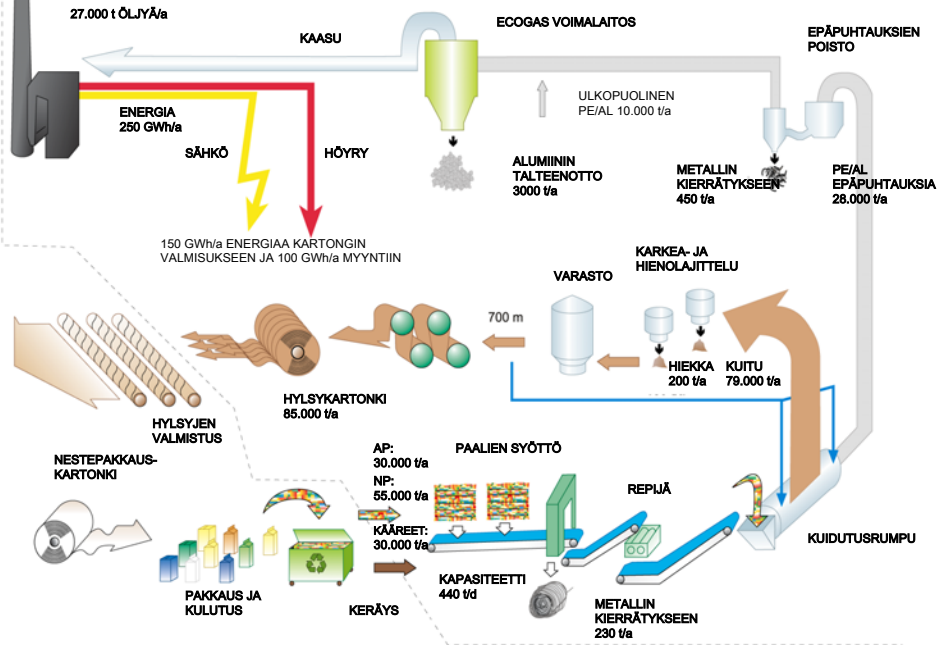
Corenso United Oy Ltd:n tehdas Varkaudessa valmistaa päätuotteenaan hylsykartonkia, jonka käyttökohteita ovat mm. paperi- ja kartonkiteollisuus, tekstiililankateollisuus sekä muovikalveteollisuus. Hylsykartongin tuotantoon käytetään sekakeräyspaperia ja kierrätettyjä monimateriaalipakkauksia, kuten nestepakkauksia. Puuperäisen kuidun erottamisen lisäksi nestepakkauksista saadaan erotettua myös alumiini ja muovi, joista alumiini kierrätetään metalliteollisuuden tarpeisiin ja muovi kaasutetaan energiaksi. Osa kaasutuksessa syntyneestä energiasta käytetään tehtaalla hylsykartongin tuotantoon, ja loppuosa menee myyntiin. Tehtaalla käytetyn materiaalin kierrätyskaavio on kuvassa 4. (Corenso United Oy Ltd 2005.)

VARKAUDEN KIERRÄTYS



Kuva 4. Corenson Varkauden tehtaan kierrätyskaavio (Corenso United Oy Ltd 2005).

MONIMATERIAALIPAKKAUSTEN HYÖTYKÄYTTÖ



Kuva 5. Monimateriaalipakkausten hyötykäyttö Corenson Varkauden tehtaalla (Corenso United Oy Ltd 2005).

Suuri osa Varkauden tehtaalla käytetystä materiaalista on monimateriaalipakkauksia. Ensimmäisenä maailmassa vuonna 2001 Varkaudessa aloitti toimintansa kaasutinlaitos, jonka avulla nestepakkauksen kaikki eri kerrokset (pahvi, muovi ja alumiini) pystytään hyödyntämään. Tässä prosessissa (kuva 5) nestepakkausten sisältämä puukuitu erotetaan muusta nestepakkausmateriaalista ja kierrätetään hylsykartongin raaka-aineeksi. Loppuosa eli muovi ja alumiini jatkavat kaasutinlaitokseen, jossa muovi kaasutetaan fossiilista polttoainetta korvaavaksi kaasuksi ja alumiini otetaan talteen ja toimitetaan hyödynnettäväksi metalliteollisuudessa. (Corenso United Oy Ltd 2005.)

Kaasutusprosessissa alumiinia saadaan talteen noin 3 000 tonnia vuodessa. Alumiinin talteenotto kyseisessä prosessissa vaatii vain 5 % siitä energiamäärästä, joka käytetään alumiinin tuotantoon bauksiitista. Kerätyn raaka-aineen mukana tuleva pakkauksiin kuulumaton metalli sekä paalauslangat toimitetaan myös kierrätykseen metalliteollisuudelle. Kierrätyskuituisen hylsykartongin valmistukseen kuluu vähemmän energiaa kuin uudesta puukuidusta valmistettuun kartonkiin. (Corenso United Oy Ltd 2005.)

### **Paperikuidusta rakennus- ja lämmöneristettä**

Suomessa on useita yrityksiä, jotka käyttävät keräyspaperia rakennus- ja lämmöneristeiden valmistukseen, kuten Ekovilla Oy, Suomen Selluvilla-Eriste Oy ja Termex Eriste Oy. Myös Ikaalisten Sellueriste Oy valmistaa lämmöneristettä, mutta sen tuotteiden pääraaka-aineena ovat lautasliinatehtaan ylijäämät. Yritykset valmistavat eristeitä valikoidusta keräyspaperista, johon lisätään boorimineraaleja lahon- ja palonsuojaksi. Eristeet soveltuvat uudis- ja korjausrakentamiseen sekä lisäeristämiseen. Selluvillalla voidaan eristää rakennusten ylä-, väli- ja alapohjat sekä ulko- ja väliseinät. Kun rakennus puretaan, eristeitä voidaan mm. uudelleenkäyttää sellaisenaan lämmöneristeenä tai hyödyntää laimentaen maanparannusaineena, uusiopaperin valmistuksessa tai kompostoinnissa. (Ekovilla Oy 2005, Termex Eriste Oy 2005, Selluvilla-Eriste Oy 2005.)

Eristeet valmistetaan kotimaisesta keräyspaperista sekä hajuttomista ja haihtumattomista palonestoaineista. Tuotteen painosta noin 80 % on sanomalehtikeräyspaperia ja loput 20 % palonestoaineita. Suurin osa eristeiden tilavuudesta on ilmaa. Tuotannossa pyritään käyttämään mahdollisimman puhdasta hierretystä puukuidusta valmistettua täyteaineetonta keräyspaperia, jota syntyy paperivalmistajien ja sanomalehtipainojen tuotantolinjojen alku- ja loppuvaiheessa. (Ekovilla Oy 2005, Termex Eriste Oy 2005, Selluvilla-Eriste Oy 2005.)

Paperikuiduista valmistettujen eristeiden valmistusprosessi vaihtelee yrityskohtaisesti. Tässä yhteydessä esitetään Ekovilla Oy:n Ekovilla-tuotteen valmistusprosessi. Ekovillan valmistuksessa kuiva ja lajiteltu sanomalehtikeräyspaperi syötetään esimurskaimelle, joka murskaa paperin karkeaksi rouheeksi. Pölynerotuksen kautta massasta poistetaan



murskauksessa syntyvä liian hieno aines. Tämän jälkeen karkea sanomalehtimurska varastoidaan välisäiliöön, josta perusraaka-aine annostellaan automaattisyöttimellä lo-pulliseen kuidutukseen. Kuiduttamisen yhteydessä massaan lisätään suolamaiset pa-lonestoaineet, booraksi ja boorihappo, jotka ovat luonnontuotteita ja hajoavat ympäris-tössä luonnossa esiintyväksi boraatiksi. Jauhatuksessa syntynyt hienopöly erotellaan suodattimen kautta vielä toiseen kertaan terveyshaittojen välttämiseksi. Kuidutuksen jälkeen valmis Ekovilla siirtyy pakkauslinjalle, jossa aine annostellaan koneellisesti 14,5 kilon paperisäkkeihin. Valmis Ekovilla varastoidaan sateelta suojatussa tilassa. (Ekovilla Oy 2005.)

### **Yhteenveto**

Paperin kierrätyksellä voidaan säästää puuta ja metsää. Säästyneen metsän laadusta ja sijainnista riippuen voidaan vaikuttaa merkittävästikin metsäluonnon biodiversiteettiin eli monimuotoisuuteen. Kasvihuonekaasupäästöihin paperin ja pahvin kierrätys vaikut-taa vähentämällä kaatopaikoille kertyvän biohajoavan jätteen määrää ja sen hajotessa syntyviä metaanipäästöjä.

Puukuitupohjaisten jätteiden jalostuskonsepteista tarkempaan käsittelyyn valittiin kon-septi, jossa paperikuidusta valmistetaan rakennus- ja lämmöneristettä. Kyseisessä kon-septissa keräyspaperista valmistetaan vain yhden tuoteryhmän tuotteita, joiden käyttö-kohte selvästi poikkeaa niihin käytettävän materiaalin käyttökohteesta.

### **2.2.2 Lasijätteet**

Lasin tärkeimmät raaka-aineet ovat hiekka, sooda ja kalkki, jotka sulatetaan lasiksi 1500 asteen kuumuudessa. Neitseellisestä materiaalista valmistetun lasin kilpailijaksi on noussut kierrätetty lasi, jota yhä enemmän käytetään lasin raaka-aineena. Suomessa la-sinkiertätyksellä on jo usean vuosikymmenen perinteet. Lähes kaikki pantillisten järjes-telmien puitteissa kiertävät lasipakkaukset päätyvät puhdistuksen jälkeen joko uudel-leentäytettäväksi tai murskaukseen, jonka jälkeen murska päätyy hyötykäyttöön. Kun-nalliseen keräykseen palautuneesta lasista osa menee hyötykäyttöön, ja osa päätyy kaa-topaikoille (Suomen keräyslasiyhdistys 2005). Hyötykäyttöön päätyvästä lasista valmis-tetaan yleensä uusiolasia (lasipulloja ja -pakkauksia sekä ikkunalasia) tai lasivillaa. Viime aikoina myös tv- ja pc-monitorilasiin kierrätykseen ja uusiokäyttöön on alettu kiinnittää huomiota. Monitorilasia kierrätetään takaisin kuvaputkituotantoon ja sen käyt-tämistä lasi- ja keramiikkateollisuuden raaka-aineena on myös kokeiltu. Lisäksi on ko-keiltu kierrätetyn lasin käyttöä lasilaattojen valmistuksessa, mutta tällä hetkellä tuotan-toa ei ole Suomessa.

### **Kierrätetystä lasista uusiolasia**

Karhulan Lasi Oy, joka on osa Owens-Illinoisin maailmanlaajuista organisaatiota, käyttää kierrätettyä lasia korvaamaan neitseellisiä raaka-aineita erilaisten lasipakkausten valmistuksessa. Puhdistetusta keräyslasista yritys valmistaa lasipakkauksia erilaisia tuoteryhmiä, kuten elintarvikkeita, lastenruokia, virvoitus- ja alkoholijuomia, lääkkeitä ja kosmetiikkaa, varten. Raaka-aineena Karhulan Lasi käyttää valmiiksi puhdistettua ja murskattua keräyslasia, jota Suomen Uusioaines Oy toimittaa. Lasipakkausten valmistuksessa lasimurske sulatetaan ja sulasta lasista valmistetaan erimuotoisia ja erivärisiä pakkauksia. (Karhulan Lasi Oy 2006.)

### **Kierrätetystä lasista lasivillaa**

Hyvinkäällä ja Forssassa sijaitsevilla Saint Gobain Isover Oy:n tuotantolaitoksissa valmistetaan kierrätetystä lasista lasivillatuotteita lämmöneristykseen ja äänenvaimennukseen. Yritys on osa ranskalaista emoyhtiötä, jolla on toimintaa ympäri maailmaa. Suomessa yrityksen tuotteita ovat rakennuseristeet, tekniset eristeet sekä akustiikkakatto tuotteet, joita valmistetaan yhteensä noin 50 000 tonnia vuodessa. Tuotteiden raaka-aineesta keskimäärin 60–80 % on kierrätyslasi. Raaka-aineena käytettävä kierrätyslasi koostuu lasitehtaiden tasolasista, Alkon pullosiruista ja Ekokem Oy:lle kertyneestä lasista (halogeenilamput ja lasiastiat). Muut raaka-aineet lasivillan valmistuksessa ovat hiekka, luonnonmineraalit ja sideaineen orgaaniset raaka-aineet. (Saint-Gobain Isover Oy 2003, 2005.)

Isover Oy hyödyntää noin 60–70 % koko Suomen vuosittaisesta kierrätyslasi määrästä. Viimeisen viiden vuoden aikana yritys on käyttänyt kierrätyslasiä yli 150 000 tonnia. Tästä määrästä tehdyllä lasivillalla saadaan lämpöeristettyä yli 100 000 omakotitaloa. Normaalkokoisen talon lämmöneristeet saadaan noin 3 000 lasipullosta. (Saint-Gobain Isover Oy 2005.)

Lasivillan valmistusprosessissa lasin raaka-aineet sekä kierrätyslasi sulatetaan sähköllä sulaksi lasiksi lasiuunissa 1 400 °C:ssa. Sula lasi johdetaan hallitusti pyörivän spinnerin keskelle, josta keskipakovoima ohjaa lasin spinnerin reunoille. Reunoissa on pieniä reikiä, joista lasi kuiduttuu. Kuitua venytetään puhaltamalla sitä kaasuliekillä. Kuitujen joukkoon ruiskutetaan sideainetta, joka kypsytysounissa (250 °C:ssa) sitoo kuidut yhteen. Lopuksi valmis lasivilla leikataan haluttuun muotoon ja kokoon sekä pakataan. (Saint-Gobain Isover Oy 2003.)

Lasivillan tuotannossa syntynyt jäte pyritään mahdollisuuksien mukaan kierrättämään takaisin teollisuuden raaka-aineeksi tai toimittamaan uusiokäyttöön. Leikkausjäte sekä tuoteselosteen vaatimukset alittavat tuotteet jauhetaan puhallusvillaksi. Lasivillan tuo-

tannon merkittävimmät ympäristövaikutukset liittyvät lasin raaka-aineiden sulatuksen ja kuidutuksen vaatimaan energiaan. Kierrätyslasin käyttö lasivillan raaka-aineena alentaa energiankulutusta valmistusprosessissa. (Saint-Gobain Isover Oy 2003.)

### **Tietokoneiden ja televisioiden monitorilasi**

Käytöstä poistuvien pc-monitorien ja tv-vastaanottimien määrä tulee kasvamaan lähitulevaisuudessa voimakkaasti. Yksistään Suomessa on arvioitu tulevan kierrätykseen vuosittain noin 500 000 pc- ja tv-yksikköä, jotka sisältävät noin 7,5 tuhatta tonnia lasimateriaalia (Hakkarainen 2005). Yksittäinen monitori koostuu kahdesta eri lasiosasta: kartiosta ja paneelista (Siikamäki 2003). Paneelilasin osuus on 2/3 ja lyijyä sisältävän kartiosta osuus on noin 1/3 kuvaputken lasimäärästä. Tämän lasimateriaalin kierrätys- ja uusiokäyttömahdollisuuksia on tutkittu useissa projekteissa (CRT-projekti, Ekolaatta ja Monitorilasi, SERPIPAJA, CRT-PROS ja Kimokela). Tutkimusten pohjalta on kehitetty uusi monitorilasin kierrätysteknologia sekä kartoitettu monitorilasin mahdollisuuksia keramiikka- ja lasiteollisuuden raaka-aineeksi.

#### ***Pc- ja tv-monitorilasin kierrätys takaisin kuvaputkituotantoon***

1990-luvun lopulla alkaneiden tutkimusten pohjalta Proventia Automation Oy on kehittänyt käytöstä poistettujen televisioiden ja tietokoneiden kuvaputkien kierrätykseen tehokkaan ja ympäristölle ystävällisen teknologian. Kierrätysteknologia perustuu hiilidioksidilaseriin, jolla kuvaputkesta erotetaan lyijyä sisältävä kartiolasi lyijyttömästä paneelilasista. Lasit murskataan, puhdistetaan ja toimitetaan takaisin kuvaputkituotantoon. Kuvaputkista erotetut muut materiaalit myös lajitellaan ja käytetään muun teollisuuden raaka-aineena. Esimerkiksi 40 kg:n tv:stä voidaan hyödyntää 35–38 kiloa. Kierrätyslasin hyväksikäyttö uusien kuvaputkien valmistuksessa edellyttää, että lyijylasi pystytään erottamaan lyijyttömästä lasista tarkasti. Kyseisellä teknologialla on saavutettu hyvä erottelukyky ja kapasiteetti. Menetelmä onkin suunniteltu juuri suurien volyymeja varten. Kuvaputkien käsittelylaitokset pystyvät käsittelemään yli 100 000 kuvaputkea vuodessa, ja kapasiteettia on mahdollisuus vielä lisätä. (Jätehuoltoyhdistys 2004.)

Uusi menetelmä tuottaa vain vähän hiukkaspäästöjä, ja sillä pystytään säästämään merkittävästi energiaa. Myös käyttökustannukset ovat pienet. Kustannussäästöjä saadaan erityisesti vähentyneen energiankulutuksen ja lasin valmistukseen tarvittavien neitseellisten raaka-aineiden vähentyneen tarpeen kautta. (Aikala 2005.)

#### ***Monitorilasi keramiikka- ja lasiteollisuuden raaka-aineeksi***

Monitorilasi on erittäin korkealaatuista raaka-ainetta, jonka käyttöä *keramiikka- ja lasiteollisuuden* raaka-aineena Taideteollinen korkeakoulu on tutkinut yhdessä lasin loppu-

käyttäjyrytysten kanssa vuosina 2001–2002 (Siikamäki & Leppänen 2003). Loppukäyttäjiä tarvitaan sekä keramiikka- että lasiteollisuuden parista, jotta mahdollisimman suuri osa kierrätyslasista voidaan hyödyntää. Tällöin saadaan käyttöön erilaiset kierrätysmateriaalin koostumusvaihtoehdot ja puhdistus- ja murskausprosessissa syntyvät eri partikkelikoon erät.

*Keramiikkatuotannossa* monitorilasimateriaalia on mahdollista hyödyntää lasitteen tai keraamisen massan osaraaka-aineena. Tällöin on mahdollista korvata lasilla esim. sulatteen tai neutseellisten raaka-aineiden käyttöä. *Lasituotannossa* monitorilasia voidaan hyödyntää joko osaraaka-aineena korvaamaan neutseellisten raaka-aineiden käyttöä tai tiettyjen valmistustekniikoiden osalta tuotanto voi kokonaan perustua kierrätysmateriaalille. Käytännössä monitorilasin hyödyntäminen näissä prosesseissa tarkoittaa, että kartio- ja paneelilasi täytyy pystyä erottamaan toisistaan erittäin tarkasti ja että monitorilasin pinnoitemateriaalit saadaan puhdistettua pois.

Monitorilasin hyödyntäminen alkaa lasin murskaamisella käyttäen joko leuka- tai keskipakoismurskainta. Tämän jälkeen lasimurske seulotaan eri raekokoihin. *Keramiikkateollisuudessa* lasitteen valmistuksessa lasimurska myllytetään eli sekoitetaan täyteaineiden kanssa, jolloin tuloksena saadaan vielä hienompaa lasimassaa. Lopuksi lasite joko ruiskutetaan tai kaadetaan keraamisen tiilen tai kierrätetystä pakkauslasista valmistetun laatan päälle ja poltetaan. Lasitteeseen voidaan myös lisätä pigmenttiä, jotta saataisiin aikaan eri värisävyjä. Murskattua lasia voidaan myös käyttää keraamisen massan osaraaka-aineena. Tällöin murskattu lasi myllytetään ja sekoitetaan tiilimassaan. Rakennuslaatan valmistus perustuu eri hiukkaskokojakauman omaavien lasierien ja tarvittavien lisäaineiden sekoittamiseen massaksi, joka täryvaletaan laatoiksi. Lopuksi laatat poltetaan. (Siikamäki & Leppänen 2003.)

*Lasiteollisuudessa* studiolasituotantomenetelmät perustuvat lasimateriaalin sulattamiseen, joka voi tapahtua joko upokas- tai vannauunissa. Upokasuuni on kertatäytöllä toimiva uuni, eli se täytetään lasimateriaalilla ja yön ajaksi lämpötila nostetaan sulatuslämpöön. Työskentelyn alkaessa lämpötila lasketaan työskentelylämpöön. Vannauunit perustuvat jatkuvaan sulatukseen, eli uunissa on kaksi erillistä kammiota: sulatuspuoli ja työpuoli. Homogenisoitunut ja selkiytynyt lasimassa kulkeutuu sulatuspuolelta työskentelypuolelle. Sulatuksen jälkeen lasisulasta valmistetaan erilaisia esineitä, kuten laseja ja maljakoita, käyttäen puhallus- tai valutekniikoita. Jo kerran sulatettua lasimateriaalia sulatettaessa lasin selkiytyminen ja homogenisoituminen vaikeutuvat verrattuna puhtaiden raaka-aineiden sulatukseen. Kuitenkin jo kerran sulatetun lasin käyttäytyminen työstettäessä vastaa studiolasituotannossa yleisesti käytettävän soodalasin ominaisuuksia. (Siikamäki & Leppänen 2003.)

Monitorilasin käyttö keramiikka- ja lasiteollisuuden raaka-aineena on tutkimusten mukaan mahdollista. Käyttö ei kuitenkaan hyvistä ideoista ja käyttökelpoisista tekniikoista huolimatta ole laaja-alaisesti toteutunut. Tutkimushanke, jossa ideoita kokeiltiin, oli kertaluontoinen. Sen tulosten perusteella ei ole päädytty kaupallisiin sovelluksiin. Jotta tuotannosta tulisi kannattavaa, tuotantovolyymit täytyisi saada suuremmiksi ja tuotteille täytyisi löytää markkinat.

### **Yhteenveto**

Lasia voidaan käyttää lukuisia kertoja uuden lasin valmistukseen laadun silti heikkenevästi. Lasia kierrättämällä pystytään säästämään luonnonvaroja ja kalliita raaka-aineita. Kierrätyslasiä käytettäessä tarvitaan vähemmän soodaa, joka on tuontitavaraa ja lasin kalkein ainesosa. Myös lasin sulatukseen tarvittavaa energiaa säästyy, sillä jätelasi sulaa helpommin kuin neitseelliset raaka-aineet. Energiansäästö vähentää päästöjä ilmaan (mm. typen ja rikin oksidien päästöjä) sekä lasitehtaiden hiukkaspäästöjä (Suomen Uusioaines 2005). Kierrätys merkitsee lisäksi lasijätteen huomattavaa vähentymistä kaatopaikoilla. Lasijäte sisältää jonkin verran raskasmetalleja, mutta ne ovat inertissä muodossa eivätkä siten liukene lasijätteestä maaperään. Suurimpana ympäristöhaittana ovatkin rikkonaisen lasin aiheuttamat ongelmat ympäristössä. (Suomen keräyslasiyhdistys 2005.)

Lasia hyödyntävistä konsepteista tarkempaan käsittelyyn valittiin uusiolasin valmistus. Konseptina se ei ole uusi, mutta sillä on potentiaalia hyvinkin suureen kapasiteettiin. Vaihtoehtoisena konseptina oli lasivillan valmistus, mutta eristemateriaali on jo valittu tarkempaan käsittelyyn aiemmin puukuituperäisen jätteen osiossa.

### **2.2.3 Tekstiilijätteet**

Tekstiilien kierrätyksen ympärille on syntynyt monenlaista yritystoimintaa sekä Suomessa että ulkomailla. Kierrätyksessä on mukana sekä yrityksiä että hyväntekeväisyysjärjestöjä. Vaikka tekstiilejä kierrätetään paljon, niiden jalostus uusiksi tuotteiksi on suhteellisen vähäistä suuriin tekstiilijättemääriin verrattuna. Tekstiilijätteiden uusiokäyttötavat voidaan karkeasti jakaa kolmeen eri osa-alueeseen: käyttökelpoisten tekstiilien lajittelu ja uudelleenkäyttö, teollisuus- ja konepyyhkeiksi muokattava materiaali ja mekaanisen kuiduttamisen kautta esim. kuitukangastuotteiksi, paperiksi tai langan raaka-aineeksi päätyvä materiaali. Teollisuus-, kone- ja muiden pyyhkeiden valmistusprosessi on suhteellisen yksinkertainen, ja niitä valmistavia yrityksiä onkin useita sekä Suomessa että maailmalla. Seuraavassa esitellään kolme erilaista tekstiilijätteen kierrätyskonseptia. Niiden lisäksi tekstiilijätettä käytetään mm. paperin ja ääni- ja lämpöeristeiden valmistukseen.

## Uusiotuotteita teollisuudelle, rakentajille ja kotitalouksille

Vuonna 1994 perustettu Dafecor Oy valmistaa kierrätystekstiilistä erilaisia uusiotuotteita pääosin teollisuuden, rakentajien, puutarhojen ja verhoilijoiden tarpeisiin. Teollisuuden tarpeisiin yritys valmistaa haitallisten aineiden käsittelyyn ja torjuntaan tarkoitettuja tuotteita, kuten öljynimeytysmattoja, lattiansuojamattoja sekä puhdistus- ja kunnossapidon pyyhkeitä. Rakentajien tarpeisiin valmistetaan parketinalushuopaa ja rakennusnauhaa ja verhoilijoille huopaa ja vanua. Yritys valmistaa myös puutarhoille erilaisia siemen-, taimi- ja kukkienkasvatukseen tarkoitettuja kastelumattoja ja -nauhoja. Lisäksi valmistetaan katastrofihuopia ja kevyitä öljypuomia kriisien hallintaan. Tuotteiden pääraaka-aineena käytetään joko teollisesti valmistettuja kuituja tai luonnon- ja muunkuidusta jalostettuja kuituja. Pääosa materiaalista tulee tuotantohaaskioina kotimaiselta tekstiili- ja vaateteollisuudelta. Lisäksi tuotteissa käytetään kotitalouksien ja sairaalapesuloiden poistoja. Kierrätysmateriaalin lisäksi tuotteissa käytetään pellavaöljypohjaisista karstaöljyä. Dafecorin valmistusprosessissa jätetekstiili korvaa neitseellisiä materiaaleja, kuten polypropyleenikuitua, viskoosia ja puuvillaa. (Dafecor Oy 2005, Saha 2005.)

Tuotteiden valmistusmenetelmä on mekaaninen revintä- ja karstaussprosessi. Ensin käsiteltävä raaka-aine esimurskataan rotaatiomurskaimella ja lajitellaan kuitutyypin mukaan. Tämän jälkeen tehdään reseptoiva murskaus rotaatiomurskaimella eli kuitu jaotellaan prosessin vaatimaan jaekokoon. Tässä yhteydessä raaka-aine käsitellään karstaöljyllä. Öljykäsittelyn jälkeen seuraa kolmivaiheinen mekaaninen revintä-karstaussprosessi, jossa raaka-aine kuidutetaan. Tämän jälkeen kuidut ristiinlaskostetaan kuitupatjaksi ja neulataan kuituhuovaksi. Neulauksen yhteydessä tuotteeseen voi liittää ulkopuolisia materiaaleja, kuten muovikalvon. Viimeiseksi kuituhuopa leikataan haluttuun tuotekokoon ja pakataan.

Dafecor Oy:n uusiotuotteiden valmistusmenetelmässä käytetään vähemmän energiaa kuin neitseellistä materiaalia käyttävässä menetelmässä. Uusiotuotteiden valmistusprosessissa tuote sidotaan valmiiksi tuotteeksi neulaamalla, kun taas neitseellisestä materiaalista valmistetut tuotteet valmistetaan sitomalla kuidut lämmöllä, jonka tuottamiseen käytetään yleensä kaasua, öljyä tai sähköä. Kustannussäästöjä syntyy vähentyneestä energiankulutuksesta. Toisaalta uusiomateriaalin prosessointi on hidasta verrattuna neitseellisen materiaalin käyttöön, ja näin ollen siitä aiheutuu enemmän työvoimakustannuksia per valmistettu tuotekilo. (Saha 2005.)

Yritys tekee valmiita tuotteita noin 120–200 tonnia vuodessa. On arvioitu, että 1990-luvun lopussa vaateteollisuus tuotti vuosittain noin 7 000 tonnia tuotantohaaskioita. Vastaavasti 2000-luvun alussa arvioitiin, että tekstiiliteollisuudessa haaskioita syntyy noin 15 000 tonnia vuosittain. Lisäksi kotitaloudet tuottavat arviolta 70 000 tonnia teks-

tiilihaaskioita vuosittain, joten yrityksen hyödyntämä materiaalimäärä on marginaalinen. (Saha 2005.)

### **Tekstiileistä käyttöesineitä**

Kierrätystekstiilejä voidaan käyttää myös käyttöesineiden raaka-aineena. Tätä kokeiltiin Tampereen teknillisessä yliopistossa vuosina 2001–2002 toteutetussa PESKI-projektissa (Nieminen & Talvenmaa 2003).

Projektissa kierrätystekstiilien koeprosessoinnissa käytettiin kuitukangastekniikkaa eli kierrätysmateriaalista valmistettiin uusiokuitukankaista ja -mattoja. Prosessointiin käytettiin mm. Dafecor Oy:n laitteita (ks. edellinen kohta). Pelkästä kierrätyskuidusta tehdystä materiaalista ei tullut tarpeeksi kestävää, joten sekaan lisättiin sitovaa kuitua. Koeprosessoinnin tuloksena valmistuneista uusiokuitukankaista ja -matoista Taideteollinen korkeakoulu suunnitteli tuotemalleja, jotka olisi teknisesti helppo toteuttaa. Tuotteiden suunnittelussa käytettiin mahdollisimman vähän eri materiaaleja, jotta tuotteen elinkaari pysyisi yksinkertaisena ja tuotteita olisi helppo purkaa ja kierrättää. Lopputuotteina syntyi erilaisia käyttötuotteita, kuten laukkuja, säilytysrasioita, cd-koteloita ja erilaisia sermejä. (Nieminen & Talvenmaa 2003.)

Projektissa huomattiin, että pesuloiden poistotekstiileistä koostuvan materiaalin sujuva prosessointi uusien tuotteiden raaka-aineeksi edellyttäisi uutta ja tehokasta konekantaan, sillä koeprosessoinnissa raskaita työvaatteita ei pystytty kuiduttamaan lainkaan. Jotta uusiokuidusta valmistettujen käyttötavaroiden tuotanto olisi kannattavaa, prosessoivan yrityksen pitäisi saada tuotantoon volyymituote, jotta sillä olisi mahdollisuus investoida uusiin koneisiin ja laitteisiin. Myös varmuus materiaalin jatkuvasta saatavuudesta on tärkeää. (Nieminen & Talvenmaa 2003.)

### **Käytettyjen vaatteiden prosessointi kuiduksi ja kuitutuotteiksi**

SOEX Textil-Vermarktungs GmbH -ryhmä Saksassa sekä kierrättää tekstiilejä että prosessoi niistä uusia tuotteita. Ryhmä kerää vuosittain yli 100 000 tonnia käytettyjä tekstiilejä, joista se valmistaa esimerkiksi uusiokuitua autoteollisuuden tarpeisiin. (SOEX 2005.)

Ennen varsinaista prosessointia tehtaalle tuleva kierrätysmateriaali lajitellaan. Liukuhinna kuljettaa vaatteita sisältävät kassit lajittelupöydille, joiden ääressä työntekijät lajittelevat kerätyt vaatteet merkittyihin kasseihin. Täydet kassit merkitään tietokone-luettavilla koodeilla, joita on esi- ja hienolajitteluvaiheisiin yli 250. Koodit voivat luokitella tekstiilejä niiden materiaalin (puuvilla, denim, villa jne.), vaatetyypin (housut, paidat jne.) tai laadun mukaan. Parhaimman laatuiset vaatteet menevät myyntiin käytettyinä

vaatteina. Vaatteet, jotka eivät ole tarpeeksi hyväkuntoisia myytäväksi uudelleen vaatteina, lajitellaan kankaan laadun ja värin mukaan raaka-aineiksi uusille lopputuotteille. Jälleenkäsittelykoneisto muodostaa suljetun prosessin; syötetyt tuotteet menevät ensin tilkutuskoneelle, sitten sekoittajan ja avaajan kautta repijäkoneeseen. Napit, vetoketjut yms. poistetaan mekaanisesti. Lopputuloksena syntyy uudelleenkäsiteltyä villa-, puuvilla- ja akryylikuitua, joka on kysyttyä raaka-ainetta esim. autoteollisuudessa ääneneristysmateriaalin valmistuksessa. Kierrätyskuidun sekaan voidaan tarvittaessa sekoittaa korkealaatuista polyesterikuitua. Iso osa aikaansaadusta raaka-aineesta käytetään yrityksen omassa kuitukangastehtaassa, jossa valmistetaan ei-kudottua kangasta. Lopputuotteena saadaan esimerkiksi mattojen alakerroksia tai patjojen sisusteita kodintekstiiliteollisuuteen, eristysmateriaalia teknillisiin sovelluksiin, materiaalia teiden kunnostamisprosesseihin sekä huopiin. (SOEX 2005.)

### **Yhteenveto**

Keräystekstiilin käyttäminen uusiotuotteissa vähentää kaatopaikkakuormitusta. Se myös tekee tarpeettomaksi neitseellisen materiaalin käyttämisen tuotteiden valmistukseen ja näin ollen vähentää luonnonvarojen kulutusta. Tekstiilijätteiden prosessointi uudelleen tuotteiksi on yleensä mekaaninen prosessi ja se kuluttaa vähemmän energiaa kuin neitseellisen tuotteen valmistaminen.

Lähempään tarkasteluun tekstiiliosioista valittiin Dafecor Oy:n valmistusmenetelmä, jossa jätetekstiileistä valmistetaan erilaisia uusiotuotteita, kuten öljynimeytysmattoja ja puutarhojen kasvualustoja. Tämä on kotimainen konsepti, jonka tuotteita voidaan hyödyntää kaupallisesti ja jonka avulla pystytään vähentämään neitseellisten materiaalien käyttöä.

### **2.2.4 Muovijätteet**

Suomessa muovipullojen uudelleenkäyttöprosentti on suuri (noin 80 %), mutta muuta muovijätettä kierrätetään maassa vielä suhteellisen vähän (Pakkausalan ympäristörekisteri PYR Oy 2005). Iso osa käytöstä poistettavista muoveista voidaan vielä hyödyntää polton lisäksi mekaanisesti tai kemiallisesti. Näin voidaan vähentää edelleen raaka- ja polttoaineiden käyttöä. Mekaaninen kierrätys tarkoittaa muovin talteenottoa ja muokkausta uusiin käyttötarkoituksiin. Vastaavasti kemiallinen kierrätys tarkoittaa muovijätteen kemiallista muokkausta takaisin peruskemikaaleiksi. Joillekin muoveille kemiallinen kierrätys onkin ainoa hyötykäyttömuoto (Ympäristöyritysten liitto ry 2005a).

Jätemuoveja hyödyntäviä yrityksiä on Suomessa kymmenen. Uudelleenkäytettäviä muovituotteita käytetään erilaisissa jakelutehtävissä, mutta myös kuluttajan käytössä on



mm. kierrätettäviä muovisia pulloja ja koreja. Teollisuudessa ja tukkukaupoissa kertyviä muoveja otetaan talteen ja jalostetaan uudelleen muoviteollisuuden uusioraaka-aineiksi yhä enenevässä määrin. (Suomen uusiomuovi Oy 2005.)

Suomessa kierrätetystä muovista valmistetaan mm. rakennusmateriaalina käytettävää muoviprofiilia (Muovix Oy) ja kierrätetyistä muovipulloista esimerkiksi rakennuseristettä (Ewona Oy). Muovista voidaan valmistaa myös mm. tekstiilejä, mutta tätä ei vielä ole kokeiltu Suomessa. Seuraavassa keskitytään tarkemmin ainoastaan muoviprofiilin ja tekstiilien valmistukseen, sillä muovijuomapulloista rakennuseristettä valmistavasta konseptista ei ollut saatavilla lisätietoa.

### **Jätemuovista muoviprofiiliksi (Muovix Oy)**

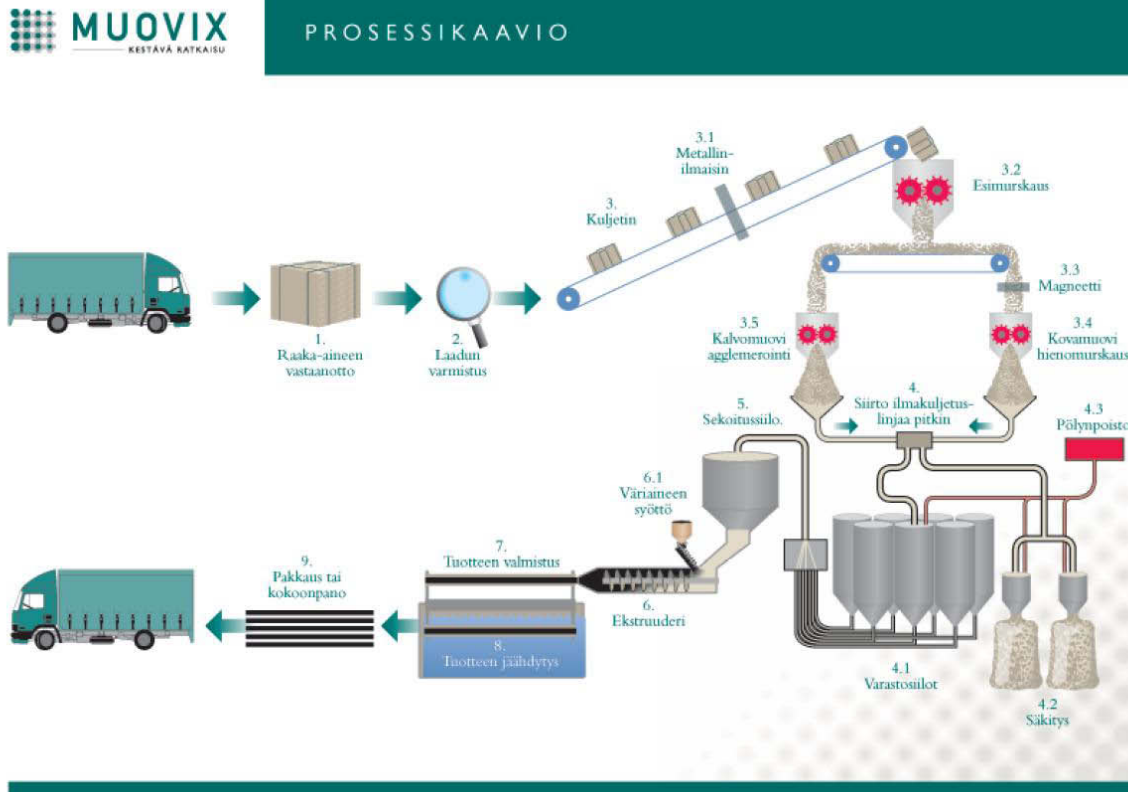
Muovix Oy valmistaa jätemuovista muoviprofiilia teollisuuden, rakentamisen ja maatalouden tarpeisiin. Lopputuote muistuttaa muotista riippuen puunomaista lankkua tai tolppaa, jota voidaan jyrsiä, porata, sahata, naulata ja ruuvata normaaleilla puutyöstökaluilla. Muovix-profiili soveltuu parhaiten kohteisiin, joissa rakenteet joutuvat kosketuksiin maan tai veden kanssa. Sitä käytetään painekyllästetyn puun sijaan, mutta monipuolisten ominaisuuksiensa vuoksi se korvaa myös metallia ja betonia. (Muovix Oy 2007.)

Muoviprofiilin materiaaliksi kelpaavat kaikki muovilaadut aina PVC:tä myöten; hyödynnettäviksi soveltuvia muoveja ovat mm. muovikalvot, epäkurantit muoviteollisuuden tuotteet, elektroniikkateollisuuden muovikomponentit ja autojen muoviosat. Muovix Oy hyötykäyttää myös erilaisia kaupan ja teollisuuden muovipakkauksia pulloja ja kanistereita. Pienet epäpuhtaudet, kuten teipit, etiketit ja metalli-insertit, eivät ole esteenä jätemuovin hyödyntämiselle. Tähän asti sekamuovit on pystytty hyödyntämään lähinnä vain energianlähteenä. (Muovix Oy 2007.)

Muoviprofiilin lisäksi yritys valmistaa uusioraaka-ainetta sellaisista jätemuoveista, jotka eivät sovellu hyvin tai ollenkaan muoviprofiilien valmistukseen tai joita Muovix Oy vastaanottaa yli oman tuotannon tarpeen. Uusioraaka-aineen Muovix Oy toimittaa hyödynnettäväksi yhteistyökumppaneilleen Suomeen ja ulkomaille. Nämä valmistavat uusioraaka-aineesta erilaisia muovituotteita, kuten viemäriputkia, henkareita, fleecevaatteita ja erilaisia levyjä. (Surakka 2005.)

Muovix-muoviprofiilin valmistusteknologia on ensimmäinen ja ainutlaatuinen lajissaan Suomessa. Muoviprofiilin valmistusprosessi alkaa vastaanotetun raaka-aineen laadun varmistuksella. Tämän jälkeen materiaali esikäsitellään eli murskataan tavalla, joka riippuu materiaalin koostumuksesta. Esikäsitelyn jälkeen materiaali siirretään ilmajetulinjaa pitkin varastosiiiloihin. Sieltä materiaali jatkaa sekoitussiiloon, jonka jälkeen massaan lisätään väriaineet. Ekstruuderissa materiaali sulatetaan ja saatetaan haluttuun

koostumukseen. Lopuksi tuote jäädytetään ja pakataan. Muoviprofiilin valmistuskaavio esitetään kuvassa 6. (Surakka 2005.)



Kuva 6. Muovix-muoviprofiilin prosessikaavio (Surakka 2005).

Muoviprofiilin valmistuksen tärkeimmät päästöt ovat melu ja pöly, eli prosessi ei sinänsä tuota paljon päästöjä. Kasvihuonekaasupäästöjen ja energiankulutuksen kannalta on edullisempaa valmistaa muoviprofiilia kierrätetystä muovista kuin neitseellisestä raaka-aineesta. Itse valmistusprosessissa eroa ei synny, vaan suurimmat päästöt syntyvät neitseellisen materiaalin eli muovin valmistuksessa. (Surakka 2005.)

Muovix Oy valmistaa muoviprofiilia ja uusioraaka-ainetta vuosittain yhteensä noin 6 000 tonnista jätemuovia, josta noin 2 300 tonnia on muovipakkausjätettä. Kokonaisjätemuovimäärä Suomessa on noin 140 000–160 000 tonnia, joten yritys käyttää noin 4 % Suomen jätemuovista. (Surakka 2005.) Muovix Oy kasvattaa tuotantokapasiteettiaan jatkuvasti. Ensimmäinen tuotantolaitos perustettiin Riihimäelle vuonna 2000. Vuonna 2005 avattiin uusi tuotantolaitos Joensuussa ja vuoden 2007 alussa perustettiin kolmas muovijätteen käsittelyyn erikoistunut laitos Saloon. (Muovix Oy 2007.)

Muoviprofiilin valmistaminen kierrätetystä raaka-aineesta on kustannustehokasta. Kierrätetystä muovista valmistetun muoviprofiilin loppuhinta on edullisempi kuin pelkän neutseellisen raaka-aineen hinta. Markkinat kasvavat jatkuvasti, kun tuotteen laadun tunnettavuus ja uskottavuus lisääntyvät. Markkinoinnissa suurimpana ongelmana on muovituotteiden huono imago, varsinkin jos tuote on valmistettu kierrätetystä muovista. Imagoa parantamalla myös markkinat kasvavat. Tällä hetkellä suurin osa tuotannosta menee vientiin. (Surakka 2005.)

### **Muovista tekstiilejä (Wellman Inc.)**

Wellman Inc. on yksi maailman suurimmista muovin kierrättäjistä ja kierrätysmateriaalista valmistetun polyesterikuidun valmistajista. Sillä on tuotantoa Yhdysvalloissa, Irlannissa, Ranskassa ja Hollannissa. Yritys ostaa kuluttajilta kerättyjä PET-muovipulloja ja -pakkauksia sekä polyesteria valmistavalta teollisuudelta tulevia sivutuotteita, kuten kuidun, hartsin ja filmin valmistusprosesseista syntyvää jätettä. Yritys ostaa myös polyamidin valmistajilta tuotantojätettä. (Wellman Inc. 2005.)

Yritys valmistaa kierrätysmateriaalista polyesterikatkokuitua, jota käytetään esimerkiksi tyynyissä, tikkipeitoissa, makuupusseissa ja huonekaluissa. Se on myös kehittänyt Fortrel EcoSpun<sup>®</sup> -kuidun, joka valmistetaan 100-prosenttisesti kierrätetyistä PET-pulloista ja jota käytetään ulkoilutakkien, laukkujen, T-paitojen yms. valmistukseen. Kierrätettyä polyamidista saatua kuitua käytetään matoissa sekä erityistuotteissa, kuten tennispalloissa (Wellman Inc. 2005).

### **Yhteenveto**

Muovi valmistetaan öljystä, ja noin 4 % maailman öljynkulutuksesta menee muovituotantoon. Kierrätyksellä voidaan vähentää muovin tuotannossa tarvittavaa energiankulutusta ja välttää muovijätteen poltosta aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä. Kierrätyksen myötä myös muovijätteestä aiheutuvat roskaantumisongelmat vähenevät. Muovin kierrätyskonsepteista lähempään tarkasteluun valittiin muoviprofiilien valmistaminen jätemuovista, koska profiilien tuotanto tapahtuu Suomessa.

### **2.2.5 Metallijätteet**

Metallien kierrätys on vanha menettelytapa. Metallin laatu ei huonone kierrätettäessä, ja metallia voidaan käyttää uudelleen raaka-aineena. Metalliromu on arvokas raaka-aine, joten sen kierrätys metallinjalostusteollisuudessa on itsestään selvää. Lähes kaikki metalliromu saadaan hyvän kierrätysjärjestelmän ansiosta talteen ja teollisuuden käyttöön. (Melanen ym. 2000.) Pantillisista tölkeistä kierrätetään jopa 98 % (Ympäristöyritysten

liitto ry 2005b) mutta metallipakkauksista vain noin puolet (Pakkausalan ympäristökisteri PYR Oy 2005).

Monien metallien osalta kierrätys on keskeinen ja erottamaton osa metallien valmistusta ja käyttöä. Näin ollen kierrätyksen hyötyjä tai vaikutuksia on vaikea määrittellä, koska mitään todellista vertailukohtaa ei ole. Ympäristövaikutusten vähentämisen kannalta olisikin tärkeämpää keskittyä erityisesti niiden metallijätteiden ympäristövaikutuksiin, joita ei vielä kierrätetä romuna, kuten muun jätteen joukossa oleva metallijäte. Kierrätettyä metallia käytettäessä pystytään mm. vähentämään kaivostoiminnasta aiheutuvia ympäristövaikutuksia, kaatopaikkatilan tarvetta sekä siellä syntyviä päästöjä, vaikkakin nämä vaikutukset ovat suhteellisen vähäiset. (Melanen ym. 2000.) Metallien kierrätys säästää huomattavasti energiaa neitseellisen raaka-aineen käyttöön verrattuna. Energiansäästö teräs- ja tinapeltipakkausten valmistuksessa on 75 % ja alumiinipakkauksissa 95 %. (Mepak-Kierrätys Oy 2005.)

Suomessa on useita toiminnoiltaan samankaltaisia romumetallin kierrätykseen ja jalostukseen keskittyneitä yrityksiä. Tässä yhteydessä käsitellään niistä suurinta eli Kuusakoski Oy:tä, joka myös edustaa metallinkierrätystä kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa.

### **Metallien jalostus takaisin metalleiksi**

Kuusakoski Oy sekä kierrättää metallipitoisia tuotteita että jalostaa ja toimittaa kierrätysmetallia edelleen. Yritys kerää kierrätettävät materiaalit, prosessoi ne sekä lopuksi myy metalliraaka-aineita teollisuusasiakkaille. Tärkeimpiä teollisuusasiakkaille tarjottavia tuotteita ovat perusmetalli- ja valimoteollisuuden raaka-aineiksi tarvittavat rauta, ruostumaton teräs ja alumiinivaluseokset. Yritys tuottaa myös kierrätyskuituja ja -polttoaineita. Raaka-aineina Kuusakoski käyttää pääasiassa kierrätysmetalleja ja metallipitoisia käytöstä poistettuja tuotteita, kuten ajoneuvoja sekä sähkö- ja elektroniikkalaitteita. (Parviainen 2005.)

Heinolassa sijaitsee Kuusakoski Oy:n merkittävin kierrätyslaitos, Heinolan tehtaat, johon kuuluvat mm. yhtiön monimetallitehdas ja alumiinisulatto. Tehdas vastaanottaa vuosittain rautapitoista kierrätysmetallia noin 65 000 t, ei-rautapitoista kierrätysmetallia noin 40 000 t, käytöstä poistettuja ajoneuvoja noin 70 000 t (sis. esikäsitellyt ja käsittelemättömät) ja käytöstä poistettuja sähkö- ja elektroniikkalaitteita noin 20 000 t (sis. esikäsitellyt ja käsittelemättömät). Näistä kierrätysmateriaaleista yritys valmistaa arviolta 118 000 tonnia kierrätysrautaa (teräsmuskeet, muu tuotteistettu rauta ja ruostumaton teräs), tuotteistettuja värimetalleja noin 15 000 tonnia ja alumiinivaluseoksia 40 000 tonnia. (Kuusakoski Oy 2004.)

Tehtaan kierrätysprosessi sisältää kierrätysmateriaalin lajittelun, esikäsittelyn, murskauksen ja erottelun sekä metallien jalostuksen takaisin teollisuuden raaka-aineiksi. Materiaalin lajittelu tapahtuu pääasiallisesti koneellisesti (esimerkiksi kouralla tai magneetilla varustetulla kahmarilla). Esikäsittelyssä laitteet puretaan ja eri osat erotellaan jatkokäsittelyyn. Esikäsitelty materiaali jatkaa murskauslaitokseen, jossa murskataan pääasiassa esikäsiteltyjä käytöstä poistettuja ajoneuvoja, muuta suurikokoista peltiä ja terästä sekä muuta kierrätysmetallia, kuten alumiinia, ruostumatonta terästä ja käytöstä poistettuja monimetallituotteita. Murskauslaitoksen päätuotteita ovat teräsmurske ja ei-magneettinen murske, ja sivutuotteina syntyy erilaisia metallijakeita. Erikoismurskaimella käsitellään vastaavasti käytöstä poistettu sähkö- ja elektroniikkaromu. Tämän jälkeen materiaali jatkaa erottelulaitokseen, jonka prosessi perustuu materiaalien erottamiseen niiden erilaisten ominaisuuksien perusteella. Erottelulaitoksessa on kolme osastoa: pesulaitos, upotus-kellutuslaitos ja koneellinen lajittelu. Erottelun jälkeen metallimurskeesta jalostetaan uusiometallia. Muista metalleista poiketen alumiini jatkaa erotteluvaiheesta alumiinisulattoon, jossa kierrätysalumiini sulatetaan ja seostetaan alumiiniseosharkoiksi tai terästehtailta hapen poistoon käytettäväksi alumiinideodropeiksi. (Kuusakoski Oy 2004.)

## **2.3 Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämismahdollisuudet**

### **2.3.1 Päästöihin vaikuttavia tekijöitä**

Jätteisiin kytkeytyy kasvihuonekaasupäästöjä sekä välittömästi että välillisesti. Välittömiksi päästöiksi voidaan katsoa jätehuollossa syntyvät päästöt

- jätteiden keräyksen ja kuljetuksen aikana
- jätteiden lajittelun, murskauksen ym. esikäsittelyn aikana
- jätteiden hyödyntämisprosesseissa
- jätteiden hajotessa kaatopaikoilla
- jätteiden poltossa
- jätteiden biologisessa käsittelyssä.

Jätehuollon lisäksi jätteisiin kytkeytyy välillisesti kasvihuonekaasupäästöjä muista toiminnoista, kuten

- energiankulutuksesta tuotteen tai materiaalin valmistuksessa, kuljetuksessa ja käytössä
- energiankulutukseen liittymättömistä tuotantoprosessien päästöistä
- tuotteen raaka-aineiden valmistuksen ja kuljetusten päästöistä.

Yhdyskuntajätteen materiaalikierrätyksellä kasvihuonekaasupäästöjä voidaan vähentää pienentämällä energiankulutusta sekä raaka-aineiden hankinnassa ja valmistuksessa että itse tuotteen valmistuksessa. Myös muusta kuin energiantuotannosta peräisin olevien päästöjen välttäminen valmistusvaiheessa vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Kierrätyksellä vähennetään myös jätehuollon välittömiä päästöjä, kun jätettä ei sijoiteta kaatopaikalle eikä käsitellä muulla tavalla. Toisaalta kierrätyksestä voi myös syntyä päästöjä jätehuoltovaiheessa, mikäli kuljetukset lisääntyvät tai jos jätteen prosessointi uudeksi tuotteeksi tuottaa kasvihuonekaasupäästöjä.

Materiaalikierrätyskonseptit soveltuvat huonosti Kioton pöytäkirjan määrittelemien puhtaan kehityksen mekanismin (CDM, Clean Development Mechanism) tai yhteistoteutuksen (JI, Joint Implementation) puitteisiin erityisesti siitä syystä, että päästövähennysten aukoton todentaminen materiaalikierrätyskonseptissa on hankalaa. Vaikutusketjut ovat pitkiä ja monimutkaisia: ne alkavat neitseellisen raaka-aineen hankinnan vaikutuksista sekä jalostuksen päästöistä ja päättyvät kaatopaikkasijoituksen vähenemisessä muodostuviin säästöihin. Tässä yhteydessä materiaalikierrätyskonseptien vientimahdollisuuksia ajatellaan yleisemmällä tasolla arvioiden jätteestä jalostetun tuotteen käytettävyyttä tai tarpeellisuutta muissa maissa.

Kasvihuonekaasupäästöjä on mahdollista jossain määrin vähentää edellä esitettyjen konseptien avulla. Tehokkainta kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä on jätteiden määrän vähentäminen niiden syntyä ehkäisemällä, mutta päästöihin voidaan vaikuttaa myös materiaalien hyötykäytöllä. Kierrätysmateriaalilla voidaan korvata neitseellistä materiaalia, jonka valmistus ja siinä syntyvät energiankulutuksen ym. päästöt voidaan näin välttää. Kierrätysmateriaalin prosessointi uudelleen tuotteeksi kuluttaa usein vähemmän energiaa kuin tuotteen valmistaminen neitseellisistä raaka-aineista (esim. metallit). Näin ollen myös energiantuotannon aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt vähenevät. Materiaalien kierrätys vähentää kaatopaikoille tulevaa jätekuormaa ja jätteistä kaatopaikoilla vapautuvien kasvihuonekaasupäästöjen määrää (esim. paperi). Kasvihuonekaasupäästöjä voidaan lisäksi vähentää välttämällä sellaisten materiaalien (esim. kalkki) käyttöä, joiden valmistuksessa vapautuu suoraan hiilidioksidia ja muita kasvihuonekaasuja. Esimerkiksi käyttämällä kierrätettyä lasia neitseellisen lasin korvaamiseen voidaan vähentää kalkin käyttöä lasin raaka-aineena, ja näin myös kasvihuonekaasupäästöt kalkein tuotannosta vähenevät. (Turkulainen & Johansson 2001.)

### **2.3.2 Laskentaperusteet**

Edellä esitettyjen konseptien avulla voidaan vähentää kasvihuonekaasupäästöjä, mutta ongelmaksi muodostuu päästösäästöjen laskeminen. Oletuksena yleensä on, että kierrätetystä materiaalista tehdyn tuotteen valmistukseen tarvitaan vähemmän energiaa ja siitä

syntyy vähemmän päästöjä kuin neitseellisestä materiaalista valmistetusta. Käytettävät prosessit ja energiamuodot voivat kuitenkin poiketa toisistaan. Myös laskennan rajauksien määrittely on tärkeää, sillä päästöt voivat muodostua hyvinkin erilaisiksi riippuen siitä, miten rajaukset tehdään.

Päästösäästölaskennoissa käytettiin seuraavanlaista lähestymistapaa: Lähtökohtana on selvittää, mitä tuotetta kierrätysmateriaalista valmistettu tuote korvaa. Tämän jälkeen verrataan uusiotuotteen valmistuksen aiheuttamia päästöjä korvattun tuotteen valmistuksen päästöihin. Useissa konsepteissa korvattu tuote ja sen valmistusprosessi on sama kuin uusiotuotteella, mutta tämä on valmistettu neitseellisistä raaka-aineista. Tällöin päästösäästö muodostuu neitseellisen raaka-aineen valmistuksen päästöistä, koska kierrätysmateriaali oletetaan nollapäästöiseksi. Mikäli valmistusprosessien energiankulutuksissa on eroja, otetaan tämä huomioon päästösäästöjen laskennassa.

Kasvihuonekaasupäästösäästöjen laskennassa tarvittavia prosessien päästö- ja energiankulutustietoja oli huonosti saatavilla. Monissa tapauksissa konsepteja käyttäviltä yrityksiltä ei ollut tietoja saatavilla tai niitä ei haluttu antaa julkisuuteen. Näin ollen jokaisen lähempään tarkasteluun valitun konseptin kasvihuonekaasupäästöjen vähentämispotentiaalinen laskennan lähtökohdat ja tarkkuus poikkesivat toisistaan riippuen tiedon laadusta ja lähteestä.

### **2.3.3 Lähemmin tarkasteltavat konseptit**

#### **Paperikuidusta rakennus- ja lämmöneristettä**

Kierrätetystä paperikuidusta valmistettavan rakennus- ja lämmöneristeen oletetaan tässä yhteydessä korvaavan neitseellisestä kivimateriaalista valmistettavaa vuorivillaa. Vuorivilla valmistetaan yli 95-prosenttisesti luonnonkivistä, ja loppuosa koostuu kovetusta hartsista ja öljystä. Molemmista lämmöneristysmateriaaleista on tehty RT-ympäristöselosteet, jotka sisältävät tietoa tuotteista ja niiden ympäristövaikutuksista (Rakennustietosäätiö RTS 2005). Tuotteiden ympäristöprofiilit kattavat tuotteen elinkaaren vaiheet raaka-ainehankinnasta tuotteen valmistaneen tehtaan ulosmenoportille. Paperin valmistuksen aiheuttamia päästöjä ei ole kuitenkaan huomioitu eristeen kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa. Näiden ympäristöselosteiden ilmoittamia päästötietoja on verrattu keskenään, jolloin on saatu arvio siitä, kuinka paljon ”paperikuidusta eristettä” -konsepti pystyy säästämään kasvihuonekaasupäästöjä verrattuna kivimateriaalista valmistettuun eristeeseen.

#### **Kierrätyslasin valmistus uusiolasiksi**

Lasia voidaan valmistaa käyttämällä ainoastaan neitseellisiä materiaaleja, ainoastaan kierrätyslasia tai kumpaakin materiaalia tietyissä suhteissa. Usein valmistuksessa käy-

tään viimeksi mainittua tapaa eli neitseellistä ja kierrätysmateriaalia käytetään yhdessä. Käytetyn materiaalin alkuperä on tärkeä, sillä uusiolasin valmistuksessa kuluu huomattavasti vähemmän energiaa kuin neitseellisen lasin valmistuksessa ja näin ollen uusiolasin valmistuksen kasvihuonekaasupäästöt ovat vähäisemmät. Tarkoituksenamme oli verrata täysin neitseellisistä raaka-aineista ja kierrätetystä lasista valmistetun lasin valmistuksen aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä. Näiden prosessien tietoja emme kuitenkaan saaneet, joten päädyimme vertaamaan lasia, jonka valmistuksessa oli käytetty 25 % kierrätettyä materiaalia, lasiin, jonka valmistuksessa oli käytetty 59 % kierrätettyä materiaalia. Energiankulutustiedot näille valmistusprosesseille olivat saatavilla kirjallisuudesta (Smith ym. 2001 ref. Chem Systems 1997), ja ne esitetään taulukossa 7. Luvut sisältävät sekä lasin raaka-aineiden että lasin valmistuksessa käytettävän energian.

