SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN
RAPORTTEJA 12 | 2006

Ympäristönäkökulmat jätteen hyödyntämisessä energiana ja materiaalina

Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016
Taustaselvitys Osa III

Tuuli Myllymaa, Antti Tohka, Helena Dahlbo ja Jyrki Tenhunen

Suomen ympäristökeskus

SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN
RAPORTTEJA 12 | 2006

Ympäristönäkökulmat jätteen hyödyntämisessä energiana ja materiaalina

Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016
Taustaselvitys Osa III

Tuuli Myllymaa, Antti Tohka, Helena Dahlbo ja Jyrki Tenhunen

Helsinki 2006

SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS

SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUKSEN RAPORTTEJA 12 | 2006
Suomen ympäristökeskus
Asiantuntijapalveluosasto

Taitto: Pirjo Lehtovaara

Julkaisu on saatavana myös internetistä:
www.ymparisto.fi/julkaisut

Edita Prima Oy, Helsinki 2006

ISBN 952-11-2390-7 (nid.)
ISBN 952-11-2391-5 (PDF)
ISSN 1796-1718 (pain.)
ISSN 1796-1726 (verkkoj.)

ALKUSANAT

Uuden valtakunnallisen jätesuunnitelman (VALTSU) valmistelu aloitettiin kesällä 2005 ja tavoitteena on saada uusi suunnitelma valmiiksi vuoden 2006 loppuun mennessä. Osana valmisteluprosessia on tuotettu joukko selvityksiä, joissa arvioidaan jätehuollon toteuttamisen vaihtoehtoja eri näkökulmista. Tämä jätteiden hyödyntämisvaihtoehtojen ympäristökuormitusta arvioiva tutkimus on yksi näistä selvityksistä.

Tutkimus on toteutettu Suomen ympäristökeskuksessa (SYKE) kahden tutkimusohjelman, Tuotannon ja kulutuksen sekä Globaalimuutoksen tutkimusohjelman, yhteistyönä. Tavoitteena on ollut koota elinkaariajattelun periaatteiden mukaisesti jätteiden hyötykäyttövaihtoehtojen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt ja muut olennaiset ympäristönäkökohdat. Tarkastellut hyötykäyttövaihtoehdot ovat erilaisia jätteiden poltto- ja kierrätystekniikoita. Tulosten perusteella on arvioitu eri menetelmiä ympäristövaikutusten minimoinnin näkökulmasta. Tiedot on koottu kirjallisuuslähteistä ja täydennetty prosessikohtaisilla tiedoilla.

Raportin alustavat tulokset esitettiin ensimmäistä kertaa VALTSU-seminaarissa, joka järjestettiin 9.5.2006 Suomen ympäristökeskuksen auditoriossa. Tilaisuudessa esille tulleet asiat on huomioitu työn viimeistelyvaiheessa mahdollisuuksien mukaan. Lisäksi olemme tutkimusprosessin kuluessa saaneet asiantuntevaa palautetta VALTSU-työtä koordinoivilta Raimo Liljalta ja Markku Kukkamäeltä, heille suuret kiitokset.

Helsingissä 30. kesäkuuta 2006

Tuuli Myllymaa, Antti Tohka, Helena Dahlbo ja Jyrki Tenhunen
etunimi.sukunimi@ymparisto.fi

SISÄLLYS

Alkusanat ... 3

1 Johdanto ... 7

1.1 **Tausta ja tavoitteet** ... 7

1.2 **Tutkimuksen rajaukset** ... 8

2 Aineisto ja menetelmät ... 10

2.1 **Jätteiden määrä, alkuperä ja polttokelpoisuus** ... 10

2.1.1 Tuotannon jätteet ... 10
2.1.2 Rakentamisen jätteet ... 14
2.1.3 Yhdyskuntajätteet ... 15
2.1.4 Yhdyskuntien jätevesiliete ... 16
2.1.5 Yhteenveto syntyneistä, hyötykäytetyistä ja kaatopaikalle sijoitetuista jätteistä ... 16

2.2 **Tarkastelu menetelmien vahvuuksista ja heikkouksista ympäristön kannalta** ... 21

2.3 **Arviointi menetelmien mahdollisuuksista vaikuttaa ilmastonmuutoksen hillitsemiseen** ... 21

3 Jätteen energiahyödyntämisen vaihtoehdot ja niiden vaikutukset ... 22

3.1 **Tarkastelussa käytettyjen polttomenetelmien kuvaus** ... 22

3.1.1 Arinapoltto ... 22
3.1.2 Leijukerrospoltto ... 22
3.1.3 Kaasutus ... 22
3.1.4 Muut tekniikat ... 23

3.2 **Tarkastelussa käytetyt jätefraktiot** ... 23

3.2 1 Sekajäte ... 23
3.2.2 Rakennusjäte ... 23
3.2.3 REF, SRF ja RDF ... 23
3.2.4 Yhdyskuntien jätevesilietteet ... 24
3.2.5 Muut sekapolttoaineet ... 24

3.3 **Energiahyötykäyttömenetelmien kasvihuonekaasupäästöt** ... 24

3.3.1 Jätteenpolttolaitos alueellisena energiaratkaisuna ... 24
3.3.2 Kierrätyspolttoaineen valmistuksen alitteeseen jäävän orgaanisen aineksen vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin ... 27
3.3.3 EU:n jätteidenpolttodirektiivin hyötysuhteen merkitys ... 28
3.3.4 Muovin polton kasvihuonekaasutase ... 29

3.4 **Energiahyödyntämismenetelmien muut päästöt** ... 29

3.5 **Jätteen energiahyödyntämisen vahvuudet ja heikkoudet ympäristön kannalta** ... 30

4 Jätteiden materiaalihyödyntämisen vaihtoehdot ja niiden vaikutukset ... 34

4.1 **Mädätys ja sen tuotteena saatujen biomassan ja biokaasun hyödyntäminen** ... 34

4.1.1 Mädätyksessä tuotetun biokaasun hyödyntäminen lämmön ja/tai sähkön tuotannossa ... 34
4.1.2 Mädätyksessä tuotetun biokaasun hyödyntäminen ajoneuvojen polttoaineena ... 35
4.2 **Kompostoinnin lopputuotteen hyödyntäminen** ... 37
4.2.1 Kompostoinnin lopputuotteen hyödyntäminen viherrakentamisessa tai maisemoinnissa ... 38
4.2.2 Kompostoinnin lopputuotteen hyödyntäminen lannoitteena ... 39
4.3 **Puumateriaalin käyttö lastulevyn valmistuksessa** ... 41
4.4 **Puun ja muovin käyttö puu-muovi-komposiitin valmistukseen ja korvaamaan kyllästettyä puuta** ... 42
4.5 **Muovin käyttö muoviprofiilien valmistukseen ja korvaamaan betonia tai terästä** ... 43
4.6 **Kierrätysmuovin käyttö öljystä jalostetun muovin tilalla** ... 44
4.7 **Sekajätteen sisältämien kuitujen erottaminen hylsykartongin valmistukseen** ... 44
4.8 **Muut jätteiden hyötykäyttömenetelmät** ... 45
4.9 **Jätteen materiaalihyödyntämisen vaikutukset ilmastonmuutokseen** ... 46
4.9.1 Jätteiden materiaalihyötykäyttömenetelmien kasvihuonekaasupäästöjen yhteenveto ja vertailu ... 46
4.9.2 Suomessa saavutettavissa oleva kasvihuonekaasupäästöjen säästöpotentiaali tutkittujen menetelmien avulla ... 47
4.10 **Jätteen materiaalihyödyntämisen vahvuudet ja heikkoudet ympäristön kannalta** ... 48
5 Johtopäätökset ... 56
Lähteet ... 59
Liitteet ... 62
Liite 1. Teollisuudessa syntyneet jätteet (mm. Mäenpää soveltaen) ... 62
Liite 2. Suomessa syntyneet yhdyskuntajätteet vuonna 2003 ... 66
Liite 3. Luettelo energialaskuissa käytetyistä tärkeimmistä oletuksista ja laskentaparametreista ... 67
Liite 4. Muovijätteen määrät ja käsittely Suomessa sekä arvio kierrätykseen soveltuvasta teollisuuden ja kaupan muovipakkausjätteestä ... 68
Kuvailulehdet ... 70

1 Johdanto

1.1

Tausta ja tavoitteet

Suomen jätehuolto on murrosvaiheessa. Uusin lainsäädäntö velvoittaa rajoittamaan biohajoavan jätteen kaatopaikkasijoitusta, asettaa jätekohtaiset hyötykäyttötavoitteet ja mm. muuttaa jätevesilietteiden hyötykäyttöön liittyviä vaatimuksia. Lainsäädännön velvoitteiden täyttämiseksi jätehuollon nykykäytäntöjä on muutettava ja jätteiden hyötykäyttöä lisättävä. Käytännön toteutus ja menetelmien valinta annettiin päätettäväksi aluekohtaisesti, mutta päättäjät tuskailevat eri hyödyntämisvaihtojen välillä tiedon puutteen ja priorisointiongelmien kanssa.

Yhdyskuntajätteestä syntypaikkalajittelun jälkeen jäljelle jäävä sekajäte on Suomessa tyypillisimmin sijoitettu kaatopaikoille ilman esikäsittelyä. Kaatopaikalla hajotessaan jätteiden sisältämä orgaaninen aines tuottaa kasvihuonekaasupäästöjä - hiilidioksidia, dityppioksidia ja erityisesti metaania - jotka kiihdyttävät ilmastonmuutosta. Kaatopaikkakaasut on tämän ongelman vähentämiseksi vuodesta 2002 pitänyt kaikilla kaatopaikoilla kerätä talteen ja joko polttaa soihdussa tai hyödyntää energiana.

Ilma- ja vesipäästöjen aiheuttamien ongelmien lisäksi jätteiden kaatopaikkasijoituksessa hukataan luonnonvaroja ja jätteiden sisältämä energiapotentiaali. Kaatopaikkapäästöjen pienentämiseksi EU:ssa on asetettu päämääräksi biohajoavan yhdyskuntajätteen kaatopaikkasijoituksen asteittainen vähentäminen siten, että vuonna 2016 kaatopaikoille päätyisi enää 35 p-% vuonna 1994 syntyneestä biohajoavan yhdyskuntajätteen määrästä (Suomessa 2,1 miljoonaa tonnia). Käytännössä tämä tarkoittaa, että vuonna 2016 kaatopaikoille voi sijoittaa enintään 25 p-% tuolloin syntyväksi arvioidusta biohajoavasta yhdyskuntajätteestä (Ympäristöministeriö 2003). Biohajoavalla jätteellä tarkoitetaan jätettä, joka voi hajota aerobisesti tai anaerobisesti, kuten elintarvike-, puutarha-, paperi- ja kartonkijätettä.

EU:n asettamia tavoitteita on toimeenpantu Suomessa vuodesta 2004 alkaen, jolloin Valtioneuvosto hyväksyi Suomen biohajoavan jätteen strategian. Strategiassa esitetään kansalliset erityistekijät huomioon ottaen valtakunnalliset tavoitteet ja toimintalinjaukset EU:ssa sovitun päämäärän toteuttamiseksi. Lietteiden ja yhdyskuntajätelajien lisäksi biojätestrategiassa tarkastellaan metsä- ja elintarviketeollisuuden, talonrakennuksen, maaseutuelinkeinojen ja terveydenhuollon biohajoavia jätteitä. Strategiaa laatinut työryhmä valitsi strategiavaihtoehdoksi esikäsittelyä painottavan vaihtoehdon, johon sisältyy jätteen synnyn ehkäisyn, kierrätyksen, kiinteistökohtaisen kompostoinnin ja kaatopaikkasijoituksen lisäksi jätepolttoaineen valmistusta ja energiahyödyntämistä sekä jäännösjätteen kompostointia ja sijoittamista kaatopaikalle. Strategian mukaan ilman energiana hyödyntämistä jätteiden hyödyntämiselle asetettuja määrätavoitteita ei voida saavuttaa. Ratkaisut jätehuollon ja kierrätyksen käytännön järjestämisen tasolla jätettiin kuitenkin tehtäväksi aluekohtaisesti.

Suomessa jätehuollon keskeisiä alueellisia toimijoita ovat alueelliset jätelaitokset, jotka vastaavat julkisvastuulla olevien jätelajien huollosta. Tuottajavastuuyhteisöt puolestaan vastaavat jätteistä, jotka kuuluvat julkisvastuun sijaan tuottajavastuun piiriin. Tällaisia jätteitä ovat mm. paperi- ja pakkausjäte. Tuottajavastuuyhteisöjen toimialueena on koko valtakunta, joten hekin vaikuttavat alueellisesti biohajoavien jätelajien virtoihin ja niiden ohjautumiseen hyötykäyttöön sellaisenaan tai osittain.

Reunaehto jätteiden hyödyntämiselle energiana muodostuu lämmön ja sähkön kulutusmarkkinoista. Siten ympäristö- ja kustannusvaikutusten tarkastelut kytkeytyvät energiahuollon järjestämisen kokonaisuuteen. Jätehuoltoyhtiöt, energiayhtiöt ja kunnat ovat jo suunnitelleet ratkaisuja, jotka synnyttäisivät Suomeen suhteellisen kattavan jäteperäisten polttoaineiden käyttöön tukeutuvien voimalaitosten verkoston. Laitosten toteutuminen on kuitenkin vielä epäselvää, sillä useimpien laitosten ympäristölain mukainen lupamenettely on kesken. Luvan myöntämisen jälkeenkin laitoksista usein valitetaan, jolloin toimijat saattavat luopua suunnitelmista (esim. Vantaan Energian Martinlaakson voimalaitos).

Jätteen energiahyödyntämisen lisäämiseen tähtäävät alueelliset suunnitelmat ovat herättäneet runsaasti keskustelua eri hyödyntämisvaihtoehtojen priorisoinnista. Yhtäällä energiahyödyntämisen on nähty uhkaavan materiaalihyödyntämisen edelleen kehittämistä ja syövän resursseja erityisesti jätteen synnyn ehkäisyn edistämiseltä. Toisaalla katsotaan, että jätteiden hyödyntämiselle asetettujen määrällisten tavoitteiden saavuttaminen on mahdotonta ilman energiahyödyntämisen lisäämistä ja synnyn ehkäisystä huolimatta on aina oleva jätettä, jolle energiahyödyntäminen on yksi hyödyntämisvaihtoehto. Lisäksi on esitetty, että energiateknologioiden polttoaineen laadulle asettamat vaatimukset riittäisivät kannustimeksi jätteiden mahdollisimman hyvälle syntypistelajittelulle, joka taas on materiaalihyödyntämisen edellytys.

Tämän selvityksen tavoitteena on tuottaa uutta valtakunnallista jätesuunnitelmaa (VALTSUa) valmistelevan työryhmän käyttöön tietoa jätteiden energia- ja materiaalihyödyntämisen vaihtoehtojen vahvuuksista ja heikkouksista ympäristövaikutusten kannalta. Lisäksi tuotetaan laskennalliset arviot tarkasteltujen energia- ja materiaalihyödyntämisskenaarioiden kasvihuonekaasupäästöistä.

Selvitys toteutettiin Ympäristöministeriön rahoituksella Suomen ympäristökeskuksen tutkimusosastolla tuotannon ja kulutuksen tutkimusohjelman (TTO) sekä globaalimuutosten tutkimusohjelman (GTO) yhteistyönä. Selvityksen suuntaamisesta ja edistymisestä keskusteltiin säännöllisin välein VALTSUa valmistelevan työryhmän sihteeristön kanssa. Alustavia tuloksia esiteltiin toukokuussa 2006 VALTSU-työryhmän kokouksessa sekä kaikille avoimessa VALTSU-seminaarissa. Näissä tilaisuuksissa saatu palaute otettiin mahdollisuuksien mukaan huomioon selvityksen viimeistelyssä ja täydentämisessä.

1.2

Tutkimuksen rajaukset

Tässä selvityksessä tarkastellaan polttokelpoisen jätteen energia- ja materiaalihyödyntämisen vaihtoehtoja. Tarkastelu on rajattu nykyisellään hyödyntämättömänä kaatopaikoille päätyvään polttokelpoiseen jätteeseen. Jätemäärien lähtötietoina ovat vuoden 2003 tilastoaineistot (FINWASTE, Tilastokeskus jne.), jotka ovat viimeisimmät sekä yhdyskunta- että teollisuusjätteen määrät sisältävät aineistot. FINWASTE-hankkeen aineistosta käytettävissä oli lokakuun 2005 materiaali (Mäenpää 2005).

Tarkastelussa on keskitytty eri hyödyntämismenetelmiin ja niiden ympäristövaikutuksiin. Lisäksi on tehty koko Suomen ns. kasvihuonekaasusäästöpotentiaalia arvioiva laskelma, jonka arvioidaan kuvaavan tilannetta nykyhetkestä 10 vuotta eteenpäin. Oletuksena jätemäärien kehittymiselle tällä jaksolla on nollakehitys eli

jätemäärät eivät kasva eivätkä vähene. Viime vuosien jätemäärätiedot ovat antaneet indikaatioita tämän oletuksen tueksi.

Selvityksessä tarkasteltavaksi keskeiseksi ympäristövaikutukseksi valittiin ilmastonmuutos ja sitä kiihdyttävät kasvihuonekaasupäästöt. EU:n jätteiden synnyn ehkäisyn ja kierrätyksen edistämiseksi laaditun strategian ympäristövaikutusten arvioinnissa ilmastonmuutosvaikutukset on nostettu keskeisimmäksi tarkastelukohteeksi, koska jätehuoltovaihtoehtojen välillä on todettu esiintyvän suurimpia eroja nimenomaan tämän vaikutusluokan osalta. Muita ympäristövaikutuksia arvioitiin tässä selvityksessä tapauskohtaisesti. Kasvihuonekaasupäästöjen ohella laskennallisia arvioita tuotettiin jätteiden energiahyödyntämisen happamoittavista ja terveydelle haitallisista päästöistä.

Tässä selvityksessä ei tehty hyötykäyttömenetelmien kustannusarviota.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1

Jätteiden määrä, alkuperä ja polttokelpoisuus

Tutkimus rajattiin käsittelemään polttokelpoista ja tällä hetkellä kaatopaikoille sijoitettavaa jätettä. Tavoitteena oli vertailla käsittelyvaihtoehtoja nimenomaan sille jäteosuudelle, jota ei tällä hetkellä hyödynnetä. Kaatopaikalle sijoitetun jätteen määrät Suomessa vuonna 2003 on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1.
Syntyvien jätteiden määrät Suomessa v. 2003 tuottajittain (VALTSU-seminaari 2005, Tilastokeskus 2006).

	Syntyvä jäte (1000 t)	Materiaali-hyöd. (1000 t)	Energia-hyöd. (1000 t)	Kaato-paikalle (1000 t)	Muu*** (1000 t)
Tuotanto*	82 691	30 939	5 456	5 006	41 290
Rakentaminen	34 120	9 369	0	24 396	355
Yhdyskuntajätteet **	2 356	688	169	1 445	55
Yhdyskuntien jätevesiliete (ka)	150	96	1,5	10,5	42
Yhteensä	119 317	41 092	5 626	30 857	41 742

* pl. rakentaminen,
** pl. jätevesiliete,
***ml. hävityspoltto, metsään jäävät risut, sedimentointi ja maankaatopaikat

2.1.1

Tuotannon jätteet

Tuotanto voidaan jakaa toimialoihin, joita ovat maatalous, metsätalous, kaivostoiminta, teollisuus ja energiantuotanto (taulukko 2). Maataloudessa syntyvä lanta sekä metsätalouden hakkuutähteet ovat polttokelpoisia, mutta suljettiin tässä tarkastelun ulkopuolelle. Energiantuotannon jätteet ovat käytännössä pelkkiä tuhkia, joten sekin toimiala voitiin rajata tarkastelun ulkopuolelle.

Taulukosta 2 voidaan todeta, että teollisuusjätteiden (11 953 000 t) osuus on noin 14 % tuotannossa syntyvästä kokonaisjätemäärästä (82 691 000 t) ja noin 10 % Suomen kokonaisjätemäärästä (119 317 000 t).

Taulukko 2.
Tuotannon toimialat ja niissä syntyneet, hyödynnetyt ja kaatopaikalle läjitetyt jätteet v. 2003 (VALTSU-seminaari 2005).

Tuotanto	Jätelaji	Syntyvä jäte (1000 t)	Materi-aalihyöd. (1000 t)	Energia-hyöd. (1000 t)	Kaato-paikka (1000 t)	Muu (1000 t)
Maatalous	Lanta	21 300	21 087	-	213	-
Metsätalous	Hakkuutähde	22 950	-	1 377	-	21 573
Mineraalien kaivu	Pääosin maa-ainekset	25 000	6 000	-	-	19 000
Teollisuus	Mineraalit, puu, kemikaalit jne.	11 953	3 108	4 064	4 064	717
Energiantuotanto	Tuhka ym.	1 488	744	15	729	-
Yhteensä		82 691	30 939	5 456	5 006	41 290

Teollisuuden jätteet

Teollisuuden jätteille tehtiin yksityiskohtaisempi tarkastelu palavien jakeiden osuuden selvittämiseksi. Tutkimusaineistona käytettiin FINWASTE-hankkeen (Mäenpää 2005) tuottamaa jätelajikohtaista dataa teollisuuden jätteistä, jäteluokista ja jätteen tuottajista. Käytetty FINWASTE-aineisto on laadittu syyskuussa 2005. Hankkeen tuottamat uusimmat tiedot ovat keväältä 2006, mutta niitä ei ehditty ottaa käyttöön tässä yhteydessä. Kaikki teollisuuden tuottamat jätteet jäteluokittain on esitetty liitteessä 1 (Mäenpää 2005 soveltaen).

Liitteen 1 jätelistauksesta käyvät ilmi palaviksi valitut jätteet ja muiden jätevirtojen suuruusluokat. Liitteessä esitetty teollisuudessa syntyneiden jätteiden kokonaismäärä, 9,5 Mt, poikkeaa taulukossa 2 esitetystä arvosta (12,0 Mt), koska FINWASTE-hankkeessa määrien arviointiin on käytetty eri lähteitä.

Teollisuudessa syntyvät polttokelpoiset jakeet jäteluokittain ryhmiteltyinä on poimittu taulukkoon 3. Kukin jäteluokka ja sen sisältämien jätteiden polttokelpoisuus on analysoitu tapauskohtaisesti, joten palavien jätteiden määrä on tarkentunut alkuperäisestä kokonaismäärätä (556 175 tonnia) (liite 1) noin 276 000 tonniin. Polttokelpoisiin jätteisiin on laskettu kaikki puuperäiset jätteet, muovit, kumit ja biohajoavia aineksia käsittelevän teollisuuden jätevesilietteet, mutta ei metalliteollisuuden sakkoja ja lietteitä. Tuotantotoiminnan tuottamasta rakennusjätteestä on laskettu palavaksi osuudeksi sama 40 %, jonka on arvioitu olevan palavaa rakennussektorinkin (kuvattu tarkemmin kohdassa 1.3) jätteistä.

Taulukko 3.
Teollisuudessa syntyvät polttokelpoiset jätteet lueteltuna laskevasti kaatopaikalle sijoitetun määrän suhteen.

Kaatopaikalle sijoitetut polttokelpoiset teollisuusjätteet		
Jäteluokka	Jätteen kuvaus	Määrä (t)
10.11.0	Kotitalousjätettä vastaava sekajäte, josta	47 212
	Keittiöbiojäte	13 323
	Puutarha- ja muu biojäte	5 234
	Pehmopaperi	1 533
	Keräyspaperi, -pahvi ja kartonki	10 679
	Muu paperi, pahvi ja kartonki	740
	Muovit	7 084
	Puu	1 480
	Tekstiilit ja vaatteet	2 379
	Vaipat ja kuukautissiteet	3 807
	Muu palava	952
11.12.0	Jätevesilietteet	158 565
11.41.0	Sakokaivolietteet	560
11.11.0	Jätevesilietteet	6
7.53.0	Puut, kuoret, oksat	38 963
07.51.0	Puupakkausten jätteet	108
7.52.0	Sahajauho ja lastut	3 248
07.53.1	Kyllästetty puu	2
12.13.0	Sekal. rakennusjäte	6 493
09.11.0	Eläinperäinen jäte	5 428
05.22.0/05.21.0	Eläinjäte	7
7.23.0	Paperi ja pahvi	4 494
09.12.0	Elintarvikejäte, kasvit	2 992
07.63.0	Nahkajäte	2 440
03.11.0	Tervat ja hiilipitoiset jätteet	1 180
02.13.0	Maalit, lakat, liimat (pääosa kuivia)	908
07.42.0	Muovijätteet	892
07.41.0	Muovipakkausten jätteet	193
07.32.0	Muut kumijätteet	24
08.43.1	Poistetut koneenosat (kumiset ja muoviset)	13
10.21.0	Sekal. pakkausjäte	381
07.21.0	Paperi- ja pahvipakkausten jätteet	523
09.13.0	Biojäte (elintarv.valmistuksen jäte)	482
09.21.0	Puutarha- ja muu kasviperäinen jäte	233
03.22.0	Hiilivetyjä sisältävät lietteet	480
07.62.0	Tekstiilijäte	15
01.31.1	Käytetyt moottoriöljyt	1
01.32.1	Muut käytetyt öljyt	1
Yhteensä		275 840

Taulukko osoittaa, että alle kolme prosenttia (275 840 t eli 2,3 %) teollisuuden tuottamasta kokonaisjätemäärästä (11 953 000 t) on kaatopaikalle sijoitettua ja polttokelpoiseksi laskettavaa.

Teollisuuden jätteissä on eräitä rajatapauksia, joiden polttokelpoisuus/ei-polttokelpoisuus vaatii lisäperusteluja. Tällaisia jätteitä ovat siistausjäte, soodasakat ja sekajäte.

Siistausjäte

Kierrätyspaperin valmistuksessa syntyy siistauslietettä sekä siistausjätettä. Siistauksella poistetaan valmistusprosessista mustetta, liimoja, pinnoite- ja täyteaineita, muoveja ja metalleja. Siistausliete sisältää paperikuituja sen verran, että sen hiilipitoisuus on 22 – 45 m-% (ka) (Alakangas 2000). Se sisältää kuitenkin myös täyteaineita sekä metalleja siinä määrin, että sen tuhkapitoisuus on n. 50 % (Alakangas 2000). Pienestä energiasisällöstään huolimatta sitä käsitellään yleensä kuorikattilassa pieninä määrinä muiden poltettavien materiaalien rinnalla - ei kuitenkaan saatavan energian vuoksi.

Siistausjätteeseen erotetaan paperinkeräysprosessiin kertyneet vieraat esineet ja ainekset, kuten muovi, narut ja metallijäte. Paperiteollisuuden tuottaman siistausjätteen määrä v. 2003 oli 47 857 t (Mäenpää 2005). Siistausjätekin sisältää jonkin verran paperikuituja, mutta voidaan olettaa sen tuhkapitoisuuden ja metallien ja muiden haitta-aineiden määrän olevan vielä paljon siistauslietettäkin korkeampi. Sen vuoksi siistausjätettä ei tässä tutkimuksessa lasketa palavaksi materiaaliksi; mikäli kyseistä jätettä poltettaisiin, sitä ei tehtäisi jätteen energiasisällön vuoksi.

Viherlipeä- eli soodasakka ja meesajäte

Teollisuudessa syntynyttä viherlipeä- ja soodasakkaa sijoitettiin v. 2003 kaatopaikalle n. 157 000 t (Mäenpää 2005). Soodasakan tehtävänä on poistaa sulfaattiselluprosessista paperin valmistuksen kannalta haitallisia aineita. Soodasakan pääkomponentti on yleensä CaCO3 eli meesa, jonka osuus riippuu prosessista. Lisäksi sakka sisältää sulfaattia sekä erilaisia puusta peräisin olevia alkuaineita, kuten Al, Fe, Na, Zn, Cd, Cu, Cr ja Cl. Liukoisen hiilen määrä on 1700 - 2900 mg/kg (ka), mutta soodasakka ei ole biologisesti hajoavaa (Linnunmaa Oy (toim.) 2005). Meesaa poltetaan yleisesti paperiteollisuudessa meesauuneissa, jolloin se hapettuu kalkiksi CaO. Polton tarkoituksena ei kuitenkaan ole energian tuottaminen vaan saada kalkki talteen uudelleen käytettäväksi prosessissa. Joillakin tehtailla soodasakkaa käytetään jätevesien neutralointiin ja etuselkeytyksessä saatu soodasakka-jätevesiliete poltetaan leijukerroskattilassa muun jätteen mukana, mutta vain 5 %:n osuudella. Pelkkää soodasakkaa ei kuitenkaan muista edellä mainituista syistä tässä tutkimuksessa katsota sellaiseksi polttokelpoiseksi materiaaliksi, joka soveltuisi energiantuotantoon.

Tuotantotoiminnassa syntyvä kotitalousjätettä vastaava sekajäte

Tuotantotoiminnassa syntyvä ”kotitalousjätettä vastaava sekajäte” (luokka 10.11.0) on oletettu jakaumaltaan YTV:n alueen kotitalouksien tuottamaa sekajätettä vastaavaksi, jolloin palavan materiaalin määräksi oletetaan 89 % (YTV 2005, ks. kohta 1.4 ja taulukko 6). Teollisuudessa syntyi v. 2003 sekajätettä 52 869 t, josta siis n. 47 212 t on tässä tutkimuksessa arvioitu polttokelpoiseksi.

Vastaavuusoletusta heikentää se, että käytännössä noin puolet pääkaupunkiseudun yhdyskuntajätteestä on kotitalouksissa syntynyttä ja puolet palvelualojen tuottamaa (YTV Jätehuolto 2005b). Palvelualojen tuottaman sekajätteen tutkimustulokset (YTV Jätehuolto 2005b) eivät kuitenkaan kerro tuotetun jätteen määriä sektoreittain, ainoastaan sekajätteen jakauman sektorin sisällä. Lisäksi vain viikon mittainen tutkimusjakso tekee tulosten yleistettävyydestä heikohkon. Näin ollen palveluiden osuutta ei saa vähennettyä sekajätekokonaisuudesta, koska palvelusektorin sekajät-

teiden koostumukselle ei ole laskettavissa yleistä painotettua jakaumaa. Teollisuuden tuottaman sekajätteen koostumus ei siis todennäköisesti ole täsmälleen sama kuin YTV:n tutkimuksen pohjalta on yleistetty, mutta tällä seikalla ei kuitenkaan ole merkittävää vaikutusta tuloksiin.

2.1.2

Rakentamisen jätteet

Rakentamisessa syntyneitä jätteitä sijoitetaan kaatopaikalle vuosittain 24 400 000 t. Määrästä noin 98 % on polttoon soveltumatonta maa-ainesta (taulukko 4).

Rakentamisessa syntyneistä jätteistä ei ole saatavilla koko maan kattavia tutkimuksia, jotka koskisivat rakennusjätteen materiaalijakaumaa. Pääkaupunkiseudun korjaus-, uudis- ja purkurakentamista koskevan selvityksen mukaan puun osuus kokonaisrakennusjätteen määrästä on n. 30 % (YTV 2004). Eräiden arvioiden mukaan (GreenNet ym. 2005, Muukkonen 2006) rakentamisen jätteistä polttokelpoisia (biohajoavia) olisi noin 600 000 t (noin 40 % kokonaismäärästä), josta puuta 540 000 t (ks. myös taulukko 5). GreenNet ym. (2005) arvioivat, että puuta hyödynnetään polttamalla 350 000 t/v. Loput 190 000 t polttokelpoista rakennusjätettä päätyisi sen mukaan kaatopaikalle. Tässä tutkimuksessa on käytetty polttokelpoisen, kaatopaikalle sijoitetun jätteen määränä 190 000 t. Loput 60 000 t syntynyttä mutta loppusijoitukseltaan tuntematonta jätettä on tietojen puuttumisen vuoksi jätetty huomiotta.

Rakennusjätteen hyötykäytöstä on saatavilla hyvin puutteellisesti tietoja. Aihetta käsittelevissä lähteissä on mainittu rakennustyömaiden käytäntöjen vaihtelevan niin suuresti, että koko Suomea tai muitakaan yleisiä hyötykäyttöarvoja on vaikea antaa – etenkään jätelajikohtaisesti. Kokonaishyödyntämisasteeksi on mainittu mm. 40 % (Muukkonen 2006).

Taulukko 4.
Rakentamisessa syntyneet ja hyötykäytetyt jätteet vuonna 2003 (VALTSU-seminaari 2005, Tilastokeskus 2006).

Rakentaminen	Syntyvä jäte (t)	Materiaali-hyödynt. (t)	Energia-hyödynt. (t)	Kaatopaikka (t)	Muu (t)
Sekal. rakennusjäte	1 420 000	539 600		525 400	355 000
Maa-ainekset	32 700 000	8 829 000		23 871 000	
Yhteensä	34 120 000	9 368 600	0	24 396 400	355 000

Taulukko 5.
Rakentamisessa syntyneet jätteet v. 2000 (Muukkonen 2006).

Rakentamisen jätteet	Yhteensä (1000 t)	Puu (1000 t)	Kiviaines (1000 t)	Metalli (1000 t)	Muut (1000 t)
Uudisrakennustyömaat	200	54	128	18	
Korjausrakentaminen	800	400	80	152	168
Kokonaisten rakennusten purkaminen	400	76	280	8	36
Yhteensä	1 400	530	488	178	204

2.1.3

Yhdyskuntajätteet

Yhdyskuntien tuottamat jätteet käsittävät asumisen sekä palvelutoimialojen jätteet (YTV 2005, YTV 2005b). Suomessa syntynyt yhdyskuntajäte jätelajeittain sekä jätelajien käsittelyt on esitetty liitteessä 2.

Yhdyskuntajätteiden on pääkaupunkiseudulla arvioitu kertyvän puoliksi asumisjätteestä ja puoliksi palvelujätteestä (YTV 2005b). Jos pääkaupunkiseudun keräyspaperia koskevassa hankkeessa laaditulla mallilla arvioidaan koko Suomen yhdyskuntajätekertymää ilman teollisuusjätteitä, saadaan yhdyskuntajätteen määräksi 2,471 Mt ja palvelusektorin osuudeksi 50 % koko Suomen yhdyskuntajätemäärästä.. Mallin arvioima yhdyskuntajätemäärä poikkeaa alle 5 % valtakunnallisesti tilastoidusta määrästä, joten 50 % olettamuskaan ei siten liene pahasti virheellinen. Samasta syystä Suomessa kerätyn sekajätteen on tässä tutkimuksessa oletettu jakautuvan eri jätelajeiksi samassa suhteessa kuin pääkaupunkiseudun kotitalouksien sekajätteen (YTV 2005)(taulukko 6), eikä poikkeama ole todennäköisesti tässäkään oleellisen suuri.

Taulukosta 6 huomataan, että polttokelpoisten jätteiden osuus on jopa 89 % kokonaisjätemäärästä. Suomessa syntyneen yhdyskuntajätteen polttokelpoiset jakeet määrineen on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 6.
Kotitalousjätteen koostumus pääkaupunkiseudulla vuonna 2004 (YTV 2005).

Kotitalousjätteen koostumus YTV:n alueella	Osuus (%)	Palavat (%)
Keittiöbiojäte	25,2	25,2
Puutarha- ja muu biojäte	9,9	9,9
Pehmopaperi	2,9	2,9
Keräyspaperi, -pahvi ja kartonki	20,2	20,2
Muu paperi, pahvi ja kartonki	1,4	1,4
Muovit	13,4	13,4
Lasi	3,7	
Metallit	3,8	
SER	0,7	
Puu	2,8	2,8
Tekstiilit ja vaatteet	4,5	4,5
Vaipat ja kuukautissiteet	7,2	7,2
Sekalaiset pakkaukset	0,5	
Muu palava	1,8	1,8
Muu palamaton	1,3	
Sekalaiset jätteet (ei pakkauksia)	0,5	
Ongelmajätteet	0,2	
Yhteensä	100,0	89,3

Taulukko 7.
Kaatopaikalle sijoitettu polttokelpoinen yhdyskuntajäte vuonna 2003.

Jätelaji	Määrä (t)
Sekajäte, josta	1 242 069
Keittiöbiojäte	350 505
Puutarha- ja muu biojäte	137 699
Pehmopaperi	40 336
Keräyspaperi, -pahvi ja kartonki	280 961
Muu paperi, pahvi ja kartonki	19 473
Muovit	186 380
Puu	38 945
Tekstiilit ja vaatteet	62 590
Vaipat ja kuukautissiteet	100 144
Muu palava	25 036
Biojäte, erilliskerätty	28 332
Biojäte, puutarhat&puistot	2 909
Muovijäte, erilliskerätty	103
Puujäte, erilliskerätty	97
Vaatteet ja tekstiilit, erilliskerätty	93
Paperi- ja kartonkijätteet, erillisk.	234
Ruokaöljyt ja ravintorasvat	3 988
Yhteensä (ilman jv.puhdistamolietteitä)	1 277 825

2.1.4

Yhdyskuntien jätevesiliete

Yhdyskuntien jätevesien käsittelystä syntyneen lietteen määrä kuiva-aineena vuonna 2003 oli 150 000 t (VALTSU-seminaari 2005). Alkuperäisessä kosteudessa mitattuna tuotetun lietteen määrä on 1,1-1,2 Mt (SYKE 2006). Tästä määrästä kaatopaikalle (10 500 t) ja muuhun käsittelyyn (42 000 t) viedyt määrät ovat kuiva-aineena yhteensä 52 500 t ja kokonaislietemääränä ilmoitettuna noin 403 800 t (ka 13 %). Koska muulla käsittelyllä tarkoitetaan lähinnä kompostoitua ja kaatopaikkarakenteisiin käytettyä lietettä, se on otettu mukaan tarkasteluun (SYKE 2006b).