*Taulukko 7. Lasinvalmistuksen energiankulutustiedot, kun kierrätetyn lasin osuus on 25 % ja 59 %.*

Energia (MJ)	Kierrätettyä lasia 25 %	Kierrätettyä lasia 59 %
sähkö	411	469
energia (yksilöimätön)	1 226	672
öljy	1 957	828
maakaasu	2 872	3 265

Energiankulutuksen erojen avulla voidaan arvioida kasvihuonekaasupäästöjen vähenemää eri polttoaineiden valmistuksen aiheuttamien päästöjen sekä Suomen sähköntuotannon päästöjen perusteella. Koska tietoa energia (yksilöimätön) -kategorian sisällöstä ei ollut, se sisällytettiin laskelmissa sähkön ja öljyn oletettiin olevan raskasta polttoöljyä. Suomen keskimääräisen sähköntuotannon (Dahlbo ym. 2005, vuosien 2000, 2001 ja 2002 perusteella laskettu), raskaan polttoöljyn valmistuksen (Ecoinvent v1.2 2005) ja käytön (SYKE 2005) sekä maakaasun valmistuksen (Ecoinvent v1.01 2003) ja käytön (SYKE 2005) päästöt energiayksikköä kohti esitetään taulukossa 8.

*Taulukko 8. Suomen keskimääräisen sähköntuotannon, raskaan polttoöljyn ja maakaasun valmistuksen sekä käytön ominaispäästöt (g/MJ).*

Energia	CO <sub>2</sub> g/MJ	CH <sub>4</sub> g/MJ	N <sub>2</sub> O g/MJ
sähkö	55,8	0,0507	0,0015
raskas polttoöljy	86,56	0,044	0,001193
– valmistus*	9,16	0,043	0,000193
– käyttö	77,4	0,001	0,001
maakaasu	65,56	0,122	0,001145
– valmistus*	9,46	0,121	0,000145
– käyttö	56,1	0,001	0,001

\* Myös infrastruktuurista aiheutuvat päästöt sisältyvät lukuihin.



Kierrätyslasin käytöstä aiheutuvat mahdolliset päästösäästöt laskettiin kertomalla taulukossa 7 olevat energiankulutustiedot taulukossa 8 esitetyillä ominaispäästökertoimilla.

### **Jätetekstiilistä mm. erilaisia mattoja ja huopia**

Jätetekstiilien uudelleenprosessoinnin aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä ei ole juurikaan arvioitu. Jotta kasvihuonekaasupäästöjen vähentämispotentiaali saataisiin selville, jätetekstiileistä tuotteita -valmistusprosessin energiankulutuksesta aiheutuvia päästöjä verrataan neitseellisen kuidun ja siitä valmistettavien tuotteiden valmistuksen aiheuttamiin päästöihin. Kierrätetystä kuidusta valmistetun tuotteen kohdalla otetaan siis huomioon ainoastaan tuotteen valmistusprosessin energiankulutus, kun vastaavasti neitseellisestä kuidusta valmistetussa tuotteessa otetaan huomioon sekä neitseellisen kuidun että itse tuotteen valmistus. Neitseellisistä kuiduista tarkasteluun valittiin polypropyleenikuitu, josta valmistetaan öljynimeytysmattoja. Neitseellisen polypropyleenikuidun valmistukseen kuluu noin 73 MJ energiaa yhtä tuotettua kiloa kohti. Samalla syntyy 1 700 g hiilidioksidipäästöjä, 12 g metaania ja alle 1 mg dityppioksidia (Plastics Europe 2005).

Mattojen, huopien yms. valmistusprosessi on lähes samanlainen, käytettiinpä raaka-aineena neitseellistä tai kierrätyskuitua. Prosessien energiankulutuksessa ero syntyy sidontavaiheessa, jossa neitseellinen materiaali lämpösidotaan ja vastaavasti kierrätysmateriaali neulataan. Neitseellisen materiaalin lämpösidonnan on karkeasti arvioitu vaativan energiaa noin kaksi kertaa enemmän kuin kierrätyskuidun vaatiman neulauksen (Saha 2005).

Sekä kierrätetystä että neitseellisestä materiaalista valmistettujen mattojen ja huopien valmistusprosessin päästöt voidaan laskea prosessin vaatiman energiankulutuksen avulla käyttämällä Suomen sähköntuotannon keskimääräisiä päästökertoimia (Dahlbo ym. 2005) (päästökertoimet taulukossa 8). Neitseellisestä materiaalista valmistetun tuotteen aiheuttamat kokonaispäästöt saadaan, kun prosessikohtaisiin päästöihin lisätään polypropyleenikuidun valmistuksen aiheuttamat päästöt.

### **Jätemuovista muoviprofiiliksi**

Uusiomuovituotteista ei juuri ole tehty ympäristöprofiileja (Kärhä 2005). Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämispotentiaalia voidaan kuitenkin arvioida vertaamalla uusiomuovituotteen valmistuksen energiankulutusta joko vastaavan neitseellisestä raaka-aineesta valmistetun tuotteen valmistukseen tai samaan käyttökohteeseen tarkoitettun betonipalkin ja teräksisen putkiprofiilin valmistukseen. Kärhän (2005) mukaan uusiomuoviprofiilin valmistaminen esim. Muovix-konseptissa kuluttaa sähköä noin 2–3 MJ työstettyä muovikiloa kohti, kun vastaavan tuotteen energiankulutus neitseellisestä muovista valmistettuna on yli 50 MJ/kg. Betonipalkin valmistaminen puolestaan kulut-

taa uusiutumaton energiaa 3,4 MJ/kg ja teräksisen putkiprofiilin valmistaminen 8,7 MJ/kg (Rakennustietosäätiö RTS 2005). Teräksisen putkiprofiilin valmistuksessa käytetty energiamäärä on suhteellisen pieni. Tämä johtuu siitä, että siinä on otettu huomioon putkiprofiilituotteiden kierrätysaste (90 %), eli käytännössä putkiprofiili valmistetaan kierrätetystä teräksestä, ja näin ollen energiankulutus on vähäinen. Energiankulutuksen erojen avulla voidaan arvioida kasvihuonekaasupäästöjen vähenemää Suomen sähköntuotannon päästöjen perusteella. Suomen keskimääräisen sähköntuotannon päästöt esitettiin edellä taulukossa 8 (Dahlbo ym. 2005).

### **Kierrätysmetallin valmistus uusiometalliksi**

Päästösäästölaskelmat kierrätetyistä metalleista tehdään teräkselle. Todellisuudessa metallinvalmistuksessa käytetään aina uusioraaka-ainetta, eli pelkästä neitseellisestä raaka-aineesta valmistettua metallia ei käytännössä ole. Toisaalta taas ilman neitseellistä metallia ei myöskään olisi uusiometallia. Tämän ajattelutavan mukaan neitseellisen metallin valmistuksen päästöt pitäisi allokoida myös uusiometallin valmistukselle. Näin tehtäessä metallin valmistuksen päästöt olisivat aina samat riippumatta siitä, kuinka paljon neitseellistä ja uusioraaka-ainetta tuotteessa käytettäisiin. (IISI 2002.)

Tässä työssä tarkoituksena on kuitenkin havainnollistaa neitseellisen ja uusiotuotteen valmistuksen päästöeroja, joten laskelmissa verrataan neitseellisestä raaka-aineesta valmistetun metallin päästöjä kierrätetystä metallista valmistettuun uusiometalliin. Verratavat tuotteet eivät ole aivan samanlaisia, sillä neitseellisestä metallista valmistettu tuote on kuumavalssattu kela ja kierrätysmetallista valmistettu tuote on terästanko. Tuotteiden valmistusprosessien erilaisuuden takia päästösäästöarvioita voidaan pitää suuntaa antavina. Sekä neitseellisen metallin että kierrätysmetallin valmistuksen aiheuttamat päästöt on saatu International Iron and Steel Institutelta (IISI 2004), joka kokoaa elinkaariinventaariotietoa raudan ja teräksen valmistuksesta.

#### **2.3.4 Tulokset**

Laskelmien mukaan kaikilla tarkempaan käsittelyyn valituilla konsepteilla on potentiaalia vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Konseptien aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt ja päästösäästöt tuotettua tuotetonnia kohti ovat taulukossa 9. Taulukossa 10 esitetään samat päästöt ja päästösäästöt hiilidioksidiekvivalenteina. Taulukoista nähdään, että suurimmat kasvihuonekaasupäästöt aiheutuvat neitseellisen muovin ja teräksen valmistuksesta. Nämä samat materiaaliryhmät mahdollistavat myös suurimmat päästösäästöt. Tarkastelu osoitti myös, että tekstiilien uusiokäytöllä voidaan saavuttaa suuret päästösäästöt, varsinkin silloin kun sillä korvataan muovia raaka-aineena. Lasin osalta kasvihuonekaasupäästösäästöt jäävät vähäisiksi, koska vertailu- ja uusiotuote sisältävät molemmat kierrätyslasia. Kaik-

kien konseptien päästösäästöt ovat todellisuudessa pienemmät kuin taulukossa esitetään. Tämä johtuu siitä, että uusiotuotteelle ei ole allokoitu neitseellisen materiaalin valmistuksen aiheuttamia päästöjä. Myöskään kierrätysmateriaalin keräyksestä ja kuljetuksesta aiheutuvia päästöjä ei ole otettu huomioon laskelmissa.

Taulukko 9. Tarkasteltujen konseptien mahdollistamat KHK-päästösäästöt (kg/t).

Konsepti	CO <sub>2</sub> (kg/t)			CH <sub>4</sub> (kg/t)			N <sub>2</sub> O(kg/t)		
	Vertailu- tuote	Uusio- tuote	<b>Päästö- säästö</b>	Vertailu- tuote	Uusio- tuote	<b>Päästö- säästö</b>	Vertailu- tuote	Uusio- tuote	<b>Päästö- säästö</b>
<b><i>Puukuitupohjainen</i></b>									
– vuorivilla vs. paperikuidusta valmistettu lämmöneriste	970	190	<b>780</b>	0,7	0,2	<b>0,5</b>	0,018	0,1	<b>-0,082</b>
<b><i>Lasi</i></b>									
– 25 % uusiolasin osuus vs. 59 % uusiolasin osuus lasissa	449	349	<b>100</b>	0,520	0,493	<b>0,027</b>	0,0110	0,0097	<b>0,0013</b>
<b><i>Tekstiili</i></b>									
– neitseellisestä polypropreenikuidusta matoksi vs. kierrätetystä tekstiilikuidusta matoksi*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b><i>Muovi</i></b>									
– neitseellinen muovi vs. muoviprofiili	2 790	167	<b>2 623</b>	2,535	0,152	<b>2,383</b>	0,075	0,0045	<b>0,0705</b>
– betonipalkki vs. muoviprofiili	190	167	<b>23</b>	0,172	0,152	<b>0,02</b>	0,0051	0,0045	<b>0,0006</b>
– teräspalkki vs. muoviprofiili	485	167	<b>318</b>	0,441	0,152	<b>0289</b>	0,013	0,0045	<b>0,0085</b>
<b><i>Metalli</i></b>									
– neitseellinen teräs vs. kierrätysteräs	2 128	418	<b>1 710</b>	0,528	0,751	<b>-0,223</b>	0,112	0,021	<b>0,091</b>

\* Luottamuksellinen tieto.

Taulukko 10. Lähemmin käsiteltyjen konseptien päästöt ja päästösäästöt hiilidioksidiekvivalentteina (CO<sub>2</sub>-ekv.) tuotetonna kohti sekä kyseisten jakeiden määrä kotitalouksien sekajätteestä (Global warming potential -arvot, IPCC 1996).<sup>2</sup>

Konsepti	CO <sub>2</sub> -ekv. vertailutuote	CO <sub>2</sub> -ekv. uusiotuote	CO <sub>2</sub> -ekv. päästösäästö	Jakeen laskennallinen määrä Suomen kotitalouksien sekajätteessä (t)
<b>Puukuitupohjainen</b>				136 353*
– vuorivilla vs. paperikuidusta valmistettu lämmöneriste	990	225	765	
<b>Lasi</b>				23 714
– 25 % uusiolasin osuus vs. 59 % uusiolasin osuus lasissa	463	362	101	
<b>Tekstiili</b>				23 714
– neitseellisestä polypropreenikuidusta matoiksi vs. kierrätetystä tekstiilikuidusta matoiksi	2 182	115	2 067	
<b>Muovi</b>				82 998
– neitseellinen muovi vs. muoviprofiili	2 866	172	2 695	
– betonipalkki vs. muoviprofiili	195	172	24	
– teräspalkki vs. muoviprofiili	498	172	327	
<b>Metalli</b>				23 714
– neitseellinen teräs vs. kierrätysteräs	2 174	440	1 734	

\* Puu ja keräyskelpoinen paperi ja pahvi.

## 2.4 Liiketoimintamahdollisuudet

Kaikella kierrätystoiminnalla voidaan katsoa olevan tulevaisuudessa ns. yhteiskunnallista tilausta. Luonnonvarojen ehtyminen ohjaa yhteiskunnan toimintoja kohti materiaalien tehokasta hyödyntämistä. Ihmisten ympäristötietoisuuden lisääntymisen voidaan myös odottaa kasvattavan uusiotuotteiden kysyntää. Tulevaisuuden tutkimuskeskuksen mukaan yksi tulevaisuuden kehitystä ohjaavista trendeistä on niukentumisen megatrendi (Hietanen 2005). Tämä tarkoittaa materiaalien rajallisuuden aiheuttamaa hintojen nousua ja siitä johtuvaa energian ja materiaalien käytön tehostumista. Jätehuollossa trendi heijastuu Hietasen (2005) mukaan materiaali- ja tuoteryhmäkohtaisen jätteen hyödyntämisen yleistymisenä. Yleisesti ottaen voidaankin todeta, että materiaalikierrätyksen liiketoimintaedellytykset paranevat tulevaisuudessa, ainakin pitkän aikavälin tarkasteluissa.

Lasinkierrätyksellä ja keräyslasista valmistettavilla uusiotuotteilla on tulevaisuudessa entistä suuremmat liiketoimintamahdollisuudet. Kierrätetyn lasin käyttö alentaa ener-

<sup>2</sup> Vuoden 1996 GWP-arvoja käytetään ilmastopimuksen mukaisessa päästöjen raportoinnissa.

giakustannuksia sekä vähentää neitseellisen materiaalin käytön tarvetta. Neitseellisen lasin raaka-aineiden hintojen kohotessa kierrätetyn lasin kysyntä nousee huomattavasti sen edullisuuden vuoksi. Jotta kierrätettyä materiaalia saataisiin tarpeeksi, olisi lasinkierrätystä tehostettava entisestään. Samat näkökohdat pätevät myös muihin materiaaleihin. YTV:n alueella tehdyssä kotitalouksien sekajätteen koostumusta käsitelleessä tutkimuksessa arvioitiin, että mikäli syntypaikkalajittelu toimisi kotitalouksissa tehokkaasti, voisi olemassa olevalla keräysverkostolla vähentää sekajätteen määrän noin 40 %:iin nykyisestä (YTV 2004).

Liiketoimintaa syntyy kuitenkin vain, mikäli toiminta on toimijoille kannattavaa. Yhteiskunta voi lisätä toiminnan kannattavuutta erilaisilla ohjaukeinoilla näin haluttaessa.

Konseptien vientimahdollisuudet riippuvat teknologisen osaamisen lisäksi myös monesta muusta seikasta, kuten tuotteen toimivuudesta ja hintakilpailukyvästä, kohdemaan asiakastarpeista sekä paikallisen yhteistyökumppanin löytämisestä, motivoinnista ja jatkuvasta seurannasta (Kangas 2005).

Kaikkien edellä tarkasteltujen kierrätyskonseptien osalta liiketoimintamahdollisuuksiin vaikuttavat olennaisesti tuotteiden markkinat Suomessa ja ulkomailla. Kierrätystuotteista mm. öljynimeytysmatot, muoviprofiilit ja lämmöneristeet ovat tuotteita, joille on kysyntää myös Suomen ulkopuolella. Markkinat ovat kuitenkin rajalliset tuotteille, joita ei ole suunnattu yksittäisille kuluttajille.

## **2.5 Case-tarkastelut: muovin ja tekstiilin kierrätys**

Edellä esitettyjen laskelmien pohjalta materiaalikierrätyksen case-tarkasteluun valittiin kaksi konseptia, joista yksi hyödyntää muovijätettä ja toinen tekstiilijätettä. Alustavien laskelmien mukaan sekä muovin että tekstiilien kierrätyksellä on runsaasti kasvihuonekaasupäästöjen säästöpotentiaalia (taulukko 10). Muovi ja tekstiilit ovat kierrätysmielessä suhteellisen uusia materiaaleja, eikä niiden hyödyntäminen ole vielä yhtä vakiintunutta kuin metalleilla, lasilla tai puukuiduilla. Case-tarkasteluun valitussa jätemuovin hyödyntämiskonseptissa valmistetaan muoviprofiilia ja tekstiilin hyödyntämiskonseptissa öljynimeytysmattoja. Case-konseptit ja niiden mahdollistamat kasvihuonekaasupäästösäästöt on raportoitu yksityiskohtaisesti erillisessä julkaisussa (Korhonen & Dahlbo 2007).

Case-konseptien mahdollistaman kasvihuonekaasupäästöjen säästöpotentiaalnin arviointiin käytettiin elinkaariarviointimenetelmää. Kierrätetystä materiaalista valmistetun tuotteen elinkaaren aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä verrattiin samaan käyttötarkoitukseen valmistetun neitseellisen tuotteen elinkaaren aikaisiin päästöihin. Muoviprofiilin kohdalla vertailutuote oli kyllästetty puu, ja kierrätetystä tekstiilistä valmistetun öljynimeytysmaton vertailussa käytettiin neitseellisestä polypropyleenikuidusta valmistettua öljynimeytysmattoa. Arvioinnissa huomioitavat elinkaarivaiheet olivat raaka-aineiden val-

mistus, tuotteen valmistus, energiankulutus, jätehuolto ja kuljetukset. Myös energian ja materiaalin hyötykäytöstä aiheutuneet päästösäästöt huomioitiin. Laskennassa jätteen poltosta saatavalla energialla oletettiin korvattavan Suomen keskimääräistä sähkön- ja lämmöntuotantoa. Sekä muovin- että tekstiilinkierrätyskonseptien päästösäästöt laskettiin eri jätteenkäsittelyvaihtoehdoille, joita olivat jätteen tai lopputuotteen poltto energiaksi tai sen kaatopaikkasijoitus.

Tulokset osoittivat, että materiaalin kierrätyksellä voidaan vähentää kasvihuonekaasupäästöjä tietyin edellytyksin (taulukko 11). Jättemuovin prosessointi muoviprofiiliksi vähentää kasvihuonekaasupäästöjä silloin, jos muovijäte polton sijaan hyödynnetään muoviprofiilina ja jos käytetty muoviprofiili loppusijoitetaan kaatopaikalle. Tekstiilikonseptin tulokset osoittavat, että tekstiilin kierrätyksellä saavutetaan päästösäästöjä, kun tekstiilillä korvataan neitseellistä muovia.

Bioperäinen vertailutuote sai fossiilisperäiseen kierrätysmateriaaliin verrattuna kasvihuonekaasupäästölaskennassa etua mm. kun jätteeksi päätyneestä tuotteesta saatavalla energialla korvattiin fossiilisperäistä energiaa. Molempien kierrätysmateriaalien tulokset olisivat siten osoittautuneet hyvinkin erilaisiksi, jos vertailutuotteiksi olisi valittu jokin muu tuote, esim. muoviprofiilissa fossiilisperäinen tuote bioperäisen sijalle. Myös jätteen tai lopputuotteen poltolla korvattavan energian tuotantotavalla on merkitystä. Jos korvattavana energianlähteenä olisi käytetty uusiutuvaa energiaa Suomen keskimääräisen sähkön- ja lämmöntuotannon sijaan, sekä muovin että tekstiilin kierrätys tuottaisi enemmän päästösäästöjä. Tulokset kuvastavat vain edellä esitettyjä case-tilanteita, joten niitä ei voi yleistää koskemaan kaikkea muovin ja tekstiilin kierrätystä.

*Taulukko 11. Muovi- ja tekstiilijätteen kierrätyksen mahdollistama kasvihuonekaasupäästöjen säästöpotentiaali. Plusmerkki tarkoittaa päästösäästöjä ja miinusmerkki vastaavasti tilannetta, jossa päästösäästöjä ei synny. Merkkien määrä vahvistaa vaikutusta.*

	<b>Päästösäästö- potentiaali</b>
<b>Case: Muovi</b>	
<i>Erilaiset jätteenkäsittelyvaihtoehdot:</i>	
• Jättemuovia ei polteta; muoviprofiili poltetaan.	-
• Jättemuovi kaatopaikalle; muoviprofiili poltetaan.	- - -
• Jättemuovi ei kaatopaikalle; muoviprofiili kaatopaikalle.	-
• Jättemuovia ei polteta; muoviprofiili kaatopaikalle.	+
<b>Case: Tekstiili</b>	
<i>Erilaiset jätteenkäsittelyvaihtoehdot:</i>	
• Tekstiilijätettä ei polteta; kierrätetystä tekstiilistä valmistettu matto poltetaan.	+
• Tekstiilijäte ei kaatopaikalle; kierrätetystä tekstiilistä valmistettu matto poltetaan.	+ +

## 3. Biojätteen käsittely ja hyötykäyttö

Biojätehuollon, kuten yleisesti jätehuollon, vaatimukset ovat tiukkenemassa sekä Suomessa että muualla Euroopassa. EU:ssa astuu lähivuosina asteittain voimaan uusia tai jo aiemmin määriteltyjä biojätehuoltoon vaikuttavia säädöksiä. Mm. seuraavat seikat tulevat vaikuttamaan biojätehuollon järjestämiseen:

- Kaatopaikkadirektiivi rajoittaa biohajoavan jätteen kaatopaikkasijoitusta.
- Jätteenpolttodirektiivi kiristää jätteiden polttoon liittyviä vaatimuksia.
- Biohajoavista jätteistä tehtyjen, hyödynnettävien maaparannusaineiden laatuvaatimukset ja laadunvalvonta kiristyvät.
- Yhdyskuntajätevesien biologinen käsittely laajenee koskemaan myös pienempiä jätevesipuhdistamoja.
- Eläinperäisten jätteiden käsittelyvaatimukset kiristyvät (sivutuoteasetus).<sup>3</sup>

Uusien määräysten seurauksena käsiteltävien biojätteiden määrä kasvaa Suomessa ja muualla Euroopassa. Käsittelyn tasovaatimukset ja kustannukset nousevat. Lopputuotteiden hyötykäyttö materiaalina saattaa myös hankaloitua.

### 3.1 Osa-alueen tavoitteet ja toteutus

Tässä osatehtävässä kartoitetaan ja kuvataan suomalaisia biojätteiden käsittelykonsepteja ja arvioidaan biojätteen käsittelyn mahdollisuudet vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Kustannustehokkuutta arvioidaan toteutuneiden laitusratkaisujen kustannustietojen perusteella. Yhdyskuntajätteen biojäteosuuden lisäksi tarkastellaan myös maatalouden biojätettä ja yhdyskuntajäteveden käsittelyn lietteitä, koska samat käsittelykonseptit soveltuvat kaikille näille jakeille.

#### 3.1.1 Biojäte yhdyskuntajätteessä

Suomessa syntyy vuosittain useita satoja tuhansia tonneja biojätettä. Noin 80 % biojätteestä on kompostoituvaa keittiöjätettä ja noin 20 % kompostoituvaa puutarha- ja puisto- jätettä (Piisilä 2005). Yhdyskuntien biojätteiden erilliskeräily aloitettiin 90-luvun alkupuolella asteittain eri puolella Suomea. Biojätettä erilliskerättiin vuonna 2005 noin

---

<sup>3</sup> Sivutuoteasetus edellyttää, että käsittelylaitos pystyy omavalvontajärjestelmällä osoittamaan mullan raaka-aineen alkuperän ja käsittelyprosessin. Esim. kaupan ja kotitalouksien biojäte, kolmansista maista tuleva biojäte sekä erilaiset lietteet on pidettävä erillään, koska niillä on eri käsittelyvaatimukset ja käytösmahdollisuudet.

210 000 t. Siitä noin 80 % hyödynnettiin materiaalina ja noin 20 % päätyi kaatopaikalle. Lisäksi biojätettä joutui sekajätteen mukana kaatopaikalle vähintään yhtä paljon kuin erilliskeräyksellä saatiin talteen, todennäköisesti enemmänkin. Myös omatoimisella biojätteen kompostoinnilla on pitkät perinteet Suomessa.

### 3.1.2 Muita biojätteitä

Tässä osatehtävässä tarkastellaan myös maatalouden lantoja ja jätevedenpuhdistamojen lietteitä. Niiden potentiaaliset käsittelymenetelmät ovat samantyyppisiä kuin biojätteen käsittelykonseptit, ja niitä käsitellään jossakin määrin yhdessä biojätteiden kanssa.

Yhdyskuntien jätevesipuhdistamolietettä syntyy vuosittain noin miljoona tonnia. Kuiva-aineeksi laskettuna määrä on 160 000 tonnia. Lietteen hyödyntämistavoite Suomessa oli 90 % vuoteen 2005 mennessä. Tilastollisesti tavoite on saavutettu, koska kaikki kompostointiin toimitettu liete lasketaan hyödynnetyksi. Käytännössä nykyisillä lietteen hyödyntämis- ja käsittelymenetelmillä ei päästä tavoitteisiin. Kompostoimalla tai mädättämällä käsitellystä lietteestä 82 % varastoidaan kysynnän vähyden vuoksi. Osa tästä hyödynnetään kasvualustana viherrakentamisessa ja kaatopaikkojen peitemateriaalina. Maanparannusaineena hyödynnetään 12 % ja 6 % loppusijoitetaan kaatopaikoille. Jatkossa kompostoitujen lietteiden käyttötarve esim. kaatopaikkojen peitemateriaalina vähenee edelleen kaatopaikkojen lukumäärän pienentyessä. Siksi tarvittaneen uusia hyödyntämis- ja käsittelymenetelmiä, kuten lietteen lämpökuivaus ja hyödyntäminen polttoaineena energiantuotannossa (Ympäristöministeriö 2005).

Lietteen aumakompostointi ja pitkäaikainen varastointi saattavat aiheuttaa merkittäviä kasvihuonekaasupäästöjä (Flodman 2002, Börjesson & Svensson 1997). Tämä alue tunnetaan huonosti, koska päästöarviointeja ja -mittauksia on tehty erittäin vähän. Jos nykyiset käsittelymenetelmät todella aiheuttavat merkittäviä kasvihuonekaasupäästöjä, tämä tulee vaikuttamaan uusien hyödyntämis- ja käsittelymenetelmien kehittämistarpeisiin. EY:n puhdistamolietedirektiiviä ollaan uudistamassa tavoitteena puhdistamolietteen haitaton ja kestävä hyödyntäminen. Direktiivin soveltamisalaan kuuluisi kaikki puhdistamolietteen maaperässä tapahtuva hyödyntäminen maanviljelystä maaperän kunnostamiseen. Myös valmisteilla oleva direktiivi biohajoavien jätteiden biologisesta käsittelystä koskee lietteiden mädätystä ja kompostointia sekä biohajoavista jätteistä valmistettuja komposti- ja muita tuotteita ja niiden hyödyntämistä.

Suomessa syntyy lantaa noin 21,5 milj. t vuodessa (Ympäristöministeriö 2002). Maa-seutuelinkeinojen lannanhyödyntämistavoite oli 1990-luvun loppupuolella 92 %, ja vuodelle 2005 asetettu hyödyntämistavoite on peräti 100 %. Maatiloilla tuotettava biokaasu on noussut esille yhtenä uutena vaihtoehtona vähentää maatalouden ympäristöhaittoja,



edistää uusiutuvan energian käyttöä ja vähentää lannankäsittelyn kasvihuonekaasupäästöjä. Ruotsissa arvioidaan biokaasupotentiaalin olevan vuodessa peräti 17 TWh, josta 80 % voitaisiin tuottaa maatalouden sivutuotteista. Vuonna 2003 tuotettiin noin 1,5 TWh biokaasua, lähinnä kaatopaikoilla ja jätevedenpuhdistamoilla. Suomessa vastaava tuotantoluku oli noin 0,7 TWh ja tuotantotavat samantyyppiset kuin Ruotsissa.

## **3.2 Kartoitetut konseptit**

Kansallisessa strategiassa biohajoavan jätteen kaatopaikkakäsittelyn vähentämisestä esitetään biojätteelle seuraavia mahdollisia käsittelymenetelmiä:

- erilliskerätyn biojätteen kompostointi ja mädätys sekä hyvänlaatuisen lopputuotteen hyödyntäminen kasvualustoissa ja maaperässä
- mekaanis-biologisissa laitoksissa kierrätyspolttoainevirrasta erotetun biohajoavan jakeen käsittely biologisesti pysyväksi kaatopaikkajätteeksi
- hyödyntäminen energiatuotannossa.

### **3.2.1 Aumakompostointi**

Vanhin suurten jätemäärien kompostointitapa on kasa- tai aumakompostointi ulkoilmasa. Aumojen korkeus on yleensä 1,5–2,5 m. Minimikoon määräävät lämpöhäviöt ja maksimikoon materiaalin tiivistyminen. Aumat käännetään säännöllisesti ja ilmastetaan mahdollisesti myös muilla tavoin. Aumakompostointi on edullista, mutta heikkoutena ovat pitkä käsittelyaika, suuri tilantarve, kompostointiprosessin epätasaisuus ja hajuhaitat. Lietteitä kompostoidaan yleisesti aumoissa ja erilliskeräilty biojäte jälkikompostoidaan usein aumakompostointina kaatopaikalla. Uusien tutkimustulosten mukaan saattaa olla perusteltua minimoida biojätteen käsittely ja varastointi ulkona aumoissa kasvihuonekaasupäästöjen takia (Beck-Friis 2001). Myös pelko erilaisten tautien, kuten lintuinfluenssan, leviämisestä kompostin kautta (esim. lintujen ulosteet saastuttavat jo steriiliksi todetun kompostin) tuo uusia haasteita biojätteiden avokäsittelylle.

### **3.2.2 Laitosmainen käsittely, aerobinen**

Suomessa rakennettujen kompostointilaitosten pääasialliset laitostoimittajat ovat olleet Vapo Oy ja Rumen Oy (nykyisin fuusioitu osaksi ruotsalaista ECS:ää, European Composting Systems Ab:tä). Vapo Oy toimittaa tunnelikompostointilaitoksia ja Rumen Oy rumputekniikalla sekä rumpu- ja tunnelitekniikalla toimivia laitoksia. Taulukossa 12 esitellään Vapo Biotech Oy:n ja Rumen Oy:n Suomeen toimitetut kompostointilaitokset, yhteensä 23 kpl.

*Taulukko 12. Vapo Biotech Oy:n ja Rumen Oy:n Suomeen toimitettuja kompostointilaitoksia.*

<b>Kohde</b>	<b>Kapasiteetti</b>	<b>Käsiteltävä materiaali</b>
Hanko	15 000 t	puhdistamolietteet ja teollisuuden lietteet
Himanka	12 500 t	biojäte, puhdistamo- ja teollisuuslietteet, turkiseläinten lanta
Joutseno	34 500 t	biojäte, puhdistamoliete, teollisuuden lietteet
Kitee	2 000 t	biojäte, puhdistamoliete
Korkeasaari	600 t	eläinten lanta, kasvijätteet, kuivikkeet ja biojätteet, jotka kompostoidaan yhdessä
Mikkeli	5 900 t	biojäte, puhdistamoliete, teollisuuden lietteet,
Jyväskylä	34 000 t	biojäte ja puhdistamoliete, jotka kompostoidaan erikseen
Mäntsälä	2 000 t	puhdistamoliete
Nurmijärvi	20 000 t	mädätetty puhdistamoliete
Rovaniemi	7 600 t	puhdistamoliete
Turku	28 000 t	puhdistamoliete
Varkaus	8 000 t	biojäte ja puhdistamoliete
Espoo	30 000 t	biojäte
Jyväskylä (koelaitos)	2 000 t	tutkimuskäytössä
Hankasalmi	800 t	biojäte
Heinolan kaupunki	6 000 t	jätevesiliete
Hyvinkää	20 000 t	biojäte
Kuhmoinen	300 t	jätevesiliete
Liperi	2 200 t	jätevesiliete
Orivesi	1 600 t	jätevesiliete
Oulu	6 000 t	biojäte
Rautjärvi	1 000 t	jätevesiliete
Siilinjärvi	5 500 t	jätevesiliete

Bioteräs Oy toimitti 1980-luvulla runsaasti rumpukompostoreita maatalouskäyttöön, mutta toiminta on loppunut. 1990-luvulla monet pienehköt yritykset tarjosivat rumpukompostoreita vaihtelevalla menestyksellä. Nykyisin kompostointi- ja biokaasulaitoksia markkinoivat myös suunnittelu- ja insinööritoimistot. Lisäksi ollaan kokeilemassa ulkomailta tuotuja ns. kevyitä kompostointiratkaisuja (membraaneja, muoviputkia jne.). Uusien laitosten tekniikka näyttää yhä useammin olevan ulkomaista alkuperää. Esimerkiksi YTV:n uuden laitoksen prosessilaitteiden suunnittelusta ja toimittamisesta vastaa saksalainen Horstmann GmbH Co. KG Division Recyclingtechnik.

### **Tunnelikompostointi**

Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunnan (YTV) Ämmässuolla sijaitseva ensimmäinen kompostointilaitos otettiin käyttöön 1998, ja keväällä 2007 alueelle on valmistunut uusi kompostoinnin laajennusosa.

YTV:n uudessa kompostointilaitoksessa biojäte otetaan vastaan liikkuvalla lattialle, jota pitkin se siirtyy murskaimelle. Lisäksi osa biojätteestä vastaanotetaan esikäsitellyttilan lattialle, josta se siirretään pyöräkuormaajalla liikkuvalla lattialle. Murskaimen jälkeen hihnalla on tilavuusmittaus, jonka mukaan biojätteen joukkoon lisätään tukiainetta, joka on kanto-, risu- tai rakennushaketta. Biojäte-tukiaineseos jatkaa matkaa hihnaa pitkin homogenisointi-seularumpuun. Seulaylite murskataan ja lisätään tämän jälkeen seulaalitteeseen. Seos jatkaa matkaa hihnoja pitkin erilliseen tunnelihalliin.

Tunnelihallissa, joka koostuu 15 erillisestä tunnelista (28 m x 6 m x 5 m), biojäte nousee hihnojen avulla toiseen kerrokseen tunneleiden päälle, josta se tiputetaan automaattisesti kulloinkin tyhjänä olevaan tunneliin. Automaattinen täyttölaitte täyttää tunnelin tasaisesti kerroksittain 2,5 metrin korkeuteen. Täyttökorkeuden ollessa valmis katossa oleva täyttöaukko ja edessä oleva ovi suljetaan ja massan koneellinen ilmastus aloitetaan. Tunnelin maksimitäyttökorkeus on 3 metriä. Hygienisointi tunnelissa tapahtuu määriteltyjen kriteerien yli 55 asteessa olevalla lämpötilalla.

Tunnelissa oleva massa siirretään kahden viikon prosessoinnin jälkeen toiseen tunneliin automaattisella tunnelintyhjennyslaitteella ja hihnoja pitkin. Siirrettävästä seoksesta otetaan näytteitä, joista mitataan kosteus ja pH. Kolmen viikon tunnelissa olon jälkeen kompostipanos otetaan tunnelista automaattisella tunnelintyhjennyslaitteella ja siirretään hihnoja pitkin jälkikäsitelyrumpuseulaan. Seulaylite kierrätetään tukiaineena uudelleen kompostointiprosessiin. Seulottu alite kuljetetaan pyöräkuormaajalla vanhalle kompostointilaitokselle jälkikompostoitavaksi kahden viikon ajaksi. Lopuksi komposti siirretään pyöräkuormaajalla aumakentälle jälkikypsyttäväksi.

**Turun tunnelikompostointilaitoksessa** käsitellään Turun jätevedenpuhdistamon esiselkeytyksessä erotettua lietettä. Laitos on rakennettu väliaikaiseksi noin 5 vuoden toiminta-ajalle (Jaakko Pöyry Infra 2004). Jätevesilietteen ja tukiaineen tilavuusosin perustuva seossuhde on likimain 1:2. Käytetystä tukiaineesta pääosa on kierrätyslaketta. Jotta kompostiin saataisiin murumainen rakenne, lisätään seokseen turvetta noin 15 % hakkeen määrästä. Liette-tukiaineseosta kompostoidaan laitoksessa 10 vrk ajan. Tunnelista kompostimassa siirretään kompostointihallin sisällä olevalle ilmastuslattialle kypsymään. Massasta rakennetaan noin 4 m kerros, jonka läpi imetään ilmaa ylhäältä alaspäin. Tämä vaihe kestää myös 10 vrk. Laitoskäsittelyn jälkeen komposti seulotaan rumpuseulalla ja seula-alite siirretään ulos jälkikypsytyssaumoihin, joissa materiaali kypsytetään noin 6 kk. Lopputuotteesta noin puolet käytetään mullan valmistukseen ja noin puolet toimitetaan polttoon. Hajujen käsittelyyn laitoksella käytetään happopesuria ja biosuodatusta.

Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy:n ja LV Lahden Vesi Oy:n perustama yhtiö Kujalan Komposti Oy on rakennuttanut **Lahden Kujalaan tunnelikompostointilaitoksen**. Laitos

otettiin käyttöön 2005. Biojäte käsitellään kolmessa tunnelivaiheessa yhteensä 5,5 viikkoa ja lietteet kahdessa tunnelivaiheessa yhteensä kolme viikkoa. Laitoksella on mahdollista nostaa tarvittaessa kompostin lämpötilaa ulkoisella lämmönlähteellä, jotta eläinsivutuoteasetuksen mukainen lämpötila 70 °C saavutetaan koko massassa vähintään tunnin ajaksi. Komposti jälkikypsytetään ulkokentällä. Kujalan laitoksessa käsitellään kaikki Päijät-Hämeen erilliskerätyt biojätteet sekä LV Lahden Vesi Oy:n ja seitsemän ympäristökunnan jätevedenpuhdistamoiden lietteet, yhteensä noin 36 000 tonnia vuodessa.

Myös **Pirkanmaan jätehuolto Oy:n membraanikompostointilaitos** on periaatteeltaan tunnelikompostointilaitos. Perinteisestä tunnelilaitoksesta poiketen laitoksella on avattava membraanikatto. Katto päästää ilman lävitse mutta rajoittaa sadevesien pääsyä kompostointimassaan. Varsinaista hajukaasujen käsittelyä laitoksessa ei ole, mutta kompostista nouseva kostea ilma ja sen sisältämät hajuyhdisteet tiivistyvät membraanin alapintaan. Hengittävän katon avulla saadaan suunnitelmien mukaan poistettua yli 90 % hajuista. Muualla Euroopassa vastaavia laitoksia on Saksassa 25 ja Ruotsissa 5 (Jaakko Pöyty Infra 2004).

### **Rumpukompostointi**

**Oulussa** biojätteet kompostoidaan rumpukompostointilaitoksessa. Prosessi käynnistetään kompostointirummussa ja kypsyttämistä jatketaan aumakompostointina kompostointikentällä. Laitoksen prosessi jakautuu neljään päävaiheeseen: jätteen vastaanotto ja esikäsittely, rumpukompostointi, jälkikypsytyksensä sekä tuotteistus ja jälkikäsittely.

Biojätteen ja tukiaineen tilavuusosiin perustuva seossuhde on likimain 1:1. Kompostointilaitoksessa on 3 kpl tilavuudeltaan 125 m<sup>3</sup> kompostointirumpuja. Materiaalin viipymäaika rummuissa on noin 5–7 vrk. Kompostilaitoksen hajukaasujen käsittelyssä käytetään otsonointia. Rummusta imetty ilma johdetaan kokoojaputkeen, joka toimii otsonin ja hajukaasujen reaktioilana. Tämän käsittelyn jälkeen kaasu johdetaan ulos.

Rumpukäsittelyn jälkeen kompostimassa siirretään ulos jälkikypsytyksentälle, jossa sitä kypsytetään noin vuoden ajan. Aumoja käännetään noin kahden viikon välein. Kypsytyksen jälkeen kompostimassaan sekoitetaan turvetta ja kivennäismaata. Seostettu mulatuote käytetään suljettavan kaatopaikka-alueen maisemointiin.

### **Yhdistetty rumpu- ja tunnelikompostointi**

**Hyvinkään kompostointilaitos** on toimintaperiaatteeltaan yhdistetty rumpu- ja tunnelikompostointilaitos. Materiaalin viipymäaika rummuissa on 3–5 vuorokautta, ja tunnelikompostointivaihe kestää 7–11 vuorokautta. Tämän jälkeen kompostimassa siirretään

ulos jälkikypsytykseen ja aumat käännetään 1–2 kertaa jälkikypsytyksen aikana (Kier- tokapula 2006). Laitoksessa käsiteltävän jätteen määrä ja koostumus poikkesivat alku- vaiheessa huomattavasti suunnitteluvaiheesta (Jaakko Pöyry Infra 2005). Myös pussike- rätty biojäte osoittautui odotettua vaikeammaksi prosessoida jätteen sisältämien muovien ja muiden epäpuhtauksien vuoksi. On kuitenkin hyvin yleistä, että laitosten käynnis- tystasoiheeseen liittyy ongelmia.

### 3.2.3 Laitosmainen käsittely, anaerobinen

Biokaasun tuotanto on noussut esille uutena vaihtoehtona edistää uusiutuvan energian käyttöä ja vähentää mm. kasvihuonekaasupäästöjä. Suomen tavoite (KTM 2003) on nostaa biokaasun tuotantoa nykyisestä 2,3 PJ:sta tasoon 4,2 PJ vuoteen 2010 mennessä.

Ylivoimaisesti merkittävin biokaasun tuotantomenetelmä Suomessa on kaatopaikkakaasun talteenotto (taulukko 13). Toiseksi merkittävin tuotantomenetelmä on talteenotto jäteveden puhdistuksen yhteydessä. Kaupunkien jätevedenpuhdistamoilla toimi Suomessa vuoden 2003 lopussa 15 biokaasureaktorilaitosta (Kuittinen & Huttunen 2004). Yhdyskuntajätteestä peräisin olevaa biojätettä käsiteltiin anaerobisesti vain Stormosse- nin laitoksella Vaasan Mustasaassa. Teollisuuden jätevesiä käsiteltiin anaerobisesti kolmessa laitoksessa. Maataloudessa oli vuoden 2003 lopussa toiminnassa kuusi bio- kaasulaitosta, joista Kalmarin tilan biokaasulaitos on ehkä kuuluisin biokaasua käyttä- vän henkilöauton takia. Kalmari on yksi harvoista pienmittakaavan biokaasujalostusso- vellusta maataloudelle kehittävästä pioneereista.

*Taulukko 13. Biokaasun tuotanto Suomessa 2001 ja 2005 (Kuittinen & Huttunen 2004, Kuittinen ym. 2006).*

Biokaasun tuotantotapa	2001	2005
	milj. m <sup>3</sup>	
Kaatopaikkapumppaamot	53	118
Yhdyskuntien jätevedenpuhdistamot	22	23
Teollisuuden jätevedenpuhdistamot	1,2	1,0
Muut biokaasulaitokset	1,6	2,7
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>78</b>	<b>145</b>

Jos keskimääräisen biokaasun metaanisisällöksi arvioidaan 65 %, oli tuotetun biokaasun energiasisältö noin 500 GWh vuonna 2001 ja noin 900 GWh vuonna 2005. Koska kaik- kea tuotettua kaasua ei pystytty hyödyntämään energian tuotannossa, oli kaasun avulla tuotettu energiamäärä huomattavasti pienempi. Biokaasua hyödynnettiin energiana noin 0,75 PJ vuonna 2001 (noin 210 GWh) (KTM 2003). Vuonna 2005 hyödynnetty ener- giamäärä oli noin 420 GWh (Kuittinen ym. 2006).

**Stormossenin mädätyslaitos** sijaitsee Ab Avfallsservice Stormossen Jätehuolto Oy:n jätteenkäsittelyalueella Mustasaarella lähellä Vaasaa. Laitos ja siihen tulevan biojätteen koostumus poikkeavat huomattavasti muista edellä esitetystä biojätteen käsittelykonsepteista, koska biojäte erotellaan laitosmaisesti ennen mädätystä. Käsiteltävän jätteen mukana tulevat epäpuhtaudet aiheuttavatkin biokaasulaitoksessa eniten ongelmia (Jaakko Pöyry Infra 2004). Koska laitos on otettu käyttöön jo vuonna 1990, sitä ei esitellä tässä tarkemmin.

**Kalmarin biokaasulaitos** Laukaassa Keski-Suomessa on valmistunut tilan omana työnä. Laitoksessa käsitellään tilan lietalannan lisäksi elintarviketeollisuuden sokeri- ja rasvajätteitä. Laitos pystyy tuottamaan koko tilan tarvitseman lämpöenergian. Sähköä tuotetaan aggregaatin avulla lähinnä talvipäivisin. Vuonna 2003 tilalla tuotettiin 0,06 milj. m<sup>3</sup> biokaasua, josta tehtiin 47 MWh sähköä, 247 MWh lämpöä ja 19 MWh liikennepolttoainetta. Tilalla kehitetään mm. biokaasun puhdistusta liikennekäyttöön sekä puhtaan kaasun varastointia ja käyttöä (esim. kaasuautojen tankkausasemia). Jotta kaasun tuottoa liikennekäyttöön voitaisiin lisätä, suunnitteilla on biokaasun tuotanto myös peltobiomassasta.

Harri Riihimäen Halsualla toimiva, sikalan yhteyteen vuonna 2003 rakennettu maatalokohtainen biokaasulaitos rakennettiin alun perin mesofiiliseksi, ja reaktio toimi syksyyn 2005 asti 38 °C:n lämpötilassa. Syksyn 2005 aikana prosessin lämpötila kohotettiin termofiilikseksi (53–54 °C). Muutokseen saakka reaktoriin syötettiin lähinnä sianlantaa omasta sikalasta (2 000 m<sup>3</sup>/a). Jatkossa tarkoituksena on tuottaa biokaasua myös kunnan tuottamista jätevesistä (800 m<sup>3</sup>/a), sellunkeittoprosessin biomassasta (1 000–1 500 m<sup>3</sup>/a), perunoista ja perunankuorista (1 000–1 500 m<sup>3</sup>/a) sekä pienistä eristä grillien paistorasvoja. Prosessin kokonaiskapasiteetti on noin 8 000–9 000 m<sup>3</sup>/a. Biokaasulaitos on käyttäjälleen ensisijaisesti energiaa tuottava prosessi, jolla tuotetaan tilan tarvitsema lämpö ja sähkö ja joka tukee sikalan toimintaa. Toiseksi se on myös ympäristöystävällinen tapa käsitellä sikalan tuottama liete hajuttomasti ja muuttaa se lannoituskäyttöön soveltuvaksi. Suunnitelmissa on aloittaa biokaasun jalostaminen liikennepoltoaineeksi.<sup>4</sup>

**Vehmaan kunnan** Vinkkilän kylään valmistui 2005 **Suomen ensimmäinen keskitetty biokaasulaitos**. Biovakka Oy:n laitos vastaanottaa ja käsittelee anaerobisesti mädättämällä maatalouden liete- ja kuivalantaa, teollisuuden ja kotitalouksien biojätteitä sekä kuolleita sikoja ja kanoja. Biojätteitä käsitellään vuosittain noin 120 000 m<sup>3</sup> (kuivaainetta max. 12 %). Määrästä suurin osa on sian lietalantaa (80–90 000 t/a). Jätteet käsitellään siten, että käsitelty liete on hygieeniseltä ja kemialliselta laadultaan turvallista käyttää. Prosessiin kuuluvat alipaineistetut vastaanottotilat, murskausyksikkö, hygienisointi- ja sterilointiyksiköt, anaerobireaktorit, kaasuväkästo sekä kuivaus- ja jälkivaras-

---

<sup>4</sup> Lähde: Harjoittelija Mika Anttosen ja Harri Riihimäen puhelinkeskustelu 13.12.2005.

tointiyksiköt. Laitoksella on automaattinen prosessinvalvonta. Laitoksessa syntyvät hajukaasut puhdistetaan biosuotimilla. Jätevedet esikäsitellään ja johdetaan Vehmaan kunnan jätevedenpuhdistamoon. Liette käytetään pelloilla lannoitteena. Biokaasusta tuotetaan sähköä ja lämpöä, joita hyödynnetään sekä laitoksen omissa prosesseissa että samalle kiinteistölle perustettavassa puun lämpökäsittelylaitoksessa.

Biokaasulaitoksen toiminnalla arvioidaan olevan positiivisia vaikutuksia ympäristöön, sillä laitospölynsäntien ansiosta lannan peltolevityksestä aiheutuvat hajuhaitat ja ravinnelumat vesistöihin vähenevät. Perinteisesti mm. sian lietelantaa on jouduttu varastoimaan keskimäärin noin 6 kk, koska peltolevitys on sallittua vain tietyinä ajankohtana. Laitoksen ylösajon aikana (2005) käsiteltiin n. 33 000 t jätettä ja tuotettiin 0,6 milj. m<sup>3</sup> biokaasua (60–65 % metaania).

**Lakeuden Etappi Oy** on toistamiseen kilpailuttanut rakennusurakoitsijoita. Kilpailutuksen tuloksena YIT Environment on valittu biojätteitä ja yhdyskuntajätevesiä käsittelevän laitoksen rakentajaksi. Lopputuote kuivataan lannoitekäyttöön termisesti. Ilmajoen Laskunmäkeen rakentuva laitos käsittelee yhdyskuntien puhdistamolietteitä ja biojätettä lähes 55 000 tonnia vuodessa. Lopputuotteena syntyy n. 8 000 tonnia vuodessa 2–3 mm:n kokoista raetta, joka ohjataan maanviljelys- tai viherkäyttöön. Laitos valmistuu vuoden 2008 alussa.

### 3.2.4 Biojätteen käsittely integroituna SRF-tuotantoon

Kierrätyspolttoaineen tuottamista varten rakennetuissa mekaanis-biologisissa (MB) käsittelylaitoksissa erotetaan polttokelpoinen jae mekaanisesti ja jäljelle jäävä rejekti käsitellään biologisesti kompostoimalla tai mädättämällä. Koska rejekti sisältää yleensä huomattavia määriä epäpuhtauksia, on ulkomailla toteutettujen MB-laitosten tavoitteena yleensä muuntaa polttoaineeksi kelpaamaton biohajoava aines niin, että se voidaan sijoittaa kaatopaikalle.

Suomessa toimivien REF-laitosten yhteyteen ei ole rakennettu erillistä biologista käsittelyä likaiselle kompostijakeelle, vaikka tämä materiaalivirta on 20–40 % syötteestä. Saksassa mekaanis-biologisilla laitoksilla on ollut ongelmia hallita biohajoavan materiaalin aerobisen käsittelyvaiheen päästöjä. Ongelmana ovat olleet ennen kaikkea VOC-päästöt, mutta on epäilty, että käsittelyssä syntyy myös kasvihuonekaasupäästöjä, kuten metaania (Jaakko Pöyry Infra 2005).

### 3.2.5 Omatoiminen pienkompostointi

Laskentamalleja käyttäen on arvioitu, että Suomessa käsitellään kiinteistökohtaisella kompostoinnilla noin 55 000 t keittiöstä ja puutarhasta peräisin olevaa biojätettä vuodessa. Pienkompostoreiden valmistajille ja maahantuojille tehdyn kyselyn perusteella Suomessa myytiin vuosina 1990–2001 yhteensä 105 000 kotitalousjätteille tarkoitettua lämpöeristettyä kompostoria ja 16 000 puutarhajätteiden kompostoria (Merilehto ym. 2004). Myytyjen kompostorien lukumäärään nähden nykyinen arvio kiinteistökohtaisesti käsitellyn biojätteen määrästä vaikuttaa suurelta.<sup>5</sup>

### 3.2.6 Kompostoinnin tukiaineet

Kompostoinnin tukiaineen valmistuksessa käytetään useimmiten puuperäisiä raaka-aineita, kuten kierrätyspuuta, kuorta, rankaa ja risua. Turvetta käytetään mm. hiilityyppisuhteen tasapainottamiseen, nesteiden ja hajujen sitomiseen sekä mullan valmistukseen. Vuonna 2005 alkanut päästökauppa saattaa vaikuttaa myös kompostoinnin seos- ja tukiaineisiin. Aikaisemmin käytettyjen puuperäisten raaka-aineiden siirtyminen bioenergiatuotannon raaka-aineiksi vaikeuttaa edullisten tukiaineiden saantia, ja näin ollen myös muiden tukiaineiden valmistus ja käyttömahdollisuudet tulisi selvittää. Kasvuturpeen käyttöä ei tiettävästi vielä tilastoida hiilidioksidipäästölähteenä arvioitaessa Suomen kasvihuonekaasupäästöjä. Tämä ei näin ollen vielä vaikuta turpeen käyttöön kompostoinnin kuivikkeena.

### 3.2.7 Lopputuotteiden sijoitus ja hyötykäyttö

Käsittelylaitoksien on tulevaisuudessa panostettava valmiin kompostin tuotteistamiseen ja markkinointiin kaatopaikkojen maisemointitarpeen vähentyessä vuoden 2007 jälkeen (Jaakko Pöyry Infra 2004). Kompostimullan laadulle asetetaan tällöin nykyistä huomattavasti korkeammat vaatimukset. Katso myös kohta 3.2.

## 3.3 Biojätteen käsittelykustannukset

### 3.3.1 Biojätteiden ja jätevesilietteiden käsittelykustannukset

Biojätteiden ja jätevesilietteiden käsittelykustannukset ovat Suomessa rakennetuilla kompostointi- ja mädätyslaitoksilla 72–106 €/t sisältäen investoinnit, tehdyt muutostyöt ja käyttökustannukset. Lisäksi tulevat jälkikypsytyksen kustannukset (kentän rakenta-

---

<sup>5</sup> Luvuissa ei ole puutarhajätteitä, vaan ne perustuvat 50–60 kg:n biojättekertymiin henkilöä kohden vuodessa.



miskustannukset, aumojen kääntö ja seulonta), jotka ovat 5–21 €/t. Kompostin tuotteistamiskustannukset eivät sisälly laskelmiin. Laskelmien pohjana on käytetty 10 vuoden 5 %:n korkokantaa.

Käsittelylaitosten suunnitteluvaiheessa esitetyt investointikustannukset ovat olleet yhtä laitosta lukuun ottamatta 22–26 €/t. Ottaen huomioon tehtyjen muutostöiden jälkeen toteutunut käsittelykapasiteetti investointikustannukset ovat nousseet tasolle 39–66 €/t. Lisäksi tulevat jälkikypsytyksentien investointikustannukset, 1–18 €/t.

Vanhojen kompostointi- ja mädätyslaitosten käyttökustannukset ovat tasolla 32–47 €/t. Uudemmissa laitoksissa kustannukset ovat käyttäjien ilmoitusten mukaan merkittävästi pienemmät. Tähän vaikuttaa todennäköisesti se, että toteutunutta käsittelykapasiteettia on uusissa laitoksissa pystytty kasvattamaan. Taulukossa 14 on esimerkki kompostoinnin ja biokaasutuksen käyttökustannusten jakautumisesta. Kompostituotteen valmistuksen seulontakustannus on 2–4 €/m<sup>3</sup> ja seosaineiden kustannus noin 1 €/m<sup>3</sup>.

Esimerkki uusista laitoksista on vuonna 2005 käyttöön otettu Kujalan kompostointilaitos. Suunnittelukapasiteetti oli 38 000 t/a biojätettä ja lietteitä. Kokonaispinta-ala on 8 302 m<sup>2</sup> ja kokonaistilavuus 92 000 m<sup>3</sup>. Investoinnin kokonaisarvo on 11,5 milj. € (ALV 0 %). Laitoksen kapasiteetistä on vielä hyödyntämättä noin 15 % (Kuntarahoitus 2005). Lakeuden Etappi Oy:n rakennushankkeen arvioitiin ensimmäisen tarjouskierroksen yhteydessä maksavan noin 13 miljoonaa euroa.

*Taulukko 14. Esimerkki Suomessa rakennettujen kompostointi- ja biokaasulaitosten käyttökustannusten jakautumisesta (Jaakko Pöyry Infra 2004).*

Kustannuslaji	€/käsitelty jätetonne	Osuus käyttökustannuksista, %
Henkilötyö	4,7–16,4	15–20
Konetyö	10,7–17,0	29–40
Sähkönkulutus	1,4–8,1	3–11
Tukiaine	2,0–4,9	5–12
Jätevesi <sup>6</sup>	0,08–0,14	1–67
Käyttövesi	0,05–0,17	< 1
Kemikaalit	0–0,08	< 1–3
Hajukaasujen käsittely	0,9–4,6	2–14
Huolto	4,6–5,6	11–17

<sup>6</sup> Selkeästi suurimmat jätevesien käsittelykustannukset ovat mädätyslaitoksella, jossa niiden osuus voi nousta yli puoleen käyttökustannuksista.

### 3.3.2 Biokaasun tuotanto maatilalla

Maatilojen biokaasun tuotantokustannusten laskenta on monimutkaista, koska laitostyö, energian hyödyntämismahdollisuudet, sähkön myyntihinta, maatilan ulkopuolelta tulevien biomassojen porttimaksu, tuotetun kompostin mahdolliset myyntihinnat jne. voivat vaihdella huomattavasti. Riihimäen tilan biokaasulaitos (2003) maksoi omistajan mukaan noin neljännesmiljoona euroa<sup>7</sup>. Laitoksen käsittelykapasiteetti on noin 8 000–9 000 m<sup>3</sup>/a. Hagström ym. (2005) arvioivat, että biokaasulaitoskonseptien kannattavuuden edellytykset paranevat, jos laitostyö kasvaa. Silloin paranevat mahdollisuudet tuottaa sähköä, mutta tuotetulle lämmölle on vaikea löytää taloudellisesti perusteltua käyttökohdetta. Laitostyö kasvaessa tarvitaan ulkopuolista biomassaa, ensisijaisesti erilaisia ”biojätteitä” tai energiakasveja. Tehdyssä kannattavuusselvityksessä arvioitiin raakabiokaasun tuottamisen investointikustannusten olevan 1,8–2 €/m<sup>3</sup> (bruttotuotannon vuosikapasiteetti). Kooltaan 0,19 milj. m<sup>3</sup> (1,2 GWh) olevan ja raakakaasua tuottavan laitoksen investointikustannuksiksi arvioitiin 0,38 milj. € ja 2,8 milj. m<sup>3</sup> kaasua (18 GWh) tuottavan laitoksen investointikustannuksiksi 5 milj. €. Ensimmäinen esimerkki on pieni, vain maatilan omia raaka-aineita hyödyntävä ratkaisu, kun taas jälkimmäinen hyödyntää myös maatilan ulkopuolisia raaka-aineita.

## 3.4 Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämismahdollisuudet

### 3.4.1 Päästöihin vaikuttavia tekijöitä

Biojätteen käsittelytavan valinnalla voidaan jossakin määrin vaikuttaa kasvihuonekaasupäästöjen syntymiseen. Suurin päästösäästö syntyy, kun siirrytään kaatopaikkasijoituksesta johonkin muuhun vaihtoehtoon, jolloin kaatopaikan tuottamat kasvihuonekaasupäästöt vähenevät. Tätä siirtymistä tapahtuu joka tapauksessa asteittain mm. uuden kaatopaikkadirektiivin takia. Taulukoissa 15 ja 16 arvioidaan biojätteiden erilaisia käsittelymahdollisuuksia ja käsittelymenetelmien kasvihuonekaasupäästöjä lisääviä ja vähentäviä tekijöitä. 1990-luvulla arvioitiin joitakin näistä biojätteiden käsittelymenetelmistä tarkemmin (Pipatti ym. 1996, Pipatti & Wihersaari 1998). Tämän jälkeen on saatu uutta tutkimustietoa mm. aumakompostoinnin ja kompostin varastoinnin päästöistä.

---

<sup>7</sup> Lähde: Harjoittelija Mika Anttosen ja Harri Riihimäen puhelinkeskustelu 13.12.2005.

Taulukko 15. Biojätteen perinteiset käsittelymahdollisuudet.