Lietteistä valmistettuja tuotteita ja kasvualustoja käytetään jonkin verran viherrakentamisessa. Lietteiden energiahyödyntäminen on yleistynyt Suomessa viime vuosina, mutta kattaa silti vain noin 1-2 % kaikista syntyvistä yhdyskuntajätevesilietteistä. Syitä vähäiseen energiahyödyntämiseen ovat muun muassa lietteen suuri kosteuspitoisuus. Uusia hyödyntämismuotoja koetaan tarvittavan, koska esikäsiteltyä lietettä kertyy tällä hetkellä varastoihin. (SYKE 2006)

2.1.5

Yhteenveto syntyneistä, hyötykäytetyistä ja kaatopaikalle sijoitetuista jätteistä

Taulukoihin 8 ja 9 on koottu tiedot v. 2003 syntyneistä ja polttokelpoisista jätteistä. Taulukoissa 10 ja 11 on esitetty jätteiden jakauma jätelajeittain.

Taulukko 8.
Kokoomataulukko Suomessa syntyvistä jätteistä ja niiden käsittelystä sektoreittain.

Toimiala	Jätelaji	Materiaali-hyöd. (t)	Energia-hyödynt. (t)	Kaato-paikalle (t)	Kaato-paikalle, palavat (t)	Muu (t)	Yhteensä (t)
Yhteensä (t)		41 091 957	5 625 956	30 857 581	1 796 164	41 741 782	119 317 276
Tuotanto (pl. talon-rakent. ja jätemaat)		30 938 780	5 455 900	5 006 140	275 840	41 290 180	82 691 000
Maatalous	Lanta	21 087 000		213 000			21 300 000
Metsätalous	Hakkuutähde		1 377 000			21 573 000	22 950 000
Mineraalien kaivu	Pääosin maa-ainekset	6 000 000				19 000 000	25 000 000
Teollisuus	Mineraalit, puu, kemikaalit	3 107 780	4 064 020	4 064 020	275840	717 180	11 953 000
Energiantuotanto	Pääosin tuhka	744 000	14 880	729 120			1 488 000
Rakentaminen, josta		9 368 600	-	24 396 400	190 000	355 000	34 120 000
Talon-rakentaminen	Sekal. rakennusjäte	539 600		525 400	190 000	355 000	1 420 000
Jätemaa	Maa-ainekset	8 829 000		23 871 000			32 700 000
Yhdyskuntajätteet (pl. puhdistamo-liete)		688 577	168 556	1 444 541	1 277 825	54 602	2 356 276
	Sekajäte	36 609	76 904	1 391 313	1 242 069	50642	1 555 468
	Biojäte, erilliskerätty	103 480		28 332	28 332	190	132 002
	Muovijäte, erilliskerätty	5 626	19 968	102	102	10	25 706
	Puujäte, erilliskerätty	634	60 913	97	97	219	61 863
	Vaatteet ja tekstiilit, erilliskerätty	48		93	93	4	145
	Paperi- ja kartonki-jätteet, erillisk.	353 212	9 663	234	234	107	363 216
	Biojäte, puut.& puisto	24 883	102	2 909	2909	162	28 056
	Puutarha-, puisto- ja katujäte, (pl. kompostoituvat)	2890		14363			17 253
	Muut sekalaiset jätteet	142		95			237
	Lasi	124492		745			125 237
	Metallit	22936					22 936
	Muut erilliskerätyt	3	370	2216		9	2 598
	Ruokaöljyt ja ravintorasvat	805	636	3988	3988	41	5 470
	SER	10733		18			10 751
	Kemikaalit, lääkkeet, akut, loisteputket	2084		36		3218	5 338
Yhdyskuntien puhdistamoliete (ka)		96 000	1 500	10 500	52 500	42 000	150 000

Taulukko 9.
Yhteenveto kaatopaikalle sijoitetuista polttokelpoisista jätteistä v. 2003.

Toimiala	Jätelaji	Lisähyöd. potentiaali (%)	Jakeen osuus kok.määrästä. (%)	Lisähyöd. potentiaali (t)
Kaikki toimialat ja asuminen yhteensä			100	1 796 163
Teollisuus	Yhteensä	5	15	275 840
	Jätevesilietteet			159 131
	Puu, kuori, oksat, sahajauho, lastu, puupakkaukset			42 320
	Sekajäte (kotitalousjätettä vastaava), josta			47 212
	Keittiöbiojäte			13 323
	Puutarha- ja muu biojäte			5 234
	Pehmopaperi			1 533
	Keräyspaperi, -pahvi ja kartonki			10 679
	Muu paperi, pahvi ja kartonki			740
	Muovit			7 084
	Puu			1 480
	Tekstiilit ja vaatteet			2 379
	Vaipat ja kuukautissiteet			3 807
	Muu palava			952
	Rakennusjäte, palavaksi oletettu 40 %			6 493
	Paperi, pahvi, paperi-/pahvipakkausjäte			5 016
	Muut (nahka)			2 440
	Muovit, Kumit			1 502
	Tervat ja muut hiilipitoiset			1 180
	Maalit, lakat, liimat (pääosa kuivia)			908
	Hiilivetyjä sisältävät lietteet			480
	Biojäte, Puutarhajäte			715
	Kasviperäinen elintarv.jäte			2 992
	Eläinperäinen jäte			5 434
	Tekstiilit			15
	Käytetyt moottoriöljyt			1
	Nahkateollisuuden jäteöljyt			1
Talonrakentaminen	Sekal. rakennusjäte	13	11	190 000
Yhdyskunnat	Yhteensä (ilman jv.puhdistamolietteitä)		71	1 277 823
	Sekajäte, josta	80	69	1 242 069
	Keittiöbiojäte			350 505
	Puutarha- ja muu biojäte			137 699
	Pehmopaperi			40 336
	Keräyspaperi, -pahvi ja kartonki			280 961
	Muu paperi, pahvi ja kartonki			19 473
	Muovit			186 380
	Puu			38 945
	Tekstiilit ja vaatteet			62 590
	Vaipat ja kuukautissiteet			100 144
	Muu palava			25 036

Toimiala	Jätelaji	Lisähyöd. potentiaali (%)	Jakeen osuus kok.määrästä. (%)	Lisähyöd. potentiaali (t)
	Biojäte, erilliskerätty	21	1,4	28 332
	Biojäte, puutarhat&puistot			2 909
	Muovijäte, erilliskerätty	0,4	0,00	102
	Puujäte, erilliskerätty	0,4	0,00	97
	Vaatteet ja tekstiilit, erilliskerätty	67	0,00	93
	Paperi- ja kartonkijätteet, erillisk.	100	0,01	234
	Ruokaöljyt ja ravintorasvat	73	0,2	3 988
Jätevedenpuhdistamolietteet (kuiva-aineena, todellisuudessa ka 13 %)			2,9	52 500

Taulukko 10.
Suomessa v. 2003 kaatopaikalle sijoitettujen polttokelpoisten jätteiden jakauma eri jätelajeiksi.

	Yhdyskunnat (t)	Teollisuus** (t)	Rakentaminen (t)	Yhteensä (t)
Jätevesilietteet	403 800*	159 611		563 412
Biojäte (ruoka, kasvit, eläinjäte)	519 445	27 698		547 143
Puu	39 042	50 293	190 000	279 335
Paperit ja pahvit	300 667	16 436		317 103
Muut paperikuidut	140 480	5 340		145 820
Muovit	186 482	8 586		195 068
Kemikaalit (tervat, maalit, lakat)	-	2 087		2 087
Ruokaöljyt	3 988	2		3 990
Tekstiilit	62 683	2 394		65 077
Muu palava	25 036	3 391		28 428
Yhteensä	1 681 625	275 840	190 000	2 147 463

* Jätevesilietteet muutettu kuiva-aineeltaan n. 13 % lietteeksi, kuiva-aineena vastaava määrä on 52 500 t.
** Mäenpää 2005 soveltaen.

Kaatopaikalle sijoitettuun kokonaisjätemäärään (30 857 t) suhteutettuna polttokelpoisten jätteiden osuus (1 800 000 t, jossa yhdyskuntalietteet kuiva-aineena tai 2 150 000 t, jossa lietteet vesineen) on 6 – 7 %.

Jätevirtojen tarkastelu siis osoittaa, että suurimmat kaatopaikoille suuntautuvat, palavan jätteen virrat ovat peräisin yhdyskunnista (78 %), loput lähes tasaosuuksin teollisuudesta ja rakentamisesta. Näin ollen yhdyskuntien eli asukkaiden ja palvelusektorin käyttäytymiseen vaikuttavilla ohjauskeinoilla on suurin merkitys liittyen jätteiden käsittelyn ympäristövaikutuksiin tai jätteiden synnyn ehkäisyyn. Yhdyskunnista peräisin oleva 78 % koostuu lähinnä jätevesilietteistä (24 %), biojätteistä (29 %), erilaisista paperikuiduista (26 %) ja muoveista (10 %), joiden alkuperäksi voidaan arvata ruoka, lehdet ja pakkaukset.

Ehkä hämmästyttävänkin pieni määrä - vain 6 % - kaatopaikalle sijoitetusta kokonaisjätemäärästä on ominaisuuksiltaan palavaa. Loppuosa on erilaisia maa-aineksia, tuhkia ja metalleja. Koko jätehuollon mittakaavassa ajateltuna suurimmat kierrätyksen ja kiertojen sulkemisen haasteet ja mahdollisuudet liittynevätkin siis palamattomiin jätteisiin.

Teollisuudessa syntyvistä palavista jätteistä merkittävä osa (58 %) on lietteitä, mikä vaikeuttaa niiden hyötykäyttöä. Lisäksi jätteet ovat peräisin monista eri toimipaikoista ja yksittäiset virrat ovat suhteellisen pieniä, mikä tuo omat haasteensa hyötykäytölle. Etenkin rakennusjätteistä saatavilla oleva tieto on niin hajanaista ja vähäistä, että tarkentavalle lisätutkimukselle olisi tarvetta.

Taulukko 11.
Teollisuuden, yhdyskuntien ja rakentamisen polttokelpoiset kaatopaikkasijoitetut jätteet jätelajeittain v. 2003.

	Teollisuus (t)	Yhdyskunnat (t)	Rakenta-minen (t)	Yhteensä (t)
Biohajoavat jätejakeet	199 783	1 261 105		1 460 887
Jätevesilietteet	159 131	403 800		562 931
Biojäte, Puutarhajäte, Erilliskerätty biojäte	715	28 332		29 046
Kasviperäinen elintarv.jäte	2 992			2 992
Eläinperäinen jäte	5 434			5 434
Sekajäte, jossa				-
sj:Keittiöbiojäte	13 323	350 505		363 828
sj:Puutarha- ja muu biojäte	5 234	137 699		142 933
sj:Pehmopaperi	1 533	40 336		41 869
sj:Keräyspaperi, -pahvi ja kartonki	10 679	280 961		291 640
sj:Muu paperi, pahvi ja kartonki	740	19 473		20 213
Puukuitupohjaiset jätejakeet	50 293	39 042	190 000	279 335
Palava rakennusjäte, puu	6 493	97	190 000	196 590
Puut, kuoret, oksat, puupakkausjäte	39 070			39 070
Sahajauho, lastut	3 248			3 248
Kyllästetty puu	2			2
Sekajäte, jossa				-
sj:Puu	1 480	38 945		40 425
Paperikuitupohjaiset jätejakeet	17 969	341 003		358 972
Paperi, pahvi, -pakkaukset, erilliskerätty paperijäte	5 016	234		5 250
Sekajäte, jossa				-
sj:Pehmopaperi	1 533	40 336		41 869
sj:Keräyspaperi, -pahvi ja kartonki	10 679	280 961		291 640
sj:Muu paperi, pahvi ja kartonki	740	19 473		20 213
Muovit	8 586	186 482		195 068
Muovit, Erilliskerätyt muovit	1 478	102	ei tiedossa	1 580
Kumit	24			24
Sekajäte, jossa				-
sj:Muovit	7 084	186 380		193 464
Muut sekalaiset	2 394	62 683		65 077
Ruokaöljyt ja ravintorasvat		3 988		3 988
Tervat ja muut hiilipitoiset	1 180			1 180
Maalit, lakat, liimat (pääosa kuivia)	908			908
Käytetyt moottori- ja nahan-valmistuksen jäteöljyt	2			2
Muut materiaalit (nahka, hiilivetyiset lietteet, ym.)	2 920			2 920
Tekstiilit, Erilliskerätyt tekstiilit	15	93		108
Sekajäte, jossa				-
sj:Tekstiilit ja vaatteet	2 379	62 590		64 969
sj:Vaipat ja siteet	3 807	100 144		103 951
sj:Muu palava	952	25 036		25 988

2.2

Tarkastelu menetelmien vahvuuksista ja heikkouksista ympäristön kannalta

Energia- ja materiaalihyödyntämisen menetelmien vahvuuksien ja heikkouksien kokoamisessa käytettiin ns. SWOT-analyysin nelikenttäkehikkoa. Kehikkoon koottiin menetelmien vahvuuksia (S=strength), heikkouksia (W=weakness), mahdollisuuksia (O=opportunity) ja uhkia (T=threat). Kokoaminen tehtiin lähinnä kirjallisuuden ja muiden tietolähteiden perusteella. Rajanveto vahvuuksien ja mahdollisuuksien sekä heikkouksien ja uhkien välillä tosin osoittautui usein hankalaksi.

2.3

Arviointi menetelmien mahdollisuuksista vaikuttaa ilmastonmuutoksen hillitsemiseen

Sekä jätteiden energia- että materiaalihyödyntämisellä voidaan saavuttaa säästöä kasvihuonekaasupäästöissä verrattuna tilanteeseen, jossa hyödyntämistä ei tehdä. Jätteen energiahyödyntämisen vaihtoehdoissa tämä säästö muodostuu niistä päästöistä, jotka voidaan välttää kun jätteestä saatavalla energialla korvataan jollakin muulla tekniikalla ja polttoaineella valmistettua energiaa. Säästön suuruus riippuu monesta tekijästä, mm. energiantuotannon hyötysuhteista sekä korvattavasta polttoaineesta. Kivihiiltä korvattaessa päästösäästöt ovat yleensä suurimmillaan.

Jätteen materiaalihyödyntämisellä 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. Materiaalihyödyntämiskonseptien kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa otetaan huomioon tuotanto- ja valmistusprosessin päästöt (eli jätteen sisältämän hiilen ja typen päätyminen ilmapäästöiksi) sekä prosessien energiankulutus ja sen päästöt. Lisäksi esitetään arvioita niiden tuotteiden valmistuksen ja energiankulutuksen kasvihuonekaasupäästöistä, joita kierrätystuotteiden käyttö korvaa.

Sekä energia- että materiaalihyödyntäminen vähentävät myös jätehuollon välittömiä päästöjä, kun jätettä ei sijoiteta kaatopaikalle eikä käsitellä muulla tavalla. Näitä säästöjä ei laskelmissa kuitenkaan otettu huomioon, koska ne ovat yhtä suuret molemmissa hyödyntämisskenaarioissa.

Kavihuonekaasupäästöjen laskennassa otettiin huomioon hiilidioksidi CO_2, metaani CH_4 ja typpioksiduuli N_2O ja näiden summa CO_2-ekvivalentteina (taulukko 12).

Taulukko 12.
Kasvihuonekaasupäästöjen muuntokertoimet CO_2-ekvivalenteiksi (Tilastokeskus 2006b).

Päästökomponentti	Kerroin (CO_2-ekv)
CO_2	1
CH_4	21
N_2O	310

3 Jätteen energiahyödyntämisen vaihtoehdot ja niiden vaikutukset

3.1 Tarkastelussa käytettyjen polttomenetelmien kuvaus

3.1.1 Arinapoltto

Arinapoltolla tarkoitetaan kattilaa, jossa polttoaine asetetaan ritilälle tai ritilöille ja poltetaan. Arinaratkaisuja on useita. Tyypillisin on portaittain alaspäin syötettä kuljettava ratkaisu, jossa polttoilma tuodaan etupäässä arinoiden alta ja polttimet sijaitsevat kattilan seinustoilla. Tässä raportissa esitetyissä tuloksissa on oletettu käytettävän tyypillistä modernia arinaratkaisua, johon ei ole liitetty tulipesän ulkopuolelle tehtyjä lisäinvestointeja, kuten toisen polttoaineen käyttöön perustuvia jälkitulistimia. Arinaratkaisu sopii lähes kaikille jätetyypeille. Lähinnä erittäin kosteiden jätetyyppien, kuten jätevesilietteiden polttamisella on rajoituksia. Tässä tarkastelussa on oletettu, että nestemäisten lietteiden osuus voi olla 10 % syötteestä.

3.1.2 Leijukerrospoltto

Leijukerrospoltossa jätevirta ohjataan kattilaan, jossa palamisalustana toimiva hiekka muodostaa kuplivan pedin. Kupliminen tapahtuu polttoratkaisussa ohjaamalla ilmavirtaa alakautta tulipesään. Leijukerrostyyppejä on kahta perusmallia: kuplivaa leijupetiä ja kiertoleijupetiä. Kiertoleijupedissä alhaalta tapahtuva puhallus on voimakkaampaa eli ns. leijutusnopeus on korkeampi. Tällöin myös petihiekkaa karkaa savukaasujen mukana tulipesästä helposti ja se otetaan talteen syklonin avulla. Leijukerrospoltto sopii hyvin kosteille myös polttoaineille, koska kuuma peti sekoittaa ja kuivaa polttoaineen nopeasti.

3.1.3 Kaasutus

Kaasutus tarkoittaa lämpökäsittelyä ali-ilmaisissa olosuhteissa. Sähköntuotannon hyötysuhde kaasutuslaitoksissa on huomattavasti parempi kuin polttolaitoksissa (vrt.liite 3). Syitä tähän on monia, mm. se että tulipesässä tapahtuvat säteilyhäviöt jäävät pois ja polttoaineena toimiva kaasutuskaasu palaa hyvin puhtaasti verrattuna jätteeseen.

3.1.4

Muut tekniikat

Em. keinojen lisäksi on olemassa erilaisia pelkistymiseen perustuvia ratkaisuja. Yleisimpänä näistä erilaiset pyrolyysireaktorit, joita käytetään suuressa mittakaavassa mm. Saksassa (Thermoselect) ja Japanissa (R21). Tämän lisäksi varsinkin ongelmajätteiden poltossa käytetään rumpu-uunia ja jätteitä poltetaan sementtiteollisuuden sementtiuuneissa, jotka muistuttavat rakenteeltaan rumpu-uunia.

3.2

Tarkastelussa käytetyt jätefraktiot

3.2 1

Sekajäte

Sekajätteellä tarkoitetaan energiahyödyntämiseen liittyvissä laskelmissa lajittelematonta yhdyskuntajätettä tai syntypaikkalajittelusta jäljelle jäävää sekafraktiota, ts. sekajäteastiaan päätyvää jätettä. Sekajätteen laatu vaihtelee ja polttoaineena se on heikkolaatuista. Lajittelematon jäte sisältää monia fraktioita, jotka lämpökäsittelyn aikana saattavat höyrystyä ja muodostaa haitta-aineita. Sekajätteen lämpökäsittely tarkoittaa lähes poikkeuksetta sitä, että laitoksen savukaasunpuhdistusjärjestelmän pitää olla huippuluokkaa täyttääkseen Jätteenpolttodirektiivin (EU 2000/76/EC) vaatimukset.

3.2.2

Rakennusjäte

Rakennusjäte on pääsääntöisesti polttoaineominaisuuksiltaan puuta vastaavaa, mutta se saattaa sisältää useita myrkyllisiä aineksia. Rakennusjätteen ominaisuudet on tarkemmin esitelty luvussa 2.1.2.

3.2.3

REF, SRF ja RDF

REF (recovered fuel) on Suomessa käytetty kierrätyspolttoaineen lyhenne. Kansainvälisessä termistössä käytetään lyhennettä SRF (solid recovered fuel), jolle ollaan parhaillaan tekemässä myös CEN-standardia. REF:illä ja SRF:llä tarkoitetaan yhdyskuntien tai yritysten syntypaikkalajitellusta energiajätteestä (ei sekajätteestä) valmistettua polttoainetta, jossa pääkomponentit ovat muovi ja puukuidut (paperi ja pahvi). Periaatteessa SRF/REF on hyvä polttoaine, mutta käytännössä raaka-aineen puhtaudesta ei välttämättä ole takeita. Polttoaineen laatua tarkkaillaan pistotestein.

Niin ikään suomalainen termi RDF (refuse derived fuel) tarkoittaa yhdyskuntien sekajätteestä mekaanisesti valmistettua kierrätyspolttoainetta. Sekajätteestä valmistettua RDF-polttoainetta ja erilliskerätystä energiajakeesta valmistettua REF-polttoaine voidaan tuottaa samassa prosessointilaitoksessa, mutta REF on laadultaan paremmin polttoon soveltuvaa.

Tällä hetkellä Suomessa on käytössä mm. kierrätyspolttoaineiden valmistusta koskeva kansallinen standardi SFS 5875, Laadunvalvontajärjestelmästä jätteen jalostamisesta kiinteäksi polttoaineeksi. Standardi määrittelee menettelytavat ja vaatimukset, joilla voidaan hallita syntypaikkalajitellun jätteen valmistus kiinteäksi, energiantuotantoon soveltuvaksi kierrätyspolttoaineeksi. Lisäksi Suomen vastuulla

työskentelevässä standardisointikomiteassa CEN/TC 343 on kehitteillä eurooppalainen kierrätyspolttoaineen standardiperhe, joka sisältää toistakymmentä standardia kierrätyspolttoaineiden terminologiasta, laaduista, ominaisuuksien määrittelystä, polttoaineiden lajittelusta ja luokituksesta, testimenetelmistä ja näytteenotosta sekä fysikaalisista, kemiallisista ja mekaanisista testeistä. Vuosien 2005 - 2006 vaihteessa hyväksyttiin ensimmäiset määrittelyt: CEN/TS 14357 terminologia, CEN/TS 14358 laadunhallintajärjestelmä sekä CEN/TS 14359 polttoaineen luokitteluja vaatimukset. Suurimman osan standardeista odotetaan valmistuvan vuoden 2006 aikana. (CEN 2004, SFS 5875, Arasto 2006)

Jätteiden energiahyötykäytön kuormitusta koskevissa laskelmissa kierrätyspolttoaineen päästökertoimina on käytetty Tilastokeskuksen raportoimia arvoja, jotka ovat samat REF:lle ja RDF:lle. Näin ollen termien eroilla ei tulosten soveltamisen kannalta ole merkitystä. Kierrätyspolttoaineen valmistuksen alitteen ympäristövaikutukset on puolestaan arvioitu käyttämällä RDF:n sisältämää orgaanisen aineksen osuutta.

3.2.4
Yhdyskuntien jätevesilietteet

Jätevedenpuhdistamoiden lietteet saattavat lisätä polton typpipohjaisia päästöjä. Lietteiden koostumusta on selitetty tarkemmin luvussa 2.1.4.

3.2.5
Muut sekapolttoaineet

Luokkaan ”Muut sekapolttoaineet” kuuluvat edellisiin luokkiin kuulumattomat sekapolttoaineet, joista ei voida erottaa fossiilista osuutta. Tällöin polttoaine katsotaan päästökaupassa tarkasteltavien kasvihuonekaasupäätöjen kannalta kokonaan fossiiliseksi.

3.3
Energiahyötykäyttömenetelmien kasvihuonekaasupäästöt

3.3.1
Jätteenpolttolaitos alueellisena energiaratkaisuna

Energiatarkastelun tarkoituksena oli verrata erilaisia jätteen termisiä käsittelytapoja CHP-kivihiililaitoksessa ja raskasta polttoöljyä polttavassa kaukolämpölaitoksessa tuotettuun lämpöön ja sähköön. CHP-laitoksella tarkoitetaan energialaitosta, jossa tuotetaan sekä lämpöä kaukolämpöverkkoon tai teollisuuden tarpeisiin että sähköä. Lyhenne tulee sanoista Combined Heat and Power, yhdistetty lämmön- ja sähköntuotanto. Joskus puhutaan myös yhteistuotantolaitoksesta.

Jätteenpolton referenssilaitoksena pidettiin polttoaineteholtaan 61 MW:n suuruista arinalaitosta, joka pystyisi käsittelemään n. 120 000 tonnia sekalaista yhdyskuntajätettä vuodessa. Tämä vastaa suurehkon talousalueen polttokelpoisen jätteen määrää

Energiaratkaisuissa olennaisin kasvihuonekaasu on hiilidioksidi, jota syntyy orgaanisen aineksen hapettuessa. Tässä selvityksessä keskityttiin kasvihuonekaasupäästöihin, mutta myös happamoittavista (NOx ja SO_2) ja terveydelle haitallisista päästöistä (pienet, PM2.5-kokoluokan partikkelit) tehtiin määräarvio. Laskelmista jätettiin puhtaasti bioperäisten polttoaineiden, kuten puupolttoaineiden ja jäteve-

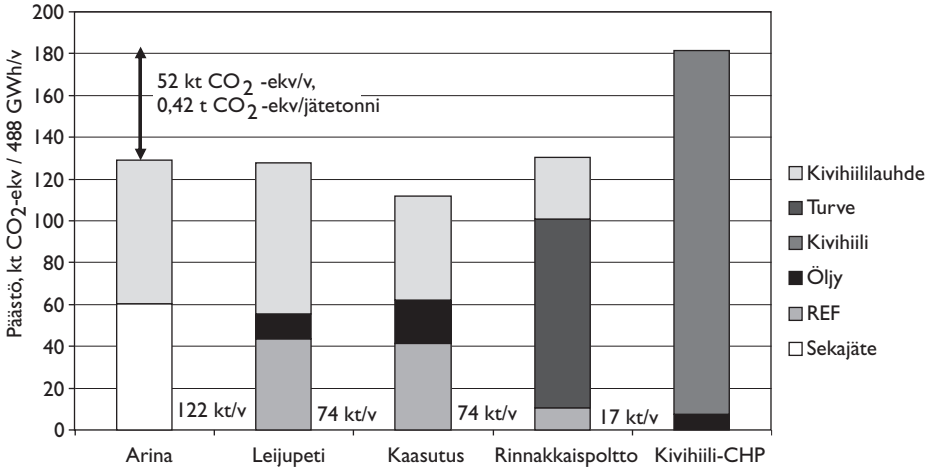
silietteen, kasvihuonekaasupäästöt huomioimatta, koska nämä päästöt eivät kuulu Suomen Kioto-velvoitteiden piiriin.

Luvussa 3.3.2 esitetään laskelma siitä, mitä kierrätyspolttoainetta valmistavan RDF-laitoksen orgaanisen alitteen käyttö mädätyksen jälkeen energiantuotannossa ja liikennepolttoaineena merkitsee energiahyödyntämisen kasvihuonekaasutaseen kannalta. Vastaavasti esitetään arvio päästöistä, joita alitteen aumakompostointi tuottaisi. Kirjallisuudesta löytyy myös arvioita siitä, miten paljon kaatopaikkakaasua tästä alitteesta purkautuisi ilman hyötykäyttöä (YTV 2006), ja arviot osoittavat määrän olevan merkittävän. On kuitenkin huomioitava, että EU:n kaatopaikkadirektiivin velvoitteet kaatopaikkakaasujen keräämisestä ja soihduttamisesta tai energiahyödyntämisestä pienentävät kaatopaikkakaasujen ilmastovaikutusta. [1999/31/EY, Vnp 861/1997].

Tässä esitetyissä kasvihuonekaasupäästöjen arvioissa ei ole otettu huomioon kokonaan uuden laitoksen rakentamisen aiheuttamia päästöjä, koska niistä ei ollut saatavilla tarkasteluun soveltuvaa tietoa. Laitosten perustamisen ympäristökuormitus saattaisi olla merkitsevä, kun verrataan olemassa olevaan laitokseen liitettävää yksikköä kokonaan uuden laitoksen perustamiseen. Kuljetusten päästöt on myös jätetty tarkastelun ulkopuolelle, koska jätteen kuljetuksen aiheuttamat päästöt ovat suhteellisen pieniä (kuljetusten päästöt arvioitu luvussa 4.10Virhe. Viitteen lähdettä ei löytynyt.) ja todennäköisesti eri menetelmien välillä ei ole tutkimuksen tarkkuudella mitattavissa olevia eroja matkojen pituudessa. Vertailussa käytettyjen kivihiililaitosten polttoainelogistiikasta ei myöskään ollut käytettävissä tietoja.

Edellä esitettyjen taustaolettamusten avulla tehdyt laskelmat osoittavat, että verrattaessa saman energiamäärän, 328 GWh/v lämpöä ja 160 GWh/v sähköä, tuottamista eri tekniikoilla (kuva 1), saavutetaan jätettä hyödyntävästä tekniikasta riippuen 52 - 95 kt CO_2-ekv/v etua CHP-kivihiililaitoksessa tuotettuun energiaan nähden. Jätetonnia kohti laskettuna määrä on 0,42-1,29 t CO_2-ekv/tonni jätettä (erotus mitataan eri tekniikoiden kokonaispäästöistä, mukaan lukien lauhdevoiman päästöt, jotka syntyvät kun jätteellä tuotetun energian lisäksi oletetaan tuotettavan sähköä tällä marginaaliteknologialla). 0,42 hiilidioksiditonnin etu jätetonnia kohti saavutettiin arinapoltolla käytettäessä liitteessä 3 annettuja oletusarvoja. Vastaava luku oli REF:ä leijupedissä

Hiilidioksidipäästöt 328 GWh/v kaukolämmön ja 160 GWh/v sähkön tuottamiseksi



Kuva 1. Saman energiamäärän (488 GWh/v, josta 328 GWh lämpöä ja 160 GWh sähköä) tuottamisen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt hiilidioksidiekvivalentteina eri polttotekniikoilla. Kuvassa on esitetty esimerkki päästösäästöjen laskemisesta arinapolton tapauksessa (merkitty nuolella pylvään päälle).

poltettaessa 0,73 hiilidioksiditonnia jätetonnia kohti. REF:ä kaasuttimessa kaasutettaessa saavutetaan suurin etu eli 1,29 t CO_2-ekv/jätetonni. Jätetonnilla tarkoitetaan arinapolton tapauksessa sekajätettä ja leijupeti- ja kaasutustapauksissa REF:ä.

Liitteessä 3 on tarkemmin kuvattu laskuissa käytettyjä parametreja. Keskeisimmät tuloksiin vaikuttavat olettamukset ovat:

Yleiset oletukset:
- Laitokset tuottavat 328 GWh/a kaukolämpökuorman kaupungille. Jätettä käyttävien polttolaitosten ja kivihiili CHP- laitoksen välinen sähköntuotannon ero arvioitiin tuotettavan kivihiiltä polttavassa lauhdevoimalaitoksessa, jonka sähköntuotannon hyötysuhde olisi 40 %.

Kaukolämmön referenssilaitos:
- Kaukolämmöntuotannon määrän referenssilaitoksena on arinalaitos.

Sähköntuotannon määrän referenssilaitos:
- CHP-kivihiilikattila: Teho 315 MW, (polttoaineena 2/3 antrasiittia, 1/3 bitumia) + 5 % kaukolämmöntarpeesta 40 MW öljykattila (huipunkäyttö 670 tuntia vuodessa). CHP-laitos on vuodessa käytössä kylmimpään aikaan hieman alle 3 kuukautta ja sen huipunkäyttöaika on 1640 h. Muutoin kaupungin kaukolämpö tuotetaan em. kaukolämpökeskuksessa.
- "Sähköntarvetta" on verrattu BAT-tekniikan mukaiseen CHP-laitokseen, joka tuottaa sähköntuotannon sivutuotteena kaukolämpöä kaupungin kaukolämpökuormasta 95 % (311 GWh/a).

Arinalaitos + lauhdevoima (Kuvassa 1 ”Arina”):
- Arinalaitoksen, joka käsittelee sekajätettä 122 kt vuodessa, polttoaineteho on 61 MW. Huipunkäyttöaika 7800 h/a. Poltettavan jätteen koostumus (1/3 sekajäte, 3/12 syntypaikkalajiteltu jäte 1/6 purkupuu, 1/12 jäteliete, 1/6 määrittelemätön sekajäte). Tämän polttoainekokonaisuuden keskimääräiseksi lämpöarvoksi on arvioitu 13,95 GJ/tonnia ja CO_2-ekv päästökertoimeksi 35,2 tonnia CO_2-ekv/TJ, joka ottaa huomioon myös arinalaitoksen metaanipäästöt.

Leijupetilaitos + lauhdevoima + öljy (Kuvassa 1 ”Leijupetipoltto”):
- Polttoaineteho 54 MW, polttoaineena REF ja jätelietettä yhteensä 74 kt vuodessa. REF:ä määrästä on 65 kt). Polttoaineseoksen lämpöarvoksi on arvioitu 19,65 GJ/tonni ja päästökertoimeksi 29,9 tonnia CO_2-ekv/TJ, jossa on huomioitu leijupedin typpioksiduuli- ja metaanipäästöt. Huipunkäyttöaika 7500 h/a sekä kaukolämmön ”erotukseen käytettävä 40 MW öljykattila (käyttö 1065 tuntia vuodessa).

Kaasutuslaitos + lauhdevoima + öljy (Kuvassa 1 ”Kaasutus”):
- Teho 54 MW, polttoaineena 65 kt REF:ä ja 9 kt jätevesilietettä, eli yhteensä 74 kt jätettä vuodessa. Huipunkäyttöaika 7500 h/a. Polttoaineseoksen lämpöarvoksi on arvioitu 19,65 GJ/tonni ja päästökertoimeksi 28,8. Kaasuttimen tuotekaasun tukipolttoon ja kaukolämmön ”erotukseen" käytetty öljy on laskettu samaan pylvääseen (kaukolämpökäyttö 1861 huipputuntia vuodessa 40 MW:n laitoksessa).

Rinnakkaispolttolaitos + lauhdevoima + öljy (Kuvassa 1 "Rinnakkaispoltto"):

- Rinnakkaispolttolaitoksen polttoaineteho on 260 MW. Polttoaineena käytetään 10 % REF:ä, 40 % bioperäisiä puupolttoaineita, 10% palaturvetta ja 40 % jyrsinturvetta.

Päästöt

- Päästöihin on laskettu mukaan arinapolton metaanipäästöt, sekä leijukerrospolton metaani ja typpioksiduulipäästöt. Nämä päästöt ovat kuitenkin häviävän pieniä verrattuna polttoaineen/jätteen hapettumisesta syntyviin hiilidioksidipäästöihin.
- Päästökertoimina on käytetty Tilastokeskuksen CO_2-päästökertoimia em. polttoaineille (Tilastokeskus 2006) ja Suomen ympäristökeskuksen päästökertoimia energiantuotannon N_2O- ja CH_4-päästöille (SYKE 2005) .

Kaikkien laitosten höyrykuorman on oletettu olevan turbiinin optimaalimitoituksen mukainen. Osakuormista johtuvaa heikompaa hyötysuhdetta ei siis ole otettu huomioon, mutta huipunkäyttöajat on yritetty pitää tämän suhteen realistisina. Jätteenpolttolaitosten toiminta on ympärivuotista ja oletuksena on, että laitos käy käytännössä täydellä teholla jatkuvasti. Muiden laitosten toiminta on usein kausiluontoisempaa, johon vaikuttavat useat eri asiat (polttoaineen hinta, sähkön hinta, hiilidioksiditonnin hinta, kaukolämmön tarve, jne). Polttoaineen laadun vaihtelua (esim. sekajätettä polttavassa arinalaitoksessa) ei ole otettu huomioon.

Sekapolttoaineen CO_2-päästökerroin riippuu eri jätepolttoaineiden käyttösuhteesta (kierrätyspolttoaine/sekajäte, rakennusjäte, jätevesiliete, jne.). Laitosten sähkön- ja lämmöntuotannon hyötysuhteissa saattaa olla eroja, koska sähköntuotannon hyötysuhdetta voidaan kasvattaa erilaisin prosessiteknisin toimenpitein. Erimerkkilaskelman on oletettu kuvaavan laitosta/laitoksia, joiden käyttösäteellä on ympärivuotista tarvetta koko kaukolämpökuormalle. Jos tätä tarvetta ei ole riittävästi suhteessa tuotetun kaukolämmön määrään, kannattaa sähköntuotannon hyötysuhdetta parantaa tai olla parantamatta sen mukaan, millainen spekulatiivinen korvaus sähköstä saadaan tarkastelukaudella.