Biojätteen ”perinteiset” käsittelymahdollisuudet	Päästöjä lisääviä tekijöitä	Päästöjä vähentäviä tekijöitä
Kaatopaikkasijoitus	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kuljetuksen energiakulutus</li> <li>CH<sub>4</sub>, (N<sub>2</sub>O) -päästöjä, joita ei saada kerättyä</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Osa hiilestä jää varastoon</li> <li>Kaatopaikkakaasun hyödyntäminen uusiutuvana energiana</li> </ul>
Biojätteen poltto sekajätteen mukana	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kuljetuksen energiakulutus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energiasisällön hyödyntäminen uusiutuvana energiana</li> </ul>
Erilliskeräily + aumakompostointi + humuksen käyttö maanparannusaineena	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kuljetuksen ja käsittelyn energiakulutus</li> <li>Kompostoinnin päästöt</li> <li>Päästöt varastoinnista ja hyötykäytöstä</li> <li>Turpeen käyttö kuivikkeena ja humuksen seosaineena*</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Osa hiilestä vapautuu hitaasti humuksesta</li> <li>Turve seosaineena*</li> </ul>
Erilliskeräily + laitospainainen kompostointi + humuksen käyttö maanparannusaineena	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kuljetuksen ja käsittelyn energiakulutus</li> <li>Kompostoinnin päästöt</li> <li>Päästöt varastoinnista ja hyötykäytöstä</li> <li>Turpeen käyttö kuivikkeena ja humuksen seosaineena*</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Osa hiilestä vapautuu hitaasti humuksesta</li> <li>Turve seosaineena</li> </ul>
Erilliskeräily + biokaasutus + humuksen käyttö maanparannusaineena	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kuljetuksen ja käsittelyn energiakulutus</li> <li>Päästöt varastoinnista ja hyötykäytöstä</li> <li>Turpeen käyttö humuksen seosaineena</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Biokaasun hyötykäyttö uusiutuvana energiana</li> <li>Osa hiilestä vapautuu hitaasti humuksesta</li> <li>Turve seosaineena</li> </ul>
Pienkompostointi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kompostoinnin päästöt</li> <li>Turpeen käyttö kuivikkeena</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Turve kuivikkeena*</li> <li>Osa hiilestä vapautuu hitaasti humuksesta</li> </ul>
Mekaanis-biologinen käsittely + kaatopaikkasijoitus	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kuljetuksen ja käsittelyn energiakulutus</li> <li>Kompostoinnin päästöt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Osa hiilestä vapautuu hitaasti humuksesta</li> </ul>

\* Turpeen käyttö kuivikkeena voi sekä lisätä että vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Turve hajoaa hiilidioksidiksi, mikä lisää päästöjä. Toisaalta turpeen käyttö kuivikkeena lisää kompostin aerobisuutta ja vähentänee näin CO<sub>2</sub>-päästöjä.

Taulukko 16. Biojätteiden muita käsittelymahdollisuuksia.

Biojätteiden muita käsittelymahdollisuuksia	Päästöjä lisääviä tekijöitä	Päästöjä vähentäviä tekijöitä
Biojätteen keräily jäteveden mukana	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jätemyllyn energiakulutus</li> <li>Jätevesilietteen käsittelytavasta riippuen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mahd. kaasun talteenotto jäteveden puhdistuksen yhteydessä</li> </ul>
Humuksen käyttö polttoaineena	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energiakulutus humuksen kuivuksessa ja muussa käsittelyssä</li> <li>Kuljetus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hyötykäyttö uusiutuvana energiana</li> </ul>

### 3.4.2 Päästöjen suuruusluokan arviointi

#### **Biojätteen aumakompostointi ja kompostin varastointi**

Erilaisten biojätteiden aumakompostoinnin ja varastoinnin kasvihuonekaasupäästöt voidaan karkeasti arvioida materiaalin hiili- ja typpisisällön perusteella. Jos oletetaan, että 1–2 % biojätteen sisältämästä typestä ja 4–5 % biojätteen sisältämästä hiilestä vapautuisi metaanikaasuna ja typpioksiduulina koko kompostointiprosessin aikana, vapautuisi kasvihuonekaasupäästöjä peräti 170–230 g CO<sub>2</sub> ekv. per kg biojätettä. Tämä olisi jo merkittävä päästö (suuruusluokaltaan jopa noin kolmasosa kaatopaikkasijoituksen aiheuttamasta päästöstä), mutta arvio perustuu hyvin epävarmoin lähtötietoihin (Beck-Friis 2001). Koska päästötieto on epävarma ja vielä hyvin vaikea osoittaa, se jäisi ainakin osittain tarkastelujen ulkopuolelle. Kompostointiin liittyviä päästöjä on yritetty arvioida esim. CDM-hankkeiden monitorointimenetelmässä AM0025.

Ruotsissa kiellettiin jätevesipuhdistamolietteiden peltolevitys 1990-luvun lopussa. Siksi lietettä jouduttiin varastoimaan mm. kaatopaikoilla. SLU arvioi kenttäkokeiden perusteella vuoden aikana Ruotsissa syntyvien puhdistamolietteiden (220 000 t kuiva-ainetta) yhden vuoden varastoinnin kasvihuonekaasupäästöt. Päästöjen arvioitiin olevan tasolla 1,1 Gg N<sub>2</sub>O ja 0,7 Gg CH<sub>4</sub>. Tämä tarkoittaisi, että jopa 8 % lietteen sisältämästä typestä vapautuisi vuoden aikana N<sub>2</sub>O:na. Lisäksi arvioitiin, että typpioksiduulipäästöt jatkuvat usean vuoden aikana, jos varastointia jatketaan. Tulosta pidettiin hälyttävänä, koska arvioidut typpioksiduulipäästöt ovat noin 5 % Ruotsin vuosittaisista, ihmisten toiminnasta aiheutuvista typpioksiduulipäästöistä. Aikaisempien mittausten perusteella (Börjesson & Svensson 1997) Ruotsissa on arvioitu, että noin 1 % typestä vapautuisi typpioksiduulina. Tämä on samansuuruinen kuin maataloudessa käytettävistä typpilannoitteista aiheutuva päästö.

#### **Biokaasun tuotanto**

Biokaasun tuotanto ja sen energiakäyttö on merkittävin tapa vaikuttaa biojätteiden käsittelyn kasvihuonekaasutaseisiin. Biokaasulaitosten aiheuttamien päästövähennemien määrän arviointi ei kuitenkaan ole yksiselitteisen helppoa. Pääasiallinen tapa vähentää päästöjä on korvata sähkön ja lämmön tuotannossa sekä liikennepolttoainekäytössä käytettyjä perinteisiä fossiilisia polttoaineita mädätysprosessin biokaasulla. Kokonaispäästövähennemään voivat vaikuttaa myös muut seikat, kuten erot kuljetusmäärissä, keinolannoitetarpeissa, energian siirtohäviöissä ym.

Biojätteestä voidaan tuottaa biokaasua mädätysprosessilla. Kaasuntuotantopotentiaali (brutto) on karkeasti ottaen 1 MWh kaasua per tonni biojätettä.<sup>8</sup> Koko järjestelmän

---

<sup>8</sup> Biojätteen kuiva-ainepitoisuus on 30 %, kaasuntuotanto 150 m<sup>3</sup>, josta 65 % metaania.

energiatasetta tarkasteltaessa voidaan kuitenkin todeta, että biokaasun tuotanto ei välttämättä ole erityisen tehokas energiantuotantomenetelmä, koska 20–60 % biokaasun energiasisällöstä kuluu kaasuntuotantoon liittyvän toiminnan ylläpitämiseen (Berglund & Börjesson 2003). Energiatase huononee selvästi, jos prosessien tarvitsema sähkö (esim. murskaus, kaasun puhdistus ja paineistus) tuotetaan paikallisesti (biokaasusta). Päästösäästöä voisi syntyä korvaamalla fossiilista energiaa tuotetulla biokaasulla (tuotettu nettomäärä). Hyvissä olosuhteissa voidaan esim. kaasun liikennepolttoainekäytöllä säästää noin 0,2 t CO<sub>2</sub>/tonni biojätettä.

Biokaasun tuotannon jälkeen syntyy kompostiin verrattavissa olevaa lopputuotetta, jota täytyy jatkokäsitellä esim. kompostoimalla. Jos arvioidaan, että 2 % biojätteen sisältämästä typestä ja 1 % hiilestä vapautuu kasvihuonekaasupäästönä tämän jatkokäsittelyn aikana, olisivat jälkikäsittelyn kasvihuonekaasupäästöt suuruusluokkaa 80 g CO<sub>2</sub> eka/kg biojätettä. Tämä arvio lienee vielä epävarmempi kuin aiemmin aumakompostoinnille esitetty luku. Koska päästöarvio on epävarma ja vielä hyvin vaikea osoittaa, jälkikäsittelyn päästöt jäisivät todennäköisesti (ainakin osittain) tarkasteltujen kasvihuonekaasutaseiden ulkopuolelle.

### **3.4.3 Kuljetus ja mekaaninen käsittely**

Fossiilisen energian käyttö materiaalien kuljettamisessa ja mekaanisessa käsittelyssä aiheuttaa myös kasvihuonekaasupäästöjä. Kuljetuksen päästöt on rajattu tässä julkaisussa jätteenkäsittelyteknologioiden tarkastelun ulkopuolelle.

### **3.4.4 Kompostin poltto**

Jos biojäte kompostoidaan tai mädätetään ja siitä tehdään sen jälkeen polttoainetta, menetetään osa energiasisällöstä (osa hiilestä palaa biologisesti näissä prosesseissa). Kompostiin lisätyn tukiaineen ja materiaalin mahdollisen kuivumisen vuoksi saattaa materiaalin energiasisältö kuitenkin edelleen olla kohtuullinen. Komposti on polttoaineena ns. neutraali hiililähde. Jos komposti sisältää turvetta, aiheuttaa turve fossiiliseksi luokiteltavia hiilidioksidipäästöjä polton yhteydessä (samat päästöt olisivat vapautuneet myös maaparannusainekäytössä, mutta huomattavasti hitaammin).

Kompostin käyttö polttoaineena voi olla mielenkiintoinen mahdollisuus, etenkin jos kompostin laatu on heikko ja maaparannusainekäyttötarve vähenee edelleen. Myös uudet uhat, kuten pelko erilaisten tautien leviämisestä kompostin kautta, saattavat vaikuttaa siihen, että kiinnostus biojätteen ja kompostin polttoon kasvaa.

### 3.4.5 Kompostin käyttö maaparannusaineena

Jos kompostia käytetään maaparannusaineena, sen sisältämä hiili vapautuu hyvin hitaasti tulevien vuosikymmenien aikana. Humuksena hyötykäytetty hiili varastoituu maaperään, ja tämä on eduksi kasvihuoneilmaston kannalta. Tässä ei lähemmin tarkastella maaparannusainekäytön päästövähennyksiä, koska vaikutus on pieni ja jäänee tulevaisuudessa virallisten kasvihuonekaasutaselaskelmien ulkopuolelle.

### 3.4.6 Turpeen käyttö kuivikkeena

Kompostoinnin tukiaineena käytetään yleensä puuperäistä haketta. Koska puu lasketaan uusiutuvaksi materiaaliksi, hakkeen käytön ei lasketa tuottavan kasvihuonekaasupäästöjä. Energiana käytetyn turpeen lasketaan aiheuttavan kasvihuonekaasupäästöjä, mutta kasvu- ja kuiviketurpeen käyttöä ei tiettävästi vielä tilastoida päästölähteenä. Jos kuiviketurpeen käyttö huomioidaan hiilidioksidin päästölähteenä, aiheuttaa 1 m<sup>3</sup> kuiviketurvetta noin 180 kg hiilidioksidipäästöjä. Laskelmissa on oletettu, että turve painaa 140 kg/m<sup>3</sup>, sisältää 40 % kosteutta ja että kuiva-aineen hiilipitoisuus on 50 %.

### 3.4.7 Muut ympäristövaikutukset

Maatalous on huomattava paikallinen ja maailmanlaajuinen ympäristökuormittaja. Lisäksi tehomaataloudessa ja siihen liittyvässä elintarviketeollisuudessa on todettu merkittäviä tautitapauksia, jotka voivat olla vaarallisia sekä tuotantoeläimille että ihmisille. Tilojen koon kasvaessa lannan tuotanto on kasvanut niin suureksi, ettei enää riitä peltoalaa, jolle lanta voidaan levittää. Lannan sallittua levitysaikaa on myös rajoitettu. Varastoinnin aikana anaerobisesti hajoavasta lannasta ja muusta biohajoavasta jätteestä voi vapautua metaania (CH<sub>4</sub>), ammoniakkia (NH<sub>4</sub>) ja typpioksiduulia (N<sub>2</sub>O). Kasvihuonekaasupäästöjä on vaikeampi havaita, mutta ammoniakilla on pistävä haju, ja se on haitallista terveydelle ja karjan tuotannolle. Päästöjä ilmaan muodostuu runsaasti myös lannan peltolevityksen jälkeen, ja typpeä ja fosforia voi huuhtoutua vesistöihin ja rehevöittää niitä (Rintala ym. 2002).

Maatalouden jätteiden anaerobisella käsittelyllä voidaan vähentää maatalouden ympäristövaikutuksia. Esimerkiksi EU:n ilmastonmuutosohjelmassa (ECCP) tätä on esitetty keinoksi vähentää metaanipäästöjä (EC 2000). Samalla todennäköisesti myös muut maatalouden päästöt pienenisivät.

### 3.4.8 Biojätteisiin liittyvien päästötekijöiden arviointiesimerkki: AM0025

CDM-hankkeiden monitorointia käsiteltiin aiemmin kohdassa 1.3.2. Isojen jätehuollon soveltamisalan hankkeiden metodologioita on tällä hetkellä 10 kpl ja pienten hankkeiden metodologioita 6 kpl (taulukko 6). Osaa metodologioista voidaan tietyn edellytyksin soveltaa biohajoavien jätteiden kompostointi- ja anaerobiskäsittelyssä.

AM0025 ”Orgaanisten jätteiden vaihtoehtoisten käsittelymenetelmien kautta vältetyt päästöt” esittää mm. menetelmän, jolla kompostoinnista mahdollisesti vapautuvat CH<sub>4</sub>- ja N<sub>2</sub>O-päästöt voidaan huomioida (UNFCCC 2007). Muita menetelmiä, joista voi olla hyötyä biojätteiden käsittelyssä, ovat ACM0010 sekä pienten hankkeiden metodologiat III.D, III.E ja III.F, AM0012 ja AM0016.

AM0025:ssä esitetään N<sub>2</sub>O:lle päästökertoimeksi (EC, N<sub>2</sub>O) 0,043 kg N<sub>2</sub>O/tonni tuotettua kompostia. Päästökerroin on laskettu olettaen, että kompostin kuiva-aineen päästökerroin on 42 mg N<sub>2</sub>O-N (eli typpipäästönä laskettuna) ja N<sub>2</sub>O:N<sub>2</sub>-suhde on 44/28 ja että komposti sisältää 65 % kuiva-ainetta (650 kg/t valmista kompostia). Tämän päästökertoimen heikkous lienee lähdemateriaalissa. AM0025:n mukaan se perustuu vain yhden lähteen päästöarvioon (Schenk ym. 1997) eikä kertoimen määrittelyssä huomioida biohajoavan jätteen tai kompostin typpisisältöä.

Kompostikäsittelyn metaanipäästöille ei AM0025:ssä esitetä päästökerrointa, mutta asiaa lähestytään biohajoavan materiaalin aerobisuuden kautta. Viitataan kahteen tutkimukseen, joissa on osoitettu, että kompostointiprosessi muuttuu anaerobiseksi, jos biohajoavan materiaalin happipitoisuus on alle 5–7,5 % (Bokhorst 2001 ja Richard & Woodbury viitteen AM0025 [UNFCCC 2007] mukaan). Tämän perusteella on valittu happitason seurantamittausten raja-arvoksi 10 %:n happipitoisuus. Seurantamittauksia tehdään viikoittain ja kompostoinnin anaerobisuus määritellään sen perusteella, miten monella mittauskerralla kaikkien mittausten lukumäärään nähden on alitettu 10 % happipitoisuus. Metaanipäästöt anaerobiselta ajalta arvioidaan sen perusteella, minkä suuruiset päästöt olisivat aiheutuneet, jos sama jäte-erä olisi hajonnut kaatopaikalla anaerobisesti.

Anaerobiskäsittelyprosessin päästölähteeksi esitetään AM0025:ssä mahdolliset prosessivuodot. Ne tulisi ottaa huomioon mittauksin, IPCC:n suosituskertoimia käyttäen tai todistamalla, että käytettävälle tekniikalle voidaan soveltaa päästökerrointa 0. Projektin päästövähennemä (Emission Reduction, ER) lasketaan AM0025:ssä siten, että perusuran päästöistä (BE) vähennetään projektissa syntyvät päästöt (PE, esim. kompostoinnissa syntyvät CH<sub>4</sub>- ja N<sub>2</sub>O-päästöt) ja mahdolliset vuodot (L, esim. mädätyksestä). Jos vähennettävät päästöt ovat alle 1 % projektin päästösäästöistä ensimmäisen täyden projektivuoden aikana, ne voidaan kiinnittää 1 %:iin koko hyvittämisajanjaksolle.

### 3.4.9 Tiedonpuutteet ja kehitystarpeet

Maatalouden kasvihuonekaasupäästöt ovat nykyisten arvioiden mukaan noin 9 % Suomen kasvihuonekaasupäästöistä. Tämän sektorin päästöt tunnetaan kuitenkin merkittävästi heikommin kuin energiatuotannon ja teollisen toiminnan päästöt. Lannankäsittelystä aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen epävarmuus on toistaiseksi suurin maaperän päästöjen jälkeen (Monni & Syri 2003). Euroopassa kehitettyjen päästökertoimien soveltuvuus Suomen oloihin tunnetaan huonosti. VTT:n ja MTT:n vuonna 2004 tekemien vertailumittausten perusteella saatiin viitteitä siitä, että sianlannan metaanipäästöjä on saatettu huomattavasti aliarvioida kasvihuonekaasulaskennassa (Arnold & Perälä 2005). Tämäntyyppisten hajautetun tuotannon kasvihuonekaasupäästöjen mittaaminen on kuitenkin hankalaa. Päästöarvioinnin varmentamiseksi tarvittaisiin lisää mittauksia ja mittausmenetelmien kehittämistä. Myös muiden biohajoavien materiaalien kompostoinnin ja varastoinnin yhteydessä mahdollisesti syntyvistä kasvihuonekaasupäästöistä tiedetään vielä varsin vähän.

## 3.5 Liiketoimintamahdollisuudet

Keski-Euroopassa rakennettiin runsaasti kompostointilaitoksia 1900-luvun alkupuoliskolla. Esimerkiksi Saksassa laitoksia rakennettiin noin 800 kpl. 2000-luvulla on rakennettu pääosin vain pieniä laitoksia, koska käsittelykapasiteetti on jo rakennettu ja muut käsittelymenetelmät yleistyneet. Merkittävä ero Suomen ja Keski-Euroopan kompostointilaitosten välillä on käsiteltävän jätteen alkuperä. Suomessa käsitellään keittiöjätettä, kun taas Keski-Euroopassa pääpaino on puisto- ja puutarhajätteen käsittelyssä. Keittiöjätteen osuus on pieni, koska ei ole biohajoavien keittiöjätteiden erilliskeräilyä. Jäte on kompostoitavaksi sopivaa jo sellaisenaan eikä tarvitse suurta tukiainelisäystä. Lainsäädäntö on mm. Saksassa ja Itävallassa ohjannut biohajoavan jätteen käsittelyssä biokaasulaitosten rakentamiseen. Syynä on uusiutuvien energialähteiden tuotannon tukeminen. Yhdyskuntien biojätettä ei Saksassa käsitellä yhdessä esim. maatalouden jätteiden kanssa, koska biojäte luokitellaan jätteeksi. Maatalouden jätteistä tuotettu kaasu luokitellaan uusiutuvaksi energiaksi (Waste to Energy 2005).<sup>9</sup> Jätehuollon laiteinvestointien markkinanäkymiä käsiteltiin laajemmin kohdassa 3.3.1.

Vuonna 2005 alkanut päästökauppa saattaa vaikuttaa biohajoavien jätteiden käsittelymenetelmien valintaan myös yleisemmällä tasolla. Esimerkiksi Suomessa vaikuttavat seuraavat seikat:

- edullisten puuperäisten tukiaineiden väheneminen (käyttö bioenergiana)

---

<sup>9</sup> Waste to Energy "Town Twinning" -seminaariin. (Town Twinning Conference in Jyväskylä, Finland. Jyväskylä – Potsdam – Poznan – Debrecen, 14–17 September 2005.) <http://www.jykes.fi/towntwinning>.



- biokaasun tuotantoon ja käyttöön kohdistetut tukitoimet sekä kiinnostus biokaasun mahdolliseen käyttöön liikennepolttoaineena
- turpeen epävarma tilanne energiamarkkinoilla saattaa vaikuttaa myös kuiviketurve-markkinoilla.

Kun otetaan huomioon lainsäädännön nopea kehitys, on vaikea ennustaa, mihin suuntaan ja miten nopeasti biojätehuolto kehittyy. Tästä huolimatta biojätehuolto tulee kehittymään ja aihealueelta löytyy runsaasti liiketoimintamahdollisuuksia esim. seuraavilta sektoreilta:

- projektivienti (suunnittelutyö ja projektihallinto)
- kokonaisjärjestelmät, joissa biojätteen käsittely (esim. mädätys) on osana
- biokaasu liikennepolttoaineeksi maatilakokoluokassa
- jäteveden mädätys
- hajukaasujen poisto
- syntypaikkalajittelu
- kompostista biopolttoainetta
- päästömittauslaitteet (tilanearvioinnit, valvonta).

### 3.6 Case: jätteen biofraktion käsittely

Yhdyskuntajätteen biofraktio päättyy tyypillisesti jätteen mukana kaatopaikalle tai – isäntämaan jätepolitiikasta riippuen – polttoon tai kompostointikäsittelyyn. Kompostikäsittelyn vaihtoehtona biojätteestä voidaan tuottaa anaerobisesti biokaasua. Kaasua voidaan käyttää suoraan sähkö- ja lämpöenergian tuottamiseen tai se voidaan jalostaa esim. maakaasun korvikkeeksi tai liikennepolttoaineeksi. Tämän case-tarkastelun kohteeksi valittiin hanke, jossa biojätteestä anaerobisella prosessilla tuotettu kaasu jalostetaan liikennepolttoaineeksi. Hankkeen päästövähennykset perustuvat syrjäytettävien fossiilisten liikennepolttoaineiden käytöstä aiheutuvien päästöjen estämiseen.

Kuvitteellinen hanke voisi ensisijaisesti sijoittua maahan, jossa biokaasua tai maakaasua käytetään jo liikennepolttoaineena. Tällaisia maita ovat esimerkiksi Saksa, Ranska, Ruotsi, Itävalta, Italia, Islanti ja Sveitsi. Uudet, paljon maakaasua käyttävät EU-maat, kuten Unkari, ovat myös potentiaalisia biokaasun jalostajamaita. Sen sijaan Venäjä, jossa maakaasun hinta on edullinen, ei ole hyvä kohde. EU:n liikennepolttoainedirektiivi (2003/30/EY), jonka mukaan biopolttoaineiden osuutta tulisi asteittain nostaa EU-maissa, vaikuttaa taustatekijänä liikennebiopolttoaineiden lisäämisen osalta. Tuotettu

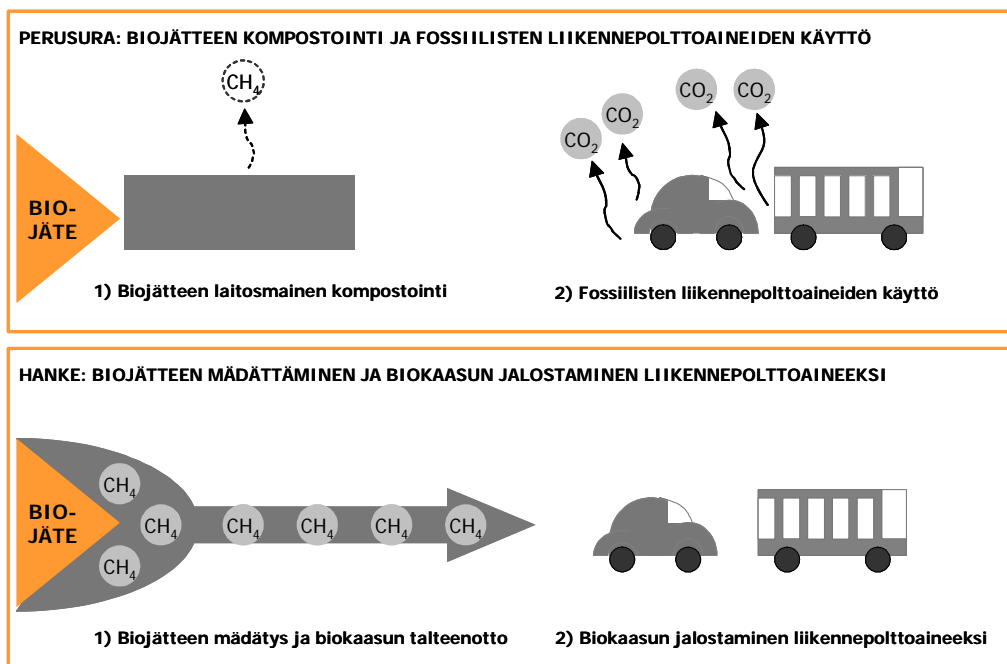
biokaasu syrjäyttäisi ensisijaisesti maakaasua liikennepolttoaineena, koska uuden infrastruktuurin rakentaminen ja uusien kaasuautojen hankinta pelkästään biokaasua varten lienee liian kallista ja aika epätodennäköistä.

Koska puhtaan, yhdyskuntajätepohjaisen biojätteen hankkiminen laitospöytäkäsittelyyn edellyttää syntypaikkalajittelua, tarkastelussa vaihtoehtona oleva kompostointilaitos sijoituisi todennäköisesti alueelle, jossa ollaan uudistamassa olemassa olevaa kompostointilaitosta tai tehostamassa syntypaikkalajittelua. Jälkimmäisessä tapauksessa yhtenä perusteluna osallistumiselle voisi olla suomalaisen syntypaikkalajittelu-osaamisen siirtäminen alueelle.

Syntypaikkalajiteltu biojäte voisi toimia liikennepolttoainetta tuottavan biokaasulaitoksen raaka-aineena yksinään tai isossa biokaasulaitoksessa muun biohajoavan materiaalin osana. On arvioitu, että sellaisen biokaasulaitoksen yhteyteen, joka tuottaisi yli 50 m<sup>3</sup>/h puhdistettua liikennepolttoainetta, on jo teknisesti ja taloudellisesti mielenkiintoista rakentaa liikennepolttoaineen jalostusyksikkö (Anon. 2003). Tämä tarkoittaisi suuruusluokaltaan yli 5 000 t biojätettä vuodessa käsittelevää laitosta.

Kaatopaikkadirektiivi kieltää asteittain biohajoavan jätteen kaatopaikkakäsittelyn EU:n alueella. Tämä lisää kiinnostusta biohajoavan jätteen muuta käsittelyä kohtaan, mutta vaikuttaa samalla vähentävästi perusuran päästötasoon (mikäli perusura on kaatopaikkakäsittely). Kaatopaikkakäsittelyn osalta mahdollinen kaatopaikkakaasun talteenotto hankaloittaa edelleen perusuran määrittämistä.

Tämä case-tarkastelu aloitettiin vertaamalla kompostoinnin ja biokaasun tuotannon välistä eroa päästöjen vähentämistehokkuudessa. Biokaasuhankkeen perusuraksi valittiin erilliskerätyn ja laitospöytäkäsittelyn biojätteen kompostointi. Periaatepiirros perusurasta ja valitusta hankkeesta on kuvassa 7.



Kuva 7. Biokaasun tuotantohanke, jossa talteenotettu kaasu jalostetaan liikennepolttoaineeksi ja jossa perusurana on fossiilisten liikennepolttoaineiden käyttö (Ahonen 2006).

### 3.6.1 Hankkeen yleiskuvaus

Kuvitteellisessa hankkeessa biojätteestä tuotetaan biokaasua mädätyslaitoksessa. Tyyppillinen biokaasun tuotantoprosessi on nettotuottaja energian suhteen. Laitoksen kokoluokka voisi olla 5 000–50 000 t biojätettä vuosittain. Kokoluokka 5 000 t vastaa Mikkelin kompostointilaitosta, 50 000 t taas YTV:n Ämmässuon uutta kompostointilaitosta.

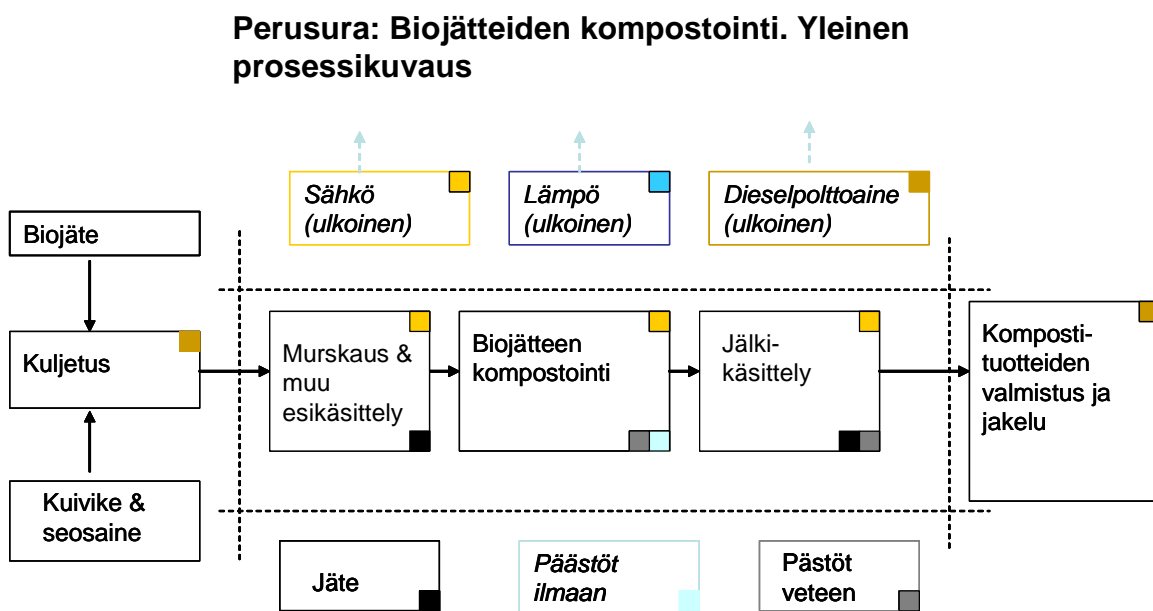
Kuvitteellinen biokaasuhankkeemme on lisäinen, jos se ei normaaliolosuhteissa ole taloudellisesti tai teknisesti houkuttelevin vaihtoehto eikä lainsäädäntö edellytä sen toteuttamista. Tämä voi perustua esim. siihen, että biokaasun tuotantoprosessi ja siihen liittyvät lisäprosessit maksavat saavutettavaan hyötyyn nähden enemmän kuin kompostointi. Laitosinvestoinnin kannalta tämä voi olla vaikea osoittaa, koska nykyaikainen kompostointilaitos on kallis investointi. Tietysti vaihtoehtona voisi olla halvempi (ja huonommin toimiva) biojätteen aumakompostointi.

Perusuran päästöt lasketaan määrittelemällä liikennepolttoaineen (maakaasu) ominaispäästökerroin, jolla syrjäytetyn polttoaineen määrä kerrotaan. Liikennealan hankkeita koskevia menetelmiä ei toistaiseksi ole hyväksytty, mutta liikennesektorin päästövähennyksille annettaneen tulevaisuudessa yhä enemmän poliittista painoarvoa. Tarkastelun hankaluutta (mutta ehkä uutuusarvoa) lisää suoraan sovellettavissa olevien arviointimetodologioiden puuttuminen. Biojätteen mädätyksestä ja liikennepolttoaineen valmistamisesta ei ole vielä tiettävästi tehty CDM-hankkeita. Siksi tarkastelussa joudutaan so-

veltamaan ja yhdistämään useita menetelmiä. Soveltuvin osin käytetään CDM-laskentaohjeita, joita on mm. sikalajätteen mädätykselle sekä kompostoinnille.

### 3.6.2 Hankkeen perusura

Perusurassa erilliskeräiltyjä biojätteitä, kuiva-ainepitoisuus 30 %, käsitellään laitosmaisesti kompostoimalla. Kompostointiin liittyvät määräykset ovat tiukentumassa, eli käytännössä tulisi jo siirtyä laitosmaiseen kompostointiin. Kompostointiprosessi kuluttaa energiaa ja kuiviketta. Prosessi saattaa myös aiheuttaa hieman kasvihuonekaasupäästöjä, ks. kuva 8 ja taulukko 17. Kompostointiin liittyviä CH<sub>4</sub>- ja N<sub>2</sub>O-päästöjä on yritetty arvioida esim. CDM-hankkeiden monitorointimenetelmässä AM0025.



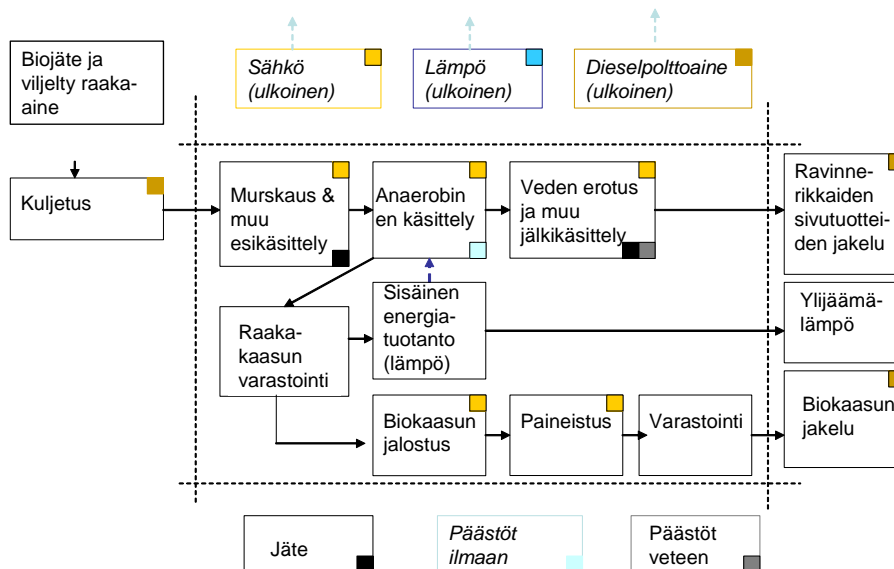
Kuva 8. Biojätteen kompostointiprosessin yleiskuva.

Todellisten projektien arvioinnissa arvioidaan perusuran ja projektin väliset erot esim. energiakulutusten ja päästöjen osalta (kuva 9, taulukot 17 ja 18). Tässä tyydytään oletukseen, että erot ovat kompostointilaitoksessa ja biokaasulaitoksessa samaa suuruusluokkaa eivätkä näin ollen oleellisesti vaikuta hankkeen toteuttamiseen. Eroksi hankkeiden välillä tulevat liikennepolttoaineen päästöt. Oletetaan, että perusuran liikennepolttoaine on maakaasua, jolloin päästökertoimeksi valitaan 202 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>nas</sub> (56,1 CO<sub>2</sub>/MJ). Jos korvattava polttoaine olisi diesel, olisi päästökerroin noin 30 % isompi (265 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>diesel</sub>, 73,5 g CO<sub>2</sub>/MJ).

Taulukko 17. Perusuran kasvihuonekaasupäästöt (biojätteen kompostointi).

Päästölähde	Kaasu	Tarkastelurajaus	Perustelut
Fossiilisen polttoaineen kulutus; biojätteen lajittelu, keräily ja kuljetus	CO <sub>2</sub>	Ei huomioitu	Perusuran ja hankkeen päästön voidaan olettaa olevan suuruusluokaltaan samoja.
	CH <sub>4</sub>		
	N <sub>2</sub> O		
Käsitelypaikan polttoaineen kulutus	CO <sub>2</sub>	Huomioitu	Ehkä merkittävä päästölähde. Ks. AM0025.
	CH <sub>4</sub>	Ei huomioitu	Päästölähteen voidaan olettaa olevan merkityksetön.
	N <sub>2</sub> O		
Suorat päästöt kompostointiprosessista	CO <sub>2</sub>	Ei huomioitu	Ks. AM0025
	CH <sub>4</sub>	Ei/kyllä	Kompostointi saattaa osittain tapahtua anaerobisesti. Päästön suuruusluokka arvioitu, ks. AM0025.
	N <sub>2</sub> O		
Kuivike	CO <sub>2</sub>	Ei huomioitu	Oletetaan biopohjaiseksi.
	CH <sub>4</sub>	Ei/kyllä	Voidaan huomioida osana kompostointiprosessin päästöjä.
	N <sub>2</sub> O		
Päästöt käytetyn sähkön tuotannossa	CO <sub>2</sub>	Ei/kyllä	Voidaan jättää huomioimatta, jos sähkön käyttö perusuralle ja hankkeelle on samaa suuruusluokkaa, muuten huomioitava.
	CH <sub>4</sub>		
	N <sub>2</sub> O	Ei huomioitu	Päästölähteen voidaan olettaa olevan merkityksetön.
Perusuran liikennepolttoaineen päästöt (Hankkeessa korvattu biokaasulla)	CO <sub>2</sub>	Huomioitu	Maakaasu (tai diesel)
	CH <sub>4</sub>	Ei huomioitu	Päästölähteen voidaan olettaa olevan merkityksetön.
	N <sub>2</sub> O	Ei huomioitu	

**Biokaasun tuotanto. Yleinen prosessikuvaus.**



Kuva 9. Biokaasun tuotantoprosessin yleiskuvaus.

Taulukko 18. II-hankkeen (Biokaasun tuotanto ja kaasun jalostus) kasvihuonekaasupäästöt.

Päästölähde	Kaasu	Tarkastelurajaus	Perustelut
Fossiilisen polttoaineen kulutus; biojätteen lajittelu, keräily ja kuljetus	CO <sub>2</sub>	Ei huomioitu	Perusuran ja hankkeen päästöjen voidaan olettaa olevan samaa suuruusluokkaa.
	CH <sub>4</sub>		
	N <sub>2</sub> O		
Käsittelypaikan polttoainekulutus	CO <sub>2</sub>	Ei/kyllä	Saattaa olla huomattava päästölähde. Huomioitava, jos perusuran ja hankkeen päästöt erisuuruisia.
	CH <sub>4</sub>	Ei huomioitu	Päästölähteen voidaan olettaa olevan merkityksetön.
	N <sub>2</sub> O		
Suorat päästöt anaerobisesta käsittelyprosessista	CO <sub>2</sub>	Ei huomioitu	Ei huomioitu. Neutraali.
	CH <sub>4</sub>		Päästölähteen voidaan olettaa olevan merkityksetön.
	N <sub>2</sub> O		
Kuivike	CO <sub>2</sub>	Ei huomioitu	Ei tarvita kuiviketta.
	CH <sub>4</sub>		
	N <sub>2</sub> O		
Päästöt käytetyn sähkön tuotannosta	CO <sub>2</sub>	Ei/kyllä	Voidaan jättää huomioimatta, jos perusuran ja hankkeen sähkön käyttö ovat samaa suuruusluokkaa, muuten huomioitava.
	CH <sub>4</sub>	Ei huomioitu	Päästölähteen voidaan olettaa olevan merkityksetön
	N <sub>2</sub> O		
Biokaasun käyttö	CO <sub>2</sub>	Ei huomioitu	Neutraali.
	CH <sub>4</sub>	Ei huomioitu	Päästölähteen voidaan olettaa olevan merkityksetön.
	N <sub>2</sub> O		

### 3.6.3 Lisäisysehto kustannusten kannalta

Biokaasulaitoksen kustannukset eivät välttämättä ole suurempia kuin kompostointilaitoksen. Esimerkiksi uuden Ämmässuon kompostointilaitoksen (21 M€ 49 000 t/a) investoinnin vuosikustannus on noin 55 €/t biojätettä. Kujalan kompostointilaitos (11,5 M€ 38 000 t/a) oli investointikustannuksiltaan edullisempi, n. 40 €/t. Pöyryn raporteissa kustannukset ovat samantasoisia, kun huomioidaan vanhojen laitosten muutostyöt (n. 40...66 €/t) ja todellinen käyttökapasiteetti. Kompostointilaitoksen muuttuvien kustannusten (käyttökustannukset) arvioidaan olevan 32–47 €/t biojätettä. Tässä ei ole mukana lopputuotteen prosessointi tuotteeksi, mutta tämä vaihe tai kustannus lienee samantyyppinen sekä mädätykselle että kompostoinnille. Edellä mainitut kustannustiedot koskevat laitosmaisia laitoksia Suomessa. ”Kevyemmät” laitosratkaisut lienevät 20–40 % halvempia.

Hagströmin ym. (2005) raportista löytyy kustannustietoja yhdelle biokaasun tuotanto- ja liikennepolttoainekäyttövaihtoehdolle. Tämä laitos on suhteellisen pieni: se tuottaa noin 2 000 MWh raakakaasua vuodessa. Mädätyslaitoksen investointikustannuksiksi on arvioitu 0,3 milj. € ja kaasun jalostus- ja jakelujärjestelmän investoinniksi 0,25 milj. €. Yhteensä investointikustannukset olisivat n. 35 €/t biojätettä. Noin puolet kustannuksista tulee kaasun puhdistuksesta. Vehmaan biokaasulaitoksen (3 milj. m<sup>3</sup> raakakaasua,

5 M€ investointikustannukset ovat suuruusluokkaa 30 €/t biojätettä (arvio edellyttää, että biojätteelle toimisi sama laitospotentiali, eli arvio perustuu kaasuntuotantopotentiaaliin). Jos Vehmaan laitokseen liitetään pieni kaasunjalostusyksikkö, olisivat investoinnit suuruusluokkaa 45 €/t.

Myös muuttuvat kustannukset voivat aiheuttaa pieniä eroja laitosten välillä. Jos kustannukset ovat muuten samalla tasolla, jätevesien käsittelykustannukset lienevät kuitenkin huomattavasti korkeammat biokaasuvaihtoehdossa. Tonni biojätettä vaatii 2–5 tonnia nestettä, jotta seoksen kuiva-ainepitoisuus olisi 5–10 %. Tämä neste täytyy käsitellä tai poistaa prosessista. Esim. 3 €n käsittelykustannus merkitsisi 6–15 €n ”ylimääräistä” kustannuserää biojätetonna kohti.

On hyvin epävarmaa, täytyykö lisäisysehto, jos perusuran kompostointilaitos korvataan biokaasutuslaitoksella. Systemin rajoja ei kuitenkaan voida laajentaa koskemaan biokaasujakelun infrastruktuurin ja biokaasuauton kustannuksia, koska biokaasu kilpaillee todennäköisesti vain alueilla, joilla maakaasua käytetään liikennepolttoaineena.

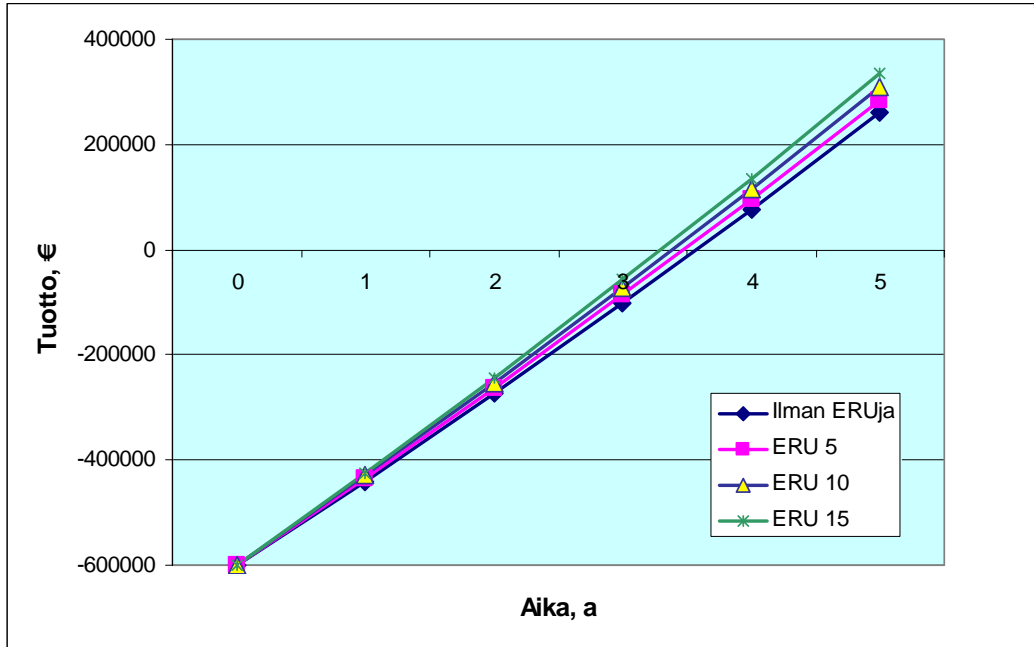
Liikennepolttoainetta jalostavan, 100–350 m<sup>3</sup>/h kaasua tuottavan lisäyksikön investointikustannus on noin 2 000–4 500 €/m<sup>3</sup>/h (Persson 2003). Seuraavassa keskitytään vertailemaan tilannetta, jossa biokaasulaitoksen ja kompostointilaitoksen kustannukset ovat samaa suuruusluokkaa ja lisäkustannukset (lisäisyys) syntyvät kaasun jalostusyksikön investointi- ja käyttökustannuksista.

### 3.6.4 Hankkeen talous

Tarkastellaan biokaasuprosessia, joka tuottaa vain liikennepolttoainetta. Valitaan raakakaasun keskimääräiseksi tuotannoksi 150 m<sup>3</sup> raakakaasua tunnissa (65 % metaania). Tällöin kaasunpuhdistusyksikön kapasiteetti on 150–200 m<sup>3</sup>/h. Puhdistusyksikön investointikustannukseksi arvioidaan Perssonin (2003) selvityksen perusteella 0,6 M€ ja käyttökustannukseksi 10 % investoinnista eli 0,06 M€/a.

Tyypillinen mädätyslaitos tuottaa raakakaasua noin 1 MWh/t biojätettä. Laitoksen lämmittäminen kuluttaa 20–25 % raakakaasusta. Kaasun puhdistushäviöt ovat noin 2 % raakakaasusta. 1 MWh:sta raakakaasua syntyy noin 750 kWh:ia liikennepolttoainetta. Oletetaan, että tarkasteltava laitos pystyy tuottamaan 5 000 MWh/a puhdistettua kaasua, eli mädätyslaitoksen keskimääräinen biojätetarve on noin 6 500–7 000 t/a. Edelleen oletetaan, että biokaasun myyntiarvo liikennepolttoaineena on 50 €/MWh ja että ERUn hinta on 10 €/t (herkkyysanalyysi tehtiin myös hintatasoilla 5 ja 15 €/t). Korvattaessa fossiilista liikennepolttoainetta syntyy päästösäästöä 1 000 t CO<sub>2</sub>/a, jolloin ERUjen arvo olisi 10 000 €/a. Kuvassa 10 esitetään hankkeen talous ilman ERU-hyvitystä ja ERU-

hyvityksen kanssa (5, 10 ja 15 €/t). Hanke olisi siis kannattava ilman ERU-hyvitystä, ja tuotto olisi viiden vuoden hankkeelle noin 50 000 €. On hyvin kyseenalaista, kattaako tämä lisähyöty ERU-sertifiointin lisäkustannukset. 5 €/n hintatasolla tuotto olisi vain 25 000 € ja 15 €/n hintatasolla korkeampi eli 75 000 €



Kuva 10. Liikennepolttoainehankkeen talous.

### 3.6.5 Hankkeen muut ympäristövaikutukset

Hankkeen ympäristövaikutukset ovat positiivisia. Biokaasujärjestelmä vähentää todennäköisesti hajuhaittoja ja jonkin verran myös kasvihuonekaasupäästöjä verrattuna kompostointiin. Lisäksi kuiviketarve poistuu, eli esimerkiksi puuhake, joka olisi tarvittu kompostointilaitoksessa, voidaan nyt käyttää biopolttoaineena. Maakaasun korvaaminen biokaasulla saattaa myös vähentää hieman autojen pakokaasupäästöjä (Anon. 2003). Lisäksi maakaasun tuotannossa syntyvät välilliset päästöt vähenevät.

## 3.7 Johtopäätökset

Biojätteiden käsittelyratkaisut ovat usein osa laajempaa yhdyskuntajätehuollon kehittämiskäytäntöä. Biojätehuolto voi kehittyä myös osana maatalouden tai energiateollisuuden kokonaisjärjestelmää. Kun otetaan huomioon lainsäädännön nopea kehitys, on hyvin vaikea ennustaa, mihin suuntaan ja miten nopeasti biojätehuolto kehittyi. Valittu biojätehuoltoratkaisu vaikuttaa jossakin määrin syntyviin kasvihuonekaasupäästöihin.



Jätteiden kompostoinnin ja varastoinnin yhteydessä mahdollisesti syntyvistä kasvihuonekaasupäästöistä tiedetään vielä varsin vähän. Myös maatalouden kasvihuonekaasupäästöt tunnetaan merkittävästi huonommin kuin energiantuotannon ja teollisen toiminnan päästöt. Biojätteiden käsittelyllä saavutettavat kasvihuonekaasujen päästövähennempotentiaalit ovat suhteellisen pienet esim. jätteiden polton tai kaatopaikkakaasun talteenoton potentiaaleihin verrattuna. Jos vertailuvaihtoehtona on kaatopaikkasijoitus, kompostointi kuitenkin vähentää päästöjä. Mädätyksen kautta voidaan edelleen parantaa biojätteiden käsittelyn kasvihuonekaasupäästötaseita. Tämä perustuu siihen, että tuotettu biokaasu käytetään joko suoraan sähkön ja lämmön tuotantoon tai kaasusta tuotetaan liikennepolttoaineita. Tuotetulla energialla tai polttoaineella korvataan fossiilisia polttoaineita.

Case-tarkastelun perusteella näyttää siltä, että varsinaisia JI- tai CDM-hankkeita ei tulla biojättesektorilla näkemään saavutettavan päästösäästön pienuuden vuoksi. Biojätehuollon kehittyminen ja maakaasua korvaavien polttoaineiden tai liikennepolttoaineiden tuotantomahdollisuus nostavat kuitenkin biojätteiden käsittelyn mielenkiintoiseksi potentiaaliseksi liiketoiminta-alueeksi. Mm. maatalouskokoluokan biokaasun jalostustekniikasta voi kehittyä potentiaalinen vientituote, jolla voidaan vaikuttaa myönteisesti kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen. Tekniikalle, jolla valmistetaan käyttökelpotomasta kompostista tai biomassasta polttoainetta, voi myös löytyä tilaa markkinoilta mm. kompostiin liittyvien laatuongelmien vuoksi.

Biomassan mädätyksessä olisi mahdollista lisätä kaasuntuottoa ulkoisen lämmönlähteen avulla. Tällöin mädätysyksikön lämmittämiseen tarvittava kaasumäärä voitaisiin jalostaa liikennepolttoaineeksi. Kaasun tuottoa pystyttäisiin näin lisäämään noin 30 %. Tämä voisi olla uusi mielenkiintoinen liiketoimintamahdollisuus esimerkiksi suomalaisille pienille biopolttoainekattiloille ja olisi mahdollista toteuttaa jo nykyisillä biokaasulaitoksilla.

## **4. Jätteiden energiakäyttö**

### **4.1 Osa-alueen tavoitteet ja toteutus**

Jätteiden energiakäytön tarkasteluissa asetetaan ensisijaiseksi materiaali- ja energiakäytön yhdistäminen jätelain tavoitteiden mukaisesti. Suomessa jätteen energiahyötykäyttö-tekniologioiden osaaminen on korkeatasoista. Jätteiden lajittelu-, keräys- ja käsittelytavat vaikuttavat merkittävästi jätehuollon kasvihuonepäästöihin. Jätteiden hyödyntäminen materiaalina ja energiana sekä biohajoavan jätteen kompostointi kaatopaikkasijoituksen sijaan ovat keskeisiä tekijöitä kasvihuonekaasujen vähentämisessä. Tässä luvussa tarkastellaan jätteen energiahyötykäytön vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin.

Jätteiden energiakäytön merkitys kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä on huomattava. Jätehuollon kasvihuonekaasupäästöjä voidaan vähentää vähentämällä kaatopaikkojen metaanipäästöjä, ottamalla kaatopaikkakaasu talteen sekä korvaamalla fossiilisia polttoaineita bioperäistä jätettä polttamalla.

Tässä luvussa tarkastellaan seuraavia konsepteja: erilaisten syntypaikkalajittelujärjestelmien (SP-lajittelujärjestelmien) vaikutukset SRF:n (solid recovery fuel) laatuun, mekaanis-biologinen käsittely (MB-käsittely), kierrätyspolttoaineen valmistusteknologiat sekä kierrätyspolttoaineiden hyödyntämisvaihtoehdot CHP-tuotannossa tai SRF:n rinnakkaispoltossa, kaasutuksessa ja massapoltossa. Tarkastelun pohjana ovat keväällä 2004 valmistunut BAT-raportti suomalaisista jätteiden energiahyötykäyttö-tekniologioista (Wilén ym. 2004) sekä Climtech-tutkimusohjelmassa tehty selvitys jätehuoltotoimenpiteiden vaikutuksesta kasvihuonekaasupäästöjen vähenemiseen.

### **4.2 Kartoitetut konseptit**

#### **4.2.1 Syntypaikkalajittelu**

Suomessa nykyisin käytössä olevissa, syntypaikkalajitteluun perustuvissa keräysjärjestelmissä jättejakeet lajitellaan kotitalouksissa 1–5 astiaan kiinteistön asuntojen lukumäärän perusteella. Lisäksi ongelmajätteille ja hyötyjakeille on omat keräystapansa. Eriksien kerättäviä jakeita ovat lasi, metalli, biojäte, paperi, kartonki ja pahvi sekä ongelmajätteet. Näiden jakeiden lajittelun jälkeen jäljelle jää pääasiassa pakkauksia sisältävä ns. kuivajäte, joka voidaan parhaiten hyödyntää SRF:n raaka-aineena.

Seuraavassa esitetään muutama tyypillinen syntypaikkalajittelumalli.

**1–2 keräysastiaa (Pietarsaari/Ekorosk Oy):** Jätteet lajitellaan kotitalouksissa kahteen jakeeseen: 1) märkä jäte mustaan muovipussiin ja 2) kuiva jäte valkoiseen muovipussiin. Viiden asunnon ja sitä suuremmilla kiinteistöillä tulee olla lisäksi astia keräyspaperille. Kuivajakeesta valmistetaan Ewapower Oy:n pelletointilaitoksessa polttoainetta voima- ja lämpölaitoksia varten. Märkä jäte kuljetetaan Vaasaan Stormossenin laitoksen mädätysreaktoriin. Hyötyjakeille eli lasille, paperille, metallille, vaatteille, ongelmajätteille yms. on useita kymmeniä eritasoisia hyötykeräysasemia.

**2–5 keräysastiaa (Vaasa):** Kotitalouksissa jätteet lajitellaan 1) karkeaan jakeeseen (kaatopaikalle) ja 2) keittiöjätteeseen (biojäte ja pakkaukset). Viiden asunnon ja sitä suuremmilla kiinteistöillä tulee olla keräysastiat myös lasille, metallille ja keräyspaperille. Keittiöjätteestä erotellaan biojäte rumpuseulalla mädätysprosessiin ja pakkausjäte kuljetetaan Pietarsaareen Ewapowerin pellettitehtaan raaka-aineeksi. Hyötyjakeille on aluekeräyspisteitä.

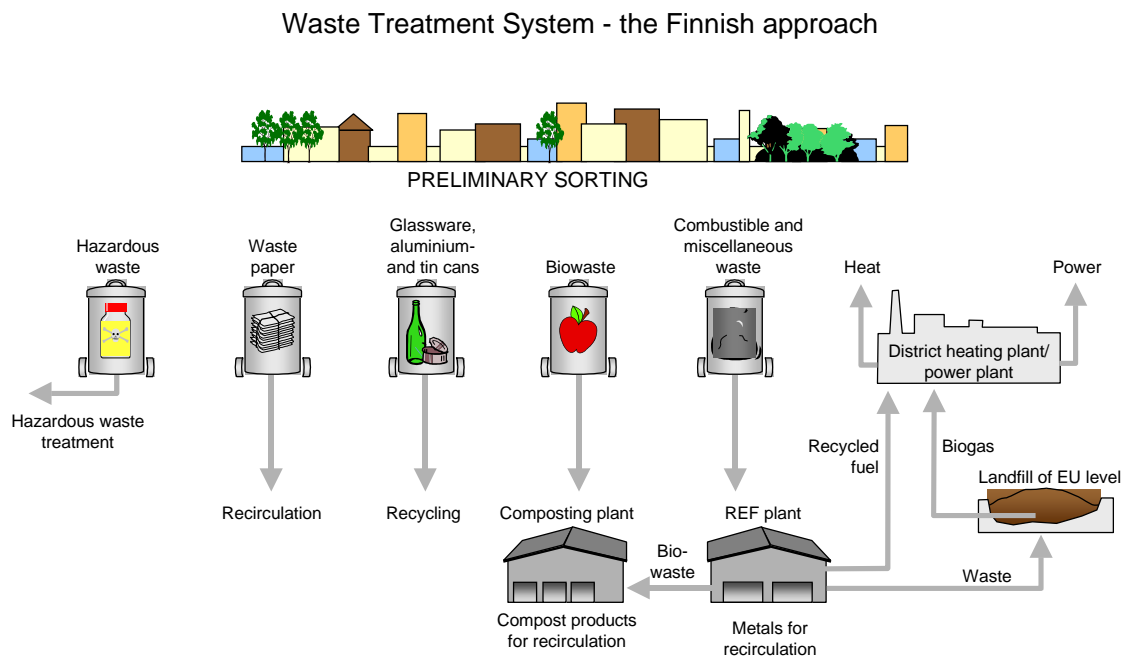
**3 keräysastiaa (Tampere):** Viiden asunnon ja sitä suuremmissa kiinteistöissä lajitellaan erikseen 1) biojäte, 2) paperi ja 3) kuivajäte. Pienemmissä kiinteistöissä vaaditaan keräysastia vain kuivajätteelle. Muille jakeille (lasi, metalli, vaatteet, maitotölkit, ongelmajätteet jne.) on omat keräyspisteensä. Kuivajäte on SRF:n raaka-ainetta, kun taas muut jakeet ohjataan hyötykäyttöön.

**4 keräysastiaa (YTV):** Viiden asunnon ja sitä suuremmissa kiinteistöissä lajitellaan erikseen paperi ja sekajäte. Kymmenen asunnon ja sitä suuremmissa kiinteistöissä lajitellaan erikseen 1) biojäte, 2) paperi ja 3) sekajäte. Kahdenkymmenen asunnon ja sitä suuremmissa kiinteistöissä lajitellaan erikseen 1) biojäte, 2) paperi, 3) sekajäte ja 4) keräyskartonki. Lasin ja metallin kiinteistökohtaista keräyksen onnistumista ja kannattavuutta tutkitaan.

**5 keräysastiaa (Turku ja Jyväskylä):** Jätteet lajitellaan kotitalouksissa kiinteistöjen koon perusteella seuraaviin jakeisiin: 1) biojäte, 2) lasi, 3) metalli, 4) paperi ja 5) kuivatai sekajäte. Turku on julkaisua kirjoitettaessa Suomen ainoa paikkakunta, jossa sekajätteitä poltetaan erillisessä laitoksessa. Syntypaikkalajittelun myötä poltettavan jätteen laatu on kuitenkin parantunut Turussa. Jyväskylässä kuivajäte tulee olemaan REFin raaka-ainetta.

**5 keräysastiaa (Lahti):** Lahdessa lajitellaan jätteet alle kymmenen asunnon kiinteistöissä seuraavasti: 1) energijäte, 2) kaatopaikkajäte ja 3) paperi (vähintään kolmen asunnon kiinteistöt). Tätä suuremmissa kiinteistöissä tulee olla lisäksi keräysastiat 4) pahvi- ja paperipakkausjätteelle ja 5) biojätteelle. Energijäte hyödynnetään kaasuttimen polttoaineena. Muut jakeet hyödynnetään vastaavasti aikaisempien mallien mukaisesti.

Kuvan 11 kaaviossa esitetään suomalainen jätehuoltojärjestelmä kokonaisuutena.



Kuva 11. Suomalainen jätehuoltojärjestelmä ja SRF:n tuotanto.