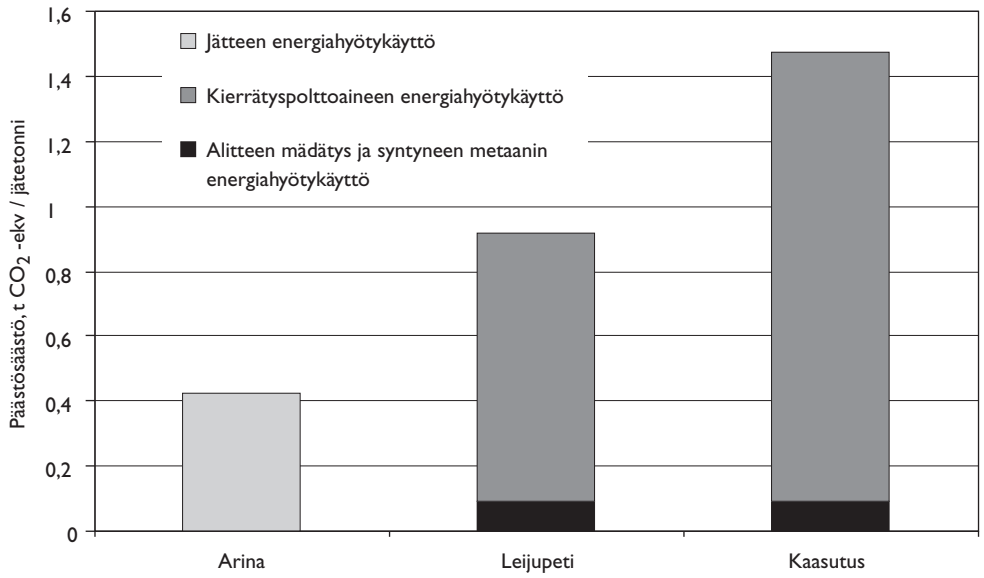
3.3.2

Kierrätyspolttoaineen valmistuksen alitteeseen jäävän orgaanisen aineksen vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin

RDF-polttoaineen erotuksen jälkeen sekajätteestä jää käsiteltäväksi polttoon kelpaamaton seulonta-alite (< 60 mm), jonka sisältämän orgaanisen aineksen vaikutusta energiahyödyntämisen kasvihuonekaasutaseisiin arvioidaan tässä luvussa seuraavien oletusten pohjalta. Tässä käytetyt oletukset eivät kaikilta osin täsmää luvun 3.3.1 esimerkkilaskelmassa käytettyihin arvoihin/lukuihin, mutta antavat karkealla tasolla kuvan kokonaistilanteesta.

Eri polttomenetelmien päästötase hiilidioksidiekvivalentteina on esitetty kuvassa 2. Esitettyjen tulosten taustalla on arvio, että käsitellystä sekajätteestä 50 % päätyy RDF-polttoaineeksi, noin 23 % on inerttiä alitetta ja noin 27 % on orgaanista alitetta. Lisäksi oletetaan, että orgaaninen alite mädätetään ja syntyvä biokaasu hyödynnetään lämmön ja sähkön tuotannossa korvaamaan keskimääräistä suomalaista sähkö- ja lämpöenergiaa. (energian ominaisarvot esitetty luvussa 4.1.1 ja taulukossa 13).

Jos orgaaninen alite kompostoidaan ja lopputuotteen käytölle ei lasketa päästöhyvityksiä, voidaan päästöiksi arvioida taulukossa 17 esitetyt päästöt: suljettu laitoskompostointi, 0,3 g CH_4/t jätettä eli 6,3 g CO_2-ekv/t jätettä. Jos käsittelyksi oletetaan aumakompostointi, päästöt olisivat 0,015 CO_2-ekv-tonnia/tonni jätettä.



Kuva 2. Eri energiahyödyntämismenetelmillä säästettävät kasvihuonekaasupäästöt CO_2-ekvivalentteina jätetonnia kohden laskettuna. Kierrätyspolttoainetta hyödyntävien tekniikoiden tuloksissa on huomioitu RDF:n valmistuksessa syntyvän alitteen mädätys ja energiahyötykäyttö.

Jos orgaaninen alite mädätetään ja metaanista tuotetaan liikennepolttoainetta, kasvihuonekaasupäästöissä säästettäisiin 0,114 CO_2-ekv-tonnia/ jätetonni (vrt. luku 4.1.1 ja taulukko 16).

Suurimmat säästöt kasvihuonekaasupäästöihin siis saadaan, jos kierrätyspolttoaine kaasutetaan kaasutuslaitoksessa (tai muulla vastaavalla hyötysuhteella toimivassa laitoksessa) kaukolämpöä ja sähköä tuottaen ja RDF:n valmistuksen jälkeen sekajätteestä jäävä orgaaninen alite mädätetään tuottaen joko biokaasua energiana hyödynnettäväksi tai liikennepolttoainetta. Lisäksi kierrätyspolttoaineen kaasutuksella tuotettavan energian tulee korvata mieluiten fossiilisilla polttoaineilla tuotettua energiaa, kuten kivihiiltä. Esim. maakaasuun verrattaessa etu olisi todennäköisesti vähäisempi: kivihiilen päästökerroin on 94,1 ja maakaasun vastaavasti vain 56,1, lisäksi kombivoimalaitoksessa on hyvä sähkön- ja lämmöntuotannonhyötysuhde verrattuna kivihiilikäyttöiseen CHP-laitokseen.

3.3.3
EU:n jätteidenpolttodirektiivin hyötysuhteen merkitys

EU:n jätteenpolttodirektiivissä esitetyn 70 %:n energiahyötysuhteen merkitys Suomen kaltaisessa maassa ei ole kovin merkittävä. Vaadittuun 70 % energiasisällön hyötykäyttöön päästään (kaavan 1 mukaan) esim. 16 % sähköntuotannon ja 69 % lämmöntuotannon hyötysuhteella ja korkeahkolla 15 % prosentin omakäytöllä (pumput, puhaltimet, jne) siten, että kaukolämpöverkkoon toimitetaan noin 45 % tuotetusta lämmöstä.

EU:n jätteenpolttodirektiivin mukainen energiantuotannon hyötysuhde (Ne) voidaan laskea kaavalla 1:

$$Ne = ((Ep - (Ef + Ei)) / (0{,}97 \times (Ew + Ef)) \times 100, \qquad (1)$$

jossa

Ep on vuosittainen laitoksen ulkopuolella toimitettu energiamäärä [GJ/a], jossa sähkön vientiä hyvitetään kertoimella 2.6.

Ef on tuorehöyryn tuottamiseen käytetyn polttoaineen primäärienergiamäärää [GJ/a]
Ew on lämpökäsitellyn jätteen energiasisältö [GJ/a]
Ei on tuontienergian määrä pois lukien Ew ja Ef [GJ/a]
Kerroin 0,97 tarkoittaa tuhka- ja säteilyhäviöitä tulipesässä.

Laitoksilla, joilla sähköntuotannon hyötysuhde on korkeampi (esim. 25 %), kaukolämmön hyödyntämistarve on noin puolet pienempi. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, ettei kaukolämpöverkkoon yhteydessä olevalla laitoksella tule olemaan vaikeuksia täyttää energiahyödyntämisen ehtoja. Toisaalta nykyisellä tekniikalla ei kuitenkaan ole kovin realistista saavuttaa ehtoja ilman kaukolämmöntuotantoa.

3.3.4
Muovin polton kasvihuonekaasutase

Erilaisia muovilaatuja on kymmeniä ja laatujen sisällä on olemassa useita variaatioita. Suurin osa muoveista soveltuu poltettavaksi, mutta joukossa on myös muutamia hankalia laatuja, joista tunnetuin ja yleisin on klooripitoinen PVC (polyvinyylikloridi). Käytännössä PVC:tä ei kannattaisi missään tapauksessa polttaa, sillä sen sisältämä kloori höyrystyy polttotilanteessa suolahapoksi, joka aiheuttaa kattila- ja tulistinpinnoille korroosio-ongelmia. Kloori on myös yksi dioksiini- ja furaanipäästöjen elementeistä. Käytännössä (jätteen)polttokattilaa ei tulla mitoittamaan pelkälle muoville kuin erikoistapauksissa.

Teoreettisesti voidaan tarkastella tilannetta, jossa pelkkää muovia poltetaan tai kaasutetaan liitteessä 3 ilmoitetuilla parametreilla siten, että koko jätemäärän sisältämä primäärienergia korvataan energiasisällöltään vastaavalla määrällä muovijätettä. Muovijätteen oletetaan olevan laadultaan Tilastokeskuksen ilmoittamaa sekalaista fraktiota, joka sisältää mm. matkapuhelimien kuoria. Toisin sanoen arinalaitoksessa poltettiin 122 000 sekajätetonnin sijasta 52 000 tonnia sekalaista muovia ja leijupeti- ja kaasutuslaitoksissa poltettiin 74 000 REF- ja jätevesilietetonnin sijasta 44 000 tonnia sekalaista muovia. Tarkastelu pitää tässäkin sisällään lauhdevoimalaitoksessa tuotetun marginaalisähkön päästöt samalla tavoin kuin luvussa 3.3.1.

Tässä tarkastelussa huomattiin, että oletetuilla hyötysuhteilla ja päästökertoimilla sekä arinalaitoksesta että leijupetilaitoksesta vapautuu pelkkää muovia poltettaessa enemmän kasvihuonekaasuja kuin kivihiili-CHP-laitoksesta, kun sähköntuotannon erotus on täydennetty lauhdevoimalla. Arinalaitoksesta päästöjä syntyy 0,59 CO_2-ekvivalenttitonnia muovitonnia kohti enemmän kuin CHP-laitoksesta ja vastaavasti leijupetilaitoksesta 0,23 t CO_2-ekv. muovitonnia kohti. Sen sijaan kaasutuslaitoksen kasvihuonekaasupäästöt ovat 0,64 CO_2-ekvivalnettitonnia/muovitonni pienemmät kuin kivihiili-CHP-laitoksessa.

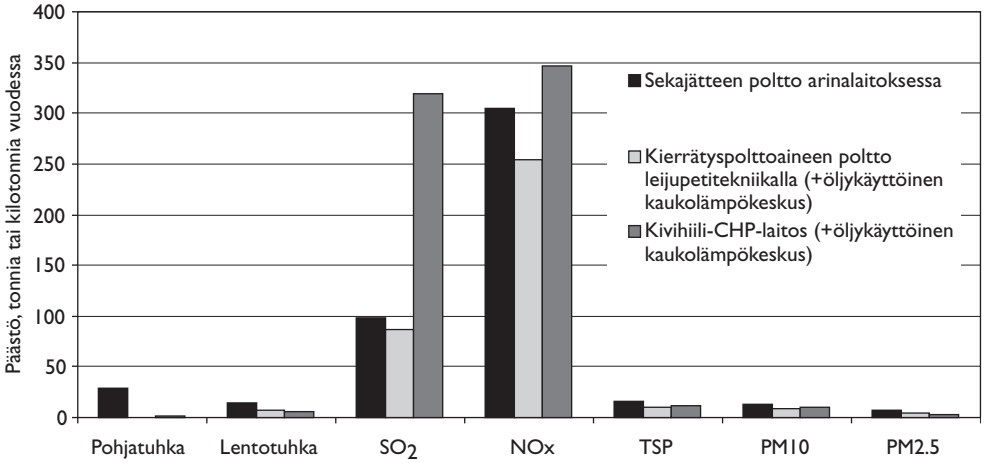
Tämän sinänsä hyvin epärealistisen tarkastelun perusteella huomataan, että muovifraktiolla, jonka päästökerroin on REF:ä ja sekajätettä selkeästi suurempi, sähköntuotannon hyötysuhde on merkittävässä osassa kokonaispäästöjen kannalta.

3.4
Energiahyödyntämismenetelmien muut päästöt

Kuvassa 3 on esitetty muiden tarkasteluun valittujen päästökomponenttien määriä arina- ja leijupetipoltosta sekä kivihiiltä käyttävästä CHP-laitoksesta. Kaasutusratkaisua ei otettu huomioon, koska sovellettavissa olevia täyden mittakaavan laitoksen mittaustuloksia ei ollut käytettävissä. Jos savukaasujen puhdistusjärjestelmä kaasut-

timen ja pääkattilan kanssa kuitenkin toimii odotetusti, riippuvat ainakin hiukkaspäästöt tämän jälkeen lähinnä pääkattilan polttoaineesta.

Energiahyötykäyttömenetelmien päästöjen vertailua



Kuva 3. Arinassa tapahtuvan sekajätteen polton, kierrätyspolttoaineen (REF/RDF) leijupetipolton ja kivihiiltä käyttävän CHP-laitoksen päästövertailua, kun tuotetaan 488 GWh energiaa. Leijupetipolton ja kivihiili-CHP-voimalan päästöihin on laskettu mukaan energiantuotannon täydentäminen öljykäyttöisellä kaukolämpökeskuksella. Lisäksi arinapolton ja leijupetipolton päästöihin on laskettu myös lauhdekivihiilellä tuotetun marginaalisähkön päästöt.

Arinapolton ja leijupetipolton päästöihin on laskettu myös lauhdekivihiilellä tuotetun marginaalisähkön päästöt. Lauhdevoimalan ja CHP- laitoksen tapauksessa laskuissa on käytetty apuna Finland Regional Emission Scenario (FRES) -mallia (Karvosenoja ja Johansson 2003). Jätteenpolton osalta päästökertoimet on arvioitu Turun jätteenpolttolaitoksen ympäristöselvityksen perusteella ja hiukkaskokojakauma RAINS-mallin (Klimont ym. 2003) avulla. On kuitenkin huomioitava, että Turun ympäristöselvityksessä päästökerroin on arvioitu huomattavasti korkeammaksi kuin muussa alan kirjallisuudessa. Näin ollen se ei välttämättä vastaa todennäköisiä päästömääriä.

Pohja- ja lentotuhkien määrän arviointi varsinkin leijupetikattiloissa on hankala kohdistaa käsitellyn polttoaineen määrään. Pohjatuhkan määrään vaikuttavat myös mm. petiaines ja palamattoman ja epäorgaanisen hiilen määrä. Lentotuhkan määrän vaihteluihin vaikuttaa esim. rikinpoiston aiheuttama "kalkkilisä".

Pohjatuhkan laatu vaihtelee runsaasti arina- ja leijupetikattiloiden välillä. Leijupedissä tuhka on sekoittunut kiviainekseen ja on jauhautumisefektin ja esilajittelun vuoksi ominaisuuksiltaan hyvin erilaista kuin arinapolton tuhka.

3.5

Jätteen energiahyödyntämisen vahvuudet ja heikkoudet ympäristön kannalta

Luvussa 3.3 oli annettu suuntaa-antavia arvioita siitä, miten jätteenpoltto suhteutuu CHP-kivihiilivoimalaitoksen päästöihin. Kaikilla alueilla kivihiileen vertaaminen ei ole perusteltua, koska joillakin alueilla, joihin jätteenpolttolaitoksia on suunniteltu, laitos ei tulisi korvaamaan kivihiiltä, vaan esim. maakaasua tai turvetta. Päästökertoimet vaihtuvat polttoaineen mukaan ja muut kuin kasvihuonekaasupäästöt

riippuvat merkittävästi polttoaineesta ja laitoksella käytetystä puhdistustekniikasta. Vaatimukset puhdistustekniikan suhteen vaihtelevat riippuen mm. laitoskoosta, laitoksen iästä ja sen käyttämästä polttoaineesta. Päästövertailua pitäisi suorittaa siis mahdollisimman alueellisesti ja tarpeeksi pitkällä aikavälillä, jotta esim. mahdolliset LCP-direktiivin (direktiivi tiettyjen suurista polttolaitoksista ilmaan joutuvien epäpuhtauspäästöjen rajoittamisesta, 2001/80/EC) vaikutukset ja mm. tulevan EU:n päästökattodirektiivin reviision (esim. Directive 2001/81/EC ja http://ec.europa.eu/environment/air/rev_nec_dir.htm) aiheuttamat muutokset pystyttäisiin ottamaan huomioon riittävän kattavalla tasolla.

Tarkastelun perusteella erilaiset jätteenpolttoratkaisut tuottavat selvän edun kivihiilen käyttöön nähden. Kasvihuonekaasutaseen kannalta laskelmiin vaikuttaa laitoksen kokonaishyötysuhde sekä vaihtelevissa määrin sähkön ja lämmön tuotannon hyötysuhteet riippuen siitä, tarvitaanko esim. lauhdekivihiilivoimalalla tuotettua marginaalisähköä kyseisenä vuonna. Tähän vaikuttavat merkittävästi esim. Pohjois-Skandinavian sateet (Norjan ja Ruotsin vesivoima) ja vuoden 2010 jälkeen viides ydinvoimalamme.

Luvussa 3.3.1 ja liitteessä 3 annetuilla arvoilla tarkasteltuna kaasutinratkaisu olisi kasvihuonekaasutaseen perusteella paras vaihtoehto, mutta koska kyseessä on verrattain uusi tekniikka, on sillä omat ongelmansa. Sekä kaasutin- että leijupetiratkaisuja puoltavat kuitenkin myös energiantuotannon nykyisen rakenteen suomat mahdollisuudet käyttää vanhoja, jo olemassa olevia kattiloita osana ratkaisua. Lisäksi näiden kahden tekniikan kotimainen huippuosaaminen on hyvä ottaa huomioon. Molempia vaihtoehtoja tarkastellessa on kuitenkin syytä muistaa, että polttoaineen esikäsittely vaatii resursseja ja investointeja ja aiheuttaa päästöjä. Lisäksi molemmat tekniset ratkaisut vaativat polttoaineelta puhtautta. Juuri tämän polttoaineen laadun standardoimiseen tehdään parhaillaan töitä, mutta lopullinen valmistumisaikataulu on vielä täysin avoin. Jos standardoimistyön myötä jätepolttoaineet saataisiin pois jätteenpolttodirektiivin alaisuudesta, pienenisivät investointikustannukset merkittävästi mm. seurantavelvoitteiden löyhentymisen vuoksi.

Arinapolttokattilat ovat yleisimmin jätteenpoltossa käytössä olevia tekniikoita. Arinoiden rakenteellinen kehitys ja tulipesän palamisolosuhteiden parantaminen mm. leijupetitekniikasta tutulla ilman vaiheistuksella ovat parantaneet palamistehokkuutta ja alentaneet primääripäästöjä. Käyttövarmuudeltaan arinaratkaisut ovat riskittömämpiä kuin leijupetiratkaisut. Erilaisiin jälkitulistimiin perustuvan vesihöyry-kierron parantamisratkaisut ovat myös nostaneet (tarvittaessa) arinalaitosten aiemmin melko vaatimatonta sähköntuotannon hyötysuhdetta.

Joissakin tapauksissa arinaratkaisu on jopa tehostanut materiaalin kierrätystä: mekaanisilla erottimilla vaikeasti erottuvat esim. magneettiset tai vastaavat fraktiot on saatu helpommin eroteltua tuhkasta, kun niitä ympäröinyt orgaaninen materiaali on palanut pois. Yleensä kuitenkin pelätään arinapolton vaikuttavan päinvastoin, eli syntypaikkalajittelua ja kierrätystä vähentävästi .Polton lopullinen vaikutus materiaalihyötykäyttöön riippuu tietysti paljon kierrätysjärjestelmän toimivuudesta energiakierrätyksen ulkopuolella ja siitä, miten kierrätyslaitokset sijoittuvat suhteessa sekapolttoainetta käyttävään laitokseen. Vaihtoehtoina on, että hyötykäytettävät materiaalit erotetaan ennen polttoa, vasta jätteen termisen käsittelyn jälkeen tuhkasta tai sekä että. Energiahyödyntämiseen liittyvä tekniikoiden vahvuuksien, heikkouksien, mahdollisuuksien ja uhkien tarkastelu on koottu tekniikkakohtaisesti taulukkoon 13.

Taulukko 13.

Jätteen energiahyödyntämisen tekniikkavaihtoehtojen vahvuuksia, mahdollisuuksia, heikkouksia ja uhkia.

Arinapoltto	Vahvuudet	Mahdollisuudet	Heikkoudet	Uhat
Syöte	Jäte ei tarvitse esikäsittelyä	Keräyslogistiikka yksinkertainen	Polttoaineen laatu heikko ja vaihteleva.	Ei kannusta syntypaikkalajitteluun.
Tekniikka	Varmatoiminen, laajalti käytössä oleva, "kaikkiruokainen", saattaa toimia myös kierrätyksen edistäjänä	Laitteentoimittajia useita. Hankkeen laaja kilpailuttaminen mahdollista.	Kallis kattila, heikohko sähköntuotannon hyötysuhde ilman erikoisratkaisuja, palamishyötysuhde kuin muissa ratkaisuissa, pohjatuhkan hyötykäytölle rajoituksia ja haasteita. Jätelietemäisen syötteen käsittelymahdollisuudet rajoitettuja. Kyseessä lähes aina uuden infrastruktuurin rakentaminen.	Investoinnin suuri määrä vaatii pitkän ajan sitoutumisen jätteen toimitukseen. Ei kovin kannattavaa tekniikkaa muille polttoaineille. Jätteen koostumuksen vaihtelu ja sekajätteen orgaanisten fraktioiden (pahvi, muovi) kierrätyksen tehostuminen hankaloittaa tulipesän mitoitusta.
Tuhka	Syötteeseen nähden huomattavasti pienempi loppusijoitustarve	Kierrätettävien fraktioiden erottaminen tuhkasta	Lentotuhka katsotaan ongelmajätteeksi, joka johtaa kalliisiin kaatopaikkaratkaisuihin, enemmän pohjakuonaa kuin muissa ratkaisuissa	
Leijukerrospoltto	Vahvuudet	Mahdollisuudet	Heikkoudet	Uhat
Syöte	Tasalaatuinen polttoaine, koska polttoainene ominaisuudet eivät merkittävästi heilahtele.	Syötteestä jätteenpolttodirektiivin ulkopuolelle jäävä polttoaine	Jäte tarvitsee tarkan esijalostuksen. Esikäsittelylaitoksen hinta. Tarpeeksi hyvälaatuisen polttoaineen/jätteen riittävyys	Rejektin kohtalo. Kierrätyspolttoaineissa useita fraktioita, jotka soveltuisivat myös materiaalihyödyntämiseen.
Tekniikka	Sopii melko hyvin myös hyvin kosteille fraktioille, tekniikka soveltuu hyvin myös kotimaisille polttoaineille, palamisolosuhteet hyvät ja palamishyötysuhde korkea.	Voidaan käyttää kannattavasti myöhemmin muille polttoaineille	Petihiekan leijutuksesta johtuva omakäyttö, hiekka saattaa paakkuuntua, jos syöte ei ole sopivaa.	Lähinnä Suomessa valmistettava kattilatyyppi, kilpailutus saattaa olla ongelma (ainoastaan muutama valmistaja).
Tuhka	Pohjatuhka voidaan sijoittaa tavalliselle kaatopaikalle sellaisenaan tai ohjata tietyin rajoituksin hyötykäyttöön		Ongelmajätteeksi luokiteltua lentotuhkaa enemmän kuin arinaratkaisussa	
Kaasutus	Vahvuudet	Mahdollisuudet	Heikkoudet	Uhat
Syöte	Tuotekaasu erittäin tasalaatuinen polttoaine, myös syöte tasalaatuista.	Tuotekaasusta jätteenpolttodirektiivin ulkopuolelle jäävä polttoaine	Jäte tarvitsee tarkan esijalostuksen. Esikäsittelylaitoksen hinta. Tarpeeksi hyvälaatuisen polttoaineen/jätteen riittävyys	Rejektin kohtalo. Kierrätyspolttoaineissa useita fraktioita, jotka soveltuisivat myös materiaalihyödyntämiseen.
Tekniikka	Voidaan sijoittaa jo olemassa olevan kattilan yhteyteen, jolloin investointikustannukset kaasuttimen suhteen alhaisemmat. Hyvä sähköntuotannon hyötysuhde.	"Tulevaisuuden" tekniikkaa. Voidaan käyttää kannattavasti myöhemmin muille polttoaineille	Kaasun puhdistus kallista ja tekniikka uutta (ei pitkäaikaista kokemusta). Integroituna toiseen kattilaan, pääkattilan likaantumis- ja korroosioriskit.	"Tulevaisuuden" tekniikkaa. Ei juurikaan pitkään toimineita referenssilaitoksia, jotka takaisivat konseptin toimivuuden.
Tuhka	Pohjatuhkan määrä erittäin pieni		Savukaasujen puhdistuksesta jäävää, ongelmajätteeksi luokiteltavaa tuhkaa syntyy kahdessa eri vaiheessa.	

Rinnakkais-poltto	Vahvuudet	Mahdollisuudet	Heikkoudet	Uhat
Syöte	Tasalaatuinen polttoaine.	Syötteestä jätteenpolttodirektiivin ulkopuolelle jäävä polttoaine	Jäte tarvitsee tarkan esijalostuksen. Esikäsittelylaitoksen hinta. Tarpeeksi hyvälaatuisen polttoaineen/jätteen riittävyys. Laitokset eivät välttämättä halua ottaa suuria määriä polttoon.	Rejektin kohtalo. Kierrätyspolttoaineissa useita fraktioita, jotka soveltuisivat myös materiaalihyödyntämiseen.
Tekniikka	Valmiita laitoksia kymmeniä ympäri Suomea. Sopii melko hyvin myös hyvin kosteille fraktioille, palamisolosuhteet hyvät ja palamishyötysuhde korkea.	Valmis energiainfrastruktuuri.	Vaatii laitokselta todennäköisesti lisäinvestointeja monitorointiin ja joissain tapauksissa savukaasujen puhdistukseen.	
Tuhka	Pohjatuhka voidaan sijoittaa tavalliselle kaatopaikalle sellaisenaan tai ohjata tietyin rajoituksin hyötykäyttöön		Ongelmajätteeksi luokiteltua lentotuhkaa enemmän kuin arinaratkaisussa	

4 Jätteiden materiaalihyödyntämisen vaihtoehdot ja niiden vaikutukset

4.1

Mädätys ja sen tuotteena saatujen biomassan ja biokaasun hyödyntäminen

Mädätys on prosessi, jossa mikrobit hajottavat orgaanista ainesta hapettomissa olosuhteissa. Lopputuotteena syntyy biokaasua ja mädätettyä biomassaa. Biokaasu on polttokelpoinen kaasuseos ja mädätyksen biomassa voidaan kompostoinnin jälkeen käyttää viherrakentamiseen tai lannoitteeksi. Biomassan hyödyntäminen sisältyy näin ollen kompostointia käsittelevään osuuteen (kohta 2.2). Tarkastelussa on käytetty oletusta, että mädätys + kompostointi -yhdistelmän ja pelkän kompostoinnin tuottama massa-aines ovat yhtä suuret (Suunnittelukeskus Oy 2003).

Tässä kohdassa tarkastellaan mädätykseen ja sen mahdollisesti korvaamaan toimintaan liittyvää energian kulutusta ja tuotantoa sekä päästöjä. Suljettu mädätysprosessi sinänsä on oletettu päästöttömäksi.

4.1.1

Mädätyksessä tuotetun biokaasun hyödyntäminen lämmön ja/tai sähkön tuotannossa

Biokaasun tärkein komponentti on metaani, jonka lämpöarvo on 9,9 kWh/m3. Biokaasussa on metaania keskimäärin 65 % (55 – 75 %), joten sen lämpöarvo on noin 6,4 kWh/m3 (Kuittinen ym. 2005, Pipatti ym. 1996, Suomen biokaasukeskus 2006). Koko lämpöarvo ei kuitenkaan ole käytettävissä energiantuotantoon, koska mätäneminen ei varsinaisesti tuota lämpöä ja optimaalista lämpötilaa on ylläpidettävä lämmityksen avulla (Pipatti ym. 1996). Mädättämön lämmittämiseen kuluu kolmannes tuotetusta biokaasusta (Hospido, A. 2005, Schäfer ym. 2006).

Mädätyksessä syntyvän biokaasun määrä riippuu mädätettävästä materiaalista (taulukko 10). Hyviä biokaasun tuottajia ovat helposti hajoavat ainesosat, kuten hiilihydraatit, proteiinit, rasvat, erilaiset lietteet ja lannat. Puun ja paperin sisältämät selluloosa, hemiselluloosa ja ligniini tekevät niistä hitaasti hajoavia, joten ne soveltuvat mädätykseen huonosti (Pipatti ym. 1996).

Lopullisen tuotetun energian määrä riippuu sähkön- ja lämmöntuotannon osuuksista. Pelkkää lämpöä saadaan tuotetuksi 90 % hyötysuhteella, kun taas pelkän sähköntuotannon hyötysuhde on vain 35 % (Suomen biokaasukeskus 2006, Pipatti ym. 1996). Jätevesilietteen ja biojätteen bioenergiasisällöt on esitetty taulukossa 14. Mädättämön vaatima oma lämmitysenergia on laskettu kolmanneksen kaasukulutuksen (Schäfer ym. 2006) ja 90 %:ksi oletetun lämmöntuotannon hyötysuhteen avulla.

Kun mädättämön lopputuotteena on 30 % sähköä ja 70 % lämpöä (hyötysuhteilla sähkö = 35 % ja lämpö = 90 %), saadaan tuotettua energiaa 183 kWh/jätevesiliete-t ja 326 kWh/biojäte-t. Mädätyksen energiantuotannolla säästetyt päästöt saadaan

laskettua keskimääräisten sähkön- ja lämmöntuotannon päästökertoimien avulla (taulukko 15). Saadut säästöt ovat n. 105 kg/biojätetonni (taulukko 16).

Taulukko 14.
Biokaasun tuotantokertoimet jätelajeittain (Alakangas 2001) sekä vastaavat energiasisällöt ja ylijäämäenergian määrä. Biokaasun (65 % metaania) lämpöarvoksi on oletettu 6,4 kWh/m^3.

Sektori	Biokaasun tuotto (m^3)	Energia-sisältö (kWh)	Mädät-tämön oma kulutus (kWh)	Ylimäärä-biokaasu (m^3/t)	Energia-ylimäärä (kWh)	Tuotettu energia (kWh)*
Jätevesiliete (märkä), t	70	448	149	47	299	105 - 269
Biojäte (ka 25 %), t	125	800	267	83	533	187 - 480

* Tuotetun energian vaihteluvälin minimi on laskettu olettamalla energiantuotanto pelkäksi sähkön tuotannoksi (hyötysuhde 35 %) ja maksimi puolestaan olettamalla se pelkäksi lämmöntuotannoksi (hyötysuhde 90 %).

Taulukko 15.
Suomen keskimääräisen sähköntuotannon ja lämmöntuotannon päästöt v. 2005 (Nissinen 2006).

Päästökomponentti	Määrä (g/kWh sähköä)	Määrä (g/kWh lämpöä)
CO_2	292	292
CH_4	1,056	0,75
N_2O	0,027	0,040
CO_2-ekvivalentteina	322,5	320,2

Taulukko 16.
Biokaasun energiakäytön päästöt, kun lopputuotteena oletetaan olevan energiaa 326 kWh/t, josta tuotetun energian suhde on 30 % sähköä ja 70 % lämpöä ja niille oletetaan olevan myös kysyntää. Syntyneet säästöt näkyvät taulukossa miinus-merkkisinä.

Päästökomponentti	Energiantuotannon päästökerroin (g/kWh)	Päästön määrä (g/tonni biojätettä)
CO_2	- 292	- 95 254
CH_4	- 0,91	- 297
N_2O	- 0,033	- 11
CO_2-ekvivalentteina	- 321	- 104 857

4.1.2

Mädätyksessä tuotetun biokaasun hyödyntäminen ajoneuvojen polttoaineena

Biokaasu soveltuu käytettäväksi metaanikäyttöisissä ajoneuvoissa. Tätä tarkoitusta varten kaasu on ensin puhdistettava paineistetulla vesipesulla rikkivedystä ja hiilidioksidista ja väkevöitävä metaanipitoisuudeksi 95 - 98 % (Lehtomäki ym. 2003, KTM 2006). Suomessa metaania käyttäviä ajoneuvoja ovat lähinnä CNG-bussit (CNG = compressed natural gas). Biokaasun voidaan siis olettaa korvaavan diesel-käyttöisiä busseja, jotka voidaan käytännössäkin suhteellisen helposti muokata maakaasukäyttöön. Näin ollen biokaasun korvaavuus lasketaan dieselin käyttöön verrattuna. Metaanin käyttö dieselin sijaan vähentää auton moottorin haitallisia päästöjä ja myös kasvihuonekaasupäästöjä a) bio-sisältönsä ja b) polttoaineen valmistuksessa säästettävien päästöjen kautta (KTM 2006).

Uusien (Euro 3) maakaasubussien metaanipäästöt ovat 1,0 g/km ja hiilidioksidipäästöt 1250 g/km (taulukko 17). Maakaasubussien hiilivetypäästöistä yli 95 % on metaania. Niiden energiankulutus on noin 22 MJ/km, mikä vastaa diesel-ekvivalentteina 62 litraa/100 km. Viimeisintä tekniikkaa edustavien EEV –sertifioitujen maakaasuautojen ryhmässä kulutuksen hajonta on huomattavan suuri: Diesel-ekvivalenttikulutukseksi muutettuna tehokkain auto kulutti 51 l/100 km, mutta eniten kuluttava peräti 71 l/100 km. (Nylund ja Erkkilä 2004)

Diesel-käyttöisten bussien päästöt ovat uusimmille diesel-autoille (Euro 3) 0,15 g CH_4/km ja 1250 g CO_2/km (taulukko 17). Kaksiakselisten dieselautojen kulutus on 41 – 60 l dieseliä/100 km. Ilman CRT-suodatinta (CRT = Continuously Regenerating Trap) dieselauton kulutus on 48 l/100 km, ja CRT-suodattimella 52 l/100 km. (Nylund ja Erkkilä 2004)

Polttoaine-biokaasun (metaania 98 %) lämpöarvo on noin 9,7 kWh/m^3 eli 34,9 MJ/m^3. Maakaasun kulutukseksi saadaan siis noin 0,63 m^3/km (98 % metaania. Vertailun vuoksi: toisinaan on käytetty myös arvoa 0,7 m^3/km (Kuittinen ym. 2005) ja laskennallisesti laimeampana maakaasuna noin 1,0 m^3/km.

Yksi kuutio laimeaa maakaasua vastaa siis bussien käyttämänä biokaasua suhteessa 1 m^3 biokaasua (65 % metaania) = 0,527 litraa dieseliä. Tämä on siis vain laskennallinen vertailuarvo, sillä moottori vaatii toimiakseen 98 %:n metaaniväkevyyden. Väkevälle biokaasulle vastaava suhde on 1 m3 biokaasua (98 % metaania) = 0,79 litraa dieseliä. Dieselin käytön ja tuotannon päästösäästöpotentiaalit diesel-litraa kohden on koottu taulukoihin 17 ja 18, ja päästöt on kohdistettu jätteelle taulukossa 19.

Taulukko 17.
Dieseliä ja maakaasua käyttävien bussien päästöt ja polttoaineen kulutus (Nylund ja Erkkilä 2005).

Päästöt	Diesel-bussi (Euro 3) (g/km)	Maakaasubussi (g/km)	Säästö maakaasubussin (g/km)
CO_2	1 250	1 250 (bioper.)	1 250
CH_4	0,15	1,0	-0,85
CO_2-ekvivalentteina	1 253	21	1 232
Polttoaineen kulutus			
Diesel-ekvivalentteina	0,5 l/km	0,62 l/km	0,5 l/km
Maakaasuna		0,63*-0,95** m^3/km	

* kun metaania 98 %, ** kun metaania 65 %

Taulukko 18.
Biokaasun korvaaman dieselin (tiheys 835 kg/m^3) tuotannon päästöt. (Dahlbo ym. 2005)

Dieselin tuotannon ilmapäästöt	Päästö (g/l dieseliä)	Päästö (g/kg dieseliä)
CO_2	140	170
CH_4 (HC, josta pääosa metaania)	0,16	0,19
Yhteensä CO_2-ekvivalentteina	143	174

Taulukko 19.
Biokaasun polttoainekäytön kasvihuonekaasupäästöt, kun lopputuotteena oleva biokaasu oletetaan käytettävän maakaasubussien polttoaineena. Syntyneet säästöt näkyvät taulukossa miinusmerkkisinä.