Tutkimusten mukaan syntypaikkalajittelujärjestelmä vaikuttaa jätteestä valmistettavan SRF:n laatuun. Lahden energiajäte on suhteellisen ”puhdasta”, mutta kaatopaikkajakeesta jopa puolet saattaa olla palavaa materiaalia. Jyväskylän mallissa on paljon epäpuhtauksia: biojätettä on jopa 20–30 %. Samantyyppistä on myös Pietarsaaren kuivajäte.

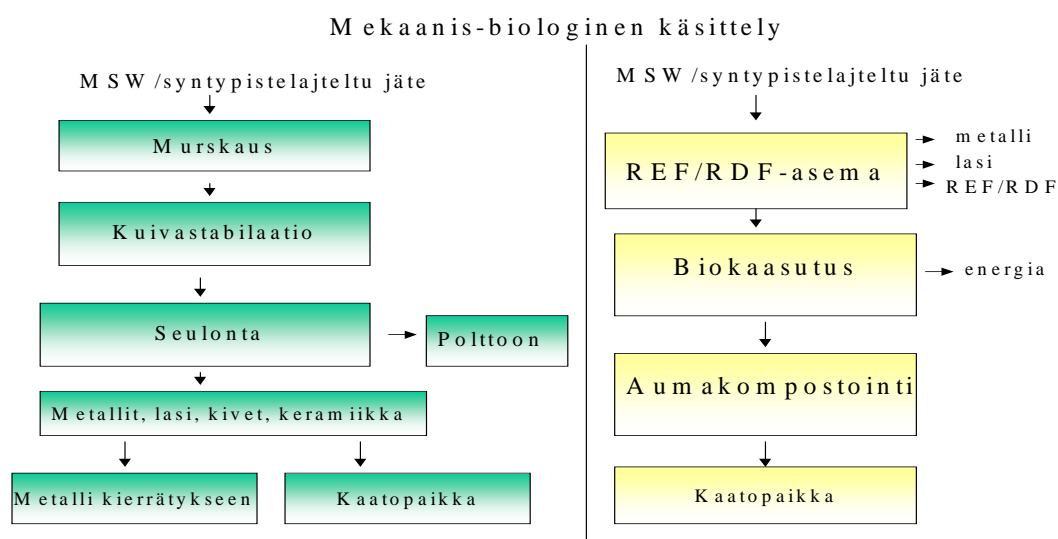
SRF:n raaka-aineiden tulisi olla sellaisia, että niistä ei aiheudu kohtuuttomia teknisiä, päästö- tai työterveyshaittoja SRF:n valmistuksessa eikä käytössä. Eri materiaalien hyötykäyttöön ja alkuainekoostumukseen pyritään vaikuttamaan alan päätöksillä ja asetuksilla siten, että materiaalit voidaan hyödyntää joko materiaalina tai energiana. Tämän jälkeen kierrätyspolttoaineen laadun ratkaisevat jätteiden syntypaikkalajittelu ja valmistusprosessi (SRF-laitokset). Käytännössä laatua voidaan parantaa saannon kustannuksella. Tiedotuksella, kaatopaikalle menevälle jätteelle asetettavilla korkeilla vastaanottomaksuilla sekä erilaisilla sanktioilla voidaan osaltaan vaikuttaa siihen, kuinka hyvin syntypaikkalajittelujärjestelmät toimivat (Ajanko ym. 2005).

## 4.2.2 Jätteenkäsittelykonseptit

### Mekaanis-biologinen käsittely

Viime vuosina on Euroopassa yleistynyt ns. mekaanis-biologinen käsittely. Mekaanis-biologinen käsittely on lähinnä jätteiden esikäsittelyä ennen kaatopaikkasijoitusta. Siinä

sekajäte tai syntypaikkalajiteltu jäte prosessoidaan mekaanisesti ja biologisesti (murskaus, seulonta, kompostointi tai biokaasun tuotanto) ja samalla vähennetään läjitettävän jätteen määrää ja biologista aktiivisuutta. Mekaanisessa käsittelyssä saadaan talteen kierrätyksen kelpaavaa tai polttokelpoista materiaalia jatkokäsittelyä varten. Biologisessa käsittelyssä jätteen sisältämä orgaaninen aines pyritään käsittelemään niin, että hajoamistoiminta ja materiaalin määrä pienenevät. Lopputuote, jossa orgaanisen aineksen osuus on pienentynyt huomattavasti, voidaan sitten läjittää kaatopaikalle. Jätteiden esikäsittely mekaanis-biologisesti ennen kaatopaikkasijoitusta vähentää kaatopaikkojen metaanipäästöjä merkittävästi verrattuna käsittelemättömän jätteen kaatopaikkasijoitukseen. Kuvassa 12 havainnollistetaan erilaisia mekaanis-biologisia käsittelyjärjestelmiä.

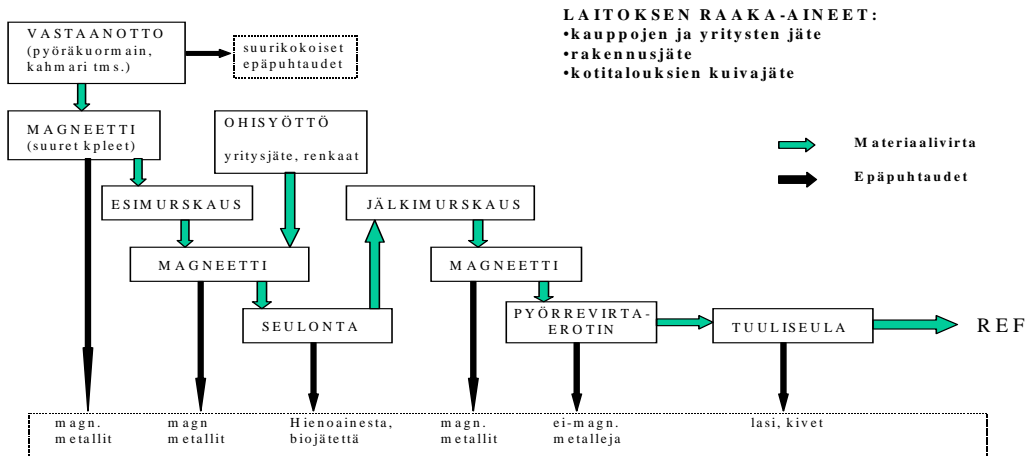


Kuva 12. Mekaanis-biologisen käsittelyn pääperiaatteet.

#### 4.2.3 SRF:n valmistusprosesseja

Syntypaikkalajiteltu (ns. kolmen astian lajittelumalli eli biojäte, paperi, kuivajäte) kuivajäte vaatii melko monimutkaisen SRF:n valmistuslaitoksen, joka koostuu murskauksesta, magneettierottimista, täryseuloista, ei-magneettisten epäpuhtauksien poistoon tarkoitusta pyörrevirtaerottimesta, pneumaattisista erottimista ja optisesta lajittelusta. Prosessin tarkoituksena on poistaa valmiiseen tuotteeseen, SRF:ään, kuulumattomat epäpuhtaudet, joita ovat pääasiassa biojäte, lasi, hiekka, metalli, alumiini ja PVC. Yleisesti laitosten kapasiteetti on noin 40 000 t/a. Kuvassa 13 on tyypillinen SRF:n valmistuslaitoksen prosessikaavio.

## KIERRÄTYSPOLTTOAINEEN VALMISTUSPROSESSI



Kuva 13. SRF:n valmistusprosessi.

Pirkanmaan Jätehuolto Oy:n omistavat Tampereen alueen 23 kuntaa, ja se palvelee noin 376 000:ta asukasta. Sen Tarastenjärven kaatopaikan yhteydessä on laitos, jonka SRF:n tuotantokapasiteetti on 30 000 t/a (kuva 14). Prosessilinjan päävaiheet ovat

- karkea lajittelu vastaanottohallin lattialla
- magneetit, metallinpaljastin
- esimurskaus, palakoko noin 150 mm
- magneetti
- rumpuseula, biojäte ja pienet osat, kuten hiekka
- täryseula, joka erottelee raskaimmat epäpuhtaudet, kuten lasin ja PVC:n
- jälkimurskaus, palakoko noin 50 mm
- magneetti- ja pyörrevirtaerotin
- paalaus ja käärintä muoviin.

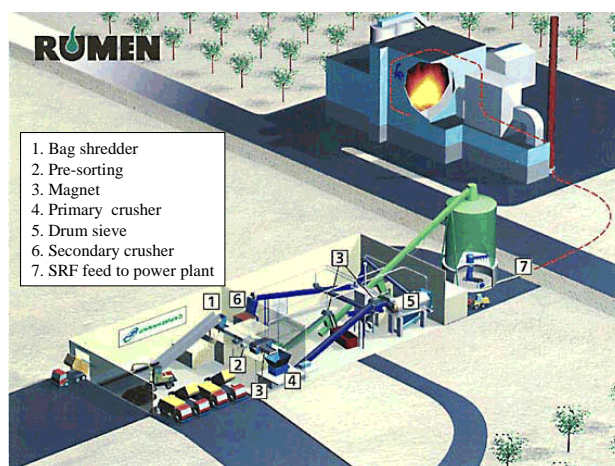
SRF hyötykäytetään kiertopetikattiloissa sähkön ja kaukolämmön tuotannossa. Biojäte kompostoidaan ja rejektit käytetään kaatopaikan peiteaineena. Metallit ja lasit kierrätetään. Laitoksen SRF:n tuotantotehokkuus vaihtelee välillä 75 ja 81 %.



*Kuva 14. Tarastenjärven laitoksen SRF:n tuotantolaitos.*

Samanlainen SRF-laitos on Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy:n laitos. Valmis SRF toimitetaan suoraan voimalaitokselle (66 MWth, kerrosleijukattila), jonka omistaa Vapo Oy, ks. kuva 15. Laitoksen olennaisimmat tunnusluvut ovat seuraavat:

- sisään tuleva jätevirta 15 000 t/a
- SRF-tuotanto 8 000–9 000 t/a
- biologinen jäte 4 000–5 000 t/a
- metalli (Fe, Al) 300–500 t/a
- kaatopaikalle menevä rejekti 800–1 000 t/a.

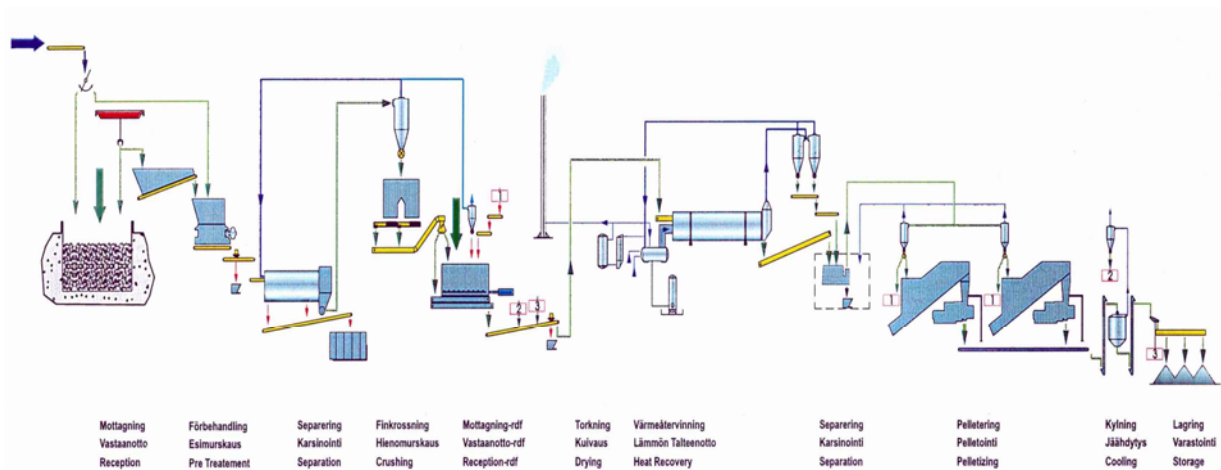


*Kuva 15. SRF:n tuotanto yhdistettynä lämmöntuotantoon.*

Laitos toimii melko pienellä kapasiteetilla, koska SRF:n tarve on varsin pieni. Tavoitteena on lisätä tuotanto 45 000 tonniin/a vuoteen 2007 mennessä.

Ekorosk Oy vastaa Pietarsaaren ja sitä ympäröivien kuntien jätehuollosta. Jätteet lajitellaan kahteen eri jakeeseen: märkään ja kuivaan. Märkä jae käsittää kaiken orgaanisen materiaalin ja kuiva jae poltettavan osan. Nämä kaksi jakeita lajitellaan erivärisiin pussihin, jotka viedään samaan astiaan. Laitoksella pussit lajitellaan optisesti eri linjoille. Märkä jae kuljetetaan Vaasaan, jossa on mädättämö, ja kuiva jae käsitellään Pietarsaareissa Ewapower Oy Ab:n pelletointilaitoksella toimitettavaksi energiahyötykäyttöön. Muut jakeet, kuten lasi, metalli ja keräyspaperi, kerätään aluekeräyspisteisiin.

Ewapowerin pelletointilaitoksen prosessi koostuu esimurskauksesta, magneettierottimesta, tuuli- ja rumpuerottimista, jälkimurskauksesta, kuivauksesta, tuulierottimesta sekä pelletointiyksiköstä (kapasiteetti noin 5 t/a kullakin kolmella puristimella), jäähdyttimestä ja pölyerottimesta. Prosessikaavio on kuvassa 16.



Kuva 16. Ewapower Oy:n pelletointilaitoksen prosessikaavio.

Pelletointiprosessi on melko monimutkainen ja vaatii aina kuivauksen. Materiaalin kosteuden on oltava alle 10 %, jotta pelletointi onnistuisi. Investointi- ja tuotantokustannukset ovat merkittävästi korkeampia kuin normaalissa SRF-tuotannossa. Lisäksi kuivaus ja pelletointi vaativat energiaa, ja noin 15 % energiasisällöstä meneekin prosessointiin. Lopputuote on kuitenkin kuivaa, helppo varastoida ja sen energiasisältö on korkea.

#### 4.2.4 Energiahyötykäyttökoneet

Sekajätteen poltto erillisissä laitoksissa ei ole tähän saakka ollut Suomessa todellinen vaihtoehto. Kaatopaikoille sijoittaminen on ollut helppoa, koska vapaita alueita on ollut riittävästi. EY:n direktiivit tulevat kuitenkin vaatimaan kaatopaikkasijoituksen mini-



moimista. Jätteenpolttoasetus, jolla EU:n jätteenpolttodirektiivi on saatettu voimaan Suomessa, on vaikuttanut voimakkaasti rinnakkaispolton edellytyksiin. Kalliit, toistuvat päästömittaukset ja savukaasujen puhdistuslaitteiden tarve johtavat siihen, että rinnakkaispoltto ei ole enää taloudellisesti kannattavaa pienissä yksiköissä. Näin ollen Suomeen jäänee ainoastaan muutamia kierrätyspolttoaineita käyttäviä kattiloita. Syntypaikakalajitellun jätteen poltto tulee hallitsevaksi tekniikaksi. On arvioitu, että tällaisia laitoksia rakennetaan ainakin kymmenen.

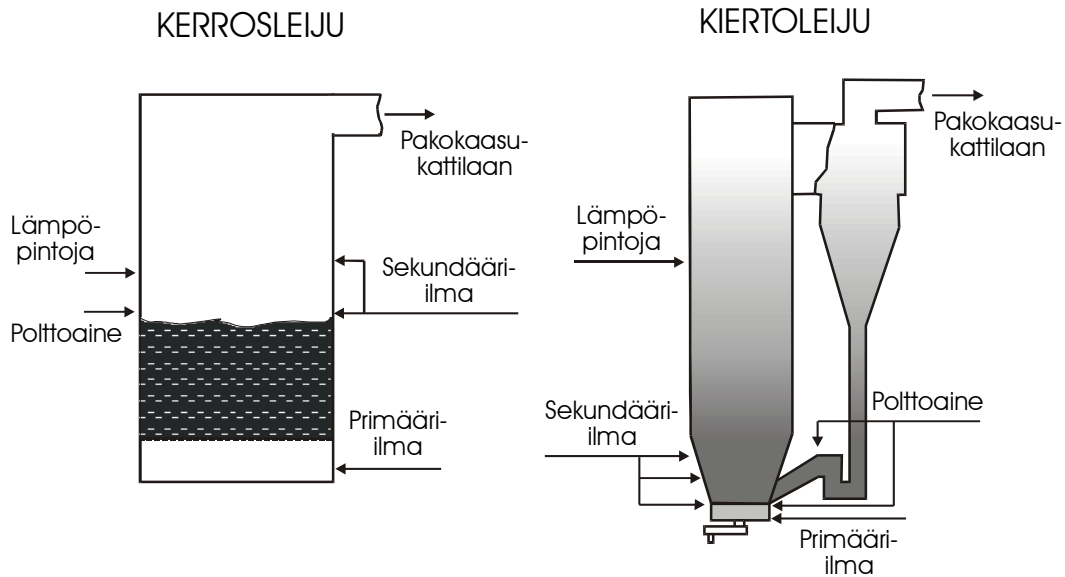
### **SRF:n rinnakkaispoltto leijukerroskattiloissa**

Suomessa yhdyskuntien ja teollisuuden CHP-kattilat ovat suurimmaksi osaksi leijukerroskattiloita. Leijukattiloita on toimitettu myös kaukolämpökattiloiksi. Yli 15–20 MW polttoainetehoilla leijukerroskattilat ovat syrjäyttäneet Suomessa arinakattilat, koska leijukerroskattilat sallivat suuria polttoaineen laadun vaihteluita. Leijupoltto soveltuu erityisen hyvin huonolaatuisille ja kosteille polttoaineille. (Raiko ym. 1995.)

Leijupoltto voidaan toteuttaa kuplivassa leijukerroksessa (kerrosleiju eli BFB) tai kiertoleijukerroksessa (kiertoleiju eli CFB). Kuplivassa leijukerroksessa hiukkaset pysyvät leijukerroksessa, kun taas kiertoleijussa kiintoainehiukkaset kulkevat leijutuskaasun mukana pois leijutusstilasta ja ne palautetaan syklonin kautta takaisin tulipesään. Leijupoltossa leijukerroksen lämpötila vaihtelee 750 °C:sta 950 °C:seen; ylärajana on tuhkan pehmenemispiste. (Raiko ym. 1995.)

### **Kaasutus**

Kaasutin perustuu polttoainetehon mukaan kiinteäkerros-, kiertoleiju- tai kerrosleijutekniikkaan. Kiertoleijukaasuttimen kapasiteetti on tyypillisesti 40–100 MW<sub>pa</sub> ja kerrosleijukaasuttimen 15–40 MW<sub>pa</sub>. Kiinteäkerroskaasutustekniikkaa on mahdollista käyttää pienemmissä kokoluokissa (alle 15 MW<sub>pa</sub>). Kiinteäkerroskaasutuksessa erotetaan vastavirta- ja myötävirtakaasutus. Perinteiset kiinteäkerroskaasuttimet soveltuvat vain palamaisille polttoaineille, kuten puuhakkeelle ja palaturpeelle. Vastavirtakaasutusta on käytetty useissa kaupallisissa sovelluksissa. Leijukerroskaasutuksessa kiinteän polttoaineen kaasuuntuminen tapahtuu kuumassa ilman leijuttamassa hiekka-, tuhka- tai hiilikerroksessa, jossa polttoaine lämpenee ja pyrolysoituu nopeasti. Leijukerroskaasuttimia on kahta päätyyppiä: kerrosleijukaasutin (BFB) ja kiertoleijukaasutin (CFB) (ks. kuva 17). Kaasutuksen tuotekaasua voidaan käyttää polttoaineena kiinteän polttoaineen kattilassa, kaasu- tai öljykattilassa tai kaasuturbiinissa. Kaasutuskaasun käyttö olemassa olevassa kaasuturbiinissa, jossa ei ole varauduttu kaasutuskaasun käyttöön, on kuitenkin teknisesti vaikeampi toteuttaa kuin kaasutuskaasun käyttö olemassa olevassa kiinteän polttoaineen kattilassa.



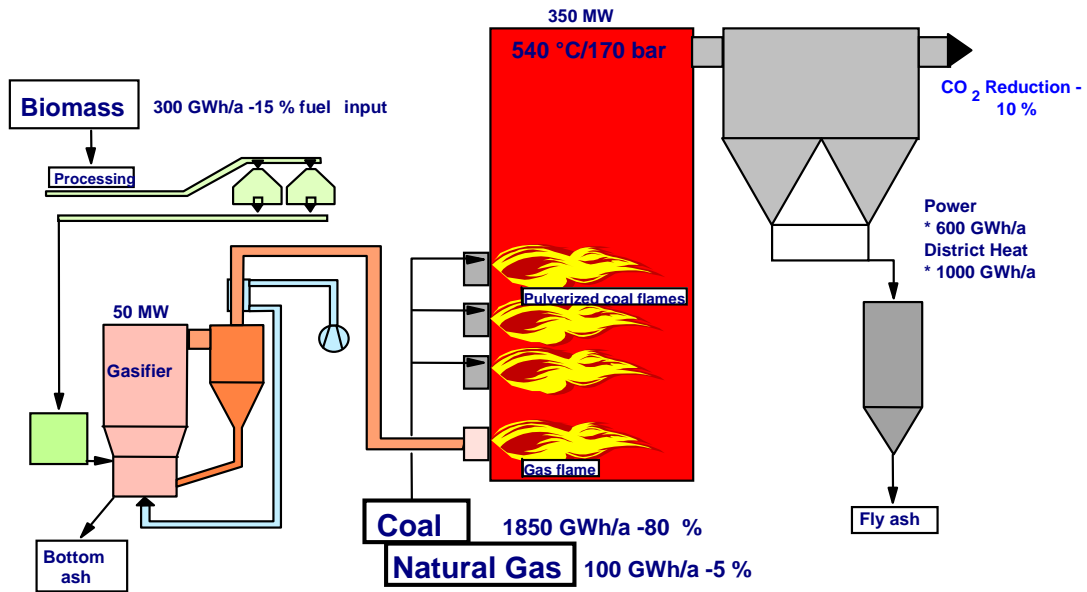
Kuva 17. Kerrosleiju- ja kiertoleijukattilan toimintaperiaatteet (Raiko ym. 1995).

SRF:n kaasutusratkaisuissa on olennaista kaasun puhdistaminen kaikesta kiintoaineesta ja epäpuhtauksista, jotta kierrätyspolttoaineiden käyttö ei aiheuttaisi teknisiä riskejä kaasun käyttökohteina olevissa pääkattiloissa. SRF:n kaasutuksen lentotuhka saadaan pohjatuhkan lisäksi erilleen pääkattiloiden tuhkasta kaasuttimen jälkeisellä hiukkaserottimella. Se voidaan hyödyntää esimerkiksi rakennusteollisuudessa.

### Tuotekaasun poltto hiilipölykattilassa

Kun halutaan syöttää kierrätyspolttoaineita hiilipölykattilaan, maakaasukattilaan tai -turbiniin, kierrätyspolttoaine on ensin kaasutettava. Kaasutuksen tuotekaasu voidaan puhdistaa epäpuhtauksista ennen kaasun syöttöä kattilaan, jolloin pääkattilan käytettävyyttä ei huonone. Tällainen ratkaisu soveltuu myös kiinteän polttoaineen leijukerroskattiloiden yhteyteen etenkin silloin, kun halutaan varmistaa pääkattilan häiriötön käyttö. Kuvassa 18 on esimerkkinä Lahden Lämpövoiman 50 MW:n kaasutin yhdistettynä hiilipölykattilaan.

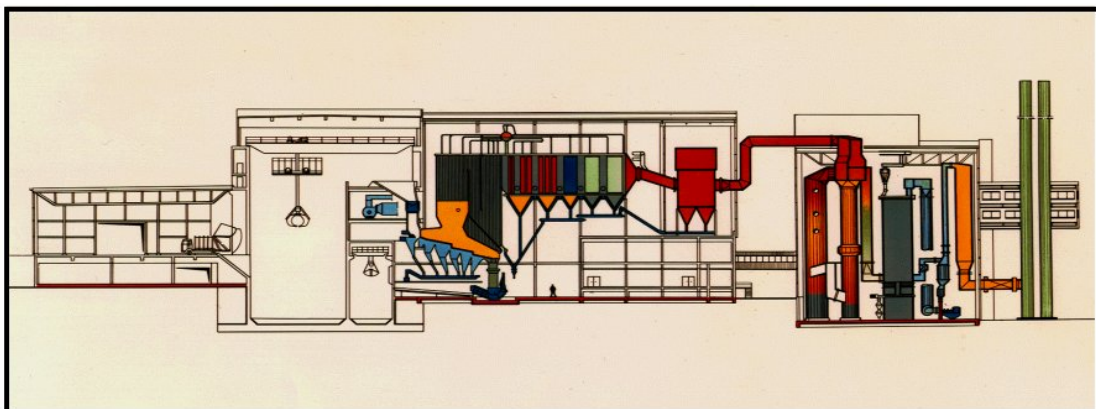
## BIOMASS GASIFICATION - COAL BOILER - LAHTI PROJECT



Kuva 18. Hiilipölykattilaan kytketty kaasutin Lahden Lämpövoima Oy:n voimalaitoksella.

### Massapoltto

Massapoltolla tarkoitetaan sekajätteen polttoa sellaisenaan ilman erottelua tai muuta esikäsittelyä. Keski-Euroopassa on jo pitkään poltettu jätteitä perinteisissä massapolttolaitoksissa. Suomessa tällaisia laitoksia on vain yksi, Turun jätteenpolttolaitos. Perinteisistä massapolttolaitoksista on esimerkkinä kuvassa 19 Babcockin kehittämä jätteenpolttolaitos.

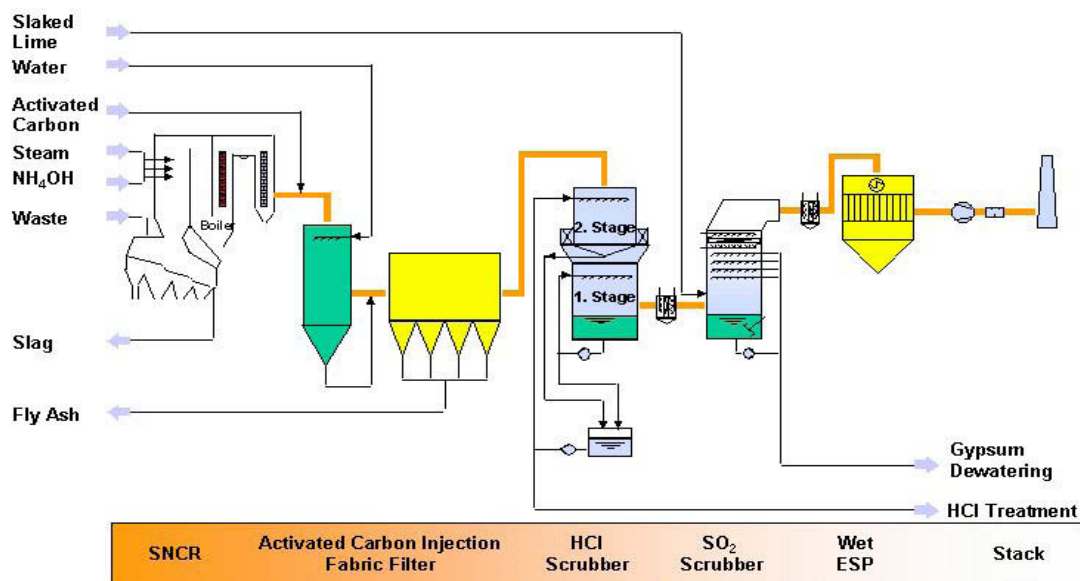


Kuva 19. Perinteiseen arinapolttotekniikkaan perustuva jätteenpolttolaitos (Babcock-Borsig Austrian Energy 2001).

Arinapolttotekniikkaa on pidetty massapolttolaitoksille järkevänä, koska se ei ole riippuvainen polttoaineen laadusta. Siksi jätettä ei tarvitse yleensä esikäsitellä, vaan se voidaan syöttää tulipesään sellaisenaan. Käyttökustannukset ovat kohtuulliset. Suurena kustannuksena on savukaasujen puhdistus, joka lisää investointikustannuksia. Arina voi olla joko pyörivä tai edestakaisin liikkuva arina. Uusimmissa laitoksissa on yleensä mahdollisuus arinan vesijäähdytykseen, jolla parannetaan polton stabiilisuutta. Myös tuhka voidaan haluttaessa käsitellä vitrifioimalla, pesemällä yms.

Savukaasunpuhdistukseen voidaan käyttää erilaisia vaihtoehtoja: sähkö- tai kuitusuodattinta hiukkasten poistoon, puolikuivaan kalkinsyöttöön tai pesuriin perustuvaa happamien kaasujen vähentämistä, kalkin tai aktiivihiilen absorptiota dioksiinien ja HCl:n poistamiseksi savukaasuista ja katalyyttejä dioksiinien poistamiseksi tai typen oksidien vähentämiseksi. Kuvassa 20 on esimerkkinä tyypillinen keskieurooppalaisen jätteenpolttolaitoksen savukaasunpuhdistuslaitteisto, jolla alitetaan jätteenpolttodirektiivin raja-arvot. (Babcock-Borsig Austrian Energy 2001.)

Massapolttolaitosten pohjatuuhkaa on hyötykäytetty muun muassa tierakenteissa. Lentotuuhka sisältää yleensä niin paljon haitallisia raskasmetalleja ja muita haitta-aineita, että se tulee käsitellä vitrifioimalla tai stabiloimalla ennen läjitystä kaatopaikalle.



Kuva 20. Tyypillinen jätteen massapolttolaitoksen savukaasunpuhdistusjärjestelmä Keski-Euroopassa (Babcock-Borsig Power Austrian Energy 2001).

Keski-Euroopan massapolttolaitokset tuottavat yleensä vain sähköä, koska lämpökuorman tarvetta ei useinkaan ole. Massapolttolaitosten sähköntuotannon hyötysuhteet ovat

luokkaa 10–20 %. Höyryn arvot ovat luokkaa 380–440 °C. Ruotsissa käytössä olevat massapolttolaitokset (21 kpl) tuottavat kaikki pelkästään lämpöä.

Muita merkittäviä jätteenpolttokattilavalmistajia ovat mm. Keppler Seghers Belgiasta, Von Roll Inova Itävallasta, Fisia Babcock Italiasta sekä Martin Saksasta.

### 4.3 Kustannukset

SRF:n valmistuslaitosten alkuperäiset prosessin, rakennuksen ja maanrakennuksen kattavat investointikustannukset ovat olleet yhteensä 2,5–5,2 miljoonaa euroa/laitos. Useissa laitoksissa on rakennusvaiheen jälkeen tehty muutoksia prosessiin ja rakennuksiin tai rakennettu kokonaan uutta. Näistä muutoksista aiheutuneet kustannukset olivat – siltä osin kuin tietoja saatiin – 0,15–0,42 miljoonaa euroa/laitos. Pääomainvestoinnit kokonaisuudessaan ovat olleet 2,8–10,8 €/jätetonne ja 6,3–16,7 €/tuotettu SRF-tonni (15 vuotta, 5 % korko). Laitosten käyttökustannukset vuosina 2001–2003 olivat 194 632–1 029 000 €/laitos/vuosi, mikä on 16,4–46,1 €/ käsitelty jätetonne ja 17–59,9 €/ tuotettu SRF-tonni.

Eräällä laitoksista SRF-polttoaineesta saatu myyntihinta on noin 8 €/tonni ja puurouheesta noin 20 €/tonni. Toisella laitoksella SRF-polttoaineen myyntihinta on ollut 2,5 €/MWh ja puupitoisemman polttoaineen 5 €/MWh. Laitos on kuitenkin joutunut maksamaan polttoaineen kuljetuksen, jolloin polttoaineesta saatavalla tuotolla on katettu kuljetuksen kustannukset. Eräällä laitoksella tuotteen myynnistä ei saada tuottoa, mutta tuotteen vastaanottaja maksaa kuljetuksesta aiheutuvat kustannukset. Rejektien loppusijoituksen kustannukset ovat noin 23–55 €/tonni (Jaakko Pöyry Infra 2005).

Jätteenkäsittelykonseptien kustannukset voidaan esittää käsittelymaksuina, jotka jätteen tuottaja maksaa jätehuoltoyritykselle. Tähän lisätään verot. Pienimmät jätteenkäsittelymaksut ovat 50 €/t, ja ne saadaan vaihtoehdossa, jossa tuotetaan RDF:ää, joka hyödynnetään kaasutuksen kautta olemassa olevissa hiilipölykattiloissa (RDF = syntypaikkalajittelelmattomasta jätteestä valmistettu polttoaine). Kustannusarvio kattaa kotitalousjätteen mekaanis-biologisen käsittelyn, kaupan- ja rakennusjätteen mekaanisen käsittelyn ja RDF:n energiahyötykäytön. Tässä tapauksessa syntypaikkalajitellun jätteen polton vastaava kustannus olisi ollut 80–90 €/t, joka sisältää esikäsittelyn, lähinnä metallin ja lasin erottelun, voimalaitoskustannukset ja tulot sähkön myynnistä.

EU-direktiivit täyttävien kaatopaikkojen jätteenkäsittelymaksut sisältävät Suomessa kustannukset kaatopaikan rakenteista, kaasun talteenotosta ja sähkön tuotannosta. Sähkön myynnistä saatavat tulot ovat noin 55–65 €/t. Pienimmät kustannukset saavutetaan yhdistetyllä materiaalikierrätyksellä ja jätteiden energiahyötykäytöllä.

Kun kasvihuonekaasuja vähennetään muuttamalla jätehuoltojärjestelmää, kustannukset ovat varsin kohtuulliset. Ne tulevat kaatopaikkojen päästövähennyksistä, energiantuotannosta ja -käytöstä. Päästökauppa, joka on aloitettu Euroopassa vuoden 2005 alussa, tulee antamaan lisähyötyä jätteiden energiahyötykäytölle, kun korvataan fossiilisia polttoaineita bioperäisillä jätepolttoaineilla.

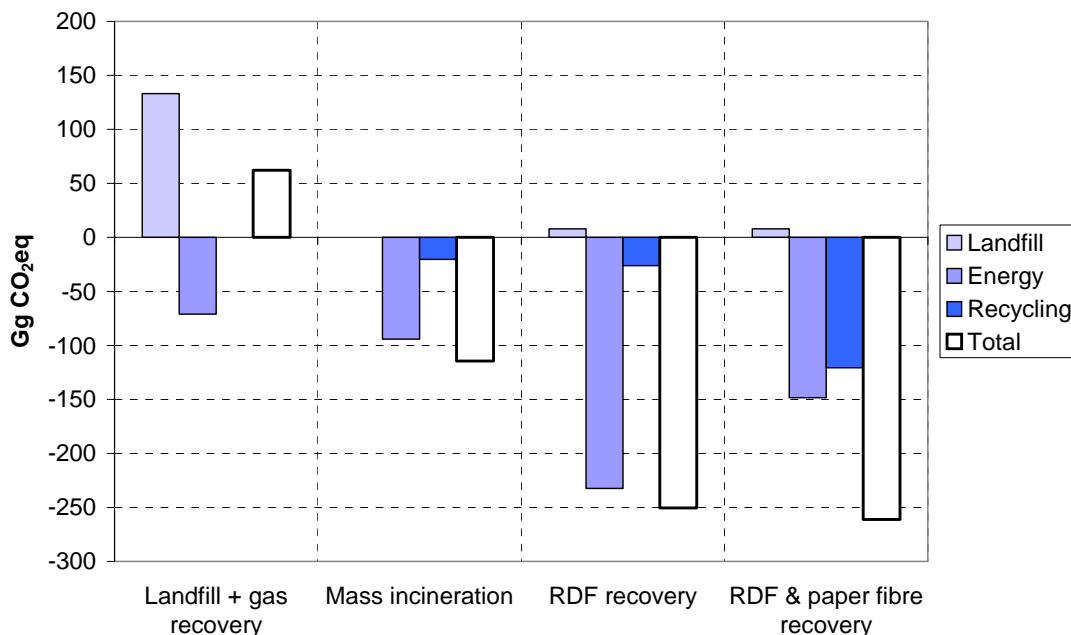
#### 4.4 Päästöjen vähentämismahdollisuudet

Energiasektori on suurin kasvihuonekaasujen päästölähde Suomessa. Vuonna 2004 päästöt olivat 66,9 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. (taulukko 1). Jätealan päästöt ovat pienemässä (Tilastokeskus 2006). Kasvihuonekaasupäästöjä ajatellen syntypaikkalajittelu ja kierrätyspolttoaineiden käyttö fossiilisia polttoaineita korvaavana polttoaineena ovat kaatopaikkasijoitusta tai massapolttota parempi vaihtoehto. Suomessa käytössä olevissa SRF-laitoksissa on päätavoitteena tuottaa mahdollisimman puhdasta kierrätyspolttoainetta. Lisäksi kierrätyspolttoaineesta pyritään erottamaan palamattomia, kierrätykseen kelpaavia epäpuhtauksia (lasi, metalli, alumiini). Kaatopaikalle läjitettävän materiaalin määrää saadaan vähennettyä ja parempilaatuisella polttoaineella voidaan korvata muita polttoaineita CHP-tuotannossa tai kaukolämpökattiloissa. Kasvihuonekaasupäästövähennykset riippuvat mm. siitä, mitä polttoainetta korvataan ja missä. Lisäpäästövähennyksiä ja kustannussäästöjä saataisiin, jos rejektit (lasit, metallit) pystyttäisiin erottamaan puhtaina ja kierrättämään, mikä vähentäisi neitseellisten raaka-aineiden käyttöä.

Esimerkkinä jätteiden energiakäytön vaikutuksista kasvihuonekaasupäästöihin esitetään seuraavassa kaksi eri aikoina tehtyä arviota jätteiden energiakäyttötekniikoiden vaikutuksista kasvihuonekaasupäästöihin YTV-alueella. Kuvassa 21 esitettävässä Tuhkasen (2001) arviossa käytettiin päästölaskennan tausta-aineistona VTT:n tekemää Pääkaupunkiseudun jätteiden energiakäyttöselvitystä (Mäkinen ym. 2000). Lähtökohtana oli, että jätteet syntypaikkalajitellaan kolmeen jättejakeeseen (keräyspaperi, biojäte, sekajäte). Biojäte kompostoidaan, keräyspaperi menee hyötykäyttöön, ja sekajäte (280 000 t/a) käytetään energiantuotannossa joko käsittelemättä tai laitosmaisesti esikäsiteltynä. Laskennassa oletettiin, että sekajätteessä on noin 17 % muoveja (uusimman selvityksen [YTV 2004] mukaan noin 13 %) ja muovissa on 80 % hiiltä, jolloin CO<sub>2</sub>-päästökertoimeksi tuli noin 30 g CO<sub>2</sub>/MJ. Laskelmat on tehty olettaen, että uudelle lämpökuormalle ei ole tarvetta. Tämä on edelleen tilanne pääkaupunkiseudulla, jossa energia tuotetaan kivihiilen polypolttolaitoksilla ja maakaasukombivoimalaitoksilla, jotka tuottavat sekä sähköä että lämpöä. Jätteenpolttolaitos tuottaisi siten vain sähköä, ja jätteenpoltosta saatavalla energialla korvattaisiin kivihiiltä olemassa olevassa hiilipölykattilassa, jolloin fossiiliset CO<sub>2</sub>-päästöt vähenevät. Laskelmissa on otettu huomioon myös paperin kierrätyksen vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin.

Kuvassa 21 tarkastellut vaihtoehdot ovat seuraavat:

1. Sekajätteen kuljetus kaatopaikalle ja siitä syntyvän kaatopaikkakaasun osittainen talteenotto ja hyödyntäminen energiana (landfill + gas recovery).
2. Sekajätteen poltto käsittelemättömänä jätteenpolttolaitoksessa (mass incineration). Polttovaihtoehdon sähköntuotannon kokonaishyötysuhteeksi oletettiin 22 %.



Kuva 21. Erilaisten jätteiden energiakäyttövaihtoehtojen kasvihuonekaasupäästövaikutuksia YTV:n alueella Tuhkasen (2001) mukaan.

3. Polttokelpoisen materiaalin käsittely kuivastabilointilaitoksessa polttoaineeksi, polttoaineen kaasutus erillisessä kaasuttimessa ja kaasun poltto olemassa olevassa hiilipölykattilassa (RDF recovery). Palamattomat jakeet (metalli, lasi ym.) kierrätetään.
4. Urban mill -konsepti (ks. kohta 2.2.1), jossa kaikki jätteen sisältämät kuidut (puhdas puu ja paperi) sekä muovit pyritään ottamaan talteen ennen polttoa mahdollisimman tarkoin. Hyötykäyttö vähentää polttokelpoisen jätteen määrää ja siitä saatavaa fossiilisia polttoaineita korvaavaa energiaa, jolloin päästövähennemätkin pienenevät. Toisaalta hyötykäytön päästövähennemä kasvaa. Konsepti on vielä kehitysasteella.

Jätteenpolttotapoja ja niihin liittyvillä energiahyödyntämisvaihtoehdoilla saavutettavia päästövähennyksiä on vertailtu myös mm. raportissa Jätteiden energiakäytön mahdolli-

suudet pääkaupunkiseudulla ja sen lähialueilla (YTV 2006). Tarkastelun lähtökohtana oli YTV-alueen jätehuolto. Alueella syntyy energiahyötykäyttöön soveltuvaa sekajätettä noin 300 000 t/a. Nykyisin se pääosin loppusijoitetaan kaatopaikalle. Vaikka jätemäärät kasvavat vielä, yksityisissä palveluissa syntyvän sekajätteen ennakoidaan jatkossa vähenevän kierrätyksen ja syntypaikkalajittelun tehostuessa. Kotitalouksissa ja julkisissa palveluissa syntyvän ja poltettavaksi soveltuvan sekajätteen arvioidaan olevan noin 250 000 t/a vuonna 2017. Sekajätteessä on YTV:n viimeisimmän tutkimuksen (YTV 2004) mukaan noin 70 % biohajoavaa ainesta, ja vastaavasti runsaat 50 % on polttokelpoista. Kierrätykseen sopivien paperin ja pahvin osuus on noin 20 %, ja jäljelle jäävästä palavasta aineksestä suurin osa (44 %) on muovia, jonka kokonaisuus on siten noin 13 % koko sekajätteen määrästä.

Vertailtavat vaihtoehdot olivat seuraavat:

- ”0” – koko sekajättemäärän loppusijoittaminen kaatopaikalle
- ”1” – koko jätemäärän massapoltto ilman esikäsittelyä
- ”2” – jätteen mekaaninen esimurskaus, jolloin siitä erotellaan noin 50 000 t/a (20 %) materiaalia, joka soveltuu osaksi kierrätykseen, osaksi kaatopaikalle
- ”3” ja ”4” – tehokkaampi mekaanis-biologinen esikäsittely, jolla edelleen kasvatetaan rejektien erotusastetta, ja polttoon menevän jätteen määrä vähenisi noin 139 000 tonniin/a.

Vaihtoehdossa ”1” oletettiin kaatopaikalle menevän materiaalivirran olevan noin 40 000 t/a ja vaihtoehdoissa ”3” ja ”4” tehokkaamman erottamisen ansiosta 99 000 t/a. Esikäsittely vaikuttaa myös rejektin koostumukseen, mikä heijastuu kaatopaikalle loppusijoitetun aineksen KHK-kaasujen tuottoon. Siksi vaihtoehdoissa ”3” ja ”4”, joissa biohajoava aines stabiloituu pääosin jo esikäsittelyvaiheessa, KHK-kaasujen tuotto loppusijoitettavaa materiaalitonnina kohden on arvioitu pienemmäksi kuin vaihtoehdoissa ”0” ja ”1” (ei esikäsittelyä) tai ”2” (vain esimurskaus).

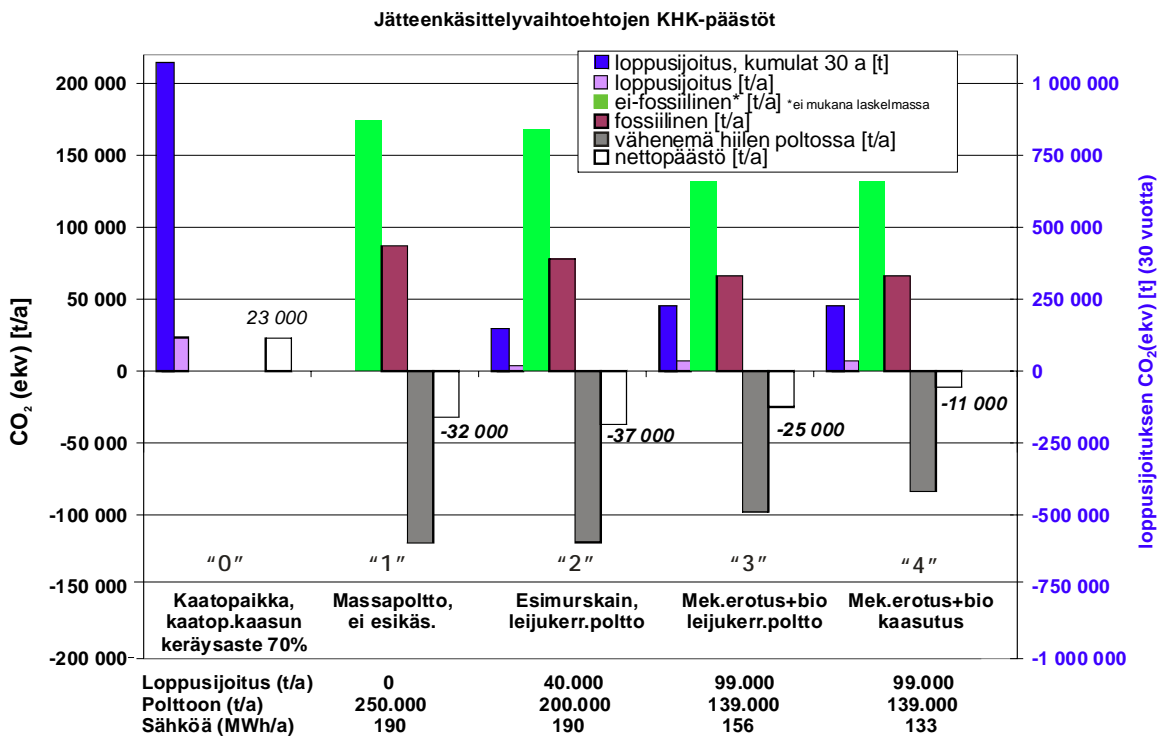
Polttotapoina olivat vaihtoehdossa ”1” massapoltto arinakattilassa, vaihtoehdossa ”2” esimurskatun jätteen tai vaihtoehdossa ”3” mekaanis-biologisen esikäsittelyn tuottaman jätteen poltto leijukerroskattilassa tai vaihtoehdossa ”4” kierrätyspolttoaineen kaasuttaminen erillisessä SRF-kaasuttimessa ja tuotekaasun poltto.

Kasvihuonekaasupäästöjen tarkastelussa otettiin huomioon kaatopaikalle sijoitetun jätteen kaatopaikkakaasut (CO<sub>2</sub> ja CH<sub>4</sub>) sekä vastaavat poltossa syntyvät päästöt eritellen fossiilinen ja ei-fossiilinen osuus. Päästövähennemänä laskettiin jätteen ja kaatopaikkakaasun poltosta syntyvällä sähköllä korvattavan kivihiihilauhdekattilassa tuotetun sähkön tuotannon keskimääräinen KHK-päästö. Koska YTV-alueella ei ole tarvetta lisätä



lämpökuormaa, laskettiin vähenemät vain sähkön tuotannosta saatavan hyödyn kautta. Jos myös lämpöenergialle olisi tarvetta, päästövähennykset kasvaisivat, kun jätteenpolton-  
la voitaisiin korvata myös lämmön tuottamista fossiililla polttoaineilla.

Vertailulaskelmien tuloksia havainnollistaa kuva 22. Sen mukaan pienimmät nettopäästöt eri polttovaihtoehdoista olisi mekaanis-biologisen esikäsittelyn ja leijukerrospolton yhdistelmällä, mutta ero massapoltoon on varsin pieni. Vaikka kaasutusvaihtoehdossa oletettiin polton ja loppusijoituksen päästöjen olevan samansuuruiset kuin edellä mainitussa vaihtoehdossa, tuotetun nettosähkömäärän oletettiin olevan hieman pienempi ja laitoksen oman sisäisen energiankäytön suurempi, jolloin sitä vastaan laskettava kivihiilen polton vähenemä olisi myös pienempi.



Kuva 22. Eri jätteenkäsittelyvaihtoehtojen kasvihuonekaasupäästöt YTV-alueella raportin YTV 2006 lähtötietoja ja -oletuksia käyttäen.

Kaatopaikkavaihtoehdon vuosipäästöt näyttävät verrattain vähäisiltä verrattuna polton päästöihin. Kaatopaikalle sijoitetusta jätteestä syntyy kaasuja jopa 100 vuoden ajan, jolloin kumulatiivinen kokonaistuotto on paljon suurempi: se on vertailtavasta vaihtoehdosta riippuen noin 50–70 kertaa suurempi kuin saman jätemäärän poltosta syntyvät vuosittaiset nettopäästöt. Siksi kuvaan on havainnollisuuden vuoksi otettu erikseen myös ensimmäisten 30 vuoden aikana syntyvien KHK-kaasujen kumulatiivisten kokonaismäärien vertailu niin, että talteenottoasteen on oletettu olevan 70 %. Talteenotetun kaatopaikkakaasun mahdollista hyötykäyttöä ei kuitenkaan ole otettu huomioon laskelmissa.

Edellä esitettyjen laskelmien tulokset eroavat toisistaan, koska arvioinnin lähtökohdissa ja rajauksissa on eroavaisuuksia. Eroja on sekä jätemäärissä että teknologiavaihtoehtojen määrittelyssä, mikä taas on vaikuttanut laskelmissa käytettävään energiantuotannon hyötysuhteeseen. Lisäksi kuvan 21 laskelmissa on mukana materiaali kierrätyksen vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin kierrätyksen vähentäessä neitseellisen raaka-aineen käyttöä ja sen tuottamisessa syntyviä päästöjä, kun taas kuvassa 22 nämä materiaali kierrätyksen vaikutukset on rajattu tarkastelun ulkopuolelle.

## **4.5 Case: leijupolttotekniikan ja kaasutusteknologian vienti Kiinaan**

Jätteiden energiakäyttöä koskevana esimerkihankkeena on korkealaatuisen, syntypisteessä lajitellun kierrätyspolttoaineen (SRF, Solid Recovered Fuel) hyödyntäminen sähköntuotannossa tai yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa. Tekniikkana voi olla pelkän SRF:n käyttö leijukerroskattilassa, SRF:n seospoltto leijukerroskattiloissa tai rinnakkaispoltto kaasutuksen kautta esimerkiksi olemassa olevissa hiilikattiloissa. Sekä leijukerrospolto että kaasutuksessa suomalainen teknologia on maailman huippua.

Jätteiden energiakäyttö voi vähentää kasvihuonekaasupäästöjä kahdella tapaa: vähentämällä kaatopaikalle päätyvän biomassan määrää ja siten kaatopaikkakaasujen muodostumista sekä tuottamalla energiaa perusuraa alhaisemmilla päästöillä. Jätteenpoltosta aiheutuu kasvihuonekaasujen päästöjä ainoastaan fossiilisen fraktion (esimerkiksi muovin) osalta – biofraktion polttaminen ei aiheuta nettohiilidioksidipäästöjä. Jätteiden energiakäyttöhankeiden osalta onkin tärkeää seurata polttoaineena käytettävän jätteen koostumusta.

EU:n jäsenmaissa JI-hankepotentiaalia rajoittaa erityisesti EU:n päästökauppa. Rinnakkaispolttolaitokset kuuluvat EU:n päästökaupan piiriin, joten niissä toteutetuille JI-hankkeille myönnettyjä ERUja vastaava määrä laitoksen päästöoikeuksista on mitätöitävä. Mahdollisuus toteuttaa JI-hankkeita päästökauppalaitoksissa on varattu lähinnä jo alkaneille hankkeille, eikä uusien JI-hankkeiden käynnistäminen päästökauppalaitoksissa liene kannattavaa. Vastaavanlaisen hankkeen voi toteuttaa yhtä lailla ilman JI:tä, jolloin laitos voisi myydä hankkeen tuottamat ylimääräiset päästövähennykset suoraan EU:n päästökaupan puitteissa EUA:ina. Potentiaalisimmat rinnakkaispoltto-JI-hankkeet sijaitsevatkin EU:n ulkopuolisissa teollisuus- ja siirtymätalouksissa.

Tarkastelussa arvioidaan suomalaisen teknologian vientimahdollisuuksia CDM-hankkeina Euroopan ulkopuolella, erityisesti Kiinassa. Siellä kohteena on Shanghai, jossa on suuri tarve jätehuoltoratkaisuille. Kiina on Yhdysvaltojen jälkeen toiseksi suu-

rin hiilidioksidin tuottaja. Näin ollen Kiinan rooli CDM-hankkeiden kohdemaana tulee olemaan merkittävä ja tuomaan hyödyllistä kokemusta uusien teknologioiden käyttöön-otosta. Jätehuollon markkinat kasvavat erityisesti siellä, missä jätehuolto perustuu kontrolloimattomaan kaatopaikkasijoitukseen. Käytettävissä olevien tulojen nopea nousu ja kaupunkien hillitsemätön kasvu kärjistävät ongelmia entisestään. Pelkästään Kiinan kaupungeissa arvioitiin syntyneen vuonna 2000 noin 100 miljoonaa tonnia kotitalousjätettä ja teollisuudessa noin 650 miljoonaa tonnia. Määrien ennustetaan kolminkertaistuvan vuoteen 2025 mennessä.

#### 4.5.1 Hankkeen yleiskuvaus

Jätteiden energiakäyttöä koskevana esimerkkihankkeena on yhdyskuntajätteen (MSW, Municipal Solid Waste) hyödyntäminen sähköntuotannossa. Tekniikkana voi olla pelkän MSW:n käyttö MSW-leijukerroskattilassa, seospoltto leijukerroskattiloissa tai rinnakkaispoltto kaasutuksen kautta.

Suomessa on vankkaa leijukerros- ja kaasutusteknologiaosaamista. Yhdyskuntien ja teollisuuden CHP-kattilat ovat suurimmaksi osaksi leijukerroskattiloita. Leijukattiloita on toimitettu myös kaukolämpökattiloiksi. Ne sallivat suuria polttoaineen laadun vaihteluita. Leijupoltto soveltuu erityisen hyvin huonolaatuisille ja kosteille polttoaineille. Leijupoltto voidaan toteuttaa kuplivassa leijukerroksessa (kerrosleiju eli BFB) tai kiertoleijukerroksessa (kiertoleiju eli CFB). Kuplivassa leijukerroksessa hiukkaset pysyvät leijukerroksessa, kun taas kiertoleijussa kiintoainehiukkaset kulkevat leijutuskaasun mukana pois leijutustilasta ja ne palautetaan syklonin kautta takaisin tulipesään.

Kaasutin perustuu polttoainetehonsa mukaan kiinteäkerros-, kiertoleiju- tai kerrosleijutekniikkaan. Kiertoleijukaasuttimen kapasiteetti on tyypillisesti 40–100 MW<sub>pa</sub> ja kerrosleijukaasuttimen 15–40 MW<sub>pa</sub>. Kiinteäkerroskaasutustekniikkaa on mahdollista käyttää pienemmissä kokoluokissa (alle 15 MW<sub>pa</sub>). Kaasutuksen tuotekaasua voidaan käyttää polttoaineena kiinteän polttoaineen kattilassa, kaasu- tai öljykattilassa tai kaasuturbiinissa. Kaasutuskaasun käyttö olemassa olevassa kaasuturbiinissa, jossa ei ole varauduttu kaasutuskaasun käyttöön, on kuitenkin teknisesti vaikeampi toteuttaa kuin kaasutuskaasun käyttö olemassa olevassa kiinteän polttoaineen kattilassa.

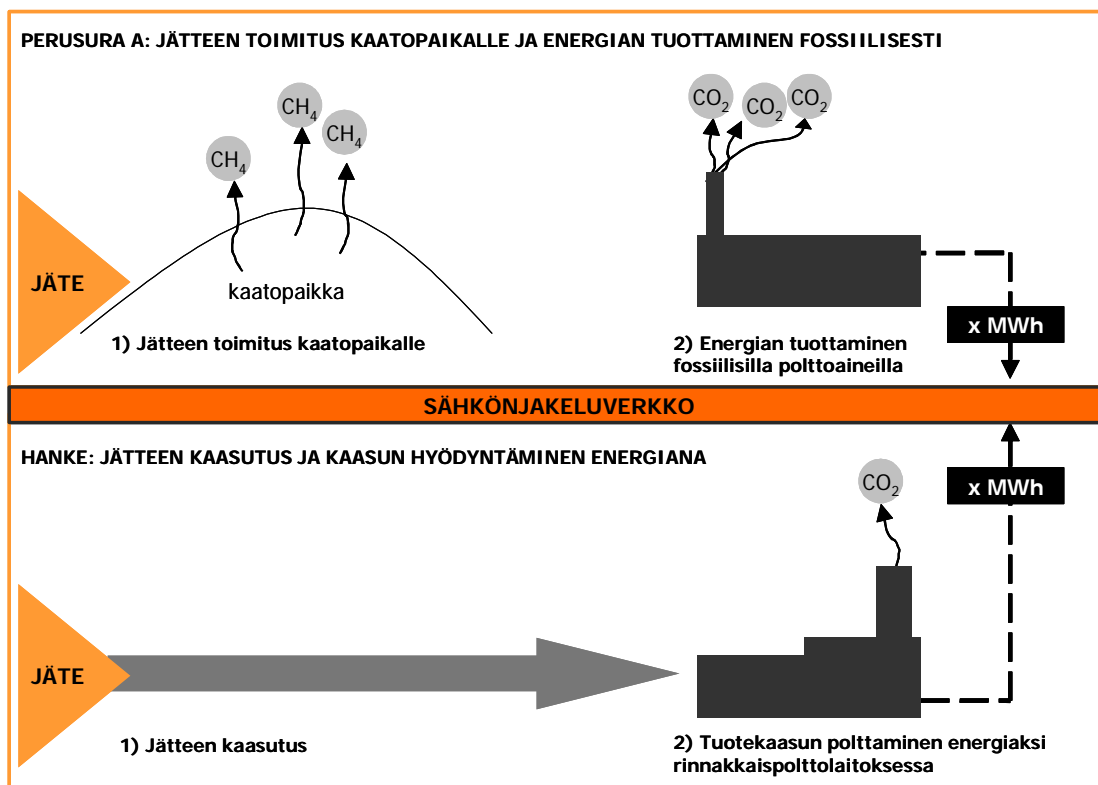
Rinnakkaispolttolaitosten soveltamista JI- tai CDM-hankkeena on arvioitu käyttämällä esimerkkinä kaasutukseen perustuvaa konseptia. Esimerkkihankkeessamme jäteperäinen polttoaine kaasutetaan ja tuotettu kaasu poltetaan olemassa olevassa kattilassa rinnakkaispolttona. Hanke voi vähentää päästöjä joko vähentämällä kasvihuonekaasujen muodostumista kaatopaikalla tai tuottamalla samasta jätemäärästä massapolttoa enemmän sähköä. Lisäksi hankkeen tuottama sähkö syrjäyttää fossiilisilla polttoaineilla tuotettua sähköä. Toisaalta hanke aiheuttaa kasvihuonekaasupäästöjä poltettavan jätteen fossiilisen fraktion osalta.

#### 4.5.2 Hankkeen perusura, lisäisyys, kasvihuonekaasupäästöt ja seuranta

Jätteestä tuotetun kierrätyspolttoaineen kaasutusta ja sähköntuotantoa koskevan hankkeen perusurana on saman jätteen todennäköisin vaihtoehtoinen käsittelytapa sekä sähkön tuottaminen vaihtoehtoisilla menetelmillä, tyypillisesti fossiilisilla polttoaineilla. Normaalikehityksen mukainen käsittelytapa ja sähköntuotanto vaihtelevat maasta toiseen, ja eroja on etenkin EU:n jäsenmaiden ja EU:n ulkopuolisten maiden välillä. Tarkastelun kohteena on kaksi vaihtoehtoista perusuraa: (A) jätteen toimitus kaatopaikalle ja sähkön tuottaminen fossiilisilla polttoaineilla ja (B) kierrätyspolttoaineen massapoltto sekä sähkön tuottaminen osin massapolton yhteydessä ja osin fossiilisilla polttoaineilla.

Kuvassa 23 esitettävä perusura A on tyypillinen monille CDM-hankkeille sekä EU:n ulkopuolisissa I liitteen maissa toteutettaville JI-hankkeille. Oletuksena on, ettei hankkeen isäntämaan laki velvoita ottamaan kaatopaikkakaasuja talteen. Perusuran kaatopaikkasijoituksen päästöt riippuvat muun muassa anaerobisesti hajoavan biofraktion osuudesta jätteessä, siitä aiheutuvien kaatopaikkakaasujen määrästä ja kaatopaikkakaasun metaanipitoisuudesta. Perusuran sähköntuotannon päästöjen selvittämiseksi on tunnettava sähköntuotannon ominaispäästöt jakeluverkon alueella. Ominaispäästökerroin ilmaisee kasvihuonekaasujen päästöt ekvivalenttisina hiilidioksiditonneina tuotettua megawattituntia kohden, ja se vaihtelee suuresti alueittain. Kuvan 23 tapauksessa perusuran sähköntuotannon päästöt saataisiin kertomalla jakeluverkon ominaispäästökertoimella hankkeen tuottaman sähkön määrä eli  $x$  MWh.

Perusura B eli MSW:n sisältämän palavan ainesosan polttaminen massapolton yhteydessä on puolestaan todennäköinen perusuravaihtoehto monissa EU:n jäsenmaissa ja joiltain osin myös EU:n ulkopuolisissa liitteen I maissa. Kuva 24 havainnollistaa perusuraa B. Massapoltto ei kuulu EU:n päästökaupan piiriin, mutta esimerkkihankkeeksi valittu rinnakkaispoltto kuuluu. Tämä saattaa vaarantaa hankkeen JI-potentiaalia EU:n nykyisissä jäsenmaissa, joissa rinnakkaispolttohankkeet voidaan toteuttaa suoraan päästökaupan puitteissa ilman JI:n edellyttämää hankesykliä. Massapolttolaitosten sähkön tuotannon hyötysuhde on tyypillisesti noin 10–20 %.



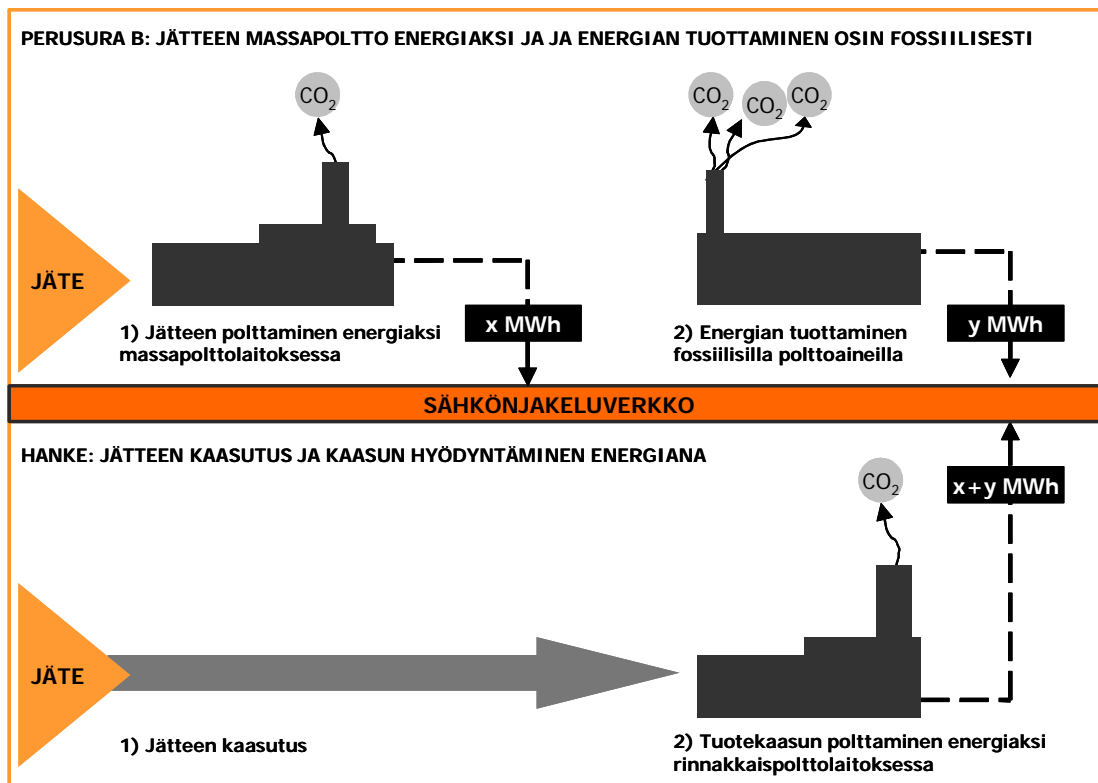
Kuva 23. Jätteen kaasutushanke, kun perusurana on jätteen sijoittaminen kaatopaikalle ja sähkön tuottaminen fossiilisilla polttoaineilla (Ahonen 2006).

Kaasutusta koskeva hanke on lisäinen, jos se vähentää päästöjä suhteessa perusuran päästöihin eikä sitä toteutettaisi normaalikehityksen puitteissa. Kaasutushanke on tyypillisesti investointikustannuksiltaan massapolttota edullisempi vaihtoehto, joten hankkeen lisäisyyden osoittaminen ei ole aivan suoraviivaista ja se on perusteltava muilla kuin taloudellisilla argumenteilla. CDM:n hallintoneuvoston lisäisysohjeiden mukaan taloudellisesti kilpailukykyinen hanke voi olla lisäinen, jos se esimerkiksi edustaa uutta, vallitsevasta käytännöstä poikkeavaa teknologiaa ja sen käyttöönotolle on esteitä perusuran puitteissa. Eräs vahva perustelu kaasutushankkeen lisäisyydelle olisikin vallitseva käytäntö: massapolttota on harjoitettu jo vuosikymmenten ajan, kun taas kaasutusta ja uutta kaasunpuhdistusteknologiaa ei ole vielä demonstroitu täydessä mittakaavassa. Kaasutushankkeen päästövähennyspotentiaali riippuu perusurasta sekä rinnakkaispolton hyötysuhteesta. Rinnakkaispolttolaitoksen sähköntuotannon hyötysuhde on tyypillisesti 40–50 % eli jopa nelinkertainen verrattuna massapolttotaan. Perusurassa A jätteestä päätyisi kaatopaikalle maassa, jossa laki ei velvoita kaatopaikkakaasujen talteenottoa. Tällöin kaasutushanke vähentäisi päästöjä kahdella tapaa: ensinnäkin välttämällä kaatopaikkakaasujen muodostumisen hyödynnettävästä jätteestä ja toiseksi syrjäyttämällä fossiilisiin polttoaineisiin perustuvaa sähköntuotantoa. Toisaalta hankkeesta aiheutuu myös kasvihuonekaasupäästöjä. Hankkeen tuottamat päästövähennykset saadaan vähentämällä perusuran päästöistä hankkeen omat päästöt.

Kaasutushanke tuottaa päästövähennyksiä sekä vähentämällä kaatopaikalle joutuvan jätteen määrää ja siitä aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä että korvaamalla fossiilisiin polttoaineisiin perustuvaa energiantuotantoa  $x$  MWh:n verran. Hankkeesta aiheutuu myös kasvihuonekaasupäästöjä. Hankkeen energiaosuuden päästövähennykset saadaan kertomalla kyseinen määrä tuotettua energiaa perusuran energiantuotannon ominaispäästökertoimella. Hankkeen nettopäästövähennykset saadaan vähentämällä hankkeen omat päästöt perusuran päästöistä.

Perusurassa B jäte päätyisi massapoltttoon, jonka yhteydessä sillä tuotettaisiin sähköä. Tällöin saman jätteen polttaminen rinnakkaispoltona tuottaisi massapolttota enemmän sähköä rinnakkaispolton korkeamman hyötysuhteen ansiosta. Kuvassa 24 massapoltto tuottaa  $x$  MWh annetulla määrällä jätettä, kun taas rinnakkaispoltto tuottaa samalla jätemäärällä  $x + y$  MWh sähköä. Oletetaan, että massa- ja rinnakkaispolton aiheuttamat päästöt ovat yhtä suuret eli  $x$  MWh:n sähköntuotannon osalta perusuran ja hankkeen päästöt ovat yhtä suuret eikä päästövähennyksiä synny. Tällöin hanke tuottaa päästövähennyksiä vain niiltä osin kuin se syrjäyttää perusurassa fossiilisilla polttoaineilla tuotettua sähköä ( $y$  MWh). Päästövähennykset lasketaan kertomalla  $y$  MWh perusuran ominaispäästökertoimella eli kertoimella, joka ilmaisee kasvihuonekaasupäästöt megawattituntia kohden. Seurannasta ei välttämättä koituisi yhtä paljon kustannuksia kuin vaihtoehdossa A, koska hankkeen päästöt ja perusuran massapolton päästöt kumoaisivat toisensa.

Hanke vähentää päästöjä tuottamalla massapolttota tehokkaammin energiaa annetusta jätemäärästä. Hankkeen omat päästöt ovat perusuran massapolton päästön suuruiset, joten ne kumoavat toisensa. Hanke tuottaa päästövähennyksiä niiltä osin kuin se syrjäyttää fossiilisiin polttoaineisiin perustuvaa energiantuotantoa eli  $y$  MWh:n verran. Hankkeen päästövähennykset saadaan kertomalla kyseinen määrä tuotettua energiaa perusuran energiantuotannon ominaispäästökertoimella.



Kuva 24. Jätteen kaasutushanke, kun perusurana on jätteen massapoltto ja sähkön tuottaminen osin fossiilisilla polttoaineilla (Ahonen 2006).

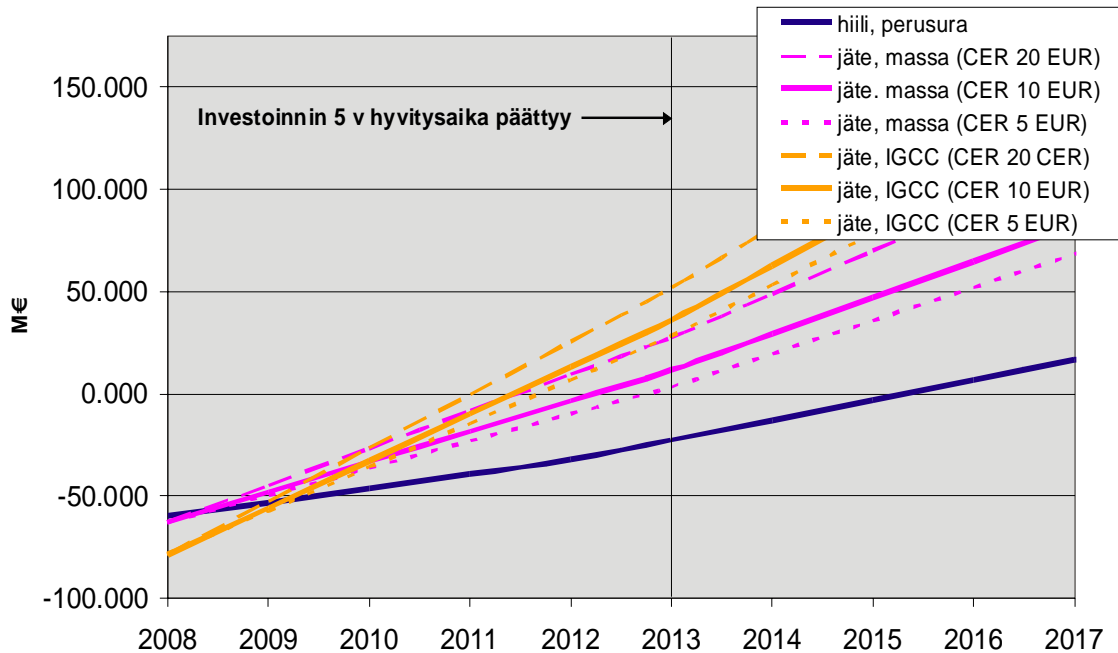
#### 4.5.3 Hankkeen talous

Kun perusurana ovat hiilikattilat ( $y$ ), jotka korvattaisiin jätteen massapoltolla ( $x$ ) tai kaasutustekniikalla jätteen rinnakkaispolttona ( $x + y$ ), tulos investointien takaisinmaksujen osalta olisi seuraava (kuva 25).

Perusuran B (SRF:n massapoltto) vertailulaskelman oletuksena on 200 MWe:n laitos. Sille on arvioitu normaalina hiilenpolttoon perustuvana laitoksena investointikustannukset lähteen CDM (2006) mukaan sekä pääomakulut allokoituna 5 vuodelle 5 %:n korolla. Laitoksen tuotot on arvioitu 50 %:n käyttöajan mukaan laskemalla tuotantokustannukset, sähkön paikallisen tariffin mukaiset myyntitulot sekä niistä maksettavat ALV (17 %) ja vero (33 %) lähteen Ahonen (2005) mukaan. Näillä oletuksilla hankkeen takaisinmaksuaika olisi noin 9 vuotta. Sähköverkon hävikkiä ei ole otettu huomioon laskuissa.

Massapolttolaitoksen investoinnin on arvioitu olevan 5 % kalliimpi kuin tavanomaisen hiililaitoksen. Pääomakulut ja laitoksen tuotot on laskettu muutoin samalla tavalla kuin hiililaitokselle, mutta tuotantokustannukset on arvioitu 40 % pienemmiksi, koska SRF-polttoaineen on oletettu maksavan vain 10 % hiilen hinnasta. Hiilidioksidipäästölaskel-

missa on oletettu, että MSW sisältää fossiilista ainesta 30 % ja laitoksen vuosituotanto on sama (876 000 MWh) kuin hiililaitoksessa. Polton seurauksena syntyvää kaatopaikkakaasupäästöjen vähennystä ei ole otettu huomioon.



Kuva 25. Jätteen energiahyötykäyttövaihtoehtojen hyvitysaika.

Kaasutustekniikkaa edustavan laitoksen investoinnin on oletettu olevan 25 % suurempi kuin tavanomaisen hiililaitoksen, mutta sähkön tuotantokustannusten 40 % pienemmät halvemman polttoaineen ansiosta. Koska IGCC-laitoksen kokonaishyötysuhde (40 %) on parempi kuin massapolton (25 %), tuottaa sama jätemäärä enemmän sähköenergiaa, eli laitoksen vuosituotto 50 %:n käyttöasteella on 60 % suurempi (1 410 100 MWh).

Päästöjen vähentymisen arvoa laskettaessa CER:n hinnaksi on arvioitu 20, 10 ja 5 €/t CO<sub>2</sub>. Näillä oletuksilla CER:n kautta tuotoksi tulee jätteen massapoltoissa 6,470 M€/a, 3,235 M€/a ja 1,618 M€/a. Jätteen kaasutuksessa ja rinnakkaispoltoissa tuotoksi tulee puolestaan 6,266 M€/a, 3,133 M€/a ja 1,567 M€/a, jolloin massapolttolaitoksen takaisinmaksuajaksi tulee noin 6 vuotta ja kaasutustekniikkaan perustuvan laitoksen takaisinmaksuajaksi noin 5 vuotta. Molemmissa tapauksissa CER:n kautta saatava hyvitys lyhentää takaisinmaksuaikaa noin vuodella, mutta CER:n suuruus vaikuttaa vain kaasutusvaihtoehdossa, jossa CER:n ollessa 20 €/t on takaisinmaksuaika vuotta lyhyempi kuin pienemmillä CER:n arvoilla.



#### **4.5.4 Hankkeen ympäristövaikutukset**

Jätteiden energiakäyttö vähentää jätteiden kaatopaikkasijoitusta ja siten kaatopaikkojen ympäristövaikutuksia, kuten hajuja ja asukkaille aiheutuvia terveysriskejä. Ilmansaasteet ovat yksi merkittävimmistä tekijöistä hengityselinsairauksien, kuten keuhkosityövän, COPD:n (chronic obstructive pulmonary disease), keuhkoputkentulehduksen ja sydän-keuhkosairauksien, synnyssä. Nämä taudit ovatkin yleisin kuolinsyy Kiinassa. Ilman saastuminen on Kiinassa erityisen vaarallista ihmisten terveydelle, koska ilmiö on niin kokonaisvaltainen.

Kiinassa on käytetty jätevetä peltomaan kasteluun jo tuhansia vuosia. Viime vuosikymmeninä tapa on laajentunut koskemaan myös teollisuuden vesiä, mikä on johtanut maan laajamittaiseen saastumiseen niin biologisten kuin kemiallisten aineiden suhteen. Teollisuuden jätevesien käyttö kastelussa on erityisen yleistä pohjoisessa Kiinassa, jossa on pula vedestä. Näillä alueilla saasteiden, kuten raskasmetallien ja karsinogeenisten yhdisteiden, kertyminen ihmisten ravintoverkkoon aiheuttaa huomattavia terveysongelmia.

Vuonna 1979 säädetyin ensimmäisen ympäristönsuojelulain jälkeen Kiinassa on annettu viisi saastuttamista koskevaa ja kymmenen luonnonvarojen suojelua koskevaa asetusta. Lisäksi uusia asetuksia laaditaan jatkuvasti. Vuoden 1998 alussa astui voimaan uusi energialaki, joka auttaa Kiinan hallitusta estämään tiettyjen energiaa hukkaavien ja vanhaa tekniikkaa käyttävien projektien etenemisen. Toisaalta ympäristölakien noudattaminen ei Kiinassa ole läheskään aina itsestään selvää, koska talouden kasvua pidetään ensisijaisena tavoitteena koko yhteiskunnassa.

#### **4.5.5 Suomalaisen yritysten liiketoimintamahdollisuudet vastaavissa hankkeissa**

Kiina kuluttaa Yhdysvaltojen jälkeen toiseksi eniten energiaa maailmassa, ja Kiinan energiankulutuksen on arvioitu kolminkertaistuvan vuoteen 2025 mennessä eli kasvavan vuosittain noin 4,3 %. Esimerkiksi vuonna 2002 Kiinan energiantarve kasvoi 20 %. Kivihiili on pääasiallinen energianlähde, koska kivihiiltä on runsaasti omasta takaa ja toisaalta mahdollisuudet käyttää muita energialähteitä ovat rajalliset. Lisäksi ratkaistavana on monta ongelmaa aina energian jakeluverkon huonosta kunnosta ympäristöongelmiin. Erään tutkimuksen mukaan öljyyn ja kaasuun vaihtaminen voisi olla turvallista, koska suurin osa energiantuotantoon liittyvistä ympäristöhaitoista johtuu hiilen käytöstä. Myös puhtaiden hiiliteknologioiden kehittäminen vaikuttaa energiaepävarmuuteen, ympäristöön ja hiilidioksidipäästöihin. Öljyn saanti pitäisi varmistaa esim. perustamalla strategisia öljyvarastoja ja kehittämällä polttokennoajoneuvoja ym. Kaiken tämän lisäksi tulisi varmentaa energiantuotannosta johtuvien saasteiden vähentäminen.

Suurimmat potentiaalit CDM-projekteille ovat energiantuotannon hyötysuhteen korottamisessa sekä polttoaineen vaihdossa vähemmän hiili-intensiiviseen vaihtoehtoon etenkin sähköntuotannossa. Näiden vaihtoehtojen etuna ovat suhteellisen alhaiset päästövähennyskustannukset.

Tavoitteena on mm. kasvattaa CHP-laitosten määrää. Erittäin tehokkaat voimalaitokset, esim. IGCC, voisivat vähentää huomattavasti Kiinan päästöjä, jos hiili säilyy edelleen tärkeimpänä polttoaineena sähköntuotannossa.

Biomassan kaupallinen hyödyntäminen energiantuotannossa on vähäistä verrattuna kotitalouksien kuluttaman biomassan määrään. Maaseudulla biomassa sen sijaan on epäkaupallinen energialähde, jota hyödynnetään mm. ruuanlaitossa.

Tulevaisuudessa on tarkoitus uudistaa teknologialtaan vanhentuneita, pienen koon (alle 50 MW) voimalaitoksia, jotka ovat toimineet matalalla hyötysuhteella ja joiden päästöt ovat olleet suuria. Näitä laitoksia on noin 6 000 kappaletta.

Kiinan jätehuollon päästöt ovat luokkaa 130 miljoonaa tonnia märkää jätettä vuodessa. Laitteinvestoinnit ovat noin 1–2 miljardia euroa, joista ulkomaisen teknologian osuus on 15–20 %. Jos markkinoiden vuotuisen kasvun arvioidaan olevan noin 10 % vuosina 2003–2020 ja lähtötasoksi arvioidaan 2 miljardia euroa, markkinoiden koko olisi vuonna 2010 jopa noin 4 miljardia euroa ja vuonna 2020 noin 11 miljardia euroa.

Markkinoiden koko on siis suuri, mutta vientiä vaikeuttaa investointivarojen niukkuus. Myös kielen ja kulttuurin puutteellinen tuntemus vaikeuttaa toimimista. Suomalaisia yrityksiä on markkinoilla tällä hetkellä vain muutama; kilpailijoina ovat vahvat japanilaiset yritykset. Kuitenkin kiinalaisilla on yleisesti myönteinen kuva eurooppalaisen teknologian ja osaamisen laadusta, mikä saattaa parantaa suomalaisten yritysten neuvotteluasemia markkinoille pyrittäessä.

Suomen kannalta jätteenpolttoteknologioiden tulevaisuus on erittäin merkityksellinen. Suomalaisten yritysten vahvuudet ovat erityisesti korkea teknologian taso, luotettavuus, hintakilpailukyky sekä suunnitteluosaaminen kapeilla markkinasegmenteillä. Jätteenpolttolaitosmarkkinoita ovat perinteisesti hallinneet arinatekniikkaan perustuvat ratkaisut. Ns. uudet jätteenpolttoteknologiat, kuten kaasutus ja leijupoltto, mahdollistavat suomalaisen teknologiaviennin lisääntymisen. Maailman leijukattiloista noin 50 % on suomalaistoimittaisia, ja mikäli uusiin jätteenpolttoteknologioihin perustuvat ratkaisut tulevat yleistymään, on suomalaisyrityksillä vahvat mahdollisuudet merkittävään markkinaajantamiseen.

Uudet jätteenpolttoteknologiat edellyttävät arinatekniikkaan verrattuna pidemmälle vietyä jätteen esikäsittelyä, kuten syntypaikkalajittelua tai laitosmaista prosessointia murskaus-, seulpta- ja erottelulaitteineen. Tälläkin alueella markkinat siis kasvavat.

## 4.6 Yhteenveto ja johtopäätöksiä

Jätteiden energiakäytön merkitys kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä on huomattava. Päästöjä voidaan vähentää vähentämällä kaatopaikkojen metaanipäästöjä, kaatopaikkakaasun talteenotolla sekä korvaamalla fossiilisten polttoaineiden käyttöä polttamalla bioperäistä jätettä.

Jätteen energiahyötykäytössä ensiarvoisen tärkeää on jätteestä tuotettavan polttoaineen (SRF) korkea laatu, joka on suurelta osin sidoksissa käytettävään syntypaikkalajittelujärjestelmään. Luvussa tarkasteltiin erilaisia SP-lajittelujärjestelmiä ja SRF:n valmistusprosesseja, niiden tuottamien polttoaineiden hyödyntämisvaihtoehtoja CHP-tuotannossa sekä SRF:n rinnakkaispoltoissa, kaasutuksessa ja massapoltoissa. Yleisesti ottaen voidaan todeta, että sekä syntypaikkalajittelun että polttoaineen tuotantoprosessin monivaiheisuus ja -mutkaisuus huonontavat saantoa ja lisäävät investointien määrää, mutta samalla parantavat polttoaineen laatua ja energiasisältöä helpottaen sen polttamista.

Luvussa tarkasteltiin myös erilaisia polttoprosesseja ja laitoskonsepteja, joita käytetään jätteiden energiahyötykäytössä. Näitä ovat massapoltto arinakattilassa, SRF:n rinnakkaispolto tavanomaisissa CHP-leijukerroskattiloissa sekä kaasutus ja kaasun poltto hiilipölykattilassa. Polttoprosessit eroavat toisistaan paitsi kustannuksien myös savukaasujen sisältämien haitta-aineiden ja poltoissa syntyvien jätteiden ja kuonien määrän ja laadun suhteen, mikä puolestaan vaikuttaa laitosten sijoituspaikkavaihtoehtoihin ja lopputuotteiden hyödyntämiseen.

Jätteiden energiakäytön merkitystä päästöjen vähentämisessä arvioitiin käyttäen esimerkkinä YTV-alueella syntyvän jätteen eri energiakäyttövaihtoehtoja ja niiden tuottamia päästövähennyksiä ja nettopäästöjä. Pienimmät nettopäästöt näyttäisi tuottavan jätepolttaineen tuotanto mekaanis-biologisella esikäsittelyllä yhdistettynä leijukerrospoltoon.

Esimerkki teknologiaviennistä Kiinaan perustui korkealaatuisen, syntypisteessä lajitellun kierrätyspolttoaineen hyödyntämiseen sähköntuotannossa tai yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa. Vertailtavina tekniikkavaihtoehtoina voivat olla pelkän SRF:n käyttö leijukerroskattilassa, SRF:n seospolto leijukerroskattiloissa tai rinnakkaispolto kaasutuksen kautta esimerkiksi olemassa olevissa hiilikattiloissa. Sekä leijukerrospoltoissa että kaasutuksessa suomalainen teknologia on maailman huippua. Edellä mainittujen energiahyötykäyttökonseptien potentiaalia joko JI- tai CDM-hankkeina tarkasteltiin

niiden soveltuvuuden ja talouden kannalta. Kustannuslaskelmien mukaan eri hankkeiden investointien takaisinmaksuajat olivat 5–7 vuotta riippuen tekniikasta ja siitä, minkä suuruista CER-kompensaatiota päästövähennyksille maksettiin.

Uudet jätteenpolttoteknologiat tuovat kuitenkin haasteita, sillä ne edellyttävät arinatekniikkaan verrattuna pidemmälle vietyä jätteen esikäsittelyä, kuten syntypaikkalajittelua tai laitosmaista prosessointia murskaus-, seulonta- ja erottelulaitteineen. Esikäsittelyjärjestelmien käyttöönottoa taas uhkaavat biomassan kaupallisen hyödyntämisen vähäisyys ja investointivarojen niukkuus. Myös kielen ja kulttuurin puutteellinen tuntemus vaikeuttaa toimimista.

## 5. Jätteiden kaatopaikkasijoitus

### 5.1 Osa-alueen tavoitteet ja toteutus

Kaatopaikkasijoitus-osaprojektin tavoitteena oli tarkastella 1) kaatopaikkakaasun talteenotto- ja hyötykäyttökonseptien, 2) kaatopaikan prosessinhallintakonseptien ja 3) esikäsiteltyjen jätteiden sijoituskonseptien merkitystä kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Lisäksi arvioitiin konseptien teknistä käytettävyyttä, niiden muita ympäristövaikutuksia ja konsepteihin liittyviä liiketoimintamahdollisuuksia. Vertailuvaihtoehtona, ns. nollavaihtoehtona, oli kasvihuonekaasujen kokonaismäärän ja kaasupäästöjen kehitys YTV:n Ämmäsuon kaatopaikalla sekä kuvitteellisella kehitysmaihin sijoittuvalla hoitamattomalla kaatopaikalla. Kaatopaikkakaasun talteenotto- ja hyötykäyttökonsepti valittiin päästöjen vähentämistehokkuuden sekä päästövähennysten verifioitavuuden takia tarkemmin tarkasteltavaksi JI-hanke-esimerkiksi.

### 5.2 Kartoitetut konseptit

#### 5.2.1 Kaatopaikkakaasun talteenotto- ja hyötykäyttökonseptit

Jätteen hajotessa kaatopaikoilla syntyy kaatopaikkakaasua, jonka pääkomponentit ovat metaani ja hiilidioksidi. Tyypillisesti kaasussa on metaania 45–60 % ja hiilidioksidia 40–60 % (Tchobanoglous ym. 1993). Koska hiili on peräisin uusiutuvista lähteistä, hiilidioksidi ei varsinaisesti vaikuta kasvihuoneilmiöön. Sen sijaan metaanipäästöt ovat merkittäviä, koska metaanin ilmastolämmityspotentiaali (Global Warming Potential, GWP) on 21 kertaa suurempi kuin hiilidioksidin (IPCC 2001). Nitrifikaatio- ja denitrifikaatioprosessien aikana syntyy pienehköjä määriä typpioksiduulia. Typpioksiduuli on 296 kertaa hiilidioksidia voimakkaampi kasvihuonekaasu (IPCC 2001).

Toisaalta kaatopaikat toimivat keinotekoisina hiilinieluina. Kuivaksi eristetyllä kaatopaikalla hiiltä varastoituu noin 15 % jätteen märkäpainosta (Marxsen 2001). Varastoituminen vaihtelee jätejakeen mukaan. Esimerkiksi sanomalehtipaperi ja puiden lehdet hajoavat huonosti, mutta ruokajäte hajoaa lähes täysin kuivissa hapettomissakin olosuhteissa. Koska kaatopaikkojen pitkän ajan käyttäytymistä ei tunneta hyvin, hiilen varastoitumiseen liittyy epävarmuustekijöitä. Jätteen hajoaminen saattaa käynnistyä jopa satojen vuosien kuluttua uudelleen olosuhteiden muuttuessa.

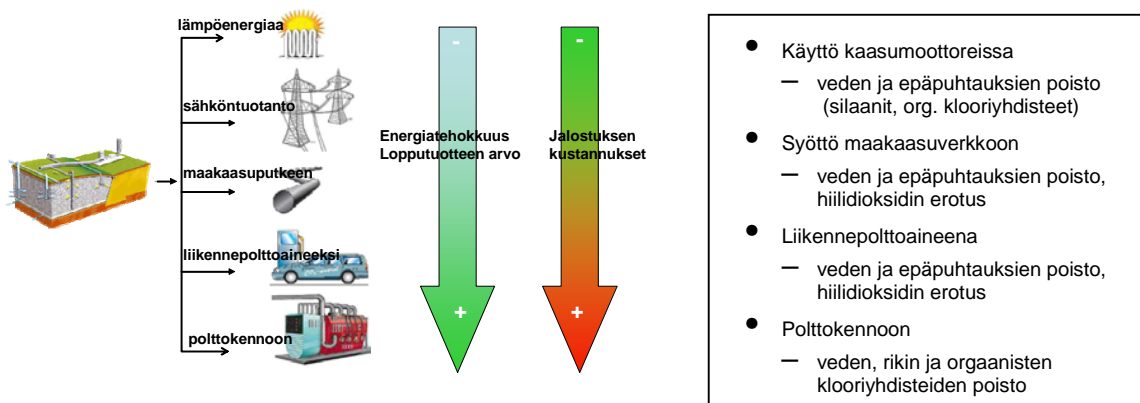
Kaatopaikalle sijoitettavan jätteen määrän vähentäminen on tehokas kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiskeino. Tämä voi tapahtua joko jätteen kokonaismäärää vähentämällä tai ohjaamalla entistä suurempi osa muuhun käsittelyyn tai hyötykäyttöön kaatopaikkasijoituksen sijasta. Olemassa olevien jätettyttöjen päästöjen vähentämiseen tarvi-

taan kuitenkin muita keinoja. EU-lainsäädännön mukaan kaatopaikoilla vaaditaan yleensä kaasunkeräysjärjestelmä, jolla pyritään ottamaan talteen mahdollisimman suuri osa kaasusta. Pienten kaasumäärien hyödyntäminen energiana ei aina ole kannattavaa. Tällöin kaasu yleensä poltetaan soihduissa kaatopaikalla, jolloin metaani muuttuu vähemmän haitalliseksi hiilidioksidiksi ja hajuista päästään eroon. Jos kaasumäärät eivät ole kovin pieniä, paras vaihtoehto on kaasun energiakäyttö.

Kaatopaikkakaasua voidaan käyttää sähkön, lämmön tai mekaanisen energian tuottamiseen. Kaasu voidaan myös syöttää puhdistettuna maakaasuverkkoon tai käyttää liikennepolttoaineena. Edellä mainituista vaihtoehdoista löytyy käytännön tai koeluonteisia sovelluksia Euroopasta ja USA:sta. Vuonna 2004 maailmalla arvioitiin olevan 1 100–1 200 kaatopaikkakaasun hyödyntämistäjärjestelmää (taulukko 19). Kaikki hyötykäyttövaihtoehdot edellyttävät vedenpoistoa, muutoin vaadittava kaasunkäsittely määräytyy käytön mukaan (kuva 26).

*Taulukko 19. Kaatopaikkakaasun hyödyntämisen teknisiä ratkaisuja (Willumsen 2003).*

Tyyppi	Lukumäärä
Kaasumoottori	581
Lämpö	277
CHP	187
Kaasuturbiini	39
Suovesien haihdutus	17
Pasutusuuni	14
Jalostus maakaasulaatuun	13
Kombivoimalaitos	7
Höyryturbiini	11
Mikroturbiini	3
Liikennepolttoaine	2
Polttokenno	1
Yhteensä	1 152



Kuva 26. Kaatopaikkakaasun jalostus ja hyötykäyttö.

Kaatopaikkakaasu sisältää metaanin ja hiilidioksidin lisäksi pieniä määriä typpeä ja happea sekä epäpuhtauksina rikkiyhdisteitä, piiyhdisteitä ja halogenoituja hiilivetyjä. Typen ja hapen osuus riippuu kaasun talteenottojärjestelmästä ja imutehosta. Taulukossa 20 on esimerkkinä YTV:n Ämmässuon kaatopaikalla kerätystä kaasusta tehtyjen analyysien tulokset vuosilta 2005 ja 2006. Taulukossa on myös yhteenveto kaasukomponenttien merkityksestä hyötykäytössä.

Taulukko 20. Ämmässuon kaatopaikkakaasun koostumus.

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	Räjähdysvaara
TVOC, mg/m <sup>3</sup>	300–700	
Rikki, mg/m <sup>3</sup>	600–1 000	Aiheuttaa korroosiota
Halogeenit, mg/m <sup>3</sup>	0–20	Korroosiovaara ja dioksiinin muodostumisvaara
Piiyhdisteet (siloksaani), mg/m <sup>3</sup>	0–7	Aiheuttaa polttoaineen seassa moottorivaurioita
Ammoniakki, mg/m <sup>3</sup>	nd	

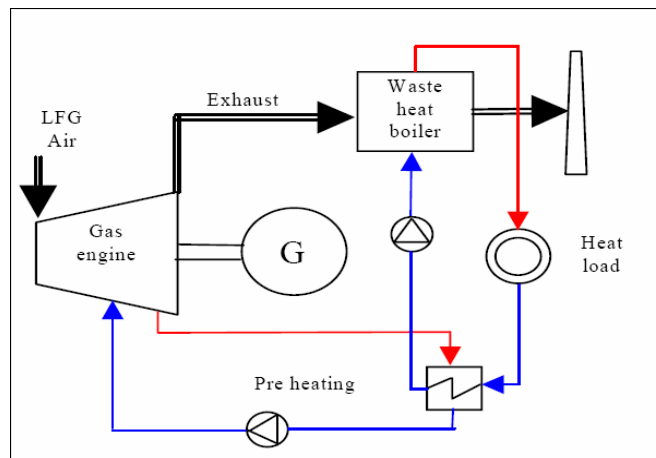
## Lämmöntuotanto

Lämmöntuotanto kaatopaikkakaasusta on teknisesti yksinkertaista, ja siitä löytyy runsaasti referenssejä. Kaasun poltossa voidaan käyttää samoja kattiloita ja polttimia kuin maakaasun poltossa, eikä kaasun puhdistus ole tarpeellista. Lämpö voidaan tuottaa kaukolämpölaitoksessa ja siirtää vesiverkon kautta asiakkaalle. Vaihtoehtoisesti kaasu voidaan siirtää kaasuverkkoa pitkin asiakkaalle, joka tuottaa lämpöä paikallisesti. Raken-

nusten lämmitykseen tarvittava energiamäärä vaihtelee kuitenkin vuorokaudenajan ja vuodenajan mukaan. Kesällä lämmöntarpeen ollessa pieni kaasu täytyy yleensä johtaa kaatopaikalla soih tupolttoon.

### Sähköntuotanto tai yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto

Sähkön tai yhdistetyn lämmön ja sähkön tuotantoon käytetään polttomoottoreita, höyryturbiineja, kaasuturbiineja ja mäntähöyrykoneita. Sähköntuotannon hyötysuhde on noin 35 %. Yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa hyötysuhde (kuva 27) on noin 80 % eli kaasusta huomattavasti suurempi osa saadaan hyödyksi.



Kuva 27. CHP-prosessin periaatekuva.

Kaasun käyttö sähköntuotantoon kaasumoottoreilla on vakiintunutta tekniikkaa. Korkea siloksaani- ja klooripitoisuus voi pitkän ajan kuluessa vaurioittaa kaasumoottoreita (taulukko 21). Piiyhdisteet voidaan poistaa ennen polttoa esim. aktiivihiliabsorptiolla. Lämpöenergiaan verrattuna sähkönkulutus Suomessa on tasaisempaa vuoden ympäri.

Taulukko 21. Kaasumoottorivalmistajan (Jenbacher) antamat maksimipitoisuudet poltettavalle kaasulle.

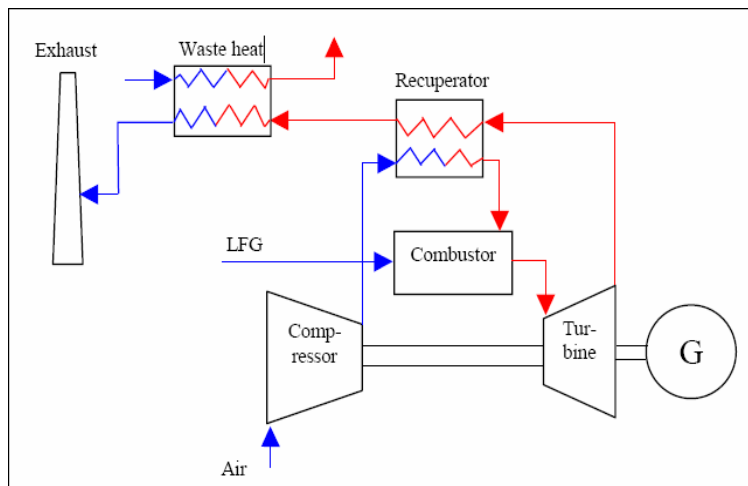
Komponentti	mg/10 kWh	mg/Nm <sup>3</sup> *
rikki (tot.)	2 000	1 130
halogeenit (tot.)	100	56,5
piiyhdisteet	20	11,3
ammoniakki	55	31,1

\* Laskettu Ämmässuon kaasun CH<sub>4</sub>-pitoisuudesta 52 % (1 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> vastaa 10 kWh).

Energiantuotannossa voidaan käyttää myös mikroturbiineja. Ne soveltuvat kaatopaikoille, joiden kaasunmuodostus on liian vähäistä suuremmille moottoreille tai tavanomaisille turbiineille. Yksi mikroturbiiniyksikkö on tyypillisesti kooltaan 25–250 kW. Isoissa koh-



teissa yksiköitä yhdistetään suuremmiksi kokonaisuuksiksi. Mikroturbiinien tehokkuus on pienen koon takia vähäinen (~ 15–25 %). Tehokkuuden parantamiseksi voidaan lisätä lämmönsiirrin, jolloin polttoilma esilämmitetään kuumalla turbiinin pakokaasulla (kuva 28). Toisen lämmönsiirtimen avulla otetaan talteen prosessissa muodostunut lämpö. Biokaasusovelluksissa energiantuotantoprosessiin tulee liittää polttoaineen esikäsitely.



Kuva 28. Che-mikroturbiiniprosessi.

### Liikennepolttoaine

Jalostamalla kaasu liikennepolttoaineeksi maksimoidaan kaasusta saatava lisäarvo. Tankattuna kaasun arvo (noin 80 €/MWh) on kolmin- tai nelinkertainen maakaasun hintaan verrattuna. Biokaasun jalostus ajoneuvokäyttöön on käypää, mutta kallista tekniikkaa, josta mm. Ruotsista – biokaasun edelläkävijämaasta – löytyy jo 10–20 kaupallista sovellusta. Ne ovat kapasiteetiltaan 1–2 MW:n laitoksia. Hiilidioksidi ja kaasun muut epäpuhtaudet poistetaan metaanista aktiivihiihiadsorptiolla tai erilaisilla pesuratkaisulla (SGC). Tankkausta varten kaasu tulee lisäksi paineistaa 200 baariin.

Melkein kaikki biokaasupolttoainesovellukset perustuvat mädätyskaasun käyttöön. Kaatopaikkakaasun liikennepolttoainekäytöstä on vain yksittäisiä referenssejä. Kaatopaikkakaasu sisältää kaasunkeräysjärjestelmästä riippuen vaihtelevia määriä typpeä, jota on vaikea poistaa nykyisillä jalostustekniikoilla. Metaanipitoisuuden nostaminen yli 95 %:iin voi olla hankalaa. Esimerkiksi Ruotsissa biokaasun käyttö liikennepolttoaineena edellyttää yli 97 %:n metaanipitoisuutta. Lisäksi oletetaan, että kaatopaikkakaasu sisältää enemmän muita epäpuhtauksia kuin mädättämökaasu.

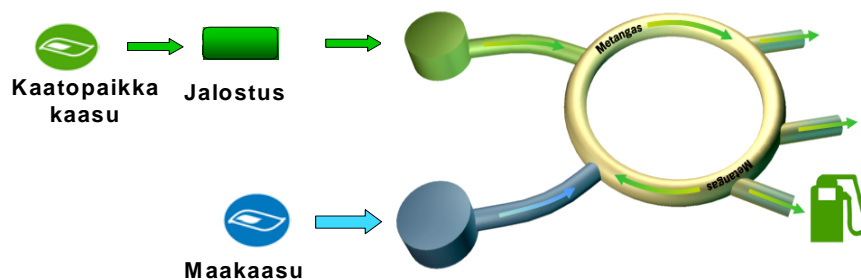
Kaatopaikkakaasua on puhdistettu liikennepolttoainetasoiseksi lähinnä koeluontoisesti USA:ssa, Hollannissa, Islannissa ja Ranskassa. Kaupallisia ratkaisuja ei ole. Esim. Reykjavikissa sijaitseva Sorpan laitos on demonstraatiolaitos, jota on kehitetty jätelaitoksen omassa tuotekehitysprojektissa.

## Siirto maakaasuputkeen

Syöttö maakaasuputkeen edellyttää kaasun jalostamista maakaasukoostumukseen. Koostumusvaatimukset ovat samantasoisia kuin liikennepolttoaineillakin. Laatuksiteerit vaihtelevat ensisijaisesti kussakin maassa käytetyn maakaasun laadun mukaan.

Kaatopaikkakaasun puhdistus on Suomessa maakaasun hintaan verrattuna kallista. Siksi kaasun puhdistus suoraan maakaasun korvikkeeksi ei ole kannattavaa. Kannattavin vaihtoehto olisi käyttää verkkoon syötettyä jalostettua kaatopaikkakaasua vihreänä ajoneuvopolttoaineena (kuva 29).

Aerobisten olosuhteiden luominen jätetäyttöön vaikuttaa kaatopaikkakaasun koostumukseen siten, että metaanin muodostuminen vähenee radikaalisti. Samalla jätteen hajominen nopeutuu.



- Puhdistettua kaatopaikkakaasua syötetään maakaasuverkkoon
- Polttoainejakelu maakaasuverkoston kautta
- Tankkausasemilla mahdollisuus tankata sekä vihreätä, uusiutuvaa että fossiilista polttoainetta

Kuva 29. ”Vihreän” kaasun jakeluperiaate.

### 5.2.2 Kaatopaikkakaasun biologinen käsittely

#### Biosuodattimet ja hapettava pintakerros

Talteen kerätty kaatopaikkakaasua voidaan käsitellä myös biosuodattimilla. Niiden käyttö edellyttää joko suurikokoista suodatinta tai pieniä kaasumääriä. Biosuodattimiin käytettävät materiaalit ovat edullisia, mutta niiden toimivuus pitkäaikaisessa käytössä saattaa edellyttää materiaalin vaihtamista tai osittaista uusimista. Pienehköjen kaasumäärien tai pienten metaanipitoisuuksien käsittelyyn voidaan käyttää hapettavaa pintarakennetta.

Se ei aseta erityisiä tilavaatimuksia, ja lisäkustannukset ovat pienet, koska kaatopaikka vaatii joka tapauksessa pintarakenteen.

Metaania hapettavan pintakerroksen tulisi olla huokoista, vettä pidättävää ja lämpöä eristävää materiaalia, jotta kaasut pääsevät helposti kulkemaan ja hapettumista tapahtuu koko kerroksessa. Soveltuva materiaali on esimerkiksi kypsä komposti. Sen sisältämä orgaaninen aines tekee kompostista huokoista ja vettä pidättävää. Kompostin huonoja puolia ovat eroosio ja epästabiilius. Kompostista pintakerroksen läpi valuvat vedet saattavat lisätä kaatopaikan ympäristökuormitusta ja vaatia puhdistusta. Mekaanis-biologisen käsittelyn alite on ominaisuuksiltaan melko lähellä kompostia, ja sen soveltuvuutta hapettavaan pintakerrokseen on tutkittu. Karhu (2005) totesi alitteen soveltuvan sekä päivittäiseksi katteeksi että metaanin hapetukseen viiden kuukauden kompostoinnin jälkeen.

Suomessa on todettu kaatopaikan pintakerroksen hapetuskyvyn olevan suurimmillaan loppukesästä (Einola ym. 2003). Talven aikana metaania hapettava pintakerros joutuu kovalle koetukselle. Yhden asteen lämpötilassa metaanin hapettumisaktiivisuus on vain 3 % vastaavasta aktiivisuudesta 19 °C:n lämpötilassa, ja jo 12 °C:ssa aktiivisuus laskee neljäsosaan 19 °C:n aktiivisuudesta (Kettunen ym. 2001). Myös vesipitoisuuden tulee säilyä optimaalisena: liian kuiva tai märkä pintakerros ei ole optimaalinen hapettumisen kannalta.

Käytettäessä jätemateriaaleja kaatopaikan peittämiseen täytyy arvioida niiden ympäristökelpoisuus ja soveltuvuus pintamateriaaliksi. Wahlströmin ym. (2004) mukaan jätemateriaalin tulee soveltua vähintään tavanomaisen jätteen kaatopaikalle, eikä se saa olla muiden käytössä olevien ohjeiden vastainen (esimerkiksi maarakentamiskäytön ympäristökelpoisuusohjeet). Muissa maissa jätemateriaalien käytölle on omia suosituksia tai säädöksiä, jotka saattavat poiketa suomalaisista.

### **5.2.3 Esikäsitellyn jätteen kaatopaikkasijoitus**

Tiukentuneen lainsäädännön seurauksena esikäsittelemättömän jätteen sijoitusta kaatopaikoille EU-maissa on rajoitettu. Syntypaikkalajittelu on yksi esikäsitellyn muoto, vaikka sen jälkeen kaatopaikalle jää parhaimmillaankin vielä paljon biohajoavaa ja kierätyskelpoista ainesta. Kaatopaikoille tullaan tulevaisuudessa sijoittamaan yhä enemmän termisen tai mekaanis-biologisen käsittelyn jätettä. Ne käyttäytyvät eri lailla kuin käsittelemätön sekajäte muun muassa pienen orgaanisen hiilen pitoisuuden vuoksi.

## Mekaanis-biologisen käsittelyn jätteet

Mekaanis-biologisen (MB) käsittelyn päävaiheet ovat jätteen mekaaninen käsittely hyötykäyttöön soveltuvan materiaalin erottamiseksi ja jäljelle jäävän jäännösjakeen biologinen stabilointi. Mekaanisessa esikäsittelyssä jätteen palakokoa pienennetään murskauksella ja seulonnalla. Jätejakeiden erotteluun käytetään mm. magneetteja ja tuulieroittimia. Metallit voidaan hyödyntää uudelleen materiaalina ja palavat, korkean lämpöarvon omaavat jätteet (muovit, puu) ohjata termiseen käsittelyyn. Jäljelle jääneen, orgaanista ainetta sisältävän alitteen biologisen käsittelyn etuina ovat tilavuuden ja päästöpotentiaalinen pieneminen. Käsittelymenetelmänä voi olla kompostointi tai mädätys. Mädätyksessä syntyvä biokaasu voidaan lisäksi hyödyntää energiana.

Mekaanis-biologisesti käsitellyn jätteen kaatopaikan tärkeimmät erot sekajätteen kaatopaikkaan verrattuna ovat seuraavat (Scheelhase 2001):

- MB-käsittelyn jäte muistuttaa ulkonäöltään epäpuhdasta kompostia.
- Paino ja tilavuus vähenevät 30–50 % esikäsittelyn johdosta.
- Kaatopaikka hyppää haponmuodostusvaiheen ohi.
- Biologinen hajoamistoiminta kaatopaikalla on melko vähäistä.
- Kaasun muodostuskapasiteetti on 90–95 % pienempi.
- Suotoveden kuormittavuus on 80 % pienempi.
- Hiilestä 95 % on sitoutunut.
- Kaatopaikan vedenläpäisevyys pienentyy.
- Painumat vähenevät.

MB-käsitellyn jätteen kaatopaikan suotovesi on huomattavasti parempilaatuista kuin nuorella käsittelemättömän jätteen kaatopaikalla lukuun ottamatta klooria (Cl) ja sulfaattia (SO<sub>4</sub>), joiden pitoisuudet ovat samalla tasolla (Kuehle-Weidemeier 2004). MB-kaatopaikan suotovesi tulee kuitenkin käsitellä, sillä epäpuhtauksia on runsaasti huolimatta perinteistä kaatopaikkaa paremmasta suotoveden laadusta.

## Termisen käsittelyn jätteet

Jätteen terminen käsittely vähentää jätteen tilavuutta ja mahdollistaa energiasisällön talteenoton. Jätteen arinapoltoissa kiinteän aineen tilavuus pienenee noin kymmenesosaan alkuperäisestä (Sabbas ym. 2003). Suurin osa (85–95 %) arinapolton jäännösjakeista on pohjakuonaa eli pohjatuhkaa, joka sisältää karkeaa palamatonta epäorgaanista ainesta sekä jonkin verran palamatta jäänyttä orgaanista ainetta (Sabbas ym. 2003).

Lisäksi syntyy lentotuhkaa ja savukaasujen puhdistusjätettä, jotka korkeiden haitta-ainepitoisuuksien vuoksi vaativat käsittelyä ennen loppusijoitusta. Jäännösjakeiden paino on noin neljäsosa alkuperäisen jätteen märkäpainosta.

Leijukerroskattilassa voidaan polttaa lajiteltua jätepolttoainetta yhdessä puun, hiilen tai turpeen kanssa. EU-lainsäädännössä yhteispoltto luokitellaan jätteenpoltoksi, ja sitä koskevat yhtä tiukat savukaasujen puhdistusvaatimukset kuin pelkkää jätettä polttavia kattiloita. Polton lisäksi jätteen termisiä käsittelytapoja ovat kaasutus ja pyrolyysi.

Pohjakuona on geoteknisiltä ominaisuuksiltaan melko stabiilia, eikä sen sijoittaminen kaatopaikalle aiheuta painuma- tai sortumaongelmia. Orgaanisen hiilen pitoisuudet ovat pieniä. Pohjakuonan metallipitoisuudet ovat korkeahkoja, mutta metallit ovat hyvin sitoutuneita ja niiden liukoisuudet pieniä.

Lentotuhkista liukenee yleensä merkittävästi raskasmetalleja. Savukaasujen puhdistusjätteet sisältävät pääasiassa suoloja ja lentotuhkan mukana tulleita raskasmetalleja, erityisesti elohopeaa, eivätkä sovellu ilman esikäsittelyä kaatopaikkasijoitukseen. Tuhkia käsiteltäessä pölyäminen voi aiheuttaa ongelmia.

Tuhkien sisältämä reaktiivinen alumiini saattaa aiheuttaa räjähdysvaarallisen vetykaasun syntymistä. Eksotermiset reaktiot voivat aiheuttaa lämmön nousua jätetäytön sisällä. Korkea lämpötila saattaa vahingoittaa pohjan tiivistysrakenteissa käytettyjä kalvoja ja kuivattaa savitiivistystä ennen aikaisesti. Eksotermisten reaktioiden aktiivisuus on huipussaan parin kolmen kuukauden kuluttua tuhkan sijoittamisesta, minkä jälkeen lämpötila kääntyy laskuun (Klein ym. 2003). Pohjarakenteiden vaurioriski kohoaa, jos tuhka sijoitetaan suoraan lopulliseen paikkaansa ilman esivarastointia. 3–6 viikon varastoinnilla voidaan vähentää lämpenemiskykyä 46 % ja kolmessa kuukaudessa 67 % (Klein ym. 2003).

#### **5.2.4 Bioreaktorikaatopaikat**

Bioreaktorikaatopaikat voidaan jaotella anaerobisiin, aerobisiin ja molempia tekniikoita yhdistäviin hybridi-bioreaktoreihin. Anaerobisissa bioreaktoreissa pyritään nopeuttamaan hajoamista esimerkiksi suotoveden kierrätyksen avulla. Tehostettu metaanintuotanto helpottaa jätteestä muodostuvan metaanin talteenottoa ja hyötykäyttöä ja parantaa näin em. toimenpiteiden taloutta. Kasvihuonekaasuja vähentävä vaikutus on täten epäsuora. Aerobisesta bioreaktorista puhutaan, kun jätetäyttöön lisätään ilmaa. Tällöin hajoaminen tapahtuu aerobisesti eikä metaania muodostu kuin vähän. Hybridi-kaatopaikat käyttävät molempia menetelmiä vuorotellen. Puoliaerobinen kaatopaikka hyödyntää nk. savupiippuefektiä ilmastuksessa, jolloin ilmastus voidaan hoitaa suotoveden keräysjär-

jestelmän kanssa samoissa putkissa. Tämä kaatopaikkatyyppi on erittäin yleinen Japanissa. Bioreaktorikaatopaikkatekniikan kehitys on vielä osin kesken, ja nykyiset bioreaktorikaatopaikat toimivat myös tutkimuskohteina.

Toisin kuin Euroopassa, jossa EU-lainsäädäntö ohjaa tiiviisti suljettuihin, mahdollisimman vähän orgaanista ainesta sisältäviin kaatopaikkoihin, pidetään Yhdysvalloissa ohjattua bioreaktorikaatopaikkaa hyvänä vaihtoehtona. Yhdysvalloissa bioreaktoritutkimuksen tavoitteena on jätteiden in situ -käsittely kaatopaikoilla, jolloin nopeamman stabiloitumisen myötä saavutettaisiin kustannussäästöjä, pienempi ympäristökuormitus sekä enemmän hyötykäyttöön sopivaa kaasua. Euroopassa bioreaktoritutkimus keskittyy vanhojen kaatopaikkojen hajoamisen nopeuttamiseen, päästöpotentiaalin vähentämiseen ja esikäsiteltyjen jäännösjakeiden käyttäytymiseen kaatopaikoilla. Myös Euroopassa käydään keskustelua siitä, onko EU:n nykyllä lainsäädännön mukainen kaatopaikka kokonaisvaikutuksia ajatellen paras mahdollinen. Huolta aiheuttavat mm. kaatopaikan ympäristövaikutukset sen jälkeen, kun rakenteet lakkaavat toimimasta.

### **Suotoveden kierrätys**

Jätteen hajoamisnopeuteen vaikuttavat pH, ravinteet, kosteus, partikkelikoko ja redox-potentiaali. Yleisin ja helpoin keino nopeuttaa kaatopaikan hajoamista on kosteustasapainon hallinta. Suotoveden kierrättäminen tai muun nesteen lisääminen jätetäyttöön on bioreaktorikaatopaikkojen tärkein yksittäinen operointimenetelmä. Optimaaliseksi, hajoamista tehostavaksi kosteudeksi kirjallisuudessa esitetään 40–70 % (ks. Reinhart & Townsend 1998, Read ym. 2001).

Suotoveden kierrätys soveltuu toteutettavaksi yhdessä kaasun talteenoton kanssa. Kierrätykseen voidaan käyttää horisontaalisia tai vertikaalisia imeytyskaivoja. Tehostunut hajoaminen näkyy kaasuntuotannon lisääntymisen ohella nopeampana stabiloitumisena ja pienempinä suotoveden käsittelykustannuksina. Veden lisääminen jätetäyttöön tulisi aloittaa mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Kaasunmuodostus alkaa jo noin puolen vuoden kuluessa jätteen sijoittamisesta.

Suotoveden kierrätyskokeiluista on saatu toisistaan poikkeavia tuloksia, mihin ovat vaikuttaneet jätteen laatu, kaatopaikan olosuhteet ja ympäristöolosuhteet (sademäärä, lämpötila). Kuusivuotinen suotoveden kierrätyskokeilu Delawaressa Yhdysvalloissa osoitti kaasuntuotannon kiihtyvän selkeästi. Kaatopaikalla suotovesi kierrätettiin horisontaalisten, rei'itettyjen putkien avulla. Alue, jossa suotovettä kierrätettiin, tuotti yksitoistakertaisesti kaasua vertailualueeseen nähden. Tarkkailtujen alueiden kaasuntuotto oli kuitenkin aiempia tutkimuksia ja odotuksia pienempää sekä alueella, jossa suotovettä kierrätettiin, että vertailualueella. (Morris ym. 2003.)

Suomessa Seutulän suljetulla kaatopaikalla tehty, kaksi kesää kestänyt suotoveden kierrätyskokeilu osoitti noin 57 %:n lisäystä kaatopaikkakaasuntuotannossa (Nykänen 1999). Suotovesi kierrätettiin imeytyskaivojen avulla. Lisääntyneen kaasunmuodostuksen takia jätetäytön pinnan läpi virtasi jonkin verran enemmän kaasua suotoveden kierrätyksen aikana. Siihen olisi saattanut auttaa kaasunkeräysjärjestelmän imutehon nosto.

Kujalan kaatopaikan jätteillä tehdyissä laboratorioskokeissa todettiin suotoveden kierrätyksen vaikuttavan positiivisesti metaanintuottoon, joka oli 21 kertaa suurempi kosteassa näytteessä. Mikrobilähteen lisäys tehosti suotoveden kierrätyksen vaikutuksia entisestään. (Sormunen ym. 2004.)

Ämmässuon kaatopaikan suotovesien imeytyskokeilussa rakennettiin kaksi 3 600 m<sup>2</sup>:n kokoista imeytyskenttää, joista toista operoitiin paineellisesti ja toista painovoimalla. Suotovesi levitettiin imeytyskentille rei'itettyjen imeytysputkien avulla, toiseen pumpaamalla, toiseen painovoiman avulla. Suotovettä kierrätettiin vuosina 2003–2004 toukokuun puolivälistä lokakuun loppuun (veden lämpötilan ollessa yli 12 °C) pieniä taukoja lukuun ottamatta. Imeytyksen ei todettu lisäävän kaasupäästöjä kaatopaikan pinnan läpi. Imeytysputkistot saattavat kuitenkin toimia kaasun purkautumiskanavina. Tutkimuksessa saatiin viitteitä lisääntyneestä kaasunmuodostuksesta. Suotoveden havaittiin nostavan paikoitellen jätetäytön sisäisen veden pintaa. Tämän vuoksi on tärkeää, että pohjan kuivatusrakenteet ja salaojitus ovat kunnossa. (Anderson 2005.)

Suotoveden kierrätys edellyttää kaatopaikalta toimivia pinta- ja pohjarakenteita ja suotoveden keräysjärjestelmää. Pohjarakenteen tulee olla tiivis, jotta voidaan estää pohjaveden ja ympäristön pilaantuminen. Vanhoilla tai huolimattomasti hoidetuilla kaatopaikoilla ei useinkaan ole edellytyksiä suotoveden kierrätykseen, vaikka keräysjärjestelmä olisikin olemassa. Kierrätyksessä vanhaan keräysjärjestelmään kohdistuu tavallista suurempi rasitus, samoin pohjarakenteen tiiviys joutuu koetukselle.

Suotoveden kierrätys ilman kaasunkeräyslaitteistoa saattaa tulla kysymykseen ainoastaan, jos kaatopaikkaa operoidaan aerobisena. Tällöin haitallista metaania muodostuu vähän. Toinen mahdollisuus on tehokkaan hapettavan pintakerroksen rakentaminen, mutta se sopii pääasiassa hajapäästöille, ei siis nuoren kaatopaikan kaikkien metaanipäästöjen estämiseen. Koska kaasuntuotanto lisääntyy, kaasun hyödyntämisen kannattavuus paranee.