Päästökomponentti	Määrä (g/tonni märkää jätevesi-lietettä)	Määrä (g/tonni biojätettä)
CO_2-ekvivalentteina	- 64 070	- 114 411

Koska biokaasun tuotannosta kolmanneksen oletetaan kuluvan mädätysprosessin pyörittämiseen, tuotetun biokaasun määrät ovat biojätteestä riippuen 47 – 83 m^3/t. (taulukko 14). Kun ylimääräkaasu käytetään polttoaineeksi dieselin tilalla, säästetään dieselin valmistuksen ja käytön päästöt (taulukko 19). Päästötaseeseen ei tiedon puutteen vuoksi ole huomioitu biokaasun väkevöinnin energiankulutusta ja päästöjä. Niiden huomioiminen suurentaisi jonkin verran taulukon 19 arvoja.

Edullisten kasvihuonekaasuvaikutuksen lisäksi maakaasulla toimivien CNG-ajoneuvojen formaldehydi- ja PAH-päästöt sekä päästöjen toksisuus ovat dieselin käyttöön verrattuna pienet (Nylund ym. 2004).

Kustannusnäkökulmasta tarkasteltuna maakaasukäyttö lisää linja-auton hankintahintaa 20 % ja henkilöauton 10 %. Biokaasun puhdistuksen hinta on noin 0,17 – 0,5 e/m^3 (Lampinen 2003). On arvioitu, että biokaasu on kilpailukykyinen bensiinin ja dieselin kanssa, mikäli raakakaasu olisi nollahintaista. Maakaasun myyntihinta tammikuussa 2006 oli Suomessa 0,63 e/bensiini-ekv-litra (Lehtomäki ym. 2003, KTM 2006).

4.2

Kompostoinnin lopputuotteen hyödyntäminen

Kompostoinnissa hajotetaan biomassasta biohajoava aines mikrobitoiminnan avulla hapellisissa olosuhteissa hiilidioksidiksi ja vedeksi. Kompostointi poistaa biologisesta materiaalista hajut, tappaa haitalliset mikrobit, vähentää sen kosteutta, tekee tuotteesta tasalaatuista ja helpommin käsiteltävää. Ennen kompostointia biomateriaali voidaan esikäsitellä mädättämällä, ja toisaalta mädätetty biomassa vaatii lisäkäsittelykseen kompostoinnin.

Kompostoinnin aikana vapautuvia kasvihuonekaasupäästöjä ovat hiilidioksidi, metaani ja typpioksiduuli (taulukko 20). Päästöarvioiden heikkoutena on, että niitä ei ole ilmoitettu jätteen sisältämiä yhdisteitä kohti, vaan yleisinä päästökertoimina. Samoja päästöjä on siis tässä tutkimuksessa käytetty sekä kompostoidulle lietteelle että biojätteelle.

Kompostoinnin päästöistä oli saatavilla huonosti tietoa. Taulukossa 20 esitetyt, lähteestä Lehto (2005) poimitut hiilidioksidipäästöjen erot ovat huomattavat, mutta vailla perusteluja. Määrät eivät kuitenkaan bioperäisinä vaikuta tuloksiin. Biohajoavan aineksen sisältämästä typestä on arvioitu haihtuvan pahimmillaan ilmaan noin 25 – 50 %. Tästä määrästä on arvioitu typen jakautuvan dityppioksidiksi 5 %:n ja ammoniumtypeksi lopun noin 95 %:n osuudella. Dityppioksidi-typen päästö olisi tällöin 1,8 % kokonaistyppisisällöstä. Toisen arvion mukaan 1 – 2 % (Grönroos 2006, Lehto 2005) typestä haihtuu N_2O-typpenä, joten arviot ovat saman suuntaiset. Kaikki määrät riippuvat kuitenkin prosessiolosuhteista. Jos biojätteen typpisisältö on 0,5 – 1,6 % (vrt. taulukko 15), arvioitu 2 %:n N_2O-N-haihtuma vastaisi grammoina määrää 100 – 320 g N_2O/t. Tässä on kuitenkin valittu CDM-mekanismeille (Clean Development Mechanism, Kioton pöytäkirjan hankemekanismi) käytetty arvo, 43 g N_2O/t, koska lähde (kts. taulukko 20) on yleisesti tunnettu.

Kompostitoiminnan lisäksi päästöjä syntyy välillisesti prosessien energian- ja polttoaineiden kulutuksen kautta. Kompostoinnin kuluttama energia riippuu menetelmästä ja vaihtelee välillä 10 – 60 kWh/jätetonni (Lehto 2005). Rumpukompostointi kuluttaa sähköä noin 22 kWh/tonni ja tunnelikompostointi 21 – 36 kWh/jätetonni (Lehto 2005). Taulukossa 20 on suljetulle kompostoinnille käytetty arvoa 26 kWh/jätetonni, aumakompostoinnille 10 kWh/jätetonni ja pienkompostoinnin on oletettu toimivan ilman sähköä. Aumakompostointiin on huomioitu kompostin kääntelyn viemä polttoaine, 1,5 kg/jätetonni (Pelkonen ym. 2000).

Taulukko 20.
Biojätteen kompostoinnin päästöt kompostoitua jätetonnia kohti (Pelkonen ym. 2000).

Prosessin tuottamat päästöt	Suljettu kompostointi (g/t)	Auma-kompostointi (g/t)	Pienkompostointi (g/t)
CO_2 [1](huom. bioperäistä)	7,5	3 490	84 000
CH_4	0,3	100	160
N_2O	-	43[3]	250
Sähkön kulutuksen päästöt[2]	(g/t)	(g/t)	(g/t)
CO_2	7 592	2 920	-
CH_4	27,5	10,6	-
N_2O	0,70	0,27	-
Diesel-polttoaineen tarve	(g/t)	(g/t)	(g/t)
CO_2-ekv	-	5 118	-
Yhteensä, CO_2-ekv (pl. bioperäinen)	8 392	23 842	80 860

1 Lehto 2006
2 Nissinen 2006
3 Clean Development Mechanism (CDM) –hankkeille määritellyssä AM0025-arviointi-metodologiassa (Avoided emissions from organic waste composting at landfill sites) annettu lukuarvo laitoskompostoinnin N_2O-päästöille.

Kompostointi vaatii tukiaineen, jotta ilma pääsisi kiertämään ja saataisiin lopputuotteen kosteus ja käsiteltävyys paremmiksi. Käytettyjä tukiaineita ovat turve (25 % kompostilaitoksista), hake (71 % kompostilaitoksista), kutterilastu, olki tai sahajauho (yhteensä 4 % laitoksista). Käytetyt biojäte : tukiaine -suhteet (tilavuutena) ovat n. 1 : 1-1,1 ja liete : tukiaine -suhteet 1 : 0,9 – 2,3. Tunnelikompostoinnissa käytetään tukiainetta rumpukompostointia pienempiä määriä. (Jaakko Pöyry Infra 2001)

Kompostoitua jätetonnia kohden voidaan kuitenkin arvioida, että hyödynnettävää lopputuotetta syntyy noin saman verran tonneina, mitä sitä on lähtötilanteessa: kompostointi pienentää massan noin puoleen (Suunnittelukeskus Oy 2003), mutta tukiainelisä nostaa määrän jälleen likimäärin alkuperäiselle tasolle.

4.2.1

Kompostoinnin lopputuotteen hyödyntäminen viherrakentamisessa tai maisemoinnissa

Viherrakentamisella tarkoitetaan kasvualustan perustamista maisemoitavaan tai peitettävään kohtaan. Yleisiä käyttökohteita ovat tienpientareet, golf-kentät, saastuneet maa-alueet, kaatopaikat, meluvallit ja yksityiset ja julkiset nurmialueet. Perusmaahan sekoitettaessa kompostituotteen sekoitussuhde on tyypillisesti 1 osa kompostia ja 3-5 osaa perusmaata (KTTK 2006).

Turpeesta ja kompostista valmistetulla (suhteella 1:1) tuoteseoksella on todettu olevan kyky sitoutua tiiviiksi kerrokseksi jyrkille pinnoille (Mäntylä 2006), joilla sitä voidaan käyttää estämään eroosiota. Vastaavaa ominaisuutta ei ole todettu muilla maa-aineksilla.

Kun kompostoitua tai mädätettyä & kompostoitua biomassaa käytetään viherrakentamisessa turvemullan sijaan, säästetään turvemullan valmistuksen sekä turvetuotannon päästöt (taulukko 16). Toisaalta kompostien valmistuksessa käytetty turve puolittaa säästön 25 % tapauksista.

Viherrakentamisen kautta saatavia kasvihuonekaasupäästöjen säästöjä ei voitu laskea tässä tutkimuksessa turvemultaan ja turpeeseen liittyvien lähtötietojen puuttumisen vuoksi.

4.2.2

Kompostoinnin lopputuotteen hyödyntäminen lannoitteena

Kompostoidussa biojätteessä ja lietteessä on tallella ravinteita, vaikka kompostointiprosessissa syntyykin häviöitä ilmaan ja valumavesiin. Jäljellä olevat ravinteet saadaan käyttöön, jos kompostituotteet hyödynnetään pelloilla tai maanparannusaineena. Kompostoinnissa menetettyä typpeä kompensoi, jos kompostin tukiaineena käytetään turvetta. Tämä johtuu siitä, että turpeen typpipitoisuus on 0,6 – 3 %, kun se esim. koivuhakkeelle on vain 0,05 – 0,2 % (Alakangas 2000). Kompostien ravinnepitoisuudet on esitetty taulukossa 21, mistä voidaan todeta typen kokonaismäärän vaihtelevan välillä 0,5 – 1,6 %.

Kompostin sisältämien ravinteiden käytettävyyden arviointi on lannoiteravinteita hankalampaa, sillä kompostoidun jätteen typpi ja fosfori ovat molemmat suurelta osin sitoutuneena niukkaliukoisina orgaaniseen ainekseen ja vapautuvat kasvien käyttöön useamman vuoden ajan (Lehto 2005). Tämä ehkäisee ravinnepiikin levityshetkellä, mutta vaikeuttaa kasvien saatavilla olevan ravinnemäärän arviointia: Kertyneen ravinnevaraston käyttäytymisen (ns. jälkivaikutuksen) ja määrän arviointi on vaikeaa, koska typpilannoitteiden annostusta ei tehdä maaperän ravinneanalyysiin perustuen ja laskennallisissa arvioissa käytetään vain liukoista osuutta (Grönroos 2006).

Kompostituotteiden metallipitoisuudet jäävät reilusti lannoitelain mukaisten pitoisuuksien alle. Mitatut määrät ovat välillä 5 – 65 % sallituista määristä (Lehto 2005). Sen sijaan fosforin levitykselle asetettu maksimiraja (75 % kokonaisfosforista, 0,015 t/ha/a) tulee vastaan, kun typpiravinteen tarpeesta on täytetty vasta 2 – 10 % (taulukko 22). Typestä on tällöin huomioitu maatalouden tukiehtojen mukainen liukoinen osuus.

Taulukko 21.
Biojätteiden ja lietteiden sisältämät ravinteet lopputuotteessa (ja kuiva-ainetta kohden) (Lehto 2005[1], KTTK 2005[2], Kiteen kunta 2006[3]).

Kompostoitujen jätteiden ominaisuuksia	Biojäte-komposti[1]	Liete-komposti[2]	Biojäte-liete-komposti[3]
Kuiva-aine (DM)	54	28	40
Kokonaistyppi, % (% DM)	1,6 (3,0)	0,5 (2,0)	1,1 (2,6)
Liukoinen typpi, % (% DM)	0,2 (0,3)	0,4 (0,2)	0,2 (0,6)
Kokonaisfosfori, % (% DM)	0,4 (0,7)	0,57 (2,1)	0,9 (2,2)

Taulukko 22.
Esimerkki kompostituotteiden sisältämien ravinteiden korvaamasta lannoitustarpeesta mitoitettuna fosforin maksimilevitysmäärälle (0,015 t/ha/a).

Kompostituotteessa peltoon tuodut ravinteet, kun levitys on mitoitettu fosforin maksimimäärälle	Biojäte-komposti (t/ha/a)	Liete-komposti (t/ha/a)
Lannoitteeksi levitettävä määrä, jossa	5,3	3,5
P	0,015	0,015
N (tot)	0,086	0,019
N (liukoinen)	0,009	0,001
N (lisätarve*, laskettuna liukoisesta typestä)	0,081	0,089
Kierrätyksen korvaama P	100 %	100 %
Kierrätyksen korvaama N (liuk):	9,5 %	1,6 %

* Typen tarpeena on käytetty Suomessa pelloille levitettyä keskimääräistä typpilannoitemäärää (0,090 t/ha/a) vuonna 2000. Käytännössä lannoituksen vaihteluväli on 85 – 105 kg/ha/a riippuen maaperästä ja viljellystä lajikkeesta (Antikainen 2006).

Taulukoissa 18 ja 19 esitettyjen lähtötietojen avulla voidaan arvioida kompostien käytöllä korvattavissa oleva lannoitemäärä. Laskennallinen arvio tehdään kahden lannoitteen käytön erotuksena: käytetyt lannoitteet ovat yhdistelmälannoite Y5 (N=20 % ja P=5 %) sekä typpilannoite Suomen salpietari (N=26 %). Oletuksena on, että kompostituotteen käytöllä voidaan säästää yhdistelmälannoitteen käyttöä, ja jäljelle jäävä typentarve korvataan pelkällä typpilannoitteella.

Yhdistelmälannoitteen laskennallisena käyttömääränä normaalitilanteessa on tässä tutkimuksessa käytetty 450 kg/ha/a (=>N=90 kg/ha/a, P=23 kg/ha/a). Määrä on arvioitu siten, että typen tarve täyttyy (eli poiketen taulukon 19 levityslaskelmasta). Oletus yliarvioi (80 %) fosforin käyttömäärää. Oletus on tehty siksi, että kaikkien Suomessa käytettyjen lannoitteiden valmistuksen tietoja ei ole käytettävissä ja lannoituksen mitoittaminen Y5:n avulla fosforin levitysrajaan asti puolestaan aliarvioisi lannoitteiden nykykäyttöä (Y5:nä laskettuna levitysmäärä olisi kolmanneksen nyt valittua arvoa pienempi, vain 300 t/ha/a) ja näin ollen myös kompostituotteen käytöllä saatavaa hyvitystä.

Kompostituotteen käytön jälkeen jäävä typpivaje (biojätteelle 90 % alkuperäisestä tarpeesta) katetaan typpilannoitteella, jota vaaditaan biojätekompostia käytettäessä 313 ja lietekompostia käytettäessä 342 kg/ha/a. Kompostituotteiden käytön aiheuttamat päästösäästöt on esitetty taulukossa 23.

Kun lannoitekäytön päästösäästöt ja kompostoinnin päästöt lasketaan yhteen, saadaan lopulliset päästötaseet (taulukko 24).

Taulukko 23.
Kompostin lannoitekäytön päästöt, kun yhdistelmälannoitteen (5 % P, 20 % N) käyttö korvataan kompostilla ja typpilannoitteella (26 % N). Lannoitteiden valmistuksen päästöt Tenhusen ym. mukaan (2000). Syntyneet säästöt näkyvät taulukossa miinus-merkkisinä.

Kompostin lannoitekäytön säästämät päästöt	Biojätekomposti		Lietekomposti	
	g/ha/a	g/t*	g/ha/a	g/t**
CO_2	-70 580	-13 300	-58 140	-25 400
CH_4	-35	-7	-35	-20
N_2O	-8	-2	39	20
Yhteensä, CO_2-ekv.	-73 900	-13 300	-46 900	-25 400
Huom. Kipsi	-133 680	-25 300	-133 680	-58 300

* Huom. Biojätteen maksimikäyttö 5,3 t/hehtaari
** Huom. Lietekompostin maksimikäyttö 2,7 t/hehtaari

Taulukko 24.
Kompostituotteen lannoitekäytön päästöt, kun mukaan on laskettu kompostoinnissa syntyneet päästöt (ks. taulukko 20). Syntyneet säästöt näkyvät taulukossa miinus-merkkisinä.

	Suljetulla kompostoinnilla tuotettu biojätekomposti (g/t)	Aumakompostoinnilla tuotettu biojätekomposti (g/t)	Pienkompostoinnilla tuotettu biojätekomposti (g/t)	Suljetulla kompostoinnilla tuotettu lietekomposti (g/t)
Yhteensä, CO_2-ekv	- 4 956	10 494	67 512	- 16 976

Rakeistamattoman kompostin levittäminen pellolle ei onnistu tavanomaisilla rakeisten lannoitteiden levittimillä suoraan kylvön yhteydessä, vaan kompostituotteen levitys vaatii erillisen levityskierroksen jollakin tarkoitukseen soveltuvalla laitteella. Tässä tutkimuksessa ei ole tutkittu rakeistetun lannoitteen valmistusta ja levitysmahdollisuuksia. Rakeistamisen edellyttämä lietteen terminen kuivaus kuluttaa energiaa noin 5,6 kWh/t kuiva-ainetta (Lohiniva ym. 2001), ja rakeistusvaihe vaatii vielä lisää

energiaa. Lisäksi lietteen levitysmäärä, 3,5 t/hehtaari, saattaa olla tavallisimmille laitteille liian pieni. Levityksessä syntyviä lisäpäästöjä ei kuitenkaan ole huomioitu tässä tutkimuksessa, koska erot maanviljelijöiden laitteistoissa ja muissa viljelykäytännöissä ovat liian suuria yleistettäviksi. Suuruusluokan arvioimiseksi todettakoon, että traktorin polttoaineen kulutus on noin 30 litraa/tunti ja normaalin lannoiteruuvin teho on noin 30 t/tunti (Jussi-Tuote 2006), joten polttoaineen kulutus on noin 1 l/tonni. Diesel-litran päästökerroin on noin 2 849 kg CO_2-ekv/diesel-litra, mikä kertoo levityksen päästöjen suuruusluokaksi noin 2,8 t CO_2-ekv/tonni.

Tämän tutkimuksen lähdetietojen valossa kasvihuonekaasupäästöjen kannalta tarkasteltuna lietekompostin lannoitekäyttö kannattaa juuri ja juuri, mutta biojätekompostin levityksen päästöt saattavat kumota edulliset vaikutukset: Jos 15 tonnin kuorma-auto kuljettaa keskimäärin 6,5 tonnin kuormaa, on syntyneiden kasvihuonekaasujen määrä n. 100 g/t jätettä (Myllymaa ym. 2005). Lannoitekäytöllä säästetään päästöissä 5 000 g CO_2-ekv/t, joten ilman mädätyksen ja metaanin hyötykäytön lisähyötyä kompostia ei teoriassa kannattaisi kuljettaa 50 km kauemmas. Toisaalta voidaan arvioida, että lannoitekäytöllä on myös ravinnekierrollista lisäarvoa. Typen suhteen se tosin on kyseenalaista etenkin avokompostoinnissa, jolloin saatetaan menettää jopa puolet typestä NOx-päästöinä ja valumina.