Suomen ilmasto-olosuhteissa talvi vaikeuttaa suotoveden kierrätystä. Kierrätyslaitteisto saattaa rikkoutua jäätyneen vuoksi, eikä jätetäyttöön kannata lisätä jääkylmää vettä, koska se hidastaa hajoamista entisestään. Siksi suomalaisissa kokeiluissa suotovettä on kierrätetty vain kesäisin. Ruotsissa on kokeiltu suotoveden lämmittämistä ennen sen

lisäämistä jätetäyttöön. Lämmittäminen piti putket ja venttiilit sulina talven aikana, mutta jätetäytön lämpötilaan toimenpiteellä ei ollut vaikutusta.

### **Aerobiset kaatopaikat**

Ilman injektoinnilla jätetäyttöön pyritään aerobisiin hajoamisolosuhteisiin. Ilmastus on eräänlainen kaatopaikkajätteen in situ -kompostointitekniikka, jolla pyritään nopeuttamaan jätteen hajoamista ja vähentämään päästöjä. Syntyvä kaasu on pääosin hiilidioksidia. Metaanin osuus on alle 10 % vastaavan tavanomaisen kaatopaikan päästöistä. Ilmastusta käytetään usein yhdessä suotoveden kierrätyksen kanssa. Kaatopaikka voidaan rakentaa aerobiseksi, mutta ilmastus voidaan aloittaa myös kaatopaikan sulkemisen jälkeen. Vanhoilla kaatopaikoilla ilmastus nopeuttaa painumista ja parantaa suotoveden laatua. Happi saattaa lisätä tulipalon vaaraa.

Vaikka tavoitteena on metaanin tuotannon huomattava vähentäminen, saattaa kaatopaikkakaasun keräys ja käsittely silti olla tarpeen (Reinhart & Townsend 1998). Tehokkaan aerobisen hajoamistoiminnan myötä jätetäytön sisälämpötila yleensä nousee, mikä saattaa aiheuttaa mm. tiivistysrakenteen kestävyysongelmia. Jätetäytön lämpötilan hallinta on melko hankalaa. Mikrobiprosesseissa muodostuu runsaasti lämpöä, mutta talven aikana ulkoilma vaikuttaa hidastavasti mikrobien toimintaan, jolloin kaatopaikan lämpötila laskee. Ilman injektoinnilla pystytään nostamaan jätetäytön lämpötilaa, sillä se kiihdyttää voimakkaasti hajoamista.

Aerobinen kaatopaikkatekniikka soveltuu alueille, joissa on tarvetta vapautuvalle kaatopaikkakapasiteetille tai kaatopaikan uudelleenkäytölle. Ilmastus nopeuttaa huomattavasti stabiloitumista, mutta kaatopaikkakaasua ei voida enää hyödyntää. Kaasun hyötykäytöllä ei ole mahdollista korvata fossiilisia polttoaineita ja näin pienentää päästöjä tai kustannuksia. Menetelmä on melko kallis suhteessa saataviin hyötyihin, sillä myös suotoveden kierrätys on usein tarpeen, jotta hajoamiselle optimaalinen kosteus pystytään säilyttämään.

Pohjois-Saksassa tehdyissä kenttäkokeissa ilmastus osoittautui kehityskelpoiseksi vanhan kaatopaikan stabilointimenetelmäksi (Heyer ym. 2001). Kokeita tehtiin metaanituottovaiheessa olevalla kaatopaikalla, johon lisättiin kaasukaivojen kautta vähäpaineista ilmaa. Muodostuvat kaasut kerättiin talteen erillisen järjestelmän avulla. Ilmastuksessa kaatopaikkakaasun metaanipitoisuus laski 60 %:sta noin 1 %:iin, mikä kertoo kaatopaikan anaerobisen hajoamisprosessin muuttumisesta aerobiseksi. Menetelmää on sovellettu ainakin Saksassa ja Italiassa (Cossu ym. 2003, Cossu & Rossetti 2004, Heyer ym. 2005).



Vanhan kaatopaikan ilmastusta aloitettaessa tiivis kaasun koostumuksen seuranta on tarpeen. Ilmastettaessa metaani korvautuu vähitellen ilmalla. Tällöin saatetaan saavuttaa vaarallinen, räjähdysherkkä kaasukoostumus (5–15 % metaania ilmassa). Esimerkiksi Modenan kaatopaikalla Italiassa (kuva 30) kaasun metaanipitoisuus oli ilmastuksen alkuaikoina 3–5 %, joten jatkuva tarkkailu ja varotoimenpiteet olivat muutaman päivän ajan välttämättömiä (Cossu ym. 2003).

### **Puoliaerobinen kaatopaikka**

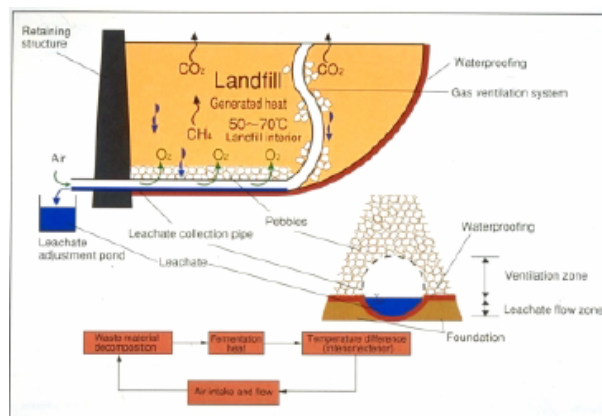
Puoliaerobinen kaatopaikka on aerobisen ja perinteisen kaatopaikan välimuoto. Sen investointi- ja operointikustannukset ovat pienemmät kuin aerobisen kaatopaikan, mutta painovoimaisesti tapahtuva ilmastus saa aikaan aerobiset olosuhteet osaan jätetäytöstä ja nopeuttaa näin ollen hajoamista.

Japanissa puoliaerobinen kaatopaikka on tavallisin kaatopaikkatyyppi. Siellä kehitetyssä Fukuoka-menetelmässä (kuva 31) suotovesien keräys ja ilmastus hoidetaan saman järjestelmän kautta. Japanin ilmasto-olosuhteissa järjestelmä on toimiva, koska suuri sademäärä pitää yllä jätetäytön kosteutta ja takaa hajoamiselle suotuisan kosteuden.



*Kuva 30. Modenan vanhan kaatopaikan ilmastuslaitteistoa (Cossu ym. 2003).*

Menetelmän kehittämiseen johtivat kaatopaikkojen lähiympäristölle aiheuttamat ongelmat ja kallis maan hinta. Japanissa sataa paljon, joten suotovesiä muodostuu kaatopaikoilla runsaasti. Tiheästi asutuilla kaupunkialueilla vanhat kaatopaikat myydään rakennusalueiksi. Tämä asettaa suuret vaatimukset kaatopaikkojen nopealle stabiloitumiselle. Lisäksi kaatopaikat on usein rakennettu niin lähelle asutusta (jopa vain 200 metrin päähän), että hajuhaitat ja metaanin räjähdysherkyys aiheuttavat ongelmia. (Hanashima 1999.)

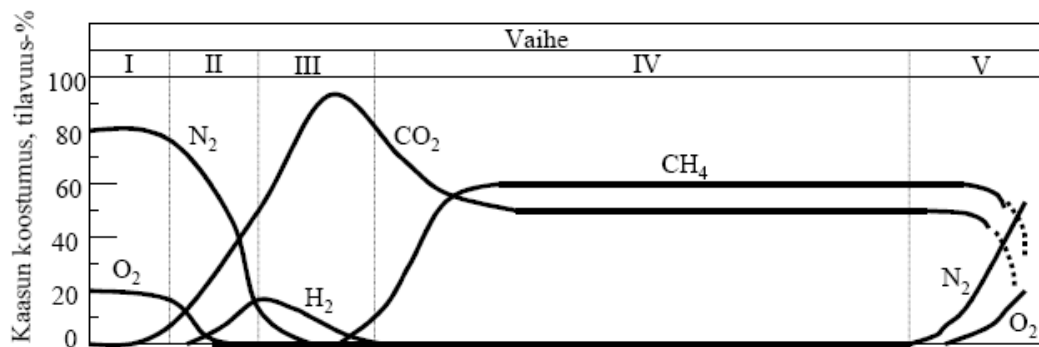


Kuva 31. Fukuoka-menetelmän periaate (Hanashima 1999).

Puoliaerobinen kaatopaikka on herättänyt kiinnostusta myös Japanin ulkopuolella, erityisesti kehitysmaissa. Se on edullinen ratkaisu vähentää kaatopaikan ympäristökuormitusta: kasvihuonekaasupäästöt vähenevät puoleen. Kehitysmaissa ei usein ole mahdollisuutta investoida kalliiseen kaasunkeräysjärjestelmään eikä tarvittavaa teknistä osaamista välttämättä löydy. Lisäksi runsaan sadannan maissa jätetäyttö pysyy kosteana ja jäte hajoaa nopeasti. Japanilaiset ovat osallistuneet puoliaerobisten kaatopaikkojen rakentamiseen maan rajojen ulkopuolella, esimerkiksi Malesiassa ja Kiinassa. Fukuoka-menetelmä ei sovellu maihin, joissa kaasunkeräysjärjestelmä ja tiivis pintakerros ovat pakollisia. Muodostuva kaasu ei ole hyödynnettävissä pienen metaanipitoisuutensa vuoksi. Liian tiivis pintakerros estää sateen kosteuttavan vaikutuksen, joka tehostaa hajoamista.

### 5.3 Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämismahdollisuudet

Kaatopaikalla syntyvän kaasun koostumus vaihtelee jätteen laadun, ympäristöolosuhteiden ja kaatopaikan hajoamisvaiheen (kuva 32) mukaan. Aluksi (I) jäte hajoaa aerobisesti jätetäyttöön varastoituneen hapen avustuksella. Melko pian alkaa siirtymävaihe (II) anaerobisiin olosuhteisiin. Nitraatti ja sulfaatti muuttuvat typpikaasuksi ja rikkivedyksi, ja metaanin tuotanto alkaa. Happovaiheessa (III) mikrobit tuottavat enenevässä määrin orgaanisia happoja (mm. etikkahappoa) ja vähemmän vetyä. Suotoveden pH laskee, ja suotoveteen liukenee epäorgaanisia yhdisteitä, kuten metalleja. Metaanikäymisvaiheessa (IV) metanogeenit eli metaaninmuodostajabakteerit muuttavat vedyn ja etikkahapon metaaniksi ja hiilidioksidiksi. Suotoveden pH nousee, ja BOD, COD sekä metallien liukoisuus pienenevät. Tämä vaihe kestää tavallisilla kaatopaikoilla useita kymmeniä vuosia. Kypsymisvaiheessa (V) kaatopaikkakaasua muodostuu vähemmän, sillä jäljellä on vain hitaasti hajoavaa orgaanista ainesta.



Kuva 32. Kaatopaikkakaasun koostumus eri hajoamisvaiheissa. I = Käynnistymisvaihe, II = Siirtymävaihe, III = Happovaihe, IV = Metaanikäymisvaihe ja V = Kypsymisvaihe (Tchobanoglous [1993] Marttisen ym. [2000] mukaan).

Hoidetulla kaatopaikalla osa metaanista hapettuu hiilidioksidiksi ja vedeksi kulkeutuaan kaatopaikan pintakerroksen läpi. Lisäksi jätteen tiivistys ja tiiviin pintakerroksen rakentaminen edistävät anaerobisten olosuhteiden muodostumista. IPCC (2000a) esittää hapettuvan metaanin osuuden oletusarvoksi nolaa, mutta hoidettujen kaatopaikkojen yleisesti hyväksyttävänä pintarakenteen metaanin hapetuskykyä pidetään 10 %:a. Avokaatopaikoilla ja huonosti hoidetuissa jätetäytöissä hapettumista ei juuri tapahdu.

Hoitamattomilla kaatopaikoilla metaanin muodostuskapasiteetti on pienempi kuin hoidetuilla. Erityisesti matalat, alle 5 metriä korkeat hoitamattomat jätetäytöt tuottavat suhteessa jätemäärään vähemmän metaania, sillä aerobisen vyöhykkeen osuus kaatopaikan tilavuudesta on suhteessa suurempi. Aerobisessa hajoamisessa syntyvistä kaasuista hiilidioksidi on merkittävin.

### 5.3.1 Päästöjen arviointimenetelmät

#### Metaanipäästöt

IPCC:n ohjeissa kansallisista kasvihuonekaasupäästöarvioista esitetään oletusmenetelmänä massatasemalli (IPCC 1997). Myöhemmin ilmestyneessä hyvän käytännön ohjeistossa sen käyttöä suositellaan vain, jos historiatietoa kaatopaikalle sijoitetuista jätemäärästä ei ole (IPCC 2000a). Massatasemalli olettaa, että kaikki metaani muodostuu jätteen sijoitusvuonna, eikä se siksi kykene kuvaamaan suljetun kaatopaikan kaasupäästöjä. Malli soveltuu parhaiten kansallisten tai globaalien päästöjen arviointiin, kun sijoitettavan jätteen määrä ja koostumus pysyvät melko samanlaisena. Jos kaatopaikalle sijoitettavan jätteen määrä vähenee, massatasemalli aliarvioi päästöjä ja yliarvioi vähenemisiä.

Massatasemalli perustuu kaavaan

$$CH_4\text{päästöt} = [(W \cdot MCF \cdot DOC \cdot DOC_F \cdot F \cdot 16/12) - R] \cdot (1 - OX).$$

Kaavamerkinnät selitetään liitteessä 1, jossa on lisätietoa IPCC:n ohjeiden mukaisista kaatopaikkakaasujen arviointimenetelmistä, kansallisesti sovellettavista arviointimalleista ja CDM-hankkeissa suositeltavista arviointimetodologioista.

IPCC:n hyvän arviointikäytännön ohjeissa (IPCC 2000a) suositetaan kaatopaikkojen metaanipäästöjen laskentaan ensimmäisen kertaluvun hajoamismallia (first order decay model, FOD-malli). Se kuvaa massatasemallia paremmin ajan kuluessa muuttuvaa todellista hajoamisprosessia. Koska malli ottaa huomioon kaasunmuodostuksen aikakäyt-täytymisen, se edellyttää taustatietoa kaatopaikalle sijoitetusta jätteestä. Orgaanisen ai-neen hajoamisnopeutta kuvataan ensimmäisen kertaluvun reaktioyhtälöllä

$$-\frac{dc}{dt} = k \cdot c, \text{ jossa } k \text{ on hajoamisnopeuskerroin ja } c \text{ aineen konsentraatio.}$$

FOD-mallin mukaan vuonna  $t$  muodostuva metaani voidaan laskea kaavalla

$$CH_4^{\text{muodostunut}} [Gg / a] = \sum_{x=t_0}^t A \cdot k \cdot W(x) \cdot L_0 \cdot e^{-k(t-x)} .$$

Kaavamerkinnät selitetään liitteessä 1.

Monissa maissa käytetään kansallisia arviointimalleja, jotka ovat yleensä vain hieman muunneltuja versioita IPCC:n esittämästä FOD-mallista. Yleisin muunnos on mallin soveltaminen monivaiheisesti, jolloin otetaan huomioon, että jätejakeet hajoavat eri no-peuksilla. Tällöin voidaan valita esimerkiksi kolme hajoamisnopeusluokkaa: hitaasti, kohtuullisesti ja nopeasti hajoavat. Monivaiheisissa malleissa kaasuntuotanto on en-simmäisinä vuosina suurempaa ja pitkittyy loppupäästään FOD-malliin verrattuna (Oonk & Boom 1995).

Kehitysmaiden kaatopaikkapäästöjen laskentaa ajatellen kiinnostava on U.S. EPA:n käyttämästä mallista Meksikon kaatopaikkoja varten kehitetty sovellus (Guzzone & Muller 2003). Ohjelmaa varten on kerätty tietoa kaatopaikoilta ympäri Meksikoa. Or-gaanisen aineen hajoamisnopeus ja metaanin muodostumiskapasiteetti valitaan paikalli-sen sadannan mukaan. Metaanin muodostuskapasiteetin oletusarvot ovat Meksikon kaa-topaikoille huomattavasti pienempiä (60–84 m<sup>3</sup>/Mg) kuin USA:n kaatopaikoille (96–170 m<sup>3</sup>/Mg). Tämä johtunee osin erilaisesta jätteen koostumuksesta sekä kaatopaikkojen hoitamattomuudesta.

Alankomaissa on tehty kuuden päästömallin vertailututkimus (Jacobs & Scharff), joka osoittaa, että kansallisten mallien tuloksissa on suuria eroja. Tarkasteltavina olivat Alankomaissa käytetyt FOD-malli ja monivaiheinen malli, U.S. EPA:n LandGEM, Eng-

lannin GasSim, Saksan vanha massatasemalli ja Ranskan käyttämä malli, joka yhdistää FOD-mallin ja tiedot kerätystä kaasusta. Mallien ennusteita verrattiin keskenään ja todellisen kaatopaikan päästöihin. LandGEM, FOD-malli ja monivaiheinen malli näyttivät yliarvioivan kaatopaikan päästöjä verrattuna mitattuun, kun taas muilla saadut tulokset olivat mitattuja pienempiä. Tarkimpaan tulokseen päästiin monivaiheisella FOD-mallilla. Myös Saksan massatasemallilla saatiin melko hyvä arvio tutkitun kaatopaikan päästöistä. GasSim-ohjelmassa ei pystytty vaikuttamaan jätteen koostumukseen. LandGEM-ohjelmisto taas ei kyennyt huomioimaan sijoitetun jätteen sisältävän myös muuta kuin yhdyskuntajätettä.

### **Muut päästöt**

Kaatopaikoilla muodostuvan hiilidioksidin määrä arvioidaan yleensä muodostuvan metaanin määrän ja kaatopaikkakaasun koostumuksen perusteella. Vaikka hiilidioksidin määrä ei ole kiinnostava kasvihuonepäästöjen kannalta, kaatopaikan hiilivarastojen suuruus voidaan ajatella kasvihuonekaasupäästöjä vähentäväksi tekijäksi. Orgaanisesta hiilestä jopa 40–50 % voi jäädä dissimiloitumatta kaasuksi.

IPCC ei anna ohjeita kaatopaikkojen typpioksiduulipäästöjen arviointiin, koska niitä ei huomioida jätehuollon päästöinventaariorissa. Päästöjen karkean arvioinnin pohjana voidaan käyttää esim. YTV:n Ämmässuon kaatopaikan mittaustietoja. Keskimääräiset typpioksiduulipäästöt olivat  $2,7 \text{ mg N m}^2 \text{ h}^{-1}$  mikrometeorologisella menetelmällä mitattuna ja  $6 \text{ mg N m}^2 \text{ h}^{-1}$  kammiomenetelmällä mitattuna (Rinne ym. 2005). Tämän perusteella arvioitiin typpioksiduulin osuudeksi noin 3 % kaatopaikkojen kasvihuonekaasupotentiaalista. Typpioksiduulia saattaa syntyä myös kaatopaikkakaasun soihtupoltossa ja suotovesiä käsiteltäessä.

Jätevesien typpioksiduulipäästöt otetaan huomioon IPCC:n hyvän käytännön ohjeissa. Niiden mukaan jäteveden tpeestä 1 % muuttuu ennemmin tai myöhemmin typpioksiduuliksi (IPCC 2000a). Päästöt voivat vaihdella välillä  $0,002\text{--}0,02 \text{ kg}_{\text{N}_2\text{O-N}} / \text{kg}_{\text{jäteveden-N}}$ , eli 2 ‰ – 2 % jäteveden tpeestä muuttuu typpioksiduuliksi. Tätä voitaneen soveltaa myös kaatopaikkojen suotovesiin. Kun tiedetään suotoveden kokonaistypen määrä, voidaan yksinkertaisella laskutoimituksella saada selville typpioksiduulipäästöjen suuruus.

### **Päästöjen arviointi CDM-hankkeissa**

Kioton pöytäkirjan mukaisissa CDM-hankkeissa kasvihuonekaasupäästöjen ja päästövähennysten arviointi, tarkkailu ja todentaminen tehdään hyväksytyjä metodologioita käyttäen. Kaatopaikkahankkeille soveltuvat CDM-arviointimetodologiat, ACM0001, AM0002, AM0003, AM0010 ja AM0011, esitettiin taulukossa 6. Pienen mittakaavan metaanintalteenottohankkeille (< 15 kt/a CO<sub>2</sub> ekv.) on lisäksi esitetty oma dokumentaa-

tiometodiikka AMS-III G. Vältetty kasvihuonekaasupäästö voidaan arvioida laskemalla yhteen projektin ansiosta aikaansaadun metaanin polton sekä korvatus sähköenergian ja korvatus lämpöenergian kasvihuonekaasuvähennykset hiilidioksidiekvivalentteina. Lisäksi on tarvittaessa otettava huomioon kasvihuonekaasumäärä, joka olisi hävitetty, vaikka projekti ei olisi toteutunut. Laskumenetelmää esitellään tarkemmin liitteessä 2.

Päästön perustaso arvioidaan kaatopaikan metaanituotannon sekä perustasolla normaalisti tapahtuvan metaanihapetuksen perusteella. Useat perustasoarviot ottavat huomioon, että pieni osa kaatopaikoilla syntyneestä metaanista poltetaan paikallisen lainsäädännön ja sopimusten mukaisesti. Perustasolla tällä tavoin hävitetyn metaanin osuuden oletusarvo on 20 %. Metaanin hapetus kaatopaikan pintakerroksissa arvioidaan yleensä nolllaksi.

### **5.3.2 Perinteinen sekajätteen kaatopaikka**

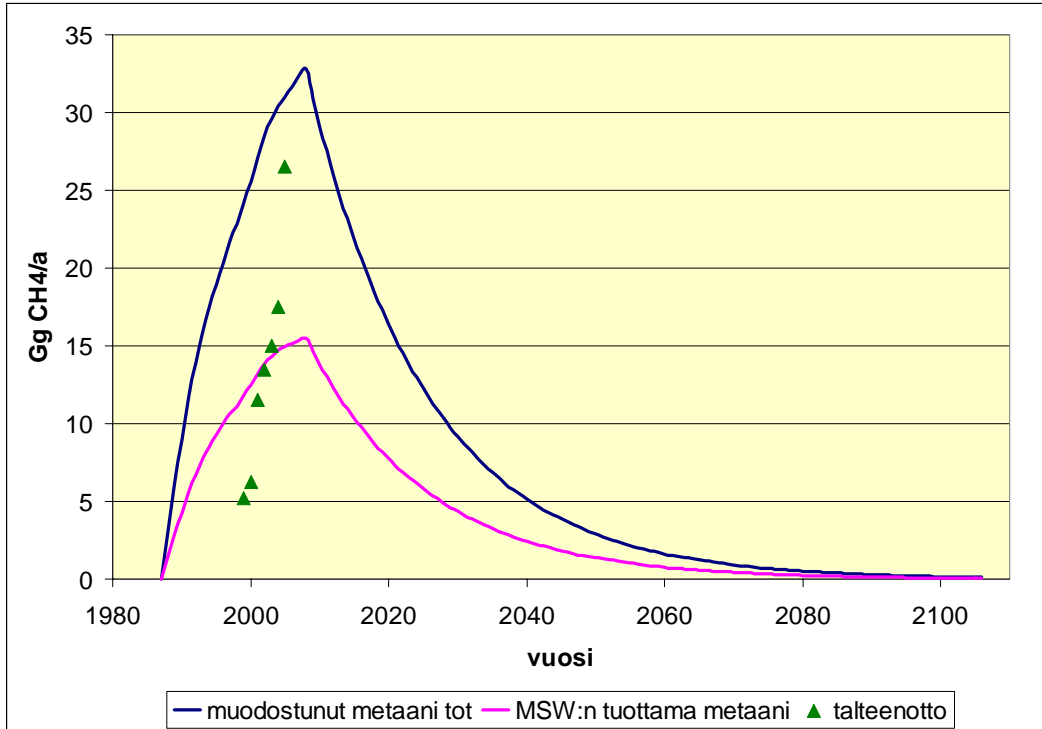
Nollavaihtoehtoina tarkastellaan ns. hallitsematonta kaatopaikkasijoitusta kehitysmaissa sekä YTV:n Ämmässuon kaatopaikkaa olettaen, että kaasua ei oteta talteen. Kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa on käytetty FOD-mallia. Kummassakaan tapauksessa mallin kertoimien valinta ei ole täysin yksiselitteistä. Varsinkin ns. kehitysmaakaatopaikan sijaintipaikka ja -olosuhteet voivat olla hyvin vaihtelevat. Kasvihuonekaasulaskelmissa on tarkasteltu myös puoliintumisajan ja kehitysmaakaatopaikkatapauksessa orgaanisen aineksen määrän vaikutusta metaanin muodostumiseen.

#### **YTV:n Ämmässuon kaatopaikka**

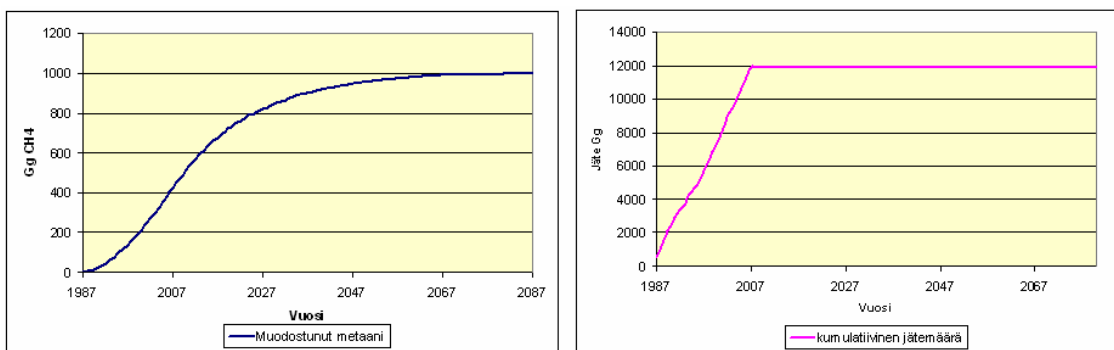
Pääkaupunkiseudulla sijaitseva YTV:n Ämmässuon kaatopaikka on Pohjoismaiden suurin ja myös yksi Euroopan suurimmista yhdyskuntajätteen kaatopaikoista. Suunnitelmien mukaan nykyinen alue on käytössä marraskuuhun 2007, jonka jälkeen kaatopaikkasijoitus jatkuu viereisellä alueella. Ämmässuon nykyisen kaatopaikka-alueen metaanin tuottoa arvioitiin IPCC:n FOD-mallilla, johon lisättiin vuoden viive metaanin tuotannon alkamiseen. Sekajätejakeiden osuudet otettiin YTV:n tekemästä kotitalouksien sekajätteen koostumus -tutkimuksesta (YTV 2004). Kaatopaikalle sijoitetut jätteen määrät vuoteen 2005 asti sekä arvio vuosina 2006–2007 sijoitettavista jätemääristä saatiin YTV:ltä. Laskelmien toteutus ja parametrivalintojen perustelut kuvataan liitteessä 3.

Kuvissa 33 ja 34 esitetään laskennallinen arvio metaanin muodostumisesta ajan funktiona sekä arvio kumulatiivisesta metaanimäärästä. Kuvassa 33 on lisäksi vertailuarvona Ämmässuon kaatopaikalta talteenotettu kaasumäärä. Muodostuva kokonaismetaanimäärä on tehdyn arvion mukaan 85 kg/t (117 m<sup>3</sup>/t) jätettä (vastaa 1 780 kg CO<sub>2</sub>/ t jätettä). Sekajätteen metaaninmuodostus oli 64 kg/t (89 m<sup>3</sup>/t) jätettä. Arviot ovat samaa suuruus-

luokkaa kuin USA:n kaatopaikkajätteen metaanimuodostusarvio (ks. kohta 5.3.1). Oletetaan, että typpioksiduulin päästöjen osuus CO<sub>2</sub>-ekvivalenteina laskettuna on korkeintaan 2,5 % kokonaispäästöistä, voidaan kokonaispäästöjen arvioida olevan noin 1 830 kg CO<sub>2</sub>-ekv./ t jätettä.



Kuva 33. Arvio YTV:n kaatopaikan metaanipäästöistä ajan funktiona. Kuvassa esitetään arvio metaanin kokonaismäärän ja sekalaisesta yhdyskuntajätteestä peräisin olevan metaanimäärän kehittämisestä sekä kaatopaikalta talteenotetun metaanin määrä.

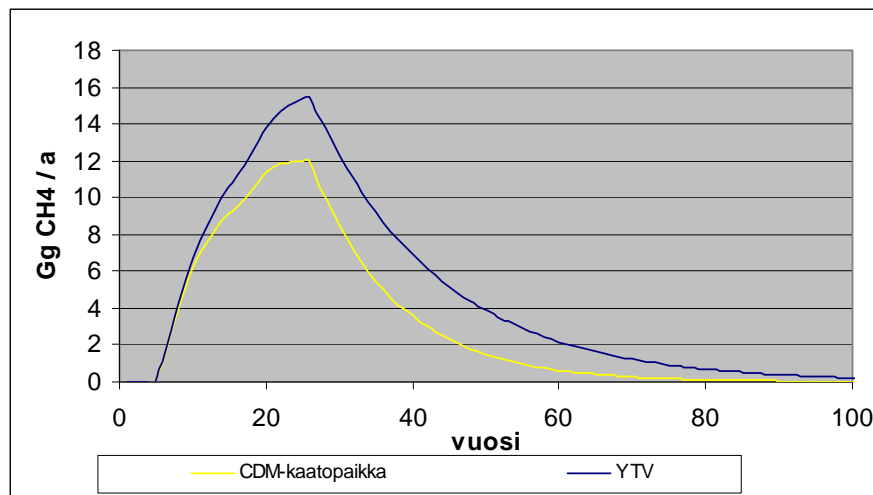


Kuva 34. Arvio YTV:n kaatopaikan kumulatiivisista metaanipäästöistä ja laskennan perustana käytetty jätemäärien kehitysarvio.

## Kehitysmaakaatopaikka

YTV:n kaatopaikan sekajätteestä aiheutuvan metaanipäästön arvioinnin lisäksi tehtiin vastaava päästöarvio kuvitteelliselle kehitysmaakaatopaikalle. Kaatopaikan oletettiin olevan auki runsaat 20 vuotta ja vuosittain sijoitettavien jätemäärien samat kuin YTV:n kaatopaikalle sijoitettavat määrät. Tällöin kokonaisjätemääräksi tulee 7,5 miljoonaa tonnia. Parametrivalintojen perusteluja on liitteessä 3.

On oletettu, että kaatopaikkaa ei peitetä eikä jätettä tiivistetä. Muiden tekijöiden, kuten kaatopaikkapalojen, vaikutuksia metaanintuotantoon ei ole otettu huomioon. Huonosti hoidettujen, avoimien kaatopaikkojen metaanintuottopotentiaali on pienempi kuin hoidettujen, sillä aerobinen vyöhyke on laajempi. Erilainen jätteen koostumus saattaa myös vaikuttaa. Kehitysmaissa on huomattavaa nopeasti hajoavan ruokajätteen suuri osuus.



Kuva 35. Kuvitteellisella kehitysmaakaatopaikalla ja YTV:n kaatopaikalla muodostuva metaani.

Kuva 35 esittää kaasunmuodostusta edellä kuvatulla kehitysmaakaatopaikalla. Metaania syntyy vähemmän kuin Ämmäsuon tasoisella kaatopaikalla, n. 42 kg CH<sub>4</sub>/t jätettä (vähän yli 58 m<sup>3</sup>/t<sub>jäte</sub>). Toisaalta hajoamisnopeus on suurempi, joten metaanin tuotanto vähenee nopeammin. Kuvaajan muotoon vaikuttaa, että sijoitusmäärä on oletettu vakioksi. Jos kaatopaikalla aloitetaan hoitotoimenpiteitä (peittäminen tms.), metaanin muodostuspotentiaali kasvaa noin 100 m<sup>3</sup>:iin/t<sub>jäte</sub>. Joissakin CDM-hankkeissa on metaanin muodostumiskapasiteetiksi arvioitu jopa 180 m<sup>3</sup>/t<sub>jäte</sub> ja 160 m<sup>3</sup>/t<sub>jäte</sub>, jotka vaikuttavat suurilta IPCC:n ohjeisiin verrattuna. Tuloksia arvioitaessa on otettava huomioon, että käytännössä erot kehitysmaissa sijaitsevien kaatopaikkojen välillä voivat olla suuria.



### 5.3.3 Kaatopaikkakaasun hyötykäyttö

Seuraavassa tarkastellaan kaasun energiakäyttövaihtoehtoja YTV:n Ämmässuon kaatopaikkaa esimerkkinä käyttäen. Hyötykäyttövaihtoehdot ovat kaasun käyttö kaukolämmön tuotannossa, yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto kaasumoottoreilla ja kaasun käyttö liikennepolttoaineena.

Ämmässuon kaatopaikalla talteenotetaan kaatopaikkakaasua vuodessa yli 50 miljoonaa m<sup>3</sup>n (8 000 m<sup>3</sup>/h). Vuonna 2004 kaatopaikkakaasusta hyötykäytettiin noin 32 miljoonaa m<sup>3</sup>n Espoon kaupungin kaukolämmön tuotannossa. Kaasuntuotannon on arvioitu nousevan yli 9 000 m<sup>3</sup>:iin/h (n. 45 MW<sup>10</sup>) ja laskevan 25 vuoden aikana noin 3 000 m<sup>3</sup>:iin/h (12–15 MW). Arviot perustuvat Ämmässuolle sijoitettuihin jätemääriin ja jätejakeiden hajoamisvakioihin (IPCC). Kaasun nykyinen talteenottoaste on noin 70 %.

Taulukossa 22 esitetään kaasun eri hyötykäyttöratkaisuilla saavutettavat päästövähennykset UNFCCC:n ACM0001-metodologian ”Consolidated baseline methodology for landfill gas project activities” mukaisesti (liite 2). Hyödynnettävä kaasumäärä on 8 500 m<sup>3</sup>/h ja kaasunmetaanipitoisuus 50 %.

Lähtöoletuksena on, että vertailu tehdään jäljempänä olevan kaavan mukaisesti nykytilanteeseen, jossa kaasun keräilyjärjestelmä on jo toiminnassa. Siksi hankkeen ansiosta ei synny metaanipäästöjen lisävähennemää. Kaasumoottoreiden käyttö energiantuotantoon ei tässä tapauksessa todennäköisesti edellytä kaasun puhdistusta (taulukot 20 ja 21).

Taulukko 22. 8 000 m<sup>3</sup> (40 MW) kaasun energiahyötykäyttö ja vältetty CO<sub>2</sub>-päästö.

	Tuotettu teho, MW	Tuotettu energia, GWh (tuotannon 90 %:n käytettävyys)	Vältetty CO <sub>2</sub> , t/a
Lämmöntuotanto	34	268	69 695
CHP	34	268	85 778
Sähkö	14,8	117	30 338
Liikennepolttoaine	39,2	309	76 954 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Huomioitu fossiilisella polttoaineella tuotetun jalostuksen ja paineistuksen vaatiman, fossiilisella polttoaineella tuotetun energiatarpeen hiilidioksidipäästö, 4 950 t.

<sup>10</sup> 1 MWh ≈ 200 m<sup>3</sup>/h kaatopaikkakaasua (noin 50 % CH<sub>4</sub>).

Laskelmissa on käytetty seuraavia kertoimia:

Lämmöntuotannon CO<sub>2</sub>:

260 kg CO<sub>2</sub>/MWh (Fortum Espoon lämpökeskusten keskiarvo)

Lämmöntuotannon hyötysuhde 85 % (Fortum 2005).

Lämmön ja sähköntuotannon CO<sub>2</sub>:

320 kg CO<sub>2</sub>/MWh (Fortumin paikallistuotannon keskimääräinen CO<sub>2</sub>-ominaispäästö) (Fortum 2005). Yhteistuotannon hyötysuhde 85 %

Sähköntuotannon CO<sub>2</sub>:

Keskimääräinen ominaispäästö Suomessa 260 kg/a CO<sub>2</sub>/MWh (www.energia.fi). Tuotannon hyötysuhde 37 %

Biometaanin liikennepolttoainekäyttö:

265 kg /MWh (73,5 g CO<sub>2</sub>/MJ) dieselin polton CO<sub>2</sub>-ominaispäästö;  
kaasun jalostuksen kaasuhäviö 2 % ja energiantarve 50 kWh/MWh

Suurin päästösäästö aikaansaadaan korkean hyötysuhteen omaavalla energiantuotannolla. Käytännössä päästösäästöön vaikuttavat ennen kaikkea kaatopaikan ympäristössä olevat energiakuluttajat. Lämmöntuotanto on taloudellisinta silloin, kun lähiympäristössä on ympärivuotinen tarve, esim. höyryä käyttävä teollisuus. Liikennepolttoaineen tuotannon suunnittelussa taas on otettava huomioon mm. kaatopaikan liikennemäärä tai lähimmän maakaasuputken sijainti.

### **5.3.4 Jätteen esikäsittely ennen kaatopaikkasijoitusta**

#### **Mekaanis-biologisesti käsitelty jäte**

Sekajätteen mekaanis-biologisen käsittelyn on arvioitu vähentävän kaatopaikan kaasupäästöjä 80–95 % (Kuehle-Weidemeier 2004, Scheelhaase 2001, Höring ym. 1999, Sormunen ym. 2005). Päästövähennystasoon vaikuttavat mm. biologisen käsittelyn kesto aika ja tehokkuus sekä vertailuaineistona käytettävän sekajätteen syntypaikkalajittelun tehokkuus. Yleensä kuitenkin on mahdollista saavuttaa 90–95 %:n päästövähennys.

Kaatopaikkakaasun muodostuksen kannalta olennaisen kokonaisorgaanisen hiilen (TOC) määrä MB-käsitellyssä jätteessä on 10–40 mg/g ja käsittelemättömässä jätteessä 140–260 mg/g (Doedens ym. lähteen Kuehle-Weidemeier [2004] mukaan). Nopeasti hajoavien komponenttien puuttuminen vaikuttaa kaatopaikkakaasun muodostumiseen ja koostumukseen. Käsittelemättömän sekajätteen kaatopaikalla kaasu saavuttaa vasta

muutaman vuoden kuluttua tyypillisen koostumuksensa, jossa reilu puolet on metaania ja loput pääosin hiilidioksidia. Mekaanis-biologisesti käsitellyn jätteen kaasuntuotanto siirtyy nopeasti metaanikäymisvaiheeseen metaanin tuottoa hidastavan happovaiheen puuttuessa. Jätteiden kaasuprofiilit ovat melko samanlaiset, ja kummastakin jätteestä vapautuu suurin osa kaasusta hajoamisen alkuvaiheessa (Bockreis & Steinberg 2005).

Mekaanis-biologisesti esikäsitellyn jätteen tuottaman kaatopaikkakaasun koostumukselta on saatu tutkimuksissa hyvin ristiriitaista tietoa. Bockreisin ja Steinbergin (2005) laboratorioreaktorikokeissa useimpien esikäsittelylaitosten jäännösjakeiden metaanihiilidioksidisuhde oli suuri, jopa 45:1. Yhden esikäsittelylaitoksen jae taas tuotti koostumukseltaan melko samanlaista kaasua kuin käsittelemätön jäte (60 % CH<sub>4</sub>, 40 % CO<sub>2</sub>). Hertelin ym. tutkimuksissa (ks. Kuehle-Weidemeier 2004) MB-käsitelty jäte tuotti ensimmäisenä vuonna metaania keskimäärin 52 % ja hiilidioksidia 36 %. Toisena vuonna kaasun tuoton vähentyessä kaatopaikkakaasun metaanipitoisuus laski 40 %:iin.

Mekaanis-biologisesti esikäsitelty jäte tuottaa niin vähän kaasua, että sen hyödyntäminen energiana tuskin on taloudellisesti kannattavaa. Lisäksi kaasun keräämistä hankaloittaa jätteen heikko veden- ja kaasunläpäisevyys, joka heikentää kaasunkeräysjärjestelmän tehoa. Kaasunkeräyksen vaihtoehtona saattaisi toimia hapettava pintakerros, jolla von Felden ja Doedensin (1999) mukaan on riittävä kasvihuonekaasupäästöjä ehkäisevä vaikutus, katso kohta 5.3.2. Suomessa talvella pintakerroksen jäätyminen estänee jonkin verran kaasun kulkeutumista pinnan läpi.

## **Tuhkat**

Hyvin toimivassa jätteenpolttolaitoksessa orgaanisen hiilen määrä tuhkassa on < 3 %. Epäpuhtaassa palamisessa orgaanisen hiilen pitoisuus saattaa olla suurempi. Tuhkien kaasunmuodostuskapasiteetti on pieni ja kaasuprofiili lineaarinen alusta alkaen. Käsittelemättömällä jätteellä kaasunmuodostus alkaa viiveellä ja on aluksi voimakkaampaa kuin loppuvaiheessa (Bockreis & Steinberg 2005). Jätteenpolton pohjakuonan kaasuntuotantopotentiaalin voidaan arvioida olevan vain 10–20 kg CO<sub>2</sub>-ekv./t pohjakuonaa (Kaartinen 2005).

### **5.3.5 Bioreaktorikaatopaikat**

Bioreaktorikaatopaikkavaihtoehtojen vaikutuksista kasvihuonekaasun tuotantoon on vaikea tehdä yleisiä arvioita, koska menetelmät ovat kehitysvaiheessa. Suotoveden kierrätys vaikuttaa kaasupäästöihin epäsuorasti. Kaasuntuotannon tehostuminen mahdollistaa myös tehokkaamman kaasun talteenoton. Jotta kaasupäästöt saataisiin minimoitua, suotoveden kierrätys ja kaasun talteenotto tulisi aloittaa mahdollisimman aikaisin.

Aerobisen kaatopaikan metaanintuotantonopeus on 10–20 % tavanomaisen kaatopaikan metaanintuotantonopeudesta. Koska kaatopaikka lisäksi stabiloituu optimitapauksessa nopeasti, jo 3–5 vuodessa, jäävät metaanipäästöt pieniksi. Esimerkiksi Ritzkowski ja Stegmann (2005) ovat arvioineet, että aerobisen kaatopaikan päästöt voisivat ilmastuksen energiankulutus huomioon ottaen olla alle 25 % vastaavan tavanomaisen kaatopaikan päästöistä.

Puoliaerobisella kaatopaikalla stabiloituminen on myös nopeampaa kuin tavanomaisella kaatopaikalla. Kasvihuonekaasupäästöt vähenevät useita kymmeniä prosentteja verrattuna tavanomaiseen kaatopaikkaan.

### 5.3.6 Muut ympäristövaikutukset

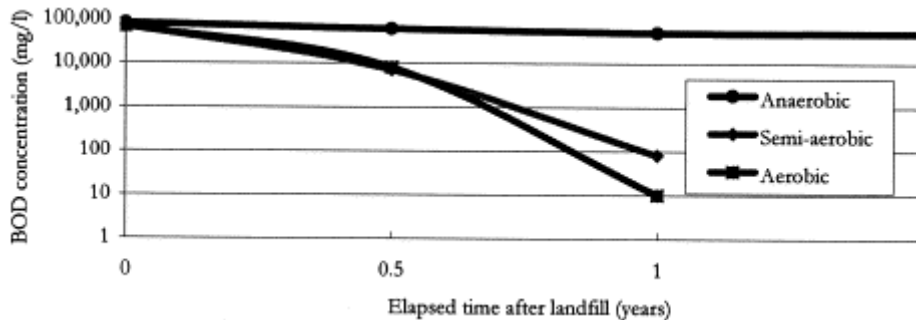
Kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi kaatopaikka aiheuttaa muita ympäristöongelmia. Ympäristövaikutukset ovat pahimpia hoitamattomilla kaatopaikoilla, ja kaikki edellä mainitut kaatopaikkakaasujen vähentämistoimenpiteet vähentävät myös näitä vaikutuksia. Mahdollisia ympäristöhaittoja aiheuttavat mm.

- suotovedet, jotka sisältävät orgaanista ainesta, typpiyhdisteitä, metalleja sekä jätteen laadun mukaan vaihtelevia määriä mm. orgaanisia haitta-aineita. Kehitysmaiden hoitamattomille kaatopaikoille päätyy usein myös enemmän ongelmajätettä kuin kehittyneemmissä maissa. Joskus on voitu ottaa vastaan myös ulkomailta tuotua ongelmajätettä. Koska kaatopaikoilla ei ole pohjarakenteita tai veden keräilyä, suotovedet voivat pilata sekä pohja- että pintavesiä ja vaikuttaa myös ympäristön kasvillisuuteen sekä veden kautta ihmiseen ja eliöstöön.
- hajut
- roskaantuminen
- pölyn, mikrobien, haihtuvien orgaanisten haitta-aineiden ym. leviäminen ympäristöön ilman kautta
- erityisesti kehitysmaissa ihmisten oleskelu kaatopaikoilla (käyttökelpoisten tuotteiden etsiminen, asuminen) ja altistuminen ilman, veden ja suun kautta
- räjähdysvaara, jos rakennetaan kaatopaikka-alueille tai niiden välittömään läheisyyteen
- joskus myös stabiliteettiongelmat
- haittaeläinten leviäminen
- vaikutukset ympäristön maankäyttöön.

Kasvihuonekaasupäästöjen hallintatoimenpiteiden vaikutukset ovat suurimmillaan, jos kaatopaikka on aikaisemmin ollut täysin tai lähes täysin hoitamaton. Tällöin päästöjen hallintatoimiin liittyy yleensä myös muita ympäristöhaittoja vähentäviä toimenpiteitä, kuten kaatopaikan peittäminen, mahdollisesti vesien ohjaus imeytyskentille, ainakin tilapäinen valvonnan lisääntyminen ym. Peittäminen vähentää vesien muodostusta, hajun ja haitta-aineiden leviämistä ympäristöön, ihmisten oleskelua kaatopaikoilla, haittaeläinten leviämistä ym.

Kaatopaikkakaasun talteenotto vähentää kaikkia ympäristöön joutuvia kaasumaisia päästöjä sekä niistä aiheutuvaa hajuhaittaa. Energiakäytöllä voidaan fossiilisia polttoaineita korvattaessa lisäksi vähentää niiden käytöstä aiheutuvia ympäristövaikutuksia.

Kaikki kaatopaikan prosessinohjaustoimenpiteet nopeuttavat kaatopaikan stabiloitumista, jolloin erityisesti pitkäaikaispäästöt vähenevät. Kaasupäästöjen lisäksi stabiloituminen vähentää vesipäästöjä ja mahdollistaa alueen siirtymisen muuhun käyttöön nopeammin kuin tavanomaisella kaatopaikalla. Kuvassa 36 vertaillaan anaerobisen, semi-aerobisen ja aerobisen käsittelyn vaikutuksia kaatopaikan suotoveden orgaanisen aineksen päästöihin.



Kuva 36. Aerobisen käsittelyn vaikutus (Hanashima 1999).

## 5.4 Päästöjen vähentämiskustannukset

### 5.4.1 Kaatopaikkakaasun talteenotto ja energiantuotanto

Kaatopaikkakaasun talteenottojärjestelmä koostuu jätekerroksiin asennettavista siivilämaisistä, yleensä pystysuorista imukaivoista. Myös vaakasuoria salaojaputkia ja niiden yhdistelmiä voidaan käyttää. Putkistoon ja kaivoihin tarvittava imu saadaan aikaan imuputkiston ja pumppaamon avulla. Pumppaamosta kaasu johdetaan poltettavaksi soihdussa tai energiakäyttöön. Keräysjärjestelmän käyttöönoton jälkeen syntyvästä kaatopaikkakaasusta saadaan parhaimmillaan talteen yli 70 % (Tuhkanen 2001).

Tuhkasan (2001) mukaan teholtaan 350 500 Nm<sup>3</sup>/h:n kaasuntalteenottojärjestelmän (keräysjärjestelmä ja pumppaamo) investointikustannukset ovat noin 0,4 milj. € Soihutpolttimen investointikustannus on noin 0,1 milj. € Talteenottolaitoksen käyttökustannukset, jotka sisältävät pumppaamon sähkönkulutuksen ja kunnossapidon, ovat noin 0,7 snt/Nm<sup>3</sup> kaasua. Talteenoton ja soihutupolton ominaiskustannuksiksi Tuhkanen (2001) arvioi 2,5–5,0 €/t CO<sub>2</sub>-ekv.

Energian talteenotossa käytettävien polttomoottorilaitosten pääomakustannukset ovat 3–5 MW:n kokoon asti pienemmät kuin kaasuturbiinilaitosten vastaavat kustannukset. Sen sijaan kunnossapitokustannukset ovat kaasuturbiinilaitoksia suuremmat. Korkeintaan 10 MW<sub>el</sub>:n kokoisten CHP-kaasumootorilaitosten investointikustannukset ovat 450–1 400 €/kW<sub>el</sub> (Lappalainen & Kouvo 2004). Prizztechin mukaan kahta 150 kW:n kaasumootoria käytettäessä sähköntuotantokustannukset ovat 30–50 €/MWh (Prizztech 2003). Tuhkasan (2001) vastaava arvio oli 35 €/MWh. Yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa Prizztech (2003) arvioi energiantuotantokustannuksiksi 15–30 €/MWh olettaen, että kaasun energiasisällöstä saadaan talteen 70–90 %. Mikroturbiinilaitoksen investointikustannukset vaihtelevat 1 000–1 700 €/kW<sub>el</sub> laitoksen koon ollessa 25–250 kW<sub>el</sub> (Malkamäki 2006).

Pienillä kaatopaikoilla tai kaatopaikoilla, joilla metaanipäästöt ovat pienet esimerkiksi jätteen laadun tai kaatopaikan pitkälle edenneen stabiloitumisen vuoksi, kaasun talteenoton vaihtoehtona on metaania hapettava pintakerros. Tuhkanen (2001) on arvioinut hapettavan pintakerroksen kokonaiskustannukseksi 20 €/m<sup>2</sup> ja päästöjen vähentämiskustannukseksi noin 15 €/t CO<sub>2</sub>-ekv.

#### 5.4.2 Bioreaktorikaatopaikat

Suuntaa antavana tietona bioreaktorikaatopaikkojen kustannuksista tavanomaiseen kaatopaikkaan verrattuna voidaan käyttää Yolon keskuskaatopaikan aerobisten ja anaerobisten bioreaktoreiden pohjalta tehtyjä hyöty-kustannuslaskelmia (Yazdani ym. 2002) (taulukko 23). Aerobisen bioreaktorikaatopaikan rakentaminen ja operoiminen tulee kalliimmaksi kuin anaerobisen bioreaktorin. Vajaan viiden hehtaarin kaatopaikan kustannukset olivat noin 5,6 \$/tonni ja hyödyt noin 7,0 \$/tonni. Hyöty-kustannussuhteeksi tulee siten 1,25. Anaerobiselle bioreaktorille arvioitu vastaava hyöty-kustannussuhde on 2,45. Anaerobinen on yli puolet halvempi (2,5 \$/t) kuin aerobinen. Hyötyjen arvo on aerobisessa reaktorissa hieman suurempi (7,0 vs. 6,1 \$/t), vaikka sen tuottama kaatopaikkakaasu ei olekaan rahallisesti arvokasta. Tilan säästö, lyhentynyt jälkihoito ja vähentynyt suotoveden käsittelytarve ovat aerobisessa bioreaktorissa merkittäviä hyötyjä verrattuna anaerobiseen kaatopaikkaan.

Taulukko 23. Hyöty-kustannusvertailu aerobiselle ja anaerobiselle bioreaktorikaatopaikalle, jonka koko on 4,86 hehtaaria (12 eekkeriä) (Yazdani ym. 2002).

	Anaerobinen bioreaktori	Aerobinen bioreaktori
Kokonaiskustannukset	2,5 \$/t	5,63 \$/t
Kokonaishyödyt	6,14 \$/t	7,05 \$/t
- tilan säästö	(1,72 \$/t)	(3,45 \$/t)
- lyhentynyt jälkihoito	(0,74 \$/t)	(0,95 \$/t)
- sähköstä saatava hyöty	(2,19 \$/t)	(0 \$/t)
- vähentynyt suotovesi	(1,49 \$/t)	(2,66 \$/t)
Nettohyöty	3,64 \$/t	1,42 \$/t
Hyöty-kustannussuhde	2,45	1,25

Laskelmat sisältävät vain kustannukset ja hyödyt, jotka eroavat ”normaalista kaatopaikasta” eli Yhdysvaltojen normien mukaan rakennetusta kaatopaikasta. Kustannukset ovat siis todellisuudessa suuremmat kuin esitetyt luvut, sillä laskelmissa ei ole huomioitu kaatopaikan pohja- ja pintarakenteita, normaaleja suotoveden ja kaatopaikkakaasun keräysjärjestelmiä tai operointikustannuksia, jotka eivät eroa bioreaktorikaatopaikalla ja perinteisellä kaatopaikalla.

Heyerin ym. (2005) mukaan matalapaineilmastus nopeuttaa kaatopaikan stabiloitumista useilla vuosikymmenillä ja tuottaa vähintään 10–25 %:n kustannussäästöt perinteiseen kaatopaikan sulkemiseen ja jälkihoitoon verrattuna. Stabilointi ilmastusta apuna käyttäen vie todennäköisesti 2–4 vuotta, ja kustannuksia tulee tavallisella kaatopaikalla 0,5–1 €/m<sup>3</sup>. Hankalissa olosuhteissa kustannukset saattavat nousta 2–3 €/käsiteltyä jätekuutiota kohti.

Taulukossa 24 verrataan kaatopaikkavaihtoehtojen ominaisuuksia yleisesti. Aerobinen kaatopaikka (ilmastus) stabiloituu nopeasti, mutta kustannukset ennen lopullista sulkemista ovat korkeat. Metaanintuotanto on vähäistä eikä talteenotto ole kannattavaa. Suotoveden kierrätyksellä voidaan jopa kaksinkertaistaa tavanomaisen kaatopaikan kaasuntuotanto ja nopeuttaa painumia.

Taulukko 24. Tavanomaisen, anaerobisen ja aerobisen kaatopaikan ominaisuuksien vertailu (Campman & Yates 2002).

Ominaisuus	Tavanomainen kaatopaikka	Anaerobinen kaatopaikka	Aerobinen kaatopaikka
Painuma: 2 vuoden kuluttua 10 vuoden kuluttua	2–5 % 15 %	10–15 % 20–25 %	20–25 % 20–25 %
Jätteen stabiloitumisaika Metaanintuotantonopeus Nesteen haihtumisnopeus	30–100 vuotta a Pieni	10–15 vuotta 2 x a Pieni	2–4 vuotta 0,1–0,15 x a 50–80 %
Keskimääräiset pääomakustannukset	Pieni	Keskitaso	Korkea
Keskimääräiset ylläpitokustannukset	Pieni	Keskitaso	Korkea
Keskimääräiset sulkemis- ja sulkemisen jälkeiset kustannukset	Korkea	Keskitaso	Pieni

## 5.5 Liiketoimintamahdollisuuksia

Seuraavassa tarkastellaan kaatopaikkatekniikkaan liittyviä liiketoimintamahdollisuuksia erityisesti CDM- ja JI-hankkeissa.

Kaatopaikkakaasun talteenotto ja hyötykäyttö soveltuvat kustannustehokkuutensa vuoksi hyvin CDM-hankkeena toteutettavaksi. Suurimmat hyödyt saadaan kehitysmaissa tai muissa EU:n ulkopuolisissa maissa. Uusissa EU-maissa hankkeen perustasossa otetaan huomioon, että EU-vaatimukset johtavat joka tapauksessa kaatopaikkakaasujen talteenottoon ja kaatopaikalle sijoitettavan biohajoavan jätteen vähentämiseen. Tällöin parhaassakin tapauksessa vain pienehkö osa päästövähennyksistä voidaan hyödyntää.

Suomen kannalta katsottuna kaatopaikkakaasun talteenottohankkeet voivat tuoda liiketoimintamahdollisuuksia talteenottotekniikkaa toimittaville ja urakointihankkeita toteuttaville yrityksille, suunnittelutoimistoille ja mahdollisesti myös monitorointi- ja seurantalaitteistojen toimittajille. Esimerkkejä yrityksistä ovat Sarlin Hydor sekä laitossuunnittelusta ja -toimituksista vastaava YIT (Nieminen & Talvenmaa 2003).

Bioreaktorikaatopaikkatekniikka on vielä monilta osin kehitys- ja kokeiluvaiheessa. Periaatteessa teknisiä vaihtoehtoja voidaan hyödyntää sekä vanhoilla että uusilla kaatopaikoilla. CDM-hankkeissa ongelmana on päästövähennysten todentaminen. Anaerobitekniikasta on Suomessa kokemusta lähinnä tutkimus- ja kokeiluhankkeista. Tekniikan käyttö on kuitenkin käynnistymässä.

Puoliaerobinen tekniikka on japanilaisten lähteiden mukaan toimiva, edullinen vaihtoehto, jota japanilaiset ovat käyttäneet vientituotteena Aasian maissa. Tekniikka soveltuu ainoastaan maihin, joissa sadanta on runsasta. Aerobitekniikka soveltuu lähinnä kohteisiin, joissa kaatopaikan nopealla stabiloinnilla voidaan saada kustannusetua. Tekniikka



on vielä kehitysvaiheessa, vaikka kokemusta onkin mm. Yhdysvalloista täyden mittakaavan kohteista. Suomalaisilla ei ole kokemusta näistä tekniikoista.

Hapettava pintarakenne on edullinen vaihtoehto pienten kaasumäärien käsittelyyn, esim. vanhoille tai vähän orgaanista ainesta sisältäville kaatopaikoille. Tekniikkaa on kokeiltu Suomessa täysimittakaavaisena, ja kohteita tultaneen rakentamaan jatkossakin.

## **5.6 Case: kaatopaikkakaasun talteenotto ja hyötykäyttö yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa Pietarissa**

Tyypillisessä kaatopaikkatoimia koskevassa CDM- tai JI-hankkeessa kaatopaikalla muodostuva kaatopaikkakaasu otetaan talteen, soihdutetaan ja mahdollisesti hyödynnetään sähköntuotannon tai yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon polttoaineena. Hanke voi vähentää kasvihuonekaasupäästöjä kahdella tapaa: ensinnäkin vähentämällä kaatopaikalta ilmakehään vapautuvan metaanin määrää (polttamalla muutoin ilmakehään vapautuva metaani) ja toisekseen syrjäyttämällä fossiilisiin polttoaineisiin perustuvaa energiantuotantoa tapauksessa, jossa talteenotettu kaasu hyödynnetään energiana.

Lähes kaikissa tähän mennessä rekisteröidyissä tai käsiteltävänä olevissa kaatopaikkakaasun talteenottohankkeissa on suunniteltu, että kaasu otetaan talteen ja poltetaan soihdussa. Syynä tähän on ollut toisaalta energian alhainen hinta, toisaalta kaatopaikkakaasun energiakäytöllä saavutettavan päästösäästön pienuus verrattuna itse kaasun talteenotolla ja poltolla saavutettavaan päästösäästöön.

Lähemmän tarkastelun kohteeksi on valittu kaatopaikkakaasun talteenotto Pietarin Volkhonkan kaatopaikalta yhdistettynä kaasun hyödyntämiseen sähkön tuotannossa. Hanke toteutetaan JI-hankkeena. Periaatteessa Venäjällä toteutettavat hankkeet ovat Suomen kannalta kiinnostavia, koska niissä pystytään hyödyntämään maan olosuhteiden tuntemusta ja mahdollisesti jo olemassa olevia kontakteja. Hankkeessa voidaan myös hyödyntää suomalaista osaamista yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa.

Venäjän nykyinen lainsäädäntö ei edellytä kaatopaikkakaasujen talteenottoa. Siksi Venäjä soveltuu kohdemaaksi paremmin kuin esimerkiksi EU:n uudet jäsenmaat, joissa jätelainsäädännön edellyttämä kaatopaikkakaasun talteenotto ja biohajoavan jätteen vähennystavoitteet aiheuttavat, että hankkeilla saavutettavista päästövähennyksistä korkeintaan osa voitaisiin laskea sellaisiksi, joita ei olisi tapahtunut ilman hanketta.

### 5.6.1 Yhdyskuntajätteen kaatopaikat Venäjällä ja Pietarissa

Nykyään suurin osa Venäjällä syntyvästä yhdyskuntajätteestä sijoitetaan kaatopaikoille, joille jätettä on kertynyt yli 80 miljardia tonnia. Määrä kasvaa vuosittain 30 miljoonalla tonnilla, minkä lisäksi teollisuusjätteitä muodostuu 120 miljoonaa tonnia. Kaatopaikka-kaasuarvioissa on hyvä ottaa huomioon, että Venäjällä kaatopaikat täytetään tyypillisesti kerroksittain koko maa-alan alueelta, joten jätekerros kasvaa hitaammin kuin uudenai-kaisemilla, paloittain täytetyillä kaatopaikoilla. Ohuissa jätekerroksissa jäte voi hajota myös aerobisesti, jolloin jätteen metaaninmuodostus on teoreettista muodostuspotentiaalia pienempi.

Monet Luoteis-Venäjällä sijaitsevat kaatopaikat toimivat lähellä maksimikapasiteetti-ään. Ne sijaitsevat yleensä sekä geologisesti että maantieteellisesti huonolla paikalla. Kaatopaikkojen suunnittelu, rakentaminen ja toiminta ovat lisäksi puutteellisia. Monet kaatopaikat on rakennettu ilman tiivisteitä, eikä kaikissa ole pohjalla edes luonnollista savikerrosta. Suotovesiä ei yleensä kerätä talteen kiinteän yhdyskuntajätteen kaatopai-koilta eikä pohjaveden laatua tarkkailla. Kaatopaikat peitetään vasta, kun ne suljetaan lopullisesti. Kaatopaikkapalot ovat yleisiä.

Maan suuresta pinta-alasta, puutteellisista tilastotiedoista sekä tuhansista olemassa ole-vista luvattomista kaatopaikoista johtuen Venäjän kaatopaikkojen tarkkaa lukumäärää ei tiedetä. Arvioiden mukaan kaatopaikat peittävät maata tuhansien neliökilometrien alu-eelta. Kierrätyskulttuuri sekä kierrätyksen mahdollistava järjestelmä puuttuvat, eikä jätteiden hyötykäyttöä käytännössä juuri harjoiteta. Venäjän kaupungeilla ei ole tasapai-notettua jätteiden hoitamiseen varattua budjettia, eivätkä ne siten pysty ylläpitämään riittävän tasokkaita jätteenkäsittelypalveluita. 1990-luvulla hyväksytyjen yhdyskun-tajätteen käsittelyä koskevien ohjelmien seurauksena Venäjällä ollaan kuitenkin vähitellen lakkauttamassa vanhoja kaatopaikkoja ja rakentamassa uusia eristettyjä kaatopaikkoja. Kaatopaikoille sijoitettava osuus yhdyskuntajätteestä on vähenemässä etenkin suurem-missa kaupungeissa. (Speranskaya ym. 2006, Kalyuzhnyi ym. 2003, DANCEE 2003.)

Vuonna 1998 Venäjällä hyväksyttiin jätteiden tuottamista ja kulutusta koskeva laki, joka antaa määräykset kiinteän jätteen käsittelyn pääperiaatteista, kuten viranomaisten delegoinnista, taloudellisista sääöksistä sekä kirjanpidon ja raportoinnin vaatimuksista. Lisäksi laki määrittelee toiminnan ja laitosten ympäristövaatimukset sekä korvaukset ja rangaistukset. Lainsäädännössä ei kuitenkaan konkreettisesti määritellä, kuinka erilais-ten jätteiden eri käsittelyvaiheet tulisi suorittaa. Lisäksi jätteitä koskevat määräykset ovat huonosti kansalaisten ja järjestöjen tiedossa. (Lappalainen ja Kouvo 2004.)

Venäjän kaatopaikkojen vuosittaisten metaanipäästöjen on arveltu olevan 0,7–1,3 Gm<sup>3</sup>/a tai 500–900 kt/a. Biokaasun talteen ottamiseksi ja käyttämiseksi sähkön tuotannossa on

kehitetty useita menetelmiä, jotka ovat edenneet käyttöönoton eri asteille. Projektien loputtua energian hyötykäyttöä ei ole kuitenkaan yleensä jatkettu (Anon. 2006a, 2006b). Venäjällä suurin este biokaasun talteenotolle ja käytölle on sen avulla tuotetun sähkön suuri, 2–2,5-kertainen hinta fossiilisiin polttoaineisiin ja ydinvoimaan verrattuna (Kalyuzhnyi ym. 2003).

Pietarin kaupunki tuottaa vuosittain yli 9 milj. m<sup>3</sup> kiinteitä jätteitä ja ympäröivä Leningradin alue (Oblast) 1,2 milj. m<sup>3</sup> jätettä. 70 % kaupungin tuottamasta jätteestä loppusijoitetaan tai käsitellään Leningradin alueella (St. Petersburg Times 2005). Pietarin kolme yhdyskuntajätekaatopaikkaa vastaanottaa vuosittain noin 700 000 tonnia jätettä (Florinskaya ym. 2002).

### 5.6.2 Hankkeen kuvaus

Hankkeen tavoitteena on Leningradin Lomonosovsky-alueella sijaitsevan SWL-1 Volkhonka ”eteläisen” kaatopaikan kaatopaikkakaasujen talteen ottaminen sekä niiden hyödyntäminen yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa. Kaatopaikka sijaitsee Volkhonkan moottoritien läheisyydessä Pietarin kaupungin lounaisrajalla.

Jo vuonna 2001 kaatopaikalle sijoitetun jätteen määrä ylitti sille alun perin suunnitellut rajat (taulukko 25). Vuonna 2006 kaatopaikka oli kuitenkin edelleen käytössä (Marova 2006). Alueen toimintaa on suunniteltu jatkettavan ainakin vuoteen 2012. Toiminta on laajentunut viereiselle tontille ja jätetäytön korkeutta on nostettu. Osa jätetäytöstä on peitetty kompostilla ja savella (Life 2004).

*Taulukko 25. Tietoa Volkhonkan ”Yuzhny”-kaatopaikasta (Florinskaya ym. 2002).*

Käyttöönottovuosi	1978
Jätteen määrä	29,3 Mm <sup>3</sup> (2001)
Jätteen laatu	Yhdyskuntajätettä
Kaatopaikan kapasiteetti	20,99 Mm <sup>3</sup>
Pinta-ala	34,5 ha (2001)
Korkeus	29 m
Vuosittain sijoitettu jäte	Keskim. 1 600 000 m <sup>3</sup> / 320 000 t/a 1 786 000 m <sup>3</sup> / 357 200 t (2000)

### Kaatopaikkakaasun talteenotto

Kaatopaikkakaasun talteenotolla voidaan vähentää ilmastonmuutoksen riskiä, sillä kaasun sisältämän metaanin vaikutukset ilmaston lämpenemiseen ovat yli 21-kertaiset hiilidioksiidiin verrattuna. Käyttämällä kaatopaikkakaasua sähkön ja/tai lämmön tuotannossa

voidaan lisäksi vähentää uusiutumattomien raaka-aineiden, kuten öljyn, kivihiilen ja maakaasun, käyttöä. Hiilen ja öljyn käytön vähentäminen pienentää myös niiden aiheuttamien päästöjen sekä tuhkan määrää.

### **Paikallinen energiantuotantojärjestelmä**

Leningradin alueella ja Pietarin kaupungissa toimii lukuisia yksityisiä, kunnallisia ja valtion omistamia sähkön ja lämmön tuotantolaitoksia. Toimivia Che-mikroturbiinilaitoksia on 10 ja teollisia CHP-voimalaitoksia muutama. Lisäksi alueella on yli tuhat kaukolämpölaitosta sekä ydinvoimala. Lämmöntuotantokapasiteetti Pietarissa on arviolta 40 200 MW. Sähkön tuotannosta Leningradin alueella vastaavat suurelta osin Sosnovyi Borgin ydinvoimala sekä Kiristin kaupungissa sijaitseva CHP-laitos. Sähköä tuotetaan myös vesivoimaloissa. Kaukolämpöä tuotetaan pienten yritysten ja kunnan omistamissa höyrykattiloissa. Leningradin alueella toimii 536 kunnallista ja 148 erilaisten laitosten omistamaa kattilalaitosta. Suuret, yli 10 MW:n laitokset ovat Viipurissa, Gatchinassa ja Kinkiseppissä. Pietarin energian tuotannon polttoaineista valtaosa (79 %, v. 2000) on maakaasua. Lisäksi käytetään polttoöljyä (11 %), muita öljytuotteita (8 %) sekä hiiltä (2 %).

Leningradin alueen 10 CHP-laitosta tuottivat vuonna 2003 sähköä yhteensä n. 13 milj. MWh ja lämpöä n. 26 milj. Gcal. CHP-laitosten keskimääräinen tehokkuus oli 40,2 %, ja niiden aiheuttamat CO<sub>2</sub>-päästöt olivat 22 051 kt. Energiantuotannon päästökerroin on tällöin 0,501 t CO<sub>2</sub>/MWh. Kunnallisten kattilalaitosten tuottama lämpö oli 8,98 TWh vuonna 2004. Vuonna 2003 kunnalliset kattilalaitokset kuluttivat polttoainetta 897,6 Mt/a ja niistä aiheutuneet CO<sub>2</sub>-päästöt olivat 2 258 kt (Kokki ym. 2006).

### **Hankkeen lisäisyys**

Venäjällä ei ole nykyhetkellä eikä näköpiirissä kaatopaikkojen kasvihuonekaasupäästöjä vähentäviä toimia edellyttävää lainsäädäntöä (Anon. 2006a, 2006b). Soihtupolttohankeissa kaatopaikkakaasujen talteenoton tuottama hyöty hankkeen kehittäjälle on päästövähennysten myynnistä saatavat tulot, joita ilman hanketta ei kannattaisi toteuttaa. Talteenotetun kaasun hyödyntäminen yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa ei ole taloudellisesti kannattavaa energian alhaisen hinnan vuoksi. Lisäksi Venäjällä normaalisti tuotetun energian hinta on tällä hetkellä niin alhainen, ettei talteenotetun kaatopaikkakaasun hyötykäyttöä voida pitää taloudellisena vaihtoehtona. Sähkön myyntihinta on noin 0,015 €/kWh<sup>11</sup> (Anon. 2006a, 2006b). Maakaasun tukkuhinta vuonna 2006 oli 2,9 €/kW (3,6 \$/kW). Gazpromin tiedonannon mukaan kotimainen hinta voi kuitenkin vielä

---

<sup>11</sup> Vrt. esim. Unkarin ja Puolan vihreän sähkön myyntihinta, joka vuonna 2005 oli 0,07 €/kWh (Waste Management World, November 2005).

kaksinkertaistua vuoden 2007 aikana (Ria Novosti 2006). Venäjällä talteenotetun kaatopaikkakaasun energiakäyttöä koskevat hankkeet ovat edellisen perusteella tyypillisesti lisääisiä.

### Perusura

Hankkeessa, jossa kaatopaikkakaasu otetaan talteen ja käytetään yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa, perusurana ovat kaatopaikkakaasujen vapautuminen ilmakehään sekä sähkön ja lämmön tuotannon tyypilliset kasvihuonepäästöt.

Perusuran kasvihuonekaasupäästöjä arvioidaan jätteen metaanimuodostuksen arviointimalleilla, joko FOD-mallia tai sovellettuja malleja käyttäen. Venäjälle kohdistetuissa JI-kaatopaikkaprojektiesityksissä on myös käytetty mm. Itävallassa kehitettyä ”Tasabaran-Rettenberger”-mallia (Anon. 2006a, 2006b). Malli antaa varovaisen konservatiivisen arvion syntyvän metaanin määrästä (Rolland & Scheibengraf 2003).

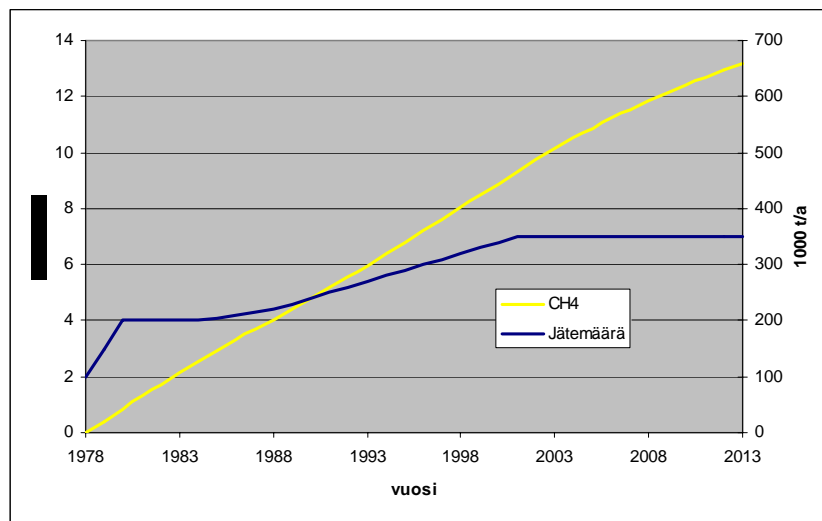
Vuosittainen metaanintuotanto ( $\text{CH}_4$ ) arvioidaan tässä hyväksytyissä CDM-hankkeissa käytetyn IPCC:n FOD-mallin mukaan (liite 1) käyttäen seuraavia kertoimia:

- |    |  |
|----|--|
| k  | 0,05 IPCC:n suosittelema oletusarvo, jätteen hajoamisvakio   |
|    | Vastaa puoliintumisaikaa (14 vuotta) silloin kun jätteen koostumuksesta ei ole tarkkaa tietoa. Lappalaisen ja Kouvon (2004) mukaan kaatopaikkajätteen puoliintumisaika Pietarissa on todennäköisesti 10–15 vuotta, joka vastaa k-arvoa 0,046–0,07.                     |
| L0 | metaanintuottopotentiali ( $\text{Nm}^3/\text{t}$ jätettä), arvioidaan jätteen orgaanisen aineksen pitoisuuden mukaan:   |
|    | MCF(x) 0,8 (syvä, hoitamaton kaatopaikka)  |
|    | DOC(x) 160 kg/t. Venäjän keskimääräisen jätteen koostumuksen mukaan yhdyskuntajätteen DOC on 160–230 kg/t. IPCC:n oletusarvo Venäjän yhdyskuntajätteelle on 170 kg/t. Tässä tarkastelussa käytetään varovaista arviota 160 kg/t kosteata jätettä (Anon. 2006a, 2006b). |
|    | DOC <sub>F</sub> 0,6 (jäte sisältää ligniiniä)   |
| F  | 0,5  |
| M  | Vuosien 2008–2012 jätemäärät arvioidaan vuoden 2002 määrän (350 000 tn/a) perusteella.   |
| T  | 30 °C (varovainen arvio, IPCC:n oletusarvo on 35 °C)   |

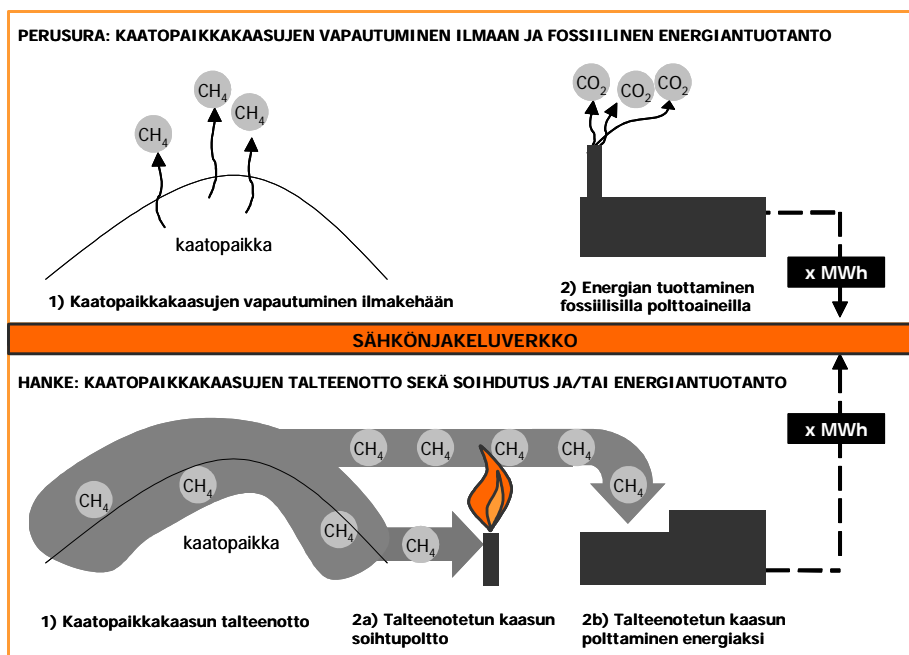
Volkhonkan kaatopaikan arvioidut jätemäärät ja metaaninmuodostuspotentiaali esitetään kuvassa 37.

Kaatopaikalta vapautuvat metaanipäästöt muunnetaan hiilidioksidiekvivalentiksi kertomalla metaanipäästöt niiden GWP-kertoimella eli 21:llä. Mikäli hyödynnetään talteenotettu kaasu energiana, lisätään perusuran päästöihin myös vastaavan energiamäärän tuottamisen aiheuttamat päästöt ilman hanketta. Nämä saadaan kertomalla perusuran energiantuotannon ominaispäästökerroin tuotetulla energiamäärällä.

Kuvassa 38 esitetään perusuran ja hankkeen keskeiset piirteet soih tupolto- ja energiantuotantovaihtoehdoissa (Ahonen & Savolainen 2006). Tässä esityksessä tarkastellaan erikseen talteenotetun kaasun soih tupoltoa (2A) ja hyötykäyttöä sähköntuotantoon kaasumootoreilla (2B). Sähköntuotanto tapahtuu erillisessä kyseiseen käyttötarkoitukseen rakennetussa kaasuvoimalassa.



Kuva 37. Volkhonkan kaatopaikan metaanimuodostus ja jätemäärät 1978–2013.



Kuva 38. Kaatopaikkahanke, jossa perusurana on jätteen kaatopaikkasijoitus, kaatopaikkakaasujen vapautuminen ilmakehään ja energiantuotanto fossiilisilla polttoaineilla (Ahonen 2006).

Soihtupoltossa (2A) päästövähennykset muodostuvat polttamalla metaania, joka perusurassa vapautuisi ilmakehään. Kun talteenotettu kaatopaikkakaasu hyödynnetään energiaksi (2B), hanke vähentää päästöjä myös korvaamalla fossiilisiin polttoaineisiin perustuvaa energiantuotantoa x MWh:n verran. Hankkeen energiakomponentin päästövähennykset saadaan kertomalla kyseinen määrä tuotettua energiaa perusuran energiantuotannon ominaispäästökertoimella. Hankkeesta ei aiheudu kasvihuonekaasujen nettopäästöjä. Soihtupolton aiheuttamia hiilidioksidipäästöjä ei lasketa nettopäästöiksi, koska kaatopaikkakaasua muodostuu vain eloperäisistä jätteistä, ei fossiilisperäisistä.

### 5.6.3 Hankkeen tuottama päästövähennys

Hankkeen tuottama päästövähennys arvioidaan UNFCCC:n ACM0001-metodologian ”Consolidated baseline methodology for landfill gas project activities” mukaisesti (liite 2). Hankkeen tuottamat päästövähennysyksiköt on laskettu seuraavilla arvoilla:

#### 2A: Kaatopaikkakaasun talteenotto ja soihtupoltto

- Hyvitysjakso 2008–2012
- Muodostuva metaani kuvan 36 mukaan

- Kaatopaikan talteenottoasteeksi arvioidaan Kareagashinon kaasun talteenottoprojektin mukaan 60 % (Anon. 2006a, 2006b)
- Leningradin alueen CHP-laitosten tuottaman energian päästökerroin on 0,501 tonnia CO<sub>2</sub>/MWh<sub>el, thermal</sub>. Keskimääräinen tehokkuus on hieman yli 40 % (Kokki ym. 2006). Kerroin vastaa Venäjän keskimääräistä (ERUPT 4 Guidelines – Volume 1. Table B1:2008)
- Soihtupolton keskimääräinen tehokkuus 97 % (3 %:n vuoto)
- Kaasun talteenottojärjestelmän oma sähköntarve arvioidaan karkeasti 400 MWh:ksi/a (Anon. 2006a, 2006b). Järjestelmän vaatima energia saadaan paikallisesta sähköntuotannosta.

**2B: Kaatopaikkakaasun talteenotto ja hyödyntäminen sähköntuotannossa**

- Hyvitysjakso 2008–2012
- Kaatopaikkakaasun talteenotto kuten vaihtoehdossa 2A
- Sähköntuotanto 3,7 MW sähköä. Kaasumoottorin hyötysuhde noin 37 % (www.ge-energy.com), jolloin polttoaineteho 10 MW, joka vastaa noin 90 %:a talteenotetun kaasun energiasta. Kaasuvoimalan käytettävyys 90 %. Ylimääräkaasu poltetaan soihdussa.
- Kaasun talteenottojärjestelmän vaatima energia 400 MWh/a saadaan omasta sähköntuotannosta.

Yhteenveto projektin tuottamista päästövähennyksistä on taulukossa 26.

*Taulukko 26. Hankevaihtoehtojen aikaansaama päästövähennys.*

	<b>2A</b>	<b>2B</b>
<b>Hyvityskausi</b>	<b>2008–2012</b>	<b>2008–2012</b>
Vuosi	Päästövähennyksiköt t. CO <sub>2</sub> -ekvivalenteina (ERU)	
2008	145 000	164 000
2009	148 000	168 000
2010	152 000	171 000
2011	155 000	174 000
2012	158 000	178 000
<b>Hyvityskauden päästövähennys</b>	<b>757 000</b>	<b>855 000</b>



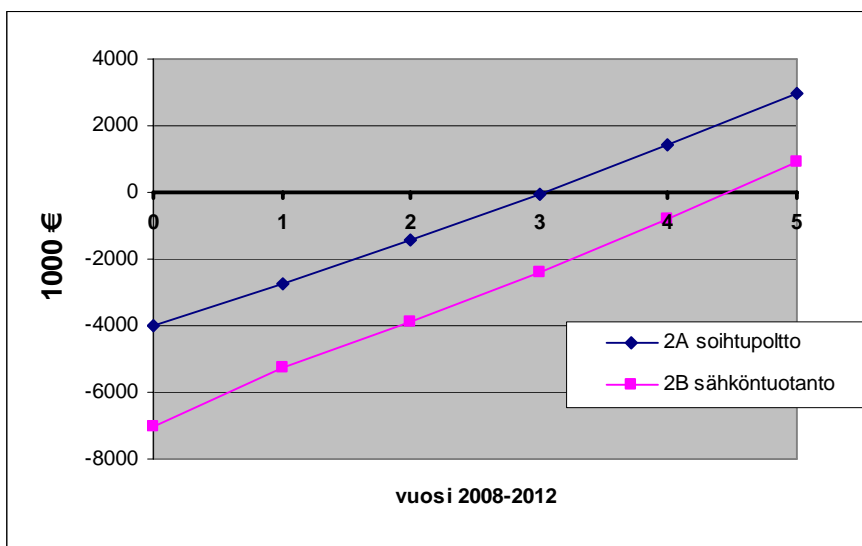
## 5.6.4 Hankkeen talous

Volkhonkan kokoisen kaatopaikan kaasun talteenottojärjestelmän investointi on noin 3,8 milj. € Järjestelmä sisältää kaasukaivot, imuputkiston, puhaltimen ja soihdut (Niskanen ym. 2005, Salmela 2007). Hintaan ei ole laskettu jätepenkereen peittämisen kustannuksia. Näiden kulujen arvioidaan kuuluvan kaatopaikkatoimintojen normaaleihin kuluihin. Kaatopaikalle rakennettavan kaasuvoimalan investointi on suomalaisista kaatopaikkahankkeista karkeasti arvioituna noin 3 miljoonaa euroa (Electrowatt-Ekono 2005). Vaihtoehdon 2A investointi on 4 milj. € ja 2B:n 6,8 milj. €

### Hankkeen kassavirta syksyn 2006 ERU-hinnalla

Sähkön myyntihintana on käytetty arvoa 15 €/MW (Anon. 2006a, 2006b). Sähköverkon hävikkiä Pietarissa ei ole otettu huomioon; se on keskimäärin 16 % (Kokki ym. 2006). ERUn hintana käytetään arvoa 10 € (ERUn arvo lokakuun 2006 puolessavälissä noin 13 € ja marraskuun alussa noin 9 € [www.pointcarbon.com](http://www.pointcarbon.com)). Investoinnin takaisinmaksu on 5 v. (so. hyvitysaika 2008–2012) ja korko 5 %. Hankkeiden käyttökuluja (henkilökuluja) ei ole huomioitu. Hankevaihtoehtojen kassavirta esitetään kuvassa 39.

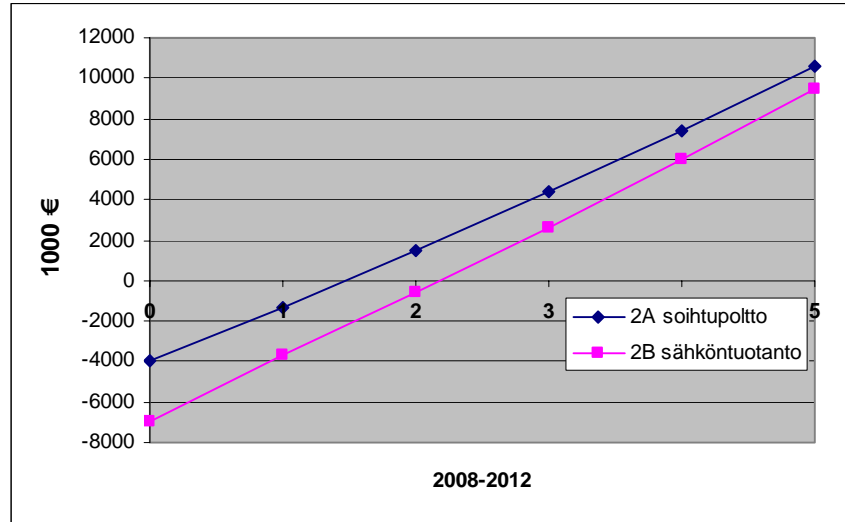
Hankkeiden 2A ja 2B molemmat vaihtoehdot ovat kannattavia. Lyhyellä aikavälillä (2008–2012) pelkkä soihdunpolto on sähköntuotantoon verrattuna kannattavampi. Energiatuotannolla aikaansaadun päästövähennyksen arvo ei keskipitkälläkään aikavälillä kata voimalaitosinvestointia.



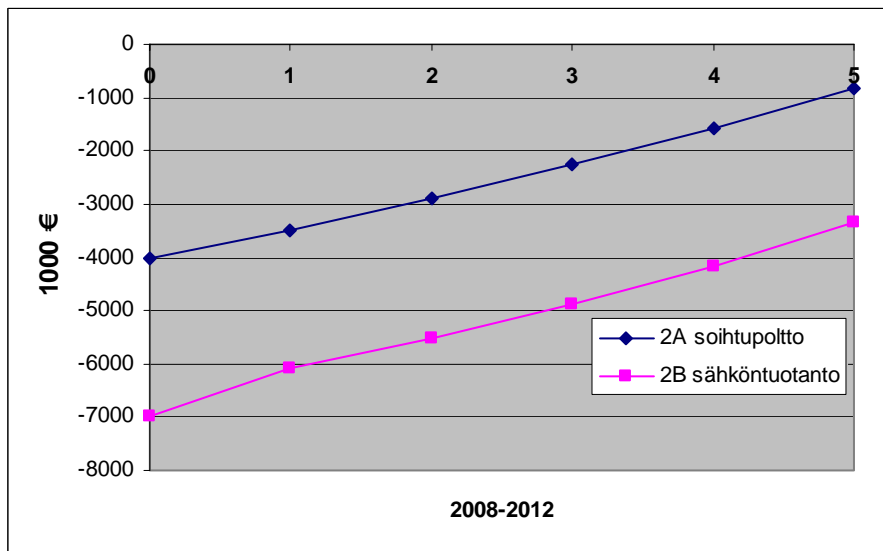
Kuva 39. Hankevaihtoehtojen 2A (soihdunpolto) ja 2B (sähköntuotanto) kassavirta (ERUn arvo 10 €).

### ERUn ja sähkön hinnan muutoksen vaikutus hankkeiden talouteen

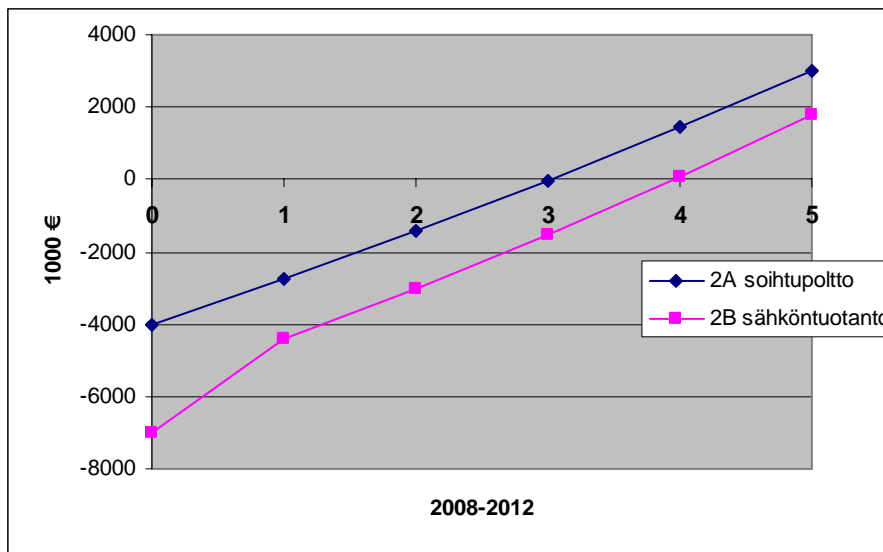
Kuvissa 40 ja 41 esitetään hankkeiden kassavirta ERUn hinnoilla 20 ja 5 € Kuva 42 taas esittää sähkön hinnan kolminkertaistumisen vaikutusta hankkeen talouteen.



Kuva 40. Hankevaihtoehtojen 2A (soih tupol tto) ja 2B (sähköntuotanto) kassavirta, jos ERUn arvo on 20 € (sähkön myyntihinta 0,015 €/kWh).



Kuva 41. Hankevaihtoehtojen 2A (soih tupol tto) ja 2B (sähköntuotanto) kassavirta, jos ERUn arvo on 5 € (sähkön myyntihinta 0,015 €/kWh).



Kuva 42. Hankevaihtoehtojen 2A (soihtupoltto) ja 2B (sähköntuotanto) kassavirta (ERUn arvo 10 €, sähkön myyntihinta 0,045 €/kWh).

ERUn kallistuminen 10 €lla parantaa erityisesti hankkeen 2B (sähköntuotantovaihtoehdon) taloutta. Viiden vuoden hyvitysaikana pelkkä soihtupolttovaihtoehto (2A) pysyy kuitenkin edelleen kannattavampana vaihtoehtona. ERUn hinnan lasku viiteen euroon taas johtaa siihen, ettei kumpikaan hanke olisi viiden vuoden hyvitysaikana kannattava. Sähkön hinnan nousulla on pienempi vaikutus sähköntuotantovaihtoehdon talouteen. Myyntihinnalla 0,015 €/kWh hankkeen kassavirta kääntyy positiiviseksi 4,5 vuodessa, kolminkertaisella myyntihinnalla neljässä vuodessa.

### 5.6.5 Hankkeen ympäristövaikutukset

Hankkeen ympäristövaikutukset ovat positiivisia, koska kaatopaikan peittäminen ja kaatopaikkakaasujen talteenotto parantavat ympäröivän alueen ilmanlaatua vähentämällä kaatopaikasta aiheutuvien hajujen ja muiden haihtuvien yhdisteiden määrää. Peittäminen vähentää suotovesipäästöjä ja helpottaa niiden hallintaa sekä vähentää kaatopaikoista aiheutuvia terveysriskejä, jotka voivat aiheutua ihmisten oleskelusta kaatopaikalla. Kaasujen hallinta vähentää myös palo- ja räjähdysvaaraa, esimerkiksi tapauksissa, joissa kaatopaikalle tai sen välittömään läheisyyteen on rakennettu. Kaatopaikan sulkemisen jälkeen kaasujen hallittu kerääminen helpottaa alueen jatkokäyttöä ja mahdollistaa nopeamman uudelleenkäytön.

## 5.7 Yhteenveto

Tässä julkaisussa on tarkasteltu kaatopaikan kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisvaihtoehtoja ja verrattu niitä tilanteeseen kaatopaikalla, jolla ei ole toteutettu aktiivisia kasvihuonekaasujen vähentämistoimenpiteitä (0-vaihtoehto). Vertailussa on otettu huomioon vain päästöt kaatopaikalta, jolle jätteet on jo sijoitettu. Kaatopaikkaa edeltäviä toimintoja, kuten jätteiden polttoa tai mekaanis-biologista käsittelyä ja niissä syntyviä tai vältettyjä päästöjä, ei ole otettu huomioon.

Vaihtoehtoja vertaillaan seuraavassa YTV:n Ämmässuon kaatopaikan tietojen pohjalta tehdyn laskentaesimerkin perusteella (taulukko 27). Kaatopaikan arvioitu kasvihuonekaasupäästö on hiilidioksidiekvivalenteina 1 780 kg CO<sub>2</sub>/t jätettä. Jos lasketaan pelkääntään sijoitetun yhdyskuntajätteen metaanipäästö, se on 1 340 kg CO<sub>2</sub>/t jätettä. Vastaava päästöarvio kuvitteelliselta kehitysmaakaatopaikalta, jolle sijoitettavan jätteen määrät olivat samat kuin Ämmässuon kaatopaikalla, oli 890 kg CO<sub>2</sub>/t jätettä.

Kaatopaikkakaasun talteenoton kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistehokkuuteen vaikuttaa mm. se, miten pian kaatopaikan käytön aloittamisen jälkeen talteenotto aloitetaan. Talteenottolaitteiston käytön aikana vähentämistehokkuus on 70–90 %. Vanhoilla kaatopaikoilla talteenotto on kuitenkin aloitettu vasta sulkemisen jälkeen, jolloin kaatopaikkakaasua on ehtinyt jo muodostua runsaasti. Siksi kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistehokkuuden on niillä arvioitu olevan vain 30–50 %.

*Taulukko 27. Kaatopaikan kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisvaihtoehtojen vertailu. 0-vaihtoehdon arvioitu kasvihuonekaasupäästö on 1 780 kg CO<sub>2</sub>/t. Kaasun talteenoton yhteydessä on otettu huomioon myös kaatopaikan peittämisen vaikutukset.*

	Talteenotto, käytössä oleva, 70 %:n talteenottoaste	Talteenotto, suljettu, kokonaan peitetty, 90 %:n talteenottoaste	Tuhkakaatopaikka*	MB-kaatopaikka*
CO <sub>2</sub> -päästösäästö kg CO <sub>2</sub> /t	1 250	1 600	1 750–1 760	1 530–1 620
Suotovesipäästöt	+	+	+/0	++
Hajuhaitta	+	++	+++	+
Stabiiliteetti			+	--
Roskaantumisen	++	+++	+++	+
Haittaeläimet	+	++	+++	+
Kaatopaikan tilantarve	0	0	++	+

\* ei ota huomioon jätteen käsittelyvaiheen vaikutusta päästöihin. Sijoitettavan jätteen kokonaismäärä on huomattavasti pienempi kuin 0-vaihtoehdossa.

+++ haitta vähenee huomattavasti      - haitta kasvaa lievästi  
 ++ haitta vähenee kohtuullisesti      -- haitta kasvaa kohtuullisesti  
 + haitta vähenee lievästi                --- haitta kasvaa huomattavasti

Case-tapauksessa tarkasteltiin kaatopaikkakaasun talteenottoa ja hyödyntämistä sähkön tuotannossa Pietarin Volkhonkan kaatopaikalla. Vaihtoehtona oli kaatopaikkakaasun soihtupoltto ja sähkön tuotanto fossiilisilla polttoaineilla. Viiden vuoden hyvitysajaksella pelkkä soihtupoltto osoittautui taloudellisemmaksi vaihtoehdoksi. Kaasuvoimalan investointi on suuri verrattuna päästövähennykseen, joka saavutetaan kaatopaikkakaasuun perustuvalla sähköntuotannolla. Syy tähän on sähköntuotannon suhteellisen alhainen hyötysuhde ja metaanin korkea GWP-kerroin (21). Metaanin hävittäminen tuottaa täten suhteessa enemmän päästövähennystä kuin fossiilisen polttoaineen korvaaminen.

Kaasun hyötykäytön taloudellisempi vaihtoehto voisi olla siirtää talteenotettu kaasu lähimpään CHP-laitokseen, jossa se korvaisi energiasisällöltään vastaavan määrän maa-kaasua. Em. tarkastelu edellyttäisi seikkaperäistä tietoa Pietarin ja Leningrad-alueen CHP-laitosten sijainnista Volkhonkan kaatopaikkaan nähden. Lisäksi tulisi selvittää kaupunkiympäristöön rakennettavan kaasuputken tekninen toteuttaminen ja talous.

Sähköntuotannon lisäksi kaatopaikkakaasua voitaisiin hyödyntää kaukolämmöntuotantoon tai käyttää kaatopaikkojen omiin toimintoihin, rakennusten lämmittämiseen tai suotoveden käsittelyyn. Lämmöntuotannon hyötysuhde on sähköön verrattuna korkeampi, mutta kaukolämmön tarve keskittyy kylmään vuodenaikaan. Kesällä kaasu johdettaisiin todennäköisesti soihtupolttoon. Pietarin kaatopaikoilla ei todennäköisesti ole suotoveden keräysjärjestelmää, jolloin suotoveden käsittelyllekään ei ole tarvetta.

Case-tarkastelun suurimmat epävarmuustekijät ovat kerätyn kaasun määrä ja talteenoton tehokkuus. Taloudellista epävarmuutta aiheuttaa myös ERUn hinta tulevaisuudessa. Vuonna 2006 ERUn hinta vaihteli noin 5 eurosta 20 euroon.

## 6. Jätehuollon metaanipäästöjen vähentämiskustannukset

Jätehuollon teknisten vaihtoehtojen kustannustehokkuutta kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä arvioidaan myös erillisessä raportissa (Monni ym. 2006). Julkaisussa on tarkasteltu jätehuollon metaanipäästöjen maailmanlaajuisista vähentämistä. Global Times -järjestelmämallilla tehtyjen laskelmien tuloksena on esitetty, millaisiin vähennyksiin päästään vuoteen 2030 mennessä kullakin tarkasteltavalla teknologialla eri päästörajoituskustannustasoilla. Teollisuusmaissa, siirtymätalousmaissa ja kehitysmaissa saavutettavat vähenemät laskettiin erikseen. Tarkasteltuja teknologioita olivat mädätys, kompostointi, mekaanis-biologinen käsittely, jätteen poltto ja energian hyödyntäminen, kaatopaikkakaasun talteenotto ja soihduttaminen sekä kaatopaikkakaasun käyttö energiantuotannossa. Toimenpiteiden kustannustehokkuus on arvioitu ottaen huomioon koko laitteiston käyttöikä ja 7 %:n korko. Laskennan oletukset on kuvattu tarkemmin viitteessä Monni ym. (2006).

Taulukossa 28 esitetään laskelmien tuloksena menetelmäkohtaiset vuosittaisten päästöjen vähennykset, jotka ovat saavutettavissa eri päästörajoituskustannustasoilla vuoteen 2030 mennessä. Laskelmien mukaan kustannuksiltaan edullisin keino on kaatopaikkapäästöjen talteenotto ja energiakäyttö, jolla saavutetaan erityisesti kehitysmaissa suuria vähennyksiä päästöjen rajoittamisen kustannustason ollessa 0–20 USD/t CO<sub>2</sub>-ekv. Myös jätteenpoltto ja tuotetun energian hyödyntäminen kuuluvat kustannustehokkaimpiin vaihtoehtoihin. Polton arvioitiin olevan päästörajoituskeinona kehittyneissä maissa taloudellisesti edullisempi kuin kehitysmaissa. Kaatopaikkakaasun talteenotto ja soihtupoltto oli näiden laskelmien mukaan kustannustehokkain menetelmä vain harvoissa tapauksissa. Mädätyksen ja kompostoinnin päästörajoituskustannustason arvioitiin olevan edellä mainittuja menetelmiä korkeampi (taulukko 28). Tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että lähtökohtana on kaatopaikkojen päästöjen vähentäminen, johon jätteiden hyötykäytön ja polton lisääntyminen vaikuttavat suhteellisen hitaasti. Tulevaisuudessa kaatopaikkasijoituksen vähentyminen kuitenkin vähentää kaatopaikkakaasun talteenoton kustannustehokkuutta muihin menetelmiin verrattuna.

Hankkeiden edullisuusjärjestys poikkeaa jonkin verran edellä esitetyistä CDM- ja JI-hanke-esimerkeistä saaduista tuloksista. Tähän on syynä päästövähennyksistä maksettava hyvitys sekä erityisesti laskelmissa käytetty CDM- ja JI-hankkeiden päästövähennyksen hyvitysaika, jonka oletettiin olevan nykyinen Kioton kausi eli vain viisi vuotta. Menetelmät, joissa sitoutuvan pääoman määrä on pieni, saavat tällöin lisäetua. Tällainen menetelmä on erityisesti kaatopaikkakaasun talteenotto ja soihdutus. CDM- ja JI-hankemekanismin voimassaoloaika pyritään kuitenkin jatkamaan vuoden 2012 jälkeen. Tällöin myös nykyisten hankkeiden hyvitysaika olisi todennäköisesti pidempi kuin viisi vuotta.

Taulukko 28. Jätehuollon vaihtoehtojen metaanipäästöjen vähentämispotentiaali vuoteen 2030 mennessä eri päästönrajoituskustannustasoilla (Monni ym. 2006).

Tg CO <sub>2</sub> -ekv. vähennetty		USD/t CO <sub>2</sub> -ekv.				
Käsittelyteknologia	Alue	0	10	20	50	100
Mädätys	OECD	0	0	1	5	5
	Siirtymätalous	0	0	0	20	24
	ei-OECD	0	0	30	68	95
	Koko maailma	0	0	31	94	124
Kompostointi	OECD	0	0	0	0	3
	Siirtymätalous	0	0	0	6	19
	ei-OECD	0	0	0	58	81
	Koko maailma	0	0	0	64	102
Mekaanis-biologinen käsittely	OECD	0	0	0	0	0
	Siirtymätalous	0	0	0	0	0
	ei-OECD	0	0	0	0	19
	Koko maailma	0	0	0	0	19
Kaatopaikkakaasun talteenotto ja energiakäyttö	OECD	27	43	41	23	22
	Siirtymätalous	56	29	15	0	0
	ei-OECD	328	368	306	139	43
	Koko maailma	411	440	362	162	65
Kaatopaikkakaasun talteenotto ja soihutpolto	OECD	0	6	1	0	0
	Siirtymätalous	0	17	0	0	0
	ei-OECD	0	12	0	0	0
	Koko maailma	0	34	1	0	0
Jätteenpolto ja energian hyötykäyttö*	OECD	124	222	237	266	266
	Siirtymätalous	0	101	156	156	140
	ei-OECD	0	0	166	515	653
	Koko maailma	124	323	558	936	1 059
Yhteensä	OECD	151	270	280	295	296
	Siirtymätalous	56	147	171	182	182
	ei-OECD	328	380	501	779	890
	Koko maailma	535	797	953	1 255	1 369

\* Jätteenpolto aiheuttaa myös fossiilisia hiilidioksidipäästöjä, jotka on otettu laskelmissa huomioon. Tässä taulukossa esitetään vain säästöt kaatopaikalta.

## 7. Yhteenveto

Jätehuolto on erityisesti kaatopaikkojen metaanipäästöistä johtuen melko merkittävä kasvihuonekaasupäästöjen lähde. Maailmanlaajuisesti sen osuus on 3–4 % ihmisen toiminnan aiheuttamista päästöistä. Jätehuollon päästöjen vähentämiskaavojen myötä mahdollisuudet uusien päästöjä vähentävien ratkaisujen ja teknologioiden sekä osaamisen vientiin ovat parantuneet. Uusia liiketoimintamahdollisuuksia alalle tuo myös Kioton pöytäkirjan hankemekanismin, puhtaan kehityksen mekanismin (CDM) ja yhteistoteutuksen hyödyntäminen. Näiden joustomekanismin puitteissa Kioton pöytäkirjan liitteen I maat (teollisuus- ja siirtymätalousmaat, joille on määritelty sitovat kasvihuonekaasujen rajoittamis- ja vähentämiskaavat) voivat hankkia päästöyksiköitä, jotka ovat peräisin toisista maista ja käyttää niitä kansallisen velvoitteensa täydentämisessä. Jätesektorin toimijat voivat osallistua hanketoimintaan esimerkiksi yhteistyössä Suomen Kioton mekanismin osto-ohjelman ja sen käytännön toteutuksesta vastaavan Finnder-ohjelman kanssa.

Uusiin jätteenkäsittelykonsepteihin liittyvien liiketoimintamahdollisuuksien ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämismahdollisuuksien arvioimiseksi tarkasteltiin seuraaviin osa-alueisiin liittyviä uusia käsittelykonsepteja: jätteiden jalostaminen tuotteiksi, jätteiden biologisen fraktion käsittely ja hyötykäyttö, jätteiden energiakäyttö ja jätteiden kaatopaikkasijoitus. Tarkasteltavaksi valitut konseptit ovat sellaista uutta teknologiaa, jossa suomalaisilla yrityksillä on liiketoimintamahdollisuuksia sekä kotimaassa että mahdollisesti myös CDM- tai JI-hankkeissa.

Yleispiirteisen tarkastelun lisäksi arvioitiin erilaisten jätteenkäsittelyteknologioiden päästövähennys- ja kustannustehokkuutta valituissa esimerkkitapauksissa. Muutamien konseptien soveltavuudesta ja liiketoimintamahdollisuuksista CDM- tai JI-hankkeissa tehtiin tarkennettu arvio. Kutakin teknologiavaihtoehtoa käsiteltiin omana kokonaisuutenaan lähtökohtana laitokselle tai sijoituspaikkaan tuleva tyypillinen jäte. Suomeen sijoittuvissa esimerkeissä yhdyskuntajätteen oletettiin olevan syntypaikkalajiteltua, mutta jätteiden syntypaikkalajittelu- ja keräilyjärjestelmä rajattiin tarkastelujen ulkopuolelle. JI- ja CDM-hanke-esimerkeissä tavoitteena oli käyttää mahdollisimman hyvin kohdemaan oloja vastaavaa tietoa.

### 7.1 Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistehokkuus

Jätteiden materiaalihyödyntäminen voi vähentää kasvihuonekaasupäästöjä pienentämällä tuotantoketjun energiankulutusta (mm. raaka-aineiden hankinnassa, valmistuksessa ja tuotteen valmistuksessa). Myös jätehuollon välittömät päästöt pienenevät, kun jätettä ei



sijoiteta kaatopaikalle tai käsitellä muutoin. Toisaalta esimerkiksi kuljetukset voivat lisääntyä ja jätteen prosessointi saattaa tuottaa kasvihuonekaasupäästöjä.

Materiaalinkierrätyksen esimerkeissä verrattiin valittujen muovi- ja tekstiilijätteen kierrätyskonseptien elinkaaren aikaisia kasvihuonekaasupäästöjä samaan käyttötarkoitukseen valmistetun neitseellisen tuotteen elinkaaren aikaisiin päästöihin. Esimerkkitapauksessa jätemuovista valmistetun profiilin oletettiin korvaavan bioperäistä, kyllästetystä puusta valmistettua tuotetta. Tällöin prosessointi muoviprofiiliksi vähentää kasvihuonekaasupäästöjä, jos muovin kierrätyksellä vältetään muovijätteen poltto ja jos käytetty muoviprofiili loppusijoitetaan kaatopaikalle. Muissa tapauksissa säästöjä ei synny. Tekstiilijätteen kierrätyksellä öljynimeytysmatoksi todettiin saavutettavan päästösäästöjä, kun tekstiilillä korvataan neitseellistä muovia. Tarkastelun tuloksia ei voida suoraan yleistää koskemaan kaikkea muovin ja tekstiilin kierrätystä. Lisäksi tarkastelu on rajoittunut vain kasvihuonekaasupäästöihin, mutta jätteiden kierrätyksellä voidaan saavuttaa myös muita ympäristöhyötyjä.

Tarkastelun lähtöoletusten todettiin vaikuttavan voimakkaasti tulokseksi saatavaan kasvihuonekaasujen vähentämistehokkuuteen. Tällaisia seikkoja ovat mm. vertailukohtena käytetty tuote, käytetyn jättemateriaalin käsittelytapa ja lopputuotteen kohtalo käytön jälkeen. Muoviprofiiliesimerkissä bioperäisen vertailutuotteen hävittäminen polttamalla tuottaa vähemmän kasvihuonekaasupäästöjä kuin muovista valmistetun profiilin polttaminen, koska jätteen energiakäytön päästölaskennassa otetaan huomioon ainoastaan fossiilisperäisen jätteen poltosta syntyneet päästöt. Molempien kierrätysmateriaalien tulokset olisivat olleet erilaiset, jos vertailutuotteena olisi ollut jokin muu tuote, esimerkiksi muoviprofiilin vertailutuotteena fossiilisperäinen tuote. Myös jätteen poltolla korvattavan energian tuotantotavalla on merkitystä. Esimerkkitapauksissa olisi syntynyt enemmän päästösäästöjä, jos jätteestä tuotetulla energialla olisi korvattu uusiutuvaa energiaa Suomen keskimääräisen sähkön- ja lämmöntuotannon sijaan.

Erilliskerätyn biojätteen laitoskäsittelymenetelmät, kompostointi ja mädätys, vähentävät kasvihuonekaasupäästöjä saman jätteen kaatopaikkasijoitukseen verrattuna. Mädätyksen vähennyspotentiaali on suurempi kuin kompostoinnin, koska tuotettu biokaasu voidaan käyttää joko suoraan sähkön ja lämmön tuotantoon tai liikennepolttoaineeksi ja siten korvata fossiilisia polttoaineita. Lähtöoletuksena julkaisun laskelmissa oli biojätteen syntypaikkalajittelu. Siksi biohajoavan jätteen mädätyksen ja kompostoinnin kasvihuonekaasupäästöjen vähennystehokkuutta ei verrattu saman jätteen polton päästövähennystehokkuuteen. Sekä mädätys että poltto yhdistettynä energiakäyttöön tuottavat kuitenkin päästösäästöjä, vaikka kaatopaikan päästövähennystä ei otettaisi huomioon. Käsittelyteknologioiden vertailua vaikeuttaa myös se, että kompostoinnin ja kompostin tai mädätyksen lopputuotteen varastoinnin yhteydessä mahdollisesti syntyvistä metaani- ja

typpioksiduulipäästöistä ei ole riittävästi tietoa. Jätteen biologisen käsittelyn luotettava vertailu muihin käsittelymenetelmiin edellyttäisi näiden päästöjen parempaa tuntemista.

Jätteiden energiakäyttö vähentää kasvihuonekaasupäästöjä, koska jäte ohjautuu pois kaatopaikoilta ja tuotetulla energialla voidaan korvata muilla polttoaineilla tuotettua energiaa. Paras kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistehokkuus saavutetaan, jos jäte-energialla korvataan fossiilisia polttoaineita, energiantuotannon hyötysuhde on korkea ja sekä sähkö että lämpö voidaan käyttää hyväksi. Päästöihin vaikuttaa myös se, miten jäte lajitellaan ja esikäsittellään ennen energiakäyttöä, sekä se, miten esikäsittelyssä mahdollisesti syntyvät jätteet loppusijoitetaan tai -käsitellään. Koska päästölaskelmissa otetaan huomioon vain polton fossiilisperäiset hiilidioksidipäästöt, jätteen laadulla (mm. muovien osuudella) on merkitystä. Lähtöoletukset voivat vaikuttaa jätteen energiakäyttömuotojen välisiin eroihin päästövähennys- ja kustannustehokkuudessa niin paljon, että yksittäistapauksissa vertailu olisi tehtävä kohdekohtaisesti.

Yhdyskuntajätteen kaatopaikkojen päästöjä voidaan vähentää esikäsittelemällä sijoitettava jäte, vaikuttamalla kaatopaikan prosessiin tai ottamalla talteen kaatopaikalla syntyvät kasvihuonekaasut. Jätteen mekaanis-biologisella esikäsittelyllä kaatopaikan kasvihuonekaasupäästöjä voidaan vähentää 85–95 % ja jätteen poltolla noin 99 % sekajätteen kaatopaikkaan verrattuna. Kaatopaikkakaasun talteenoton päästöjen vähentämistehokkuuteen vaikuttaa muun muassa se, miten aikaisessa vaiheessa talteenotto käynnistetään. Vähentämispotentiaali voi vaihdella muutamista kymmenistä prosenteista yli 70 %:iin. Suljetulla ja peitetyllä kaatopaikalla voidaan talteenottokauden aikana päästä n. 90 %:n talteenottoasteeseen. Noin 10 % metaanista hajoaa normaalisti kaatopaikan pintarakenteissa. Vähän biohajoavaa ainesta sisältävillä kaatopaikoilla tai kaatopaikoilla, joilla jäte on pitkälle hajonnut, metaania hapettava pintarakenne voi olla kustannustehokkain kasvihuonekaasupäästöjen hallintakeino.

Ilmastuksella pystytään nopeuttamaan tehokkaasti kaatopaikan stabiloitumista. Parhaimmillaan kaatopaikka stabiloituu jo muutamassa vuodessa ja ilmastus voikin olla kaasujen talteenottoa tehokkaampi päästöjen vähentämiskeino. Menetelmästä on vielä vähän käytännön kokemusta, ja toteutetuista kohteista saadut tulokset ovat melko vaihtelevia.

## **7.2 Kustannustehokkuus CDM- tai JI-hankkeissa**

Kioton hankemekanismeissa hankkeen päästövähennykset voidaan lukea hyväksi ainoastaan siltä osin kuin ne ovat normaalikehitystä eli ns. hankkeen perusuraa suuremmat. Siksi soveltuvimpia kohdemaita ovat kehitysmaat sekä ne teollisuusmaat, joissa lainsäädäntö ei vielä lähiaikoina velvoita tiukkoihin päästövähennyksiin. Esimerkkeinä tarkastellut CDM- ja JI-hankkeet sijoittuivat eri maihin. Päästövähennykset, kustannukset ja

tuotot energian myynnistä arvioitiin paikallisten olosuhteiden mukaan. Näin ollen esimerkkien tuloksia ei voida suoraan verrata, mutta niiden perusteella voidaan tehdä suuntaa antavia arvioita hankkeiden taloudellisesta kannattavuudesta sekä päästövähennysyksiköiden hinnan (5 € 10 € 20 €) vaihtelun vaikutuksista hankkeen kannattavuuteen. Hyvitysaikana käytettiin kaikissa arvioissa viittä vuotta, joka on seuraavan Kioton kauden pituus.

Biojätteen käsittelyosuuden hanke-esimerkkinä verrattiin kaasumaisten liikennepolttoainesten tuotantoa biojätteen mädätyksen avulla biojätteen käsittelyyn kompostointilaitoksessa. Esimerkki rajattiin koskemaan pelkästään kaasun jalostusprosessia. Tarkasteluun valittu pienehkö, noin 7 000 t yhdyskuntajätteestä peräisin olevaa biojätettä käsittelevä järjestelmä pystyy tuottamaan suunnilleen 5 000 MWh/a kaasua liikennepolttoaineeksi. Vuositasolla tämä merkitsee noin 1 000 t CO<sub>2</sub>-päästösäästöä. Hankkeen arvioitiin olevan kannattava ilman ERU-hyvitystä ja tuoton viiden vuoden hyvitysaikana noin 0,2 M€ Päästösäästön kautta hankkeelle saatava lisäarvo olisi pieni eli 5 000–20 000 €a.

Energiantuotannon Kiinaan sijoittuvassa CDM-hanke-esimerkissä vertailtiin jätteen energiakäyttökonseptien vaikutusta kasvihuonekaasupäästöihin. Lähtökohtana eli hankkeen perusrana oli energian tuotanto hiilikattilassa 200 MW<sub>e</sub>:n laitoksessa. Jätteen energiakäyttövaihtoehdoissa hiilikattila oletettiin korvattavaksi joko jätteen massapoltolla tai jätepolttoaineen kaasutuksella ja tuotekaasun rinnakkaispoltolla. Massapolton huonommasta hyötysuhteesta johtuva lisäsähkön tarve katettaisiin fossiilisilla polttoaineilla.

Takaisinmaksuajaksi arvioitiin hiilivoimalalle 9 vuotta, massapolttolaitokselle ilman CER-hyvitystä 6 vuotta ja kaasutuslaitokselle 5 vuotta. Päästövähennysyksiköiden kautta saatava hyvitys on jätteen energiakäyttövaihtoehdoissa samalla tasolla: massapolttolaitoksessa CERin hinnasta riippuen 1,6–6,5 M€a ja kaasutusvaihtoehdossa 1,6–6,3 M€a. CERin hinnan ollessa 10 € saatava hyvitys lyhentää kummankin laitoksen takaisinmaksuaikaa noin vuodella. Kaasutushankkeen paremman kokonaishyötysuhteen takia sen tuotto on hyvityskauden aikana selvästi positiivinen. Massapolttohankkeen kannattavuus määräytyy CERin hinnan mukaan: CERin hinnan ollessa 5 € takaisinmaksuaika on suunnilleen sama kuin tarkasteltu viiden vuoden hyvityskausi.

JI-hanke-esimerkkinä tarkasteltiin kaatopaikkakaasun talteenottoa Pietarin Volkhonkan kaatopaikalta yhdistettynä kaasun hyödyntämiseen sähkön tuotannossa. Kaatopaikka vastaanottaa n. 300 000 t sekalaista yhdyskuntajätettä vuodessa. Tarkastelussa verrattiin talteenotetun kaasun soihtupolttoa (A) ja hyötykäyttöä sähköntuotantoon kaasumootoreilla (B). Perusrana oli kaatopaikkakaasun vapautuminen ilmaan ja energian tuotanto maakaasulla. Kaatopaikan metaaninmuodostus ja hankkeen tuottama päästövähennys arvioitiin hyväksytyjen CDM-hankkeiden mallin mukaisesti. Laskelmien mukaan kaasun talteenotto ja soihtupoltto (A) tuottaisivat hyvityskaudella 2008–2013 yhteensä

760 000 CO<sub>2</sub>-t ekv. päästösäästön (760 000 ERUa), kun taas talteenotolla ja kaasun hyödyntämisellä (B) saavutetaan 860 000 t CO<sub>2</sub>-ekv. päästösäästö (860 000 ERUa).

Sähköntuotantovaihtoehdossa taloudellisen kannattavuuden alarajana oleva ERUn hinta oli noin 9 € soih tupoltto vaihtoehdossa tätä pienempi, noin 6 € Lyhyellä aikavälillä (2008–2013) pelkkä soih tupoltto on sähköntuotantoa kannattavampaa. Voimalaitosinvestointi (n. 3 milj. €) on kaasun hyötykäytöllä aikaansaatuun päästövähennykseen verrattuna suuri, eikä tuotetun sähkön myyntituloilla ole Venäjän alhaisen sähkön hinnan takia suurta vaikutusta hankkeen kokonaistalouteen. Hankevaihtoehtojen kannattavuusjärjestyksen muuttuminen edellyttäisi merkittävää sähkön hinnan nousua ja korkeaa ERUn hintaa. Esimerkiksi sähkön hinnan kolminkertaistuminen lyhentäisi ERUn hinnalla 10 € hankkeen takaisinmaksuaikaa noin puolella vuodella, mutta soih tupoltto olisi edelleen taloudellisesti kannattavampaa. Talteenotetun kaasun käyttö maakaasua korvaavana polttoaineena lähimmässä CHP-laitoksessa voisi olla taloudeltaan parempi hyötykäyttövaihto. Tämän arviointi olisi edellyttänyt seikkaperäistä tietoa kaatopaikan ympäristön CHP-laitosten sijainnista. Lisäksi tulisi selvittää kaupunkiympäristöön rakennettavan kaasuputken tekninen toteutettavuus ja talous.

### 7.3 Kokonaisvaikutukset

Tässä hankkeessa arvioitiin laskennallisesti ainoastaan uusien jätteidenkäsittelykonseptien kasvihuonekaasupäästöjä ja kustannustehokkuutta kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Konseptien käyttöönoton vaikutuksia muihin jätehuollon ympäristökuormituksiin tarkasteltiin vain yleispiirteisesti. Koska tehdyissä esimerkkilaskelmissa ei tarkasteltu koko jätehuoltoketjua, tulokset eivät mahdollista teknologiavaihtoehtojen kasvihuonekaasupäästöjen vähennys- ja kustannustehokkuuden yksiselitteistä numerotason vertailua. Julkaisun esimerkit osoittavat myös, että lähtöoletukset voivat vaikuttaa tuloksiin merkittävästikin. Esimerkeistä voidaan tehdä yleisen tason johtopäätöksiä, mutta kussakin yksittäistapauksessa kasvihuonekaasulaskelmat tulisi tehdä kohdekohtaisesti. Käytännön hankkeissa päätöksentekoon vaikuttavat kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi monet seikat, kuten teknologian soveltuvuus kohteeseen ja nykyiseen tai suunniteltuun jätteenkäsittelyjärjestelmään, teknologiasta saadut kokemukset, muut ympäristökuormitukset ja teknologian julkisuuskuva.

Kioton hankemekanismien puitteissa kustannustehokkaimmiksi jätehuoltohankkeiksi osoittautuivat esimerkkilaskelmissa kaatopaikkakaasujen keräys ja soih tupoltto, jätteen käyttö energiantuotannossa sekä biokaasun tuotanto. Biokaasun tuotanto maatalouden jätteistä ja lietteistä tai muista biohajoavista lietteistä on Kioton hankkeissa yleensä taloudellisesti ja teknisesti parempi vaihtoehto kuin biokaasun tuotanto lajitellusta yhdyskuntajätteestä. Laskelmissa oletetun Kioton hankkeiden lyhyen hyvityskauden vuoksi CDM- ja

JI-hankkeissa on taloudellisesti edullisinta tuottaa nopeasti suuri päästövähennys pienellä investoinnilla. Koska kaatopaikkakaasun energiakäytöllä saavutettava lisäpäästövähennys on melko pieni soihutupolttoon verrattuna ja sähkön hinta kohdemaissa yleensä alhainen, investointi energiantuotantoon ei useinkaan kannata Kioton hankkeissa.

Kaatopaikkakaasun talteenotto ja energiahyödyntäminen voivat kuitenkin olla soihutupolttoa kustannustehokkaampi kasvihuonekaasupäästöjen vähentämismenetelmä muissa kuin Kioton hankemekanismissa mukaisissa hankkeissa. Vaikka kaatopaikkakaasun energiahyödyntämisellä saavutettu kasvihuonekaasupäästöjen vähennys on pieni metaanin hävittämisellä saavutettuun vähennykseen verrattuna, se ei välttämättä ole pieni, jos verrataan muihin vastaaviin uusiutuvan energian tuotantomenetelmiin. Jätteen poltto ja energiantuotanto arvioitiin KHK-päästöjen vähentämismenetelmänä useimmissa tapauksissa kustannustehokkaammaksi kuin biojätteen kompostointi ja monasti myös biojätteen mädätystä kustannustehokkaammaksi. Tästä huolimatta esimerkiksi kompostointi voi yksinkertaisuutensa ja vähäisten kustannusten vuoksi soveltua jätteen käsittelyyn erityisesti niissä kehitysmaissa, joissa jätteen orgaanisen aineksen osuus on suuri. Lisäksi on otettava huomioon, että kaikki jätehuoltokonseptit, joissa kaatopaikoille sijoitettavan biohajoavan jätteen määrää pystytään vähentämään, vaikuttavat kaatopaikkojen tuleviin metaanipäästöihin.

Potentiaalisia kasvihuonekaasupäästöjä vähentäviä teknologioita, joissa suomalaisilla yrityksillä on vientimahdollisuuksia, ovat uudet jätteiden energiakäyttökäytännöt, kaatopaikkakaasujen energiakäyttö, biokaasun tuotantoteknologiat, kompostointi sekä monet jätteiden materiaali kierrätyksen teknologiat.

# Lähdeluettelo

## PAINETUT LÄHTEET

Ahonen, H.-M. 2006. Kioton hankemekanismit ja jätehuoltosektori – tietopaketti yrityksille. Suomen ympäristö 20. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.

Aikala, L. 2005. Proventia Automation Oy. Henkilökohtainen tiedonanto. 9.8.2005.

Ajanko, S., Moilanen, A. & Juvonen, J. 2005. Jätteiden syntypaikkalajittelujärjestelmän ja käsittelytekniikan vaikutus kierrätyspolttoaineen laatuun. VTT Tiedotteita 2317. Espoo: VTT.

Anderson, R. 2005. Ämmässuon kaatopaikan suotovesien imeytyskokeilu. Loppuraporttiluonnos. Helsinki: YTV Jätehuolto.

Anon. 2003. Biogas as Vehicle Fuel. An European Overview. Trendsetter Report No 2003:3.

Arnold, M. & Perälä, P. 2005. Kasvihuonekaasu- ja ammoniakkipäästöt lannankäsittelystä. Loppuraportti 31.1.2005.

Beck-Friis, G. B. 2001. Emissions of Ammonia, Nitrous Oxide and Methane during Composting of Organic Household Waste. Dissertation. Agraria 266. Uppsala: Swedish university of agricultural sciences.

Berglund, M. & Börjesson, P. 2003. Energianalys av biogassystem. Rapport 44. Maj 2003. Lund: Lunds tekniska högskola, Institutionen för teknik och samhälle, Avdelningen för miljö- och energisystem.

Bockreis, A. & Steinberg, I. 2005. Influence of mechanical-biological waste pre-treatment methods on the gas formation in landfills. Waste Management, Vol. 25, s. 337–343.

Bodo, P., Nemeskeri, R. L., Tielens, T., Hoogendoorn, J., Wahlstrom, M., Mroueh, U.-M., Vestola, E., Vilimaite, K., Morotz, A., Szlezak, J., Simpson, J., Luo, Z., Eder, P. & Bidoglio, G. 2004. Techno-Economic Outlook on Waste Indicators in Enlargement Countries. European Commission, Technical Report EUR 21205 EN.

Buenrostro, O. & Bocco, G. 2003. Solid waste management in municipalities in Mexico: goals and perspective. Resources, Conservation and Recycling, Vol. 39, s. 251–263.

Börjesson, G. & Svensson, B. 1997. Nitrous oxide emissions from landfill cover soil on Sweden. Teoksessa: Börjesson, G. Methane oxidation in landfill cover soils. Agraria 44. Uppsala: SLU, Institutionen för mikrobiologi.

CDM – Executive Board. 2006. Clean Development Mechanism Project Design Document Form.

Chem Systems. 1997. Life Cycle Inventory Development for Recycling. Environment Agency Project Record, Environment Agency, UK.

Cossu, R., Raga, R. & Rossetti, D. 2003. Full scale application of in situ aerobic stabilization of old landfills. Teoksessa: Christesen, T. H., Cossu, R. & Stegmann, R. (toim.). Proceedings of Ninth International Waste Management and Landfill Symposium, Sardinia 2003.

Cossu, R. & Rossetti, D. 2004. In situ aerobic stabilization of old landfills by the airflow system. Pilot and full scale applications. Esitetty: The Third Intercontinental Landfill Research Symposium 2004, Hokkaido, Japani, 30.11.–2.12.2004.

Dahlbo, H., Laukka, J., Myllymaa, T., Koskela, S., Tenhunen, J., Seppälä, J., Jouttijärvi, T. & Melanen, M. 2005. Waste management options for discarded newspaper in the Helsinki metropolitan area. The Finnish Environment 752. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.

EC. 2000. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament on EU policies and measures to reduce greenhouse gas emissions: Towards a European Climate Change Programme (ECCP). COM(2000)88.

Ecoinvent v1.01. 2003. The Life Cycle Inventory Data version 1.1.

Ecoinvent v1.2. 2005. The Life Cycle Inventory Data version 1.2.

Einola, J.-K. M., Sormunen, K. M. & Rintala, J. A. 2003. Seasonal variation of methane, nitrous oxide and carbon dioxide emissions and methane-oxidising activity at a northern landfill. Teoksessa: Christesen, T. H., Cossu, R. & Stegmann, R. (toim.). Proceedings of Ninth International Waste Management and Landfill Symposium, Sardinia 2003.

Electrowatt-Ekono. 2005. Ämmäsuon kaasun hyödyntäminen. Raportti 1.7.2005.

Eurostat. 2005. Energy, transport and environment indicators. Pocket book. 2005 Edition. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. 186 s. ISBN 92-894-7594-3.

von Felde, D. & Doedens, H. 1999. Full Scale Results of Landfilling Mechanical Biological Pretreated MSW. Teoksessa: Christesen, T. H., Cossu, R. & Stegmann, R. (toim.). Proceedings of Seventh Waste Management and Landfill Symposium, Sardinia 1999. Volume I, s. 533–541.

Flodman, M. 2002. Emissioner av metangas, lustgas och ammoniak vid lagring av avvattnat rötslam. Institutionsmeddelande 2002:04. Lund: SLU, Institutionen för landbruksteknik.

Florinskaya, T., Ventzulis, L. & Vechtomov, I. 2002. CONCEPTION – Waste Management in St. Petersburg. St. Petersburg: Academy of Sciences of Russian Federation, St. Petersburg Scientific Centre. 189 s.

Hagström, M., Vartiainen, E. & Vanhanen, J. 2005. Biokaasun maatilatuotannon kannattavuusselvitys. Helsinki: Gaia Group Oy.

Hanashima, M. 1999. Pollution control and stabilization process by semi-aerobic landfill type: the Fukuoka method. Teoksessa: Christesen, T. H., Cossu, R. & Stegmann, R. (toim.). Proceedings of Seventh Waste Management and Landfill Symposium, Sardinia 1999. Volume I, s. 313–326.

Henry, R. K., Yongsheng, Z. & Jun, D. 2006. Country Report. Municipal solid waste management challenges in developing countries – Kenyan case study. Waste Management, Vol. 26, No. 1, s. 92–100.

Heyer, K.-U., Hupe, K. & Stegmann, R. 2001. Emissions from sanitary landfilling – long-term emissions, sealing systems, in situ stabilization and aftercare. Teoksessa: Pelkonen, M. (toim.). Kuudes jätehuollon tutkimusseminaari 2001. TKK-VHT-31. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, vesihuoltotekniikan laboratorio. S. 117–135. ISBN 951-22-5797-1.

Heyer, K.-U., Hupe, K., Ritzkowski, M. & Stegmann, R. 2005. Pollutant release and pollutant reduction – Impact of the aeration of landfills. Waste Management, Vol. 25, s. 353–359.

Höring, K., Kruempelbeck, I. & Ehrig, H.-J. 1999. Long-term Emission Behaviour of Mechanical-biological Pretreated Municipal Solid Waste. Teoksessa: Christesen, T. H.,



Cossu, R. & Stegmann, R. (toim.). Proceedings of Seventh Waste Management and Landfill Symposium, Sardinia 1999. Volume I, s. 409–417.

IBGE. 2005. The National Survey of Basic Sanitation 2000. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IISI. 2002. International Iron and Steel Institute. World Steel Life Cycle Inventory. Methodology Report 1999/2000. Appendix 5. Committee on Environmental Affairs. Brussels: IISI.

IISI. 2004. International Iron and Steel Institute. LCI Database.

IPCC. 1996. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC. 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Reference Manual (Volume 3).

IPCC. 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the third Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change. UK: Cambridge University Press. 944 s.

Jaakko Pöyry Consulting. 2003. Ilmastoihaisen teknologiaohjelman taustaselvitys (sopimus 10340/25/03). Helsinki: Tekes.

Jaakko Pöyry Infra. 2004. Seurantaselvitys biologisten jätteenkäsittelylaitosten toimivuudesta. Jätelaitosyhdistys ry 12.10.2004. ([www.jly.fi](http://www.jly.fi))

Jaakko Pöyry Infra. 2005. REF-laitosten tarve- ja toimivuusselvitys. Jätelaitosyhdistys ry 31.3.2005. ([www.jly.fi](http://www.jly.fi))

Jokinen, V. 2000. Pääkaupunkiseudun yhdyskuntajätetilasto sekä kotitalouksien sekajätteen määrän ja laadun seurantamenetelmä. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 2000:14. Helsinki: YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta.

Jokinen, V. 2005. Pääkaupunkiseudun palvelualojen sekajätteen laatu. Toimistot, sairaalat, koulut, ravintolat ja hotellit sekä kaupat. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 2005:1. Helsinki: YTV Jätehuolto. 33 s. + liitt. 29 s. ISSN 0357-5454.

Jätehuoltoyhdistys. 2004. Jätehuoltoyhdistys ry:n jäsenlehti JätePlus 2/2004. Ympäristövastavuutta kierrätystä tv-kuvaputkille Forssan uudessa käsittelylaitoksessa.

Jätehuoltoyhdistys. 2005. Jätehuoltoyhdistys ry:n jäsenlehti JätePlus 1/2005. Proventia Automation toimittaa Walesiin laserleikkausteknologiaan perustuvan kierrätyslinjan.

Kaartinen, T. 2005. Kaatopaikan elinkaaren aikaisten vaikutusten arviointi (luonnos 16.12.2005). Espoo: VTT. (julkaisematon)

Kalyuzhnyi, S., Epov, A., Sormunen, K., Kettunen, A., Rintala, J., Privalenko, V., Nozhenikova, A., Pender, S. & Colleran, A. 2003. Evaluation of the current status of closed landfills in Russia, Finland and Ireland in regard to water pollution and methane emissions. *Water Science and Technology*, Vol. 48, No. 4, s. 37–44.

Karhu, E. 2005. Mekaanis-biologisesti käsitellyn yhdyskuntajätteen jäännösjakeen soveltuvuus metaanin biologiseen hapetukseen ja kelpoisuus kaatopaikan pintakerroksessa. Pro gradu -tutkielma. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, bio- ja ympäristötieteiden laitos.

Kettunen, R., Einola, J. & Rintala, J. 2001. Matalan lämpötilan ja vesipitoisuuden vaikutus metaanin biologiseen hapettumiseen kaatopaikan pintakerroksessa. Teoksessa: Pelkonen, M. (toim.). Kuudes jätehuollon tutkimusseminaari 2001. TKK-VHT-31. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, vesihuoltotekniikan laboratorio. S. 21–26. ISBN 951-22-5797-1.

Klein, R., Nestle, N., Niessner, R. & Baumann, T. 2003. Numerical modelling of the generation and transport of heat in a bottom ash monofill. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. B100, s. 147–162.

Kokki, S., Friari, P., Zarkzhevsky, V., Horttanainen, M. & Linnanen, L. 2006. Reduction of Greenhouse Gas Emission in North-West Russia – Finnish Business Opportunities. Research Report ENTE-A-54. Lappeenranta: Lappeenranta University of Technology, Department of Energy and Environmental Technology.

Korhonen, M.-R. & Dahlbo, H. 2007. Reducing Greenhouse gas emissions by recycling waste into products. Case studies on plastics and textile.

KTM. 2003. Uusiutuvan energian edistämisohjelma 2003–2006, työryhmän ehdotus. KTM työryhmä- ja toimikuntaraportteja 5/2003. Helsinki: KTM.

Kuehle-Weidemeier, M. 2004. Landfilling of mechanically and biologically pre-treated municipal solid waste. Review of literature in German language and own research. Recommendations for construction and operation of MBP-landfills. By order of the University of Jyväskylä.

Kuittinen, V. & Huttunen, M. J. 2004. Suomen biokaasulaitosrekisteri VII. Tiedot vuodelta 2003. Joensuussa 12.8.2004.

Kuntarahoitus. 2005. Huomista tehdään. Kuntarahoituksen ajankohtaislehti, syyskuu 2005.

Kuusakoski Oy. 2004. Kuusakoski Oy, Heinolan tehtaat, ympäristölupahakemus, versio 28.1.2004.

Kärhä, V. 2005. Suomen uusiomuovi ry. Henkilökohtainen tiedonanto. 28.9.2005.

Lappalainen, S. & Kouvo, P. 2004. Evaluation of greenhouse gas emissions from landfills in the St. Petersburg area – Utilization of methane in energy production, Metgas. Publication 10. Lappeenranta: Lappeenranta University of Technology, Northern Division Research Centre. 49 s.

Life. 2004. Elaboration of the plan for nature-protective measures on use of domestic wastes at Saint-Petersburg. Report for program "Life – the third countries". No. LIFE02 TCY/ROS/039 1 Phase. Collection and processing of a source data on municipal waste streams. Classification of waste streams. Description of the existing waste handling system, including legal, economic, and environmental problems.

Lohiniva, E., Sipilä, K., Mäkinen, T. & Hietanen, L. 2002. Jätteiden energiakäytön vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin. VTT Tiedotteita 2139. Espoo: VTT.

Loikala, J. 2006. Jätehuolto- ja kierrätysalaaan liittyvän tekniikan ja osaamisen kartoitus yritysverkkojen kehittämiseksi kansainvälisille markkinoille. Helsinki: SITRA. 122 s.

Malkamäki, M. 2006. Greenenvironment Oy. Kirjallinen tiedonanto 23.10.2006.

Marova, A. 2006. Kirjallinen tiedonanto. 19.10.2006. EcoData St Petersburg.

Marxsen, C. S. 2001. Potential world garbage and waste carbon sequestration. Environmental Science & Policy, Vol. 4, s. 293–300.

Melanen, M., Palperi, M., Viitanen, M., Dahlbo, H., Uusitalo, S., Juutinen, A., Lohi, T.-K., Koskela, S. & Seppälä, J. 2000. Metallivirrat ja romun kierrätys Suomessa. Suomen ympäristö 401. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.

Merilehto, K., Rytönen, T. & Tyni, A. 2004. Kiinteän yhdyskuntajätteen virrat. Aineistotarkastelua jätealan seurantajärjestelmän avulla. Suomen ympäristö 728, Ympäristönsuojelu. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 226 s.  
(<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=29770&lan=fi>)

Monni, S. & Syri, S. 2003. Uncertainties in the Finnish 2001 Greenhouse Gas Emission Inventory. VTT Tiedotteita – Research Notes 2209. Espoo: VTT. 101 p. + app. 27 p.

Monni, S., Pipatti, R., Lehtilä, A., Savolainen, I. & Syri, S. 2006. Global climate change mitigation scenarios for solid waste management. VTT Publications 603. Espoo: VTT.

Morris, J. W. F., Vasukib, N. C., Bakerc, J. A. & Pendletona, C. H. 2003. Findings from long-term monitoring studies at MSW landfill facilities with leachate recirculation. Waste Management, Vol. 23, s. 653–666.

Mäkinen, T., Sipilä, K., Hietanen, L. & Heikkonen, V. 2000. Pääkaupunkiseudun jätteiden energiakäyttöselvitys. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C: 2000. Helsinki: YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta.

National Bureau of Statistics. 2003. China Statistical Yearbook 2003. 977 s. ISBN 7-5037-4060-4.

Nieminen, E. & Talvenmaa, P. 2003. Teknologiaohjelman vuosikirja 2003. STREAMS – Yhdyskuntien jätevirroista liiketoimintaa teknologiaohjelman vuosikirja 2003. Helsinki: Tekes.

Nieminen, M. 2005. VTT. Suullinen tiedonanto.

Niskanen, A., Lappalainen, S. & Horttanainen, M. 2005. Utilization of Landfill Gas in Emission Trading from the Finnish Viewpoint. Kalmar Eco-Tech'05. Conference on Waste to Energy, Bioremediation and Leachate Treatment. November 28–30, 2005. Kalmar, Sweden. Pp. 115–123.

Nykänen, V. 1999. Päästöt ja suotoveden kierrätys Seutulan kaatopaikalla. Sarja B, 6 (TKK-VHT-B-6). Espoo: Teknillinen korkeakoulu, vesihuoltotekniikan laboratorio. ISBN 951-22-4853-0.

Oonk, J. & Boom, A. 1995. Landfill gas formation, recovery and emissions. TNO Report R95-203. Apeldoorn, NLD: TNO Institute of Environmental and Energy Technology. 103 s.

Parviainen, M. 2005. Kuusakoski Oy. Henkilökohtainen tiedonanto. 26.9.2005.

Piisilä, O. 2005. Erilliskerätyn biojätteen painoon ja keräysvälineen hygieniaan vaikuttavat tekijät. Insinööriyö. Kuopio: Savonia ammattikorkeakoulu, Ympäristötekniikan koulutusohjelma.

Pipatti, R., Hänninen, K., Vesterinen, R., Wihersaari, M. & Savolainen, I. 1996. Jätteiden käsittelyvaihtoehtojen vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin. VTT Julkaisuja – Publikationer 811. Espoo: VTT.

Pipatti, R. & Wihersaari, M. 1998. Cost-effectiveness of alternative strategies in mitigating the greenhouse impact of waste management in three communities of different size. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, No. 2, s. 337–358.

Raiko, R. ym. (toim.) 1995. Poltto ja palaminen. Jyväskylä: International Flame Research Foundation (IFRF), Suomen kansallinen osasto.

Read, A. D., Hudgins, M. & Phillips, P. 2001. Perpetual landfilling through aeration of the waste mass; lessons from test cells in Georgia (USA). *Waste Management*, Vol. 21, s. 617–629.

Reinhart, D. R. & Townsend, T. G. 1998. *Landfill Bioreactor Design & Operation*. New York, USA: Lewis Publishers. 189 s. ISBN 1-56670-259-3.

Rinne, J., Pihlatie, M., Lohila, A., Thum, T., Aurela, M., Tuovinen, J.-P., Laurila, T. & Vesala, T. 2005. Nitrous Oxide Emissions from a Municipal Landfill. *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 39, No. 20, s. 7790–7793.

Rintala, J., Lampinen, A., Luostarinen, S. & Lehtomäki, A. 2002. Biokaasusta uusiutuvaa energiaa maataloilla. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, bio- ja ympäristötieteiden laitos.

Ristola, P. 2001. Urban Mill. Paperin kierrätyksen ja jätteiden energiakäytön integrointi. *Jätteiden energiakäyttö – Teknologiaohjelman vuosikirja 2001*. Helsinki: Tekes.

Ristola, P. 2004. Paperikuitujen talteenotto esikäsitellystä kuivajätteestä / FRS. Yhdyskuntien jätevirroista liiketoimintaa. Streams – Teknologiaohjelman vuosikirja 2004. Helsinki: Tekes.

Ristola, P. 2005. Metso Oyj. Henkilökohtainen tiedonanto. 22.9.2005.

Ritzkowski, M. & Stegman, R. 2005. Reduction of greenhouse gas emissions by landfill in situ aeration. Proceedings of Sardinia 2005, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium. 3–7 October 2005, Sardinia, Italy.

Rolland, C. & Scheibengraf, M. 2003. Biologisch abbaubarer Kohlenstoff im Restmüll. Umweltbundesamt Berichte BE-236. Wien. 22 s.

Roström, H. & Uggeldahl, P. 2003. Kotitalouksien ja vähittäiskaupan jätteiden koostumuksen muutos Turussa 1987–2002. Turku: Lounais-Suomen ympäristökeskuksen moniste 9/2003. <http://www.ymparisto.fi/palvelut/julkaisu/los/mo092003.htm>

Sabbas, T., Poletini, A., Pomi, R., Astrup, T., Hjelmar, O., Mostbauer, P., Cappai, G., Magel, G., Salhofer, S., Speiser, C., Heuss-Assbichler, S., Klein, R. & Lechner, P. 2003. Management of municipal solid waste incineration residues. Waste Management, Vol. 23, s. 61–88.

Saha, R. 2005. Dafecor Oy. Henkilökohtainen tiedonanto 12.9.2005.

Scheelhase, T. 2001. Landfill Behaviour of MBP-waste and New landfill Concepts for a Low Emission Landfill. Teoksessa: Christesen, T. H., Cossu, R. & Stegmann, R. (toim.). Proceedings of Eight International Waste Management and Landfill Symposium, the Sustainable Landfill, Sardinia 2001. Volume I, s. 247–254.

Schenk, M. K., Appel, S. & Daum, D. 1997. N<sub>2</sub>O emissions during composting of organic waste. Institute of plant Nutrition University of Hannover.

Siikamäki, R. 2003. Teknologiaohjelman vuosikirja 2003. STREAMS – Yhdyskuntien jätevirroista liiketoimintaa teknologiaohjelman vuosikirja 2003. Helsinki: Tekes.

Siikamäki, R. & Leppänen, K. 2003. Kimokela – Kierrätetty monitorilasi keramiikka- ja lasiteollisuuden raaka-aineeksi. Loppuraportti. Keramiikka- ja lasiteollisuuden tutkimusjulkaisuja No. 1. Helsinki: Taideteollinen korkeakoulu.

Sinton, J. E. & Fridley, D. G. 2000. What goes up: recent trends in China's energy consumption. Energy Policy 28, s. 671–687.

Sormunen, K., Einola, J. & Rintala, J. 2004. Kaatopro-hanke: Kujalan koealue, väliraportointi 2002–2003.

Sormunen, K., Einola, J., Karhu, E. & Rintala, J. 2005. Kaatopro-hanke 2002–2005. Mekaanisesti ja mekaanis-biologisesti esikäsitellyn yhdyskuntajätteen kaatopaikkasijoittaminen. Väliraportti 10.5.2005.

Smith, A., Brown, K., Ogilvie, S., Rushton, K. & Bates, J. 2001. Waste Management Options and Climate Change. Final report to the European Commission, DG Environment.

Surakka, M. 2005. Muovix Oy. Henkilökohtainen tiedonanto 22.9.2005.

Tchopagnoulos, G., Theisen, H. & Vigil, S. 1993. Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues. McGraw-Hill Inc. ISBN 0-07-112865-4.

Teknillinen korkeakoulu. 2004. Aasia maailman energiataloudessa ja innovaatioissa. Teknillisen korkeakoulun teknillisen fysiikan julkaisuja TKK-F-B198. Espoo: TKK.

Tuhkanen, S. 2001. Jätehuollon merkitys Suomen kasvihuonepäästöihin. Kaatopaikkojen metaanipäästöt ja niiden talteenotto. VTT Energian tutkimusselostus ENE6/25/2001. Espoo: VTT.

Turkulainen, T. & Johansson, A. 2001. Jätteiden vaikutus kasvihuonekaasupäästöissä. Osahanke B: Materiaalikierrätys ja jätteiden materiaalivirtojen kehitys. Loppuraportti. VTT Kemianteekniikka. Espoo: VTT.

UNEP. 2004. Waste Management Planning an Environmentally Sound Approach for Sustainable Urban Waste Management. An Introductory Guide for Decision-makers. United Nations Environmental Program, International Environmental Technology Center. Integrative Management Series No 6. ISBN 92-807-2490-8.

UNFCCC. 2005. Key GHG Data. Greenhouse Gas Emissions Data for 1990. 2003 Submitted to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Bonn, Germany: UNFCCC Secretariat.

Wahlström, M., Laine-Ylijoki, J., Eskola, P., Vahanne, P., Mäkelä, E., Vikman, M., Venelampi, O., Hämäläinen, J. & Frilander, R. 2004. Kaatopaikkojen tiivistysrakennemateriaaleina käytettävien teollisuuden sivutuotteiden ympäristökelpoisuus. VTT Tiedotteita 2246. Espoo: VTT. ISBN 951-38-6470-7.

Wilén, C., Salokoski, P., Kurkela, E. & Sipilä, K. 2004. Finnish expert report on best available techniques in energy production from solid recovered fuels. The Finnish Environment 688. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.

Willumsen, H. 2003. Landfill Gas Plants: Number and Types Worldwide. Proceedings of Sardinia '03 Waste Management and Landfill Symposium, published by CISA, University of Cagliari, Sardinia, Italy.

YTV. 2004. Pääkaupunkiseudun kotitalouksien sekajätteen määrä ja laatu. YTV Pääkaupunkiseudun julkaisusarja B:2004:13. Helsinki: YTV. 77 s. + liitt. 48 s. ISBN 951-798-562-2.

YTV. 2006. Jätteiden energiakäytön mahdollisuudet pääkaupunkiseudulla ja sen lähi-alueilla. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C2006:1. Helsinki: YTV.

ZhiDong, L. 2003. An econometric study on Chinas's economy, energy and environment to the year 2030. Energy Policy, Vol. 31, No. 11.

## **SÄHKÖISET LÄHTEET**

Anon. 2006a. Landfill gas recovery in Moscow – landfill site DMITROVSKIJ” JOINT IMPLEMENTATION PROJECT 10. September 2006.  
<http://www.sgsqualitynetwork.com>.

Anon. 2006b. Landfill gas recovery in Moscow – landfill site CHMET’EVODMITROVSKIJ” JOINT IMPLEMENTATION PROJECT 7. August 2006. <http://www.sgsqualitynetwork.com>.

Campman, C. & Yates, A. 2002. Bioreactor landfills: An idea whose time has come. MSW Management 2002.  
[http://www.mswmanagement.com/mw\\_0209\\_bioreactor.html](http://www.mswmanagement.com/mw_0209_bioreactor.html). Luettu 28.9.2005.

Corenso United Oy Ltd. 2005. <http://www.corenso.com>. Luettu 26.9.2005.

Dafecor Oy. 2005. <http://www.dafecor.fi>. Luettu 12.9.2005.

DANCEE. 2003. The Environmental Challenges for Northwest Russia. Thematic Report. [http://www.mst.dk/homepage/default.asp?Sub=http://www.mst.dk/udgiv/Publications/2003/87-7972-708-5/html/kap05\\_eng.htm](http://www.mst.dk/homepage/default.asp?Sub=http://www.mst.dk/udgiv/Publications/2003/87-7972-708-5/html/kap05_eng.htm).

Ekovilla Oy. 2005. <http://www.ekovilla.com>. Luettu 28.9.2005.



Fortum. 2006. [www.fortum.com](http://www.fortum.com)

Guzzone, B. & Muller, D. 2003. User's Manual Mexico Landfill Gas Model, Version 1.0. U.S. Environmental Agency & U.S. Agency for International Development (U.S. EPA & U.S. AID). [http://www.epa.gov/outreach/lmop/int/UsersManualMexico\\_LFG\\_modelV1\\_5.pdf](http://www.epa.gov/outreach/lmop/int/UsersManualMexico_LFG_modelV1_5.pdf). Luettu 17.5.2005.

Hakkarainen, M. 2005. Proventia Automation Oy. <http://webserv2.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/Kaynnissa/Streams/fi/tulokset/3-proventia.html>. Luettu 9.8.2005.

Hietanen, O. 2005. Megatrendit ja tulevaisuuden jätehuolto. Esitelmä Streams-tekniologiaohjelman päätösseminaarissa 24.5.2005, Lahti. <http://webserv2.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/Kaynnissa/Streams/fi/Seminaarit/24-5-2005loppuseminaari.html>.

High Technology Finland. 2002. <http://www.hightechfinland.com/2002/energy-theenvironment/sivu.php?id=metso4&listby=>. Luettu 21.9.2005.

IPCC. 2000a. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>. Luettu 1.6.2005.

IPCC. 2000b. Methodological and Technological issues in Technology Transfer. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. <http://www.grida.no/climate/ipcc/tectran/index.htm>. Luettu 20.7.2005.

Kangas, K. 2005. Uusi tuote maailmanmarkkinoille. Esitelmä Tekesin Streams-tekniologiaohjelman päätösseminaarissa 24.5.2005, Lahti. <http://webserv2.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/Kaynnissa/Streams/fi/Seminaarit/24-5-2005loppuseminaari.html>.

Karhulan lasi Oy. 2006. <http://www.karhulanlasi.fi/>. Luettu 2.3.2006.

Kiertokapula Oy. 2006. Biojätteen käsittely. Kompostointi. <http://www.kiertokapula.fi/myynti.php> . Luettu 20.2.2007.

Kuittinen, V., Huttunen, M. & Leinonen, S. 2006. Suomen biokaasulaitosrekisteri IX. Tiedot vuodelta 2005. Joensuun yliopisto, Karjalan tutkimuslaitoksen raportteja No 3/2006. [www.biokaasuyhdistys.net](http://www.biokaasuyhdistys.net).

Marttinen, S., Jokela, J., Rintala, J. & Kettunen, R. 2000. Jätteiden hajoaminen kaatopaikalla sekä kaatopaikkavesien muodostuminen, ominaisuudet ja käsittely. Kaato 2001 -hanke, kirjallisuuskatsaus 20.6.2000. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, bio- ja ympäristötieteiden laitos. <http://www.jly.fi/katsaus2.pdf>.

Mepak-Kierrätys Oy. 2005. <http://www.mepak.fi/mepak.htm>. Luettu 5.10.2005.

Metsäteollisuus ry. 2005. Tilastot. Keräyspaperin ja kartongin talteenottoaste vuonna 2004. <http://www.forestindustries.fi/tilastot/#energia>. Luettu 29.9.2005.

Muovix Oy. 2007. <http://www.muovix.fi>. Luettu 16.3.2007.

Pakkausalan ympäristörekisteri PYR Oy. 2002. PYR tiedottaa 2/2002. Innolasi valmistaa kierrätetystä pakkauslasista tyylikkäättä lasilaattoja. <http://www.pyr.fi/images/Lehti0202.pdf>. Luettu 8.8.2005.

Pakkausalan ympäristörekisteri PYR Oy. 2005. <http://www.pyr.fi>. Luettu 5.10.2005.

Persson, M. 2003. Utvärdering av uppgraderingstekniker för biogas. Svenskt Gastekniskt Center. Rapport SGC 142. November 2003. 69 s. + liite.

Plastics Europe. 2005. Eco-profiles of the European Plastics Industry. Polypropylene (PP). A report by I Boustead for PlasticsEurope. <http://www.plasticseurope.org>.

Prizztech. 2003. Kaatopaikkakaasun hyödyntäminen. <http://www.kunnat.net>. Luettu 27.2.2007.

Rakennustietosäätiö RTS. 2005. RT-ympäristöselosteet. <http://www.rts.fi/ymparistoseloste/index.htm>.

Ria Novosti. 2006. Gas price in Russia may double in 2007 – LUKoil head. Russian news and information agency. Luettu 18.10.2006. <http://en.rian.ru/business/20061018/54923077.html>.

Saint Gobain Isover Oy. 2003. Operational Report 2003. <http://www.isover.fi/fi/Yritysesittely/Ymp%c3%a4rist%c3%b6+ja+laatu/Toimintaraportit/>.

Saint-Gobain Isover Oy. 2005. <http://www.isover.fi>. Luettu 3.10.2005.

Salmela, J. 2007. YTV: Kirjallinen tiedonanto 4.1.2007.

Selluvilla-Eriste Oy. 2005. <http://www.selluvilla.net>. Luettu 28.9.2005.

SOEX. 2005. <http://www.soex.de/english/index.html>. Luettu 12.9.2005.

Speranskaya, O., Tsitser, O., Kiselev, A., Vasilieva, E., Voronovich, N. & Levashov, D. 2006. Chemicals management policy of the Russian Federation. [http://www.chemsec.org/documents/Chemicals\\_management\\_Russia.pdf#search=%22chemicals%20management%20of%20russian%20federation%22](http://www.chemsec.org/documents/Chemicals_management_Russia.pdf#search=%22chemicals%20management%20of%20russian%20federation%22).

St. Petersburg Times. 2005. St. Petersburg Times – Business – Ecologists Rubbish City waste plans. St Petersburg Times. 15. April 2005. <http://www.sptimes.ru/story/>.

Suomen keräyslasiyhdistys. 2005. <http://www.kerayslasiyhdistys.fi>. Luettu 29.9.2005.

Suomen uusioaines. 2005. <http://www.uusioaines.com>. Luettu 21.12.2005.

Suomen uusiomuovi Oy. 2005. <http://www.suomenuusiomuovi.fi>. Luettu 3.10.2005.

SYKE. 2005. Suomen ympäristökeskus. Energiantuotannon aineistoa. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=13583&lan=fi>. Luettu 27.10.2005.

Termex Eriste Oy. 2005. [www.termex.fi](http://www.termex.fi). Luettu 28.9.2005.

Tilastokeskus. 2005. Yhdyskuntajätteet 2004. <http://www.stat.fi>.

Tilastokeskus. 2006. Yhdyskuntien sekajäte jätehuollon kompastuskivi. Tiedote 13.12.2006. <http://stat.fi/til//index.html>. Luettu 9.2.2007.

Tilastokeskus. 2007. Vuoden 2005 kasvihuonekaasupäästöt alle Kioton tason. Tiedote 16.1.2007. <http://www.stat.fi>.

UNFCCC. 2007. Approved baseline and monitoring methodologies. <http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/approved.html>.

Waste to energy. 2005. Waste to Energy Town Twinning Conference in Jyväskylä, Finland. Jyväskylä – Potsdam – Poznan – Debrecen, 14–17 September 2005. <http://www.jykes.fi/towntwinning>.

Wellman, Inc. 2005. <http://www.wellmaninc.com>. Luettu 29.9.2005.

Yazdani, R., Kieffer, J. & Akau, H. 2002. Full scale landfill bioreactor project at the Yolo county central landfill. Final report. <http://www.yolocounty.org/recycle/docs/CIWMB.pdf>. Luettu 28.6.2005.

Ympäristöministeriö. 2002. Tarkistettu valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2005. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=5016&lan=fi>. Luettu 4.4.2006.

Ympäristöministeriö. 2005. Jätevedenpuhdistamojen liete. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=146153&lan=FI>. Luettu 16.8.2005.

Ympäristöyritysten liitto ry. 2005a. Hyötykäyttö. <http://www.ymparistoyritykset.fi/hytykytt>. Luettu 28.9.2005.

Ympäristöyritysten liitto ry. 2005b. Hyötykäyttö ja lopputuotteet 2005. <http://www.ymparistoyritykset.fi/hytykyttjalopput>. Luettu 28.9.2005.

# Liite 1: Kaatopaikalle sijoitetun jätteen metaanimuodostuksen arviointi

## FOD-malli

Ensimmäisen kertaluvun hajoamismallit (First order decay model, FOD-mallit) ottavat huomioon kaasunmuodostuksen aikakäyttäytymisen ja edellyttävät sen vuoksi laajaa historiallista tausta-aineistoa kaatopaikalle sijoitetusta jätteestä. IPCC:n hyvän arviointikäytännön ohjeissa (IPCC 2000a) suositetaan käytettäväksi FOD-mallia kaatopaikkojen metaanipäästöjen laskemisessa, sillä se kuvaa parhaiten ajan kuluessa muuttuvaa todellista hajoamisprosessia. FOD-mallin mukaan vuonna  $t$  muodostuva metaani lasketaan kaavalla

$$CH_4^{\text{muodostunut}} [Gg/a] = \sum_{x=t_0}^t A \cdot k \cdot W(x) \cdot L_0 \cdot e^{-k(t-x)},$$

missä

$t_0$  = laskennan aloitusvuosi

$A$  = summauksen normeeraus tekijä [-],  $A = (1 - e^{-k}) / k$

$k$  = metaanin muodostumisnopeus [1/a],  $k = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$

Arvioidaan jätteessä olevan orgaanisen aineen puoliintumisajan  $t_{1/2}$  mukaan. Se on aika, joka kuluu orgaanisen aineen massan vähenemiseen puoleen alkuperäisestä. Hajoamisnopeus riippuu lämpötilasta, pH:sta, ravinteiden saatavuudesta ja jätteen kosteudesta sekä tietenkin jätteen laadusta. IPCC (2000a) suosittaa oletusarvoksi hajoamisnopeudelle 0,05 (vastaa noin 14 vuoden puoliintumisaikaa), jos mitään muuta tietoa ei ole saatavilla.

$W(x)$  = vuonna  $x$  sijoitettu jätemäärä [Gg]

$L_0$  = metaanin muodostumispotentiaali [ $Gg_{CH_4}/Gg_{\text{jäte}}$ ]:  
 $L_0 = MCF \cdot DOC \cdot DOC_F \cdot F \cdot 16/12$

$MCF$  = Metaanin korjauskerroin, kuvaa kaatopaikan olosuhteiden vaikutusta metaanin muodostumiseen. Matalan, hoitamattoman kaatopaikan metaanin muodostuspotentiaali on vain 40 % hyvin hoidetun kaatopaikan vastaavasta (taulukko 1).

*Taulukko 1. Kaatopaikkaolosuhteiden vaikutus metaanin muodostuspotentiaaliin.*

Kaatopaikan tyyppi	MCF (Methane Correction Factor)
Hoidettu	1
Hoitamaton – syvä (≥ 5 m)	0,8
Hoitamaton – matala (< 5 m)	0,4
Luokittelematon	0,6

DOC(x) = biologisesti hajoavan hiilen osuus jätteestä [gC/gjäte]:

$$\text{DOC} = 0.4 (A) + 0.17 (B) + 0.15 (C) + 0.30 (D)$$

A = paperin ja tekstiilien osuus (%)

B = puutarha- ym. non-food orgaanista maatuva jätettä

C = ruokajätettä

D = puuta ja olkea

DOC<sub>F</sub> = kaatopaikkakaasuksi muuttuvan hiilen osuus jätteestä [paino-%], yhdyskuntajätteelle oletusarvo on 0,77, mutta jos DOC sisältää ligniiniä, käytetään oletusarvoa 0,5–0,6.

F = metaanin osuus kaatopaikkakaasussa [gC (CH<sub>4</sub>)/gC (kp-kaasu)]

16/12 = konversiokerroin hiilestä metaaniksi [g<sub>CH<sub>4</sub></sub>/g<sub>C</sub>].

Osa muodostuvasta metaanista kerätään talteen kaasunkeräysjärjestelmällä ja osa hapetuu kaatopaikan pintakerroksissa. Metaanipäästöt kaatopaikoilta voidaan laskea kaavalla

$$CH_4^{päästöt} [Gg/a] = (CH_4^{muodostunut} - R) \cdot (1 - OX),$$

missä

R = talteenotettu metaani [Gg/a]

OX = pintakerroksissa hapettuvan metaanin osuus [-].

Hapettuminen pintakerroksissa riippuu kaatopaikan olosuhteista. Lämpötilan vaikutus on merkittävä, ja Suomen oloissa talvella hapettumista tapahtuu huomattavasti vähemmän kuin kesäaikana. Myös kaatopaikan rakenteellisilla ratkaisuilla on mahdollista vaikuttaa positiivisesti pintakerroksen hapettamiskykyyn. Hyvin hoidetulla nykyaikaisella kaatopaikalla noin 10 % metaanista hapetuu pintakerroksissa. Tätä suuremmat arvot edellyttävät yleensä kaatopaikan pintakerrokselta erikoisrakenteita.

Jos talteenotetun kaatopaikkakaasun määrästä ei ole saatavilla tietoa, voidaan se arvioida samaan tapaan kuin pintakerroksissa hapettuvan metaanin määrä. Tällöin tulee arvioida kaasunkeräyslaitteiston tehokkuus eli se, kuinka suuren osan muodostuvasta metaanista laitteisto pystyy ottamaan talteen.

## Liite 2: Kaatopaikkahankkeen päästövähennyksen arviointi

Kaatopaikkakaasun talteenoton ja hyötykäytön tuottama päästövähennys arvioidaan UNFCCC:n ACM0001-metodologian ”Consolidated baseline methodology for landfill gas project activities” mukaisesti seuraavasti:

$$ER_y = (MD_{project,y} - MD_{reg,y}) * GWP_{CH4} + EG_y * CEF_{electricity,y} + ET_y * CEF_{thermal,y}$$

missä

$ER_y$	vuonna y saavutettu kasvuhuonekaasupäästön vähenemä
$MD_{project,y}$	vuonna y projektin ansiosta aikaansaatu metaanin poltto
$MD_{reg,y}$	metaanimäärä, joka normaalisti olisi poltettu tai hävitetty, vaikka projekti ei olisi toteutunut
$GWP_{CH4}$	metaanin globaali lämmityspotentiaali (21)
$EG_y$	projektitoiminnan johdosta korvattu/säästetty sähkömäärä vuodessa
$CEF_{electricity,y}$	korvatus, muualla tuotetun sähköenergian CO <sub>2</sub> -päästökerroin
$ET_y$	korvatus, muualla tuotetun lämpöenergian määrä
$CEF_{thermal,y}$	korvatus, muualla tuotetun lämpöenergian päästökerroin.



## Liite 3: YTV:n Ämmässuon nykyisen kaatopaikka-alueen metaanin tuoton arviointi

### Laskelmien parametrivalinnat

Puoliintumisaika (t1/2):	12	
Hajoamisnopeuskerroin (k) ( $k=\ln(2)/t1/2$ )	0,0578	
$e^{-k*1}$	0,944	
Metaanin muodostuksen alkamiskuukausi, M	13	
$e^{-k*(13-M/12)}$	1	
Orgaanisen hiilen määrä (DOC) MSW:ssä	0,191	Laskettu pääkaupunkiseudun jätteen koostumuksesta (YTV 2004). Suomen kansallisessa päästöinventaariossa käytetty arvoa 0,1975 (perustuu vuoden 1990 jätteen koostumukseen). IPCC:n maakohtaiset arviot 0,08–0,21.
DOCf	0,5	
Metaanin osuus kaatopaikkakaasussa (F)	0,5	
Muuntumiskerroin C -> CH4	1,33	= 16/12
Sijoituksen aloitusvuosi	1987	

### Jättemäärät (Kirsi Karhu, YTV, kirjallinen tiedonanto 2007)

Vuosi	Sijoitettu jätemäärä	Sijoitettu sekajäte
	Gg	Gg
1987	579,6	403,7
1988	597	417,1
1989	638	437,5
1990	607,3	422,3
1991	508,1	419,1
1992	435,5	380,3
1993	404	342,6
1994	501,1	351,9
1995	414,8	344,1
1996	467,6	328,1
1997	540,7	315,3
1998	574,8	354,7
1999	582,2	377,4
2000	675,2	393,2
2001	680,4	381,7
2002	677,9	363,05
2003	596,3	334,4
2004	544,7	297,2
2005	622,4	288
2006	630	298
2007	620	280

Tekijä(t) Mroueh, Ulla-Maija, Ajanko-Laurikko, Sirke, Arnold, Mona, Laiho, Anna, Wihersaari, Margareta, Savolainen, Ilkka, Dahlbo, Helena & Korhonen, Marja-Riitta		
Nimeke <b>Uusien jätteenkäsittelykonseptien mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä</b>		
Tiivistelmä <p>Jätehuollon osuus maailmanlaajuisista ihmisen toiminnan aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä on 3–4 %. Merkittävien päästölähde on kaatopaikkojen metaanintuotanto. Jätehuollon voimakkaan kehityksen ja päästöjen vähentämistä tukevat myös mahdollisuudet uusien päästöjä vähentävien ratkaisujen, teknologioiden ja osaamisen viettiin ovat parantuneet. Alalle tuo uusia liiketoimintamahdollisuuksia myös Kioton pöytäkirjan hankemekanismin, puhtaan kehityksen mekanismin (CDM) ja yhteistoteutuksen (JI) hyödyntäminen. Näiden joustomekanismien puitteissa Kioton pöytäkirjan liitteen I maat (teollisuus- ja siirtymätalousmaat, joille on määritelty sitovat kasvihuonekaasujen rajoittamis- ja vähentämisvelvoitteet) voivat hankkia päästöyksiköitä, jotka ovat peräisin toisista maista, ja käyttää niitä kansallisen velvoitteensa täydentämisessä.</p> <p>Uusiin jätteenkäsittelykonsepteihin liittyvien liiketoimintamahdollisuuksien ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämismahdollisuuksien arvioimiseksi tarkasteltiin seuraaviin jätehuollon osa-alueisiin liittyviä käsittelykonsepteja: jätteiden jalostaminen tuotteiksi, jätteiden biohajoavan fraktion käsittely ja hyötykäyttö, jätteiden energiakäyttö ja jätteiden kaatopaikkasijoitus. Merkittävimpien uusien teknologioiden toimivuuden ja päästöjen vähentämistehokkuuden arvioinnin lisäksi analysoitiin valittujen konseptien taloudellista kannattavuutta CDM- tai JI-hankkeissa.</p> <p>Kioton hankemekanismin puitteissa kustannustehokkaimmiksi jätehuoltohankkeiksi osoittautuivat esimerkkilaskelmassa kaatopaikkakaasujen keräys ja soihutpolto sekä tietyin edellytyksin biokaasun tuotanto ja jätteen käyttö energiantuotannossa. Biokaasun tuotanto maatalouden jätteistä ja lietteistä tai muista biohajoavista lietteistä on CDM- ja JI-hankkeissa yleensä taloudellisesti ja teknisesti parempi vaihtoehto kuin biokaasun tuotanto lajitellusta yhdyskuntajätteestä. Päästövähennyksistä saatavan hyvityksen ja lyhyen, nykyisen Kioton kauden kestäväksi oletetun hyvityskauden takia oli taloudellisesti edullisinta tuottaa nopeasti suuri päästövähennys pienellä investoinnilla. Tässä suhteessa CDM- ja JI-hankkeet poikkeavat muista jätehuoltohankkeista, joissa kaatopaikkakaasun energiahyödyntäminen ja jätteen energiakäyttö usein arvioidaan kaatopaikkakaasun soihutpoltoa kustannustehokkaammiksi kasvihuonekaasupäästöjen vähentämismenetelmiksi.</p> <p>Tutkimuksessa jätteenkäsittelykonsepteja tarkasteltiin erillisinä kokonaisuuksina. Käytännön hankkeissa lähtöoletukset, tarkasteltava jätehuollon kokonaisuus, syntyvän energian tai tuotteiden hyödyntämismahdollisuudet ym. seikat vaikuttavat merkittävästi tulokseksi saatavaan kasvihuonekaasujen vähentämistehokkuuteen. Tämä ilmeni mm. materiaalihyödyntämisen esimerkkitarkasteluissa, joissa kierrätetystä materiaalista valmistetun tuotteen kasvihuonekaasupäästöjä verrattiin vastaavan neitseellisestä materiaalista valmistetun tuotteen elinkaaren aikaisiin päästöihin. Tuloksiin vaikuttavat mm. vertailukohteenä käytetty tuote, jättemateriaalin käsittelytapa ja lopputuotteen kohtalo käytön jälkeen. Esimerkiksi tapauksessa, jossa jättemuovista valmistetun profiilin oletettiin korvaavan kyllästetystä puusta valmistettua tuotetta, prosessointi muoviprofiiliksi vähensi kasvihuonekaasupäästöjä vain tietyin edellytyksin. Tulokset olisivat kuitenkin erilaisia, jos vertailukohteenä olisi ollut fossiiliperäinen tuote.</p>		
ISBN 978-951-38-6959-5 (nid.) 978-951-38-6960-1 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		Projektinumero 270
Julkaisuaika Syyskuu 2007	Kieli Suomi, engl. abstr.	Sivuja 170 s. + liitt. 5 s.
Projektin nimi UJKON		Toimeksiantaja(t) Tekes, YTV, Vapo Oy, Kuusakoski Oy
Avainsanat waste management, greenhouse gas emissions, emission reduction, waste treatment technology, biowaste, landfill, waste incineration, waste recycling, material recovery, Kyoto Mechanisms, CDM, JI, market potential		Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374

<p>Author(s) Mroueh, Ulla-Maija, Ajanko-Laurikko, Sirke, Arnold, Mona, Laiho, Anna, Wihersaari, Margareta, Savolainen, Ilkka, Dahlbo, Helena &amp; Korhonen, Marja-Riitta</p>		
<p>Title <b>New waste management concepts in the reduction of greenhouse gas emissions</b></p>		
<p>Abstract Globally, solid waste disposal causes about 3–4% of anthropogenic greenhouse gas emissions. The most significant emission source is methane production at landfills. The opportunities for export of new waste treatment technologies, solutions and know-how have improved due to the emission reduction requirements and the fast development of waste management both in Europe and developing countries. The CDM (Clean Development Mechanism) and JI (Joint Implementation) programmes under the Kyoto protocol also create new market potential in the waste management area. Within the limits of these mechanisms) the Annex I countries (industrialized countries and countries with economies in transition) can pay for projects that cut or avoid emissions in other countries and are awarded with credits that can be applied to meeting their own emission targets.</p> <p>The aim of the project was to estimate the market potential and greenhouse gas emission reduction potential of new waste management concepts. Several potential concepts in the following waste management sectors were included in the study: processing of waste into new products, treatment and utilisation of biowaste, energy production from waste and landfill disposal. In addition to the technical feasibility and emission reduction potential of the most significant technological alternatives, the economic feasibility of a few selected concepts for CDM or JI projects was analyzed.</p> <p>Based on case studies, landfill gas collection and flaring, as well as, with certain preconditions, production of biogas and production of energy from waste, are generally the most cost-effective alternatives in the projects under Kyoto mechanisms. Production of biogas from agricultural waste and sludge, as well as from other biodegradable sludge, is often more feasible in CDM and JI projects than production of biogas from source-separated biological fraction of municipal waste. Because of the crediting and the assumed short crediting period (five year Kyoto period), the projects producing a rapid emission reduction with a small investment proved in case studies to be economically most feasible. In this respect the Kyoto projects differ from other waste management projects where, in many cases, the investment in waste incineration or energy production from collected landfill gas turns out to be a cost-effective greenhouse gas reduction method.</p> <p>In this project, each waste management concept was studied as a separate system. In practice, the organization of the whole waste management system and the starting values of calculations may significantly impact the greenhouse gas reduction efficiency of newly introduced measures. This was shown especially in the case studies on material recovery, where life cycle assessment methodology was used in the comparison of the greenhouse gas emissions of a product produced from recycled material with those of a corresponding product made from virgin material. The most significant factors that influenced the results were the product used in the comparison, the method used for processing the waste material and what happened to the product after use. For example, in the comparison of a plastic profile made from recovered plastics with a conventional impregnated wood structure, the reduction of greenhouse emissions depended on whether the products were combusted or sent to a landfill at the end of their life cycle. The results could be different if the virgin product used in comparison was made from a fossil based material.</p>		
<p>ISBN 978-951-38-6959-5 (soft back ed.) 978-951-38-6960-1 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a>)</p>		
<p>Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (soft back ed.) 1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a>)</p>		<p>Project number 270</p>
<p>Date September 2007</p>	<p>Language Finnish, English abstr.</p>	<p>Pages 170 p. + app. 5 p.</p>
<p>Name of project UJKON</p>		<p>Commissioned by Tekes, YTV, Vapo Oy, Kuusakoski Oy</p>
<p>Keywords waste management, greenhouse gas emissions, emission reduction, waste treatment technology, biowaste, landfill, waste incineration, waste recycling, material recovery, Kyoto Mechanisms, CDM, JI, market potential</p>		<p>Publisher VTT Technical Research Centre of Finland P.O.Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374</p>

## VTT Tiedotteita – Research Notes

- 2387 Henttonen, Katja. Stylebase for Eclipse. An open source tool to support the modeling of quality-driven software architecture. 2007. 61 p. + app. 15 p.
- 2388 Lanne, Marinka & Kupi, Eija. Miten hahmottaa security-ala? Teoreettinen malli Suomen security-liiketoiminta-alueista. 2007. 52 s. + liitt. 1 s.
- 2389 Leikas, Jaana & Lehtonen, Lauri. Ikääntyvien idealiike. Käyttäjälähtöisellä innovoinnilla elämänmakuisia mobiilipalveluja. 2007. 34 s.
- 2390 Tuominen, Anu, Ahlqvist, Toni, Rämä, Pirkko, Rosenberg, Marja & Räsänen, Jukka. Liikennejärjestelmän teknologiapalvelujen vaikutusarvioinnit tulevaisuudessa. 2007. 64 s. + liitt. 5 s.
- 2391 Mikkola, Markku & Pirttimäki, Antti. Tuotekehitys Kiinassa. Uhka, mahdollisuus vai yhden-tekevää? 2007. 31 s.
- 2392 Kettunen, Jari, Rakshit, Krishanu & Uoti, Mikko. Electronic India. Market trends and industry practices in IT services, telecoms and online media. 2007. 98 p. + app. 2 p.
- 2394 Herrala, Maila. The value of transport information. 2007. 87 p. + app. 5 p.
- 2395 Aarnisalo, Kaarina, Heiskanen, Seppo, Jaakkola, Kaarle, Landor, Eva & Raaska, Laura. Traceability of foods and foodborne hazards. 2007. 46 p. + app. 2 p.
- 2396 Nylund, Nils-Olof, Erkkilä, Kimmo, Clark, Nigel & Rideout, Greg. Evaluation of duty cycles for heavy-duty urban vehicles. Final report of IEA AMF Annex XXIX. 2007. 81 p. + app. 10 p.
- 2397 Helynen, Satu, Flyktman, Martti, Asikainen, Antti & Laitila, Juha. Metsätalouteen ja metsäteollisuuteen perustuvan energialiiketoiminnan mahdollisuudet. 2007. 66 s.
- 2398 Jansson, Kim, Mikkola, Markku & Ryyänen, Tapani. Verkostoyhteistyöllä Kiinaan? SeaChi-projektin loppuraportti. 2007. 46 s. + liitt. 6 s.
- 2399 Hänninen Hannu, Brederholm, Anssi, Saukkonen, Tapio, Gripenberg, Hans, Toivonen, Aki, Ehrnstén, Ulla & Aaltonen, Pertti. Hot cracking and environment-assisted cracking susceptibility of dissimilar metal welds. 2007. 182 p.
- 2400 Ailisto, Heikki, Matinmikko, Tapio, Häikiö, Juha, Ylisaukko-oja, Arto, Strömmer, Esko, Hillukkala, Mika, Wallin, Arto, Siira, Erkki, Pöyry, Aki, Törmänen, Vili, Huomo, Tua, Tuikka, Tuomo, Leskinen, Sonja & Salonen, Jarno. Physical browsing with NFC technology. 2007. 70 p.
- 2401 Häkkinen, Tarja, Vares, Sirje, Huovila, Pekka, Vesikari, Erkki, Porkka, Janne, Nilsson, Lars-Olof, Togerö, Åse, Jonsson, Carl, Suber, Katarina, Andersson, Ronny, Larsson, Robert & Nuorkivi, Isto. ICT for whole life optimisation of residential buildings. 2007. 207 p.
- 2402 Mroueh, Ulla-Maija, Ajanko-Laurikko, Sirke, Arnold, Mona, Laiho, Anna, Wihersaari, Margareta, Savolainen, Ilkka, Dahlbo, Helena & Korhonen, Marja-Riitta. Uusien jätteenkäsittelykonseptien mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. 2007. 170 s. + liitt. 5 s.
- 2403 Toivonen, Santtu. Web on the Move. Landscapes of Mobile Social Media. 2007. 56 p. + app. 3 p.
- 2404 Vares, Sirje & Lehtinen, Jarkko. Lasipakkausten keräysjärjestelmän tehostaminen ja lasin hyötykäytön ympäristövaikutukset. 2007. 122 s.
- 2405 Olin, Markus, Lahti, Seppo, Valli, Asko, Hasari, Heikki, Koistinen, Ari & Leppänen, Seppo. SISU. Simuloinnin ja suunnittelun uudet sovellustavat ja liiketoiminta. Projektin tavoitteet ja simulointiesimerkkien yhteenveto. 2007. 58 s.
- 2406 Häkkinen, Kai, Hemilä, Jukka, Uoti, Mikko, Salmela, Erno, Happonen, Ari, Hämäläinen, Harri, Siniluhta, Eero, Nousiainen, Jukka & Kärkkäinen, Mikko. VMI teollisuudessa. Teoriaa, teknologiaa ja sovelluksia. 2007. 142 s.
- 2407 Koskela, Mika & Haajanen, Jyrki. Business Process Modeling and Execution. Tools and technologies report for SOAMeS project. 2007. 63 p. + app. 2 p.

Jätehuollon kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen on useimpiin muihin toimialoihin verrattuna kustannustehokasta, koska kaatopaikoilla syntyvä metaani on voimakas kasvihuonekaasu. Lisäksi jätehuolto kehittyy voimakkaasti, joten uusien teknologioiden käyttöönotto mahdollistaa tehokkaat päästövähennykset.

Tutkimuksessa arvioitiin uusien jätteenkäsittelykonseptien mahdollisuuksia kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä ja tarkasteltiin, miten Kioton hankemekanismeja voidaan hyödyntää jättesektorin liiketoiminnassa. Jätteenkäsittelykonsepteista energiahyödyntämisvaihtoehdot ja kaatopaikkakaasun talteenotto jo olemassa olevilta kaatopaikoilta ovat usein kustannustehokkaimpia keinoja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Valmistettaessa tuotteita kierrätysmateriaaleista kasvihuonekaasupäästötase on yleensä edullisin, jos kierrätetyllä materiaalilla voidaan korvata fossiilipohjaisia. Kioton hankkeissa ovat nykytilanteessa kustannustehokkaimpia hankkeet, joissa saavutetaan suuri päästövähennys pienin investointikustannuksin.

Julkaisu on saatavana	Publikationen distribueras av	This publication is available from
VTT PL 1000 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374	VTT PB 1000 02044 VTT Tel. 020 722 4404 Fax 020 722 4374	VTT P.O. Box 1000 FI-02044 VTT, Finland Phone internat. + 358 20 722 4404 Fax + 358 20 722 4374