4.3

Puumateriaalin käyttö lastulevyn valmistuksessa

Lastulevy on puusta (90 %) ja liimasta (10 %) puristamalla ja kuumentamalla valmistettu levytuote (Puuinfo 2006). Sitä käytetään mm. rakentamisessa ja huonekaluissa. Yhden lastulevykuutiometrin valmistamiseen tarvitaan 1,4 – 1,6 m^3 puuraaka-ainetta (Salmenperä 2000) ja noin 2200 kWh energiaa (Wood Focus Oy 2006). Tuotantomäärät ovat viime vuosina olleet noin 500 000 m^3 vuosittain, josta noin puolet viedään ulkomaille (Puuliitto 2005). Nykyinen tuotanto kattaa kotimaan kysynnän (Puuliitto 2005).

Lastulevyn raaka-aineena ei Suomessa käytetä neitseellistä puuta, vaan sahojen ylijäämälastua ja –purua. Näin ollen jätepuun käytön lisäys lastulevyn valmistuksessa ei aiheuttaisi päästösäästöjä. Käytetty energia on yleensä tuotettu puun avulla, joten energian kulutusta tai säästöä ei tarkkaan ottaen voidakaan tarkastella keskimääräisten suomalaisen sähköntuotannon päästökertoimilla.

Mielenkiinnon vuoksi voidaan vertailla tilannetta, jossa neitseellisestä puusta tehty lastulevy korvattaisiin jätepuusta tehdyllä lastulevyllä. Taulukkoon 25 on koottu puun kasvatuksesta, korjuusta ja haketuksesta aiheutuvat päästöt (Laukka 2004). Nämä päästöt vältetään, kun tuoreen puun tilalta käytetään kierrätysmateriaalia. Tässä yhteydessä oletetaan, että lastulevyn valmistusprosessi on sama riippumatta siitä, onko raaka-aineena neitseellinen vai jätepuu.

Lastulevyteollisuus joutuu yhä enenevässä määrin kilpailemaan raaka-aineestaan polton kanssa ja tehtaiden koon rajoittavana tekijänä on pidetty raaka-aineen saatavuutta (Jaakko Pöyry Consulting ym. 2005). Etenkin tasalaatuiset puujäte-erät saattaisivat siis lisätä alan tuotantokapasiteettia ja vientiä ulkomaille.

Taulukko 25.
Puun kasvatuksen, korjuun ja hakkeen valmistuksen päästöt. (Laukka 2004)

Puun kasvatuksen, korjuun ja hakkeen valmistuksen päästöt	g/tonni haketta
CO_2	106 000
CH_4	250
N_2O	0,51
Yhteensä, CO_2-ekvivalentteina	111 458
Huom. Metsäala, m^2	101

4.4

Puun ja muovin käyttö puu-muovi-komposiitin valmistukseen ja korvaamaan kyllästettyä puuta

Puu-muovi-komposiitilla tarkoitetaan muovin ja puun yhdistelmätuotetta (WPC = wood plastic compound). Puukuiduksi soveltuvat mm. hyvälaatuinen jätepuu, -lastu ja -puru, puunjalostusalan sivutuotteet ja hyvä kierrätysmuovi. Puukuitujen osuus lopputuotteesta voi vaihdella 20 – 90 % välillä käytettävästä tuotantomenetelmästä ja käyttökohteesta riippuen (VTT 2004, Conenor 2006). Prosessin mekaanisesta luonteesta johtuen sen oletetaan tässä tutkimuksessa olevan päästötön. Laitteet kuluttavat energiaa pienimmillään noin 400 kWh/t, mutta energiankulutus riippuu paljon prosessista ja valmisteen raaka-ainesuhteista ollen suurimmillaan jopa viisinkertainen (Conenor 2006). Sähkön päästökertoimilla laskettuna 400 kWh/t tarkoittaa suuruudeltaan 129 010 g CO_2-ekvivalenttipäästöjä/tonni puu-muovikomposiittituotetta.

Komposiitin on ilmoitettu ominaisuuksiensa puolesta soveltuvan korvaamaan mm. kyllästettyä puuta ja lasikuitua. Lisäksi siitä on valmistettu koteloita, katteita ja design-tuotteita. Lopputuotteen kosteudenkestoa, kovuutta ja mm. sitkeyttä voidaan säädellä eri seossuhteilla. (VTT 2004, Conenor 2006)

Puun kyllästämisen pääasiallisena tarkoituksena on saada tuhottua siinä olevat ja siihen tulevat sienet ja bakteerit, jolloin sen käyttöikä kasvaa 3 – 5 -kertaiseksi kyllästämättömään puuhun verrattuna (RT 2002). Lisäksi kyllästysaineen oikealla valinnalla voidaan vaikuttaa puun syttymis- ja kulumiskäyttäytymiseen (Ravaska 2005). Kyllästysaineet luokitellaan neljään eri ryhmään, joista luokat A, AB ja M ovat kuparia sisältäviä, myrkyllisiä yhdisteitä ja luokka B haitattomampi kupariton ja öljypohjainen tuote (RT 2002). Vuoden 2006 alusta alkaen A-luokan kromilla, arseenilla ja kuparilla kyllästettyä puutavaraa saa käyttää vain pysyvästi maaperään koskettavissa tai vesistöissä olevissa rakenteissa sekä silloissa, kaiteissa ja muissa vastaavissa turvallisuusrakenteissa (SYKE 2006c).

Kyllästysprosessi on joko paineellista tai alipaineista imeytystä. Alipaineisen kyllästysprosessin sähkön kulutus kyllästettyä puukuutiota kohti on n. 4 kWh/m^3 ja lämmön n. 8 kWh/m^3 (LOS 2005). Lisäksi puiden siirtelyyn piha-alueella kuluu 0,32 litraa/m^3 kevyttä polttoöljyä (LOS 2005). Kun oletetaan, että puu-muovi-komposiitin (WPC) tiheys on 1 150 kg/m^3 (Raukola ja Mäkinen 2004) ja kyllästetyn puun puolestaan 500 kg/m^3 (OPH 2006), kyllästystoiminnan päästöiksi saadaan 121 000 g CO_2-ekv/t kyllästettyä puuta (taulukko 26). Kuormaajan käyttämän kevyen polttoöljyn päästöinä on käytetty dieselin käytön päästöjä. Laudan tuotannon päästöinä on käytetty puuhakkeen tuotannon päästöjä, eli sahaustoiminnan ja haketuksen on oletettu vievän saman verran energiaa.

Painekyllästyksen sähkönkulutus on alan toimijan mukaan luokkaa 4,5 kWh/m^3, lämmityksen on laskettu kuluttavan kevyttä polttoöljyä 2 litraa/m^3 (Hiltunen & Dahlbo 2006). Painekyllästetyn puun siirtelyn vaatima polttoaine ei ole tiedossa. Energian arvoilla laskettuna painekyllästetyn puun tuotannon päästöiksi saadaan

125 000 g CO_2-ekv/t kyllästettyä puuta (taulukko 26). Tiheysoletuksena on käytetty samaa kuin edellä.

Kun verrataan muovi-komposiitti-tuotteen valmistuksen päästöjä kyllästetyn puun päästöihin, huomataan, että uusiotuotteen valmistus ei tässä raportissa kuvatuilla oletuksilla säästä päästöjä. Kyllästetyn puun korvaaminen puu-muovi-komposiitti-tuotteella tuottaa jokaista valmistettua tonnia kohden lisää 4 000 – 7 900 g CO_2-ekv (129 010 g CO_2-ekv - 121 000 / 125 000 g CO_2-ekv).

On kuitenkin huomattava, että kyllästetyn puun korvaamisella säästetään muita olennaisia vaikutuksia kuin kasvihuonevaikutukset: Kyllästysaineiden sisältämä arseeni ja kromi ovat syöpävaarallisia ja myrkyllisiä raskasmetalleja, jotka ovat useille eliöille erittäin myrkyllisiä eivätkä ne hajoa vaan kertyvät ympäristöön ja eliöihin (SYKE 2006c). Lisäksi vältetään kyllästysaineen valmistuksen päästöt, mitä ei ole tässä voitu huomioida tietojen puuttumisen vuoksi. Aineen kulutus on n. 12,5 litraa/puu-m^3 eli 6,3 litraa/t kyllästettyä puuta (Hiltunen & Dahlbo 2006).

Taulukko 26.
Puun alipainekyllästyksen energiankulutuksen, piha-alueen pyöräkuormaajan käytön ja kyllästystä varten kasvatetun ja kaadetun puun aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt sekä painekyllästyksen päästöt erään kyllästäjän ilmoittamien tietojen perusteella laskettuna (Hiltunen & Dahlbo 2006).

Kyllästystoiminnan ja puun kaadon päästöt	Imeytyskyllästyksen päästöt (g CO_2-ekv/t kyllästettyä puuta)	Painekyllästyksen päästöt (g CO_2-ekv /t kyllästettyä puuta)
Yhteensä, CO_2-ekv.	121 000	125 000

4.5

Muovin käyttö muoviprofiilien valmistukseen ja korvaamaan betonia tai terästä

Muovi voidaan sulattaa uudelleen ja valaa profiiliksi, joka sopii ominaisuuksiensa puolesta korvaamaan painekyllästettyä puuta, metallia ja betonia (Hiltunen & Dahlbo 2006). Muoviprofiilin raaka-aineeksi kelpaavat kaikki muovilaadut: PVC, muovikalvot, epäkurantit muoviteollisuuden tuotteet, elektroniikkateollisuuden muovikomponentit, autojen muoviosat ja muovipakkaukset. Teippien, etikettien ja metallien tapaiset epäpuhtaudet eivät estä jätemuovin hyödyntämistä. (Hiltunen & Dahlbo 2006)

Muoviprofiilin valmistuksen tärkeimmät päästöt ovat melu ja pöly, eli prosessi ei itsessään tuota paljon päästöjä (Hiltunen & Dahlbo 2006). Energian kulutuksen avulla lasketut päästöt betoniin ja teräkseen verrattuna on esitetty taulukossa 27.

Taulukko 27.
Päästötase, kun betonin ja teräksen käyttö korvataan muoviprofiililla (Hiltunen & Dahlbo 2006). Syntyneet säästöt näkyvät taulukossa miinus-merkkisinä.

Muoviprofiilin valmistuksen mahdollistamat päästösäästöt	Betonipalkin tilalla g/tonni muoviprofiilia	Teräspalkin tilalla g/tonni muoviprofiilia
CO_2	- 23 000	- 318 000
CH_4	- 20	- 289
N_2O	- 0,6	- 8,5
Yhteensä, CO_2-ekv.	- 24 000	- 327 000

Muoviprofiilin valmistaminen jätemuovista on edullisempaa kuin pelkän neitseellisen muoviraaka-aineen hankkiminen. Liiketoiminnan suurimpana ongelmana on muovituotteiden – ja etenkin kierrätetystä muovista valmistettujen tuotteiden – huono imago, mutta kysyntä on toisaalta kasvanut viime aikoina jatkuvasti. Pääosa tuotannosta viedään ulkomaille. (Hiltunen & Dahlbo 2006)

4.6

Kierrätysmuovin käyttö öljystä jalostetun muovin tilalla

Muovi voidaan kierrättää uudelleen raaka-aineeksi joko mekaanisesti tai kemiallisesti. Mekaanisessa kierrätyksessä muovi sulatetaan ja käytetään uudelleen, kun taas kemiallisessa kierrätyksessä muovisula pilkotaan eri muovijakeiksi ja jalostetaan ne edelleen tuotteiksi.

Muovin valmistus raakaöljystä kuluttaa energiaa noin 50 MJ/kg (Hiltunen & Dahlbo 2006). Tällä energiamäärällä laskettuna syntyy taulukossa 28 esitetyt päästöt:

Taulukko 28.
Muovin valmistuksen energiankulutuksen kasvihuonekaasupäästöt raakaöljyä ja kierrätysmuovia käyttäen (Hiltunen & Dahlbo 2006). Syntyneet säästöt näkyvät taulukossa miinus-merkkisinä.

Päästö	Valmistus raakaöljystä (g/t muovia)	Valmistus kierrätys-muovista (g/t muovia)	Muovin kierrätyksellä saatava päästöhyöty (g/t muovia)
CO_2	2 790 000	167 000	- 2 623 000
CH_4	2 535	152	- 2 383
N_2O	75	5	- 71
Yhteensä, CO_2-ekv.	2 866 485	171 587	- 2 694 898

4.7

Sekajätteen sisältämien kuitujen erottaminen hylsykartongin valmistukseen

Pakkausten paperikuidut soveltuvat mm. hylsykartongin valmistukseen. Kuidut voidaan ottaa hyötykäyttöön myös muovia ja alumiinia sisältävästä nestepakkauskartongista (Corenso 2006). Toiminnassa oleva esimerkkiprosessi (Corenso 2006) on hyötykäyttömuoto, joka on yhdistelmä kahta eri hyödyntämismenetelmää: 1) paperikuidut hyödynnetään hylsykartongin valmistuksessa ja 2) muovi poltetaan ja siitä saatava energia hyödynnetään lämpönä. Lisäksi prosessissa erotetaan alumiini ja sulatetaan se harkoiksi, mutta varsinainen alumiinin hyötykäyttö tapahtuu muualla.

Kasvihuonekaasupäästöjen taseen kannalta ratkaisevaa on se, korvaako hylsykartonki neitseellistä raaka-ainetta kartongin valmistuksessa vai ei ja mikä on neitseellistä raaka-ainetta käyttävän ja kierrätyskuitua käyttävän prosessin päästöjen ja energiankulutuksen erotus. Lisäksi on huomioitava muovin polton ja toisaalta poltolla tuotetun energian säästämät päästöt. Näin ollen tämän hyötykäyttömenetelmän ongelmakenttä oli liian laaja ja moniulotteinen selvitettäväksi tässä tutkimuksessa.

4.8

Muut jätteiden hyötykäyttömenetelmät

Edellä kuvattujen lisäksi eri materiaaleille soveltuvia hyötykäyttömenetelmiä löytyy lukematon määrä. Joistakin on vielä hyvin vähän käyttökokemuksia tai ne ovat jopa laboratorioasteella, joistakin ei vain löydy riittävästi tietoa. Lisäksi menetelmistä ei välttämättä raportoida sillä tavoin, että ne löytyisivät tässä tutkimuksessa toteutetun kaltaisissa, melko suppeissa tieteellisten artikkelien tai internet-sivujen hauissa.

Tutkimuksessa löytyneitä jätteiden hyötykäyttötapoja on yli 20, joista suurimmasta osasta ei tietojen saatavuuden tai aikataulullisten syiden vuoksi ehditty tässä yhteydessä tehdä tarkempaa selvitystä (työssä käsitellyt merkitty *-merkillä). Menetelmät jaoteltuina niihin soveltuvan jätelajin mukaan ovat:

BIOLOGISET HYÖTYKÄYTTÖMENETELMÄT
*Käyttö maisemoinnissa ja viherrakentamisessa
*Käyttö maanparannusaineena tai lannoitteena
Tuhkan ja biolietteen rakeistaminen metsälannoitteeksi [1]

BIOPOLTTOAINEIDEN TUOTANTOMENETELMÄT
*Mädätyksen biokaasun käyttö sähkö- ja/tai lämpöenergiana
*Mädätyksen biokaasun käyttö polttoaineena
Biomassan prosessointi biodieseliksi synteesikaasu-prosessin avulla
Bioöljyjen prosessointi biodieseliksi vetykäsittelyllä
Bioöljyjen prosessointi biodieseliksi esteröinnin avulla
Puukuitujen hydrolysointi biopolttoaineeksi

PUUMATERIAALIN HYÖTYKÄYTTÖMENETELMÄT
*Lastulevy
MDF-levy
Hakkeen ja sahajauhon käyttö kompostien tukiaineena
*Puu-muovi-komposiitti

PAPERIKUITUJEN HYÖTYKÄYTTÖMENETELMÄT
Kuitujen talteenotto uusiopaperin valmistukseen
Kuitujen talteenotto hylsykartongin valmistukseen
Kuitujen prosessointi lämmöneristeeksi
Kuitujen käyttö muovin tukiaineena

MUUT MATERIAALIKOHTAISET HYÖTYKÄYTTÖMENETELMÄT
Tekstiilien prosessointi öljynimeytys-, suoja- ja puhdistusmatoiksi, parkettien alusmatoiksi, verhoiluvanuksi, puutarhojen kastelumatoiksi
Solupolystyreenin kierrätys
*Muoviprofiilit
Kumi bitumin tukiaineena
PVC-muoveista ruiskuvalettavia muovituotteita
Muovista ja hiekasta komposiittituotteita
*Muovin kierrätys uuden muovin raaka-aineeksi
Muovin prosessointi rakennuseristeeksi (Hiltunen & Dahlbo 2006)
Tekstiilien valmistus muovista (Hiltunen & Dahlbo 2006)

[1] Tuhka-bioliete-rakeet sopivat hyvin kangasmaiden lannoitteeksi. Yhteiskäyttö vähentää niitä haittoja, mitä erikseen käytettynä ilmenee: lietteen neste estää tuhkan pölyämisen ja tuhka puoles-taan vähentää lietteen hajuhaittoja. Kangasmaat saavat lietteestä typpeä ja tuhkasta puut tarvitse-maansa kaliumia ja fosforia. (http://www.metsakeskus.fi/web/fin/koulutus+ja+tapahtumat/ks_nv_ij270306tapahTuhka-seminaari.htm)

Materiaalin lyhin kierto toteutuisi, jos jätettä käytettäisiin raaka-aineena samanlaisen tuotteen valmistukseen, mistä jäte on alunperin syntynyt. Tällaisia suljettuja kiertoja ei kuitenkaan juurikaan löydy – tai ainakaan niistä ei juurikaan ole tietoja saatavilla – paperin ja muovin kierrätyksen lisäksi.

4.9

Jätteen materiaalihyödyntämisen vaikutukset ilmastonmuutokseen

4.9.1

Jätteiden materiaalihyötykäyttömenetelmien kasvihuonekaasupäästöjen yhteenveto ja vertailu

Luvuissa 4.1 – 4.6 kuvattujen menetelmien avulla säästettävissä olevat menetelmäkohtaiset päästöt on koottu taulukkoon 29 ja kuvaan 4.

Tulosten perusteella näyttäisi siltä, että suurimmat kasvihuonekaasupäästöjen säästöt saavutetaan käyttämällä muovi materiaalina uusiomuoviksi tai korvaamalla sillä materiaaleja, joiden valmistus vaatii runsaasti energiaa (esim. teräs).

Lisäksi voidaan todeta, että metaanin käyttö energiana tai liikennepolttoaineena tuovat yhtä suuret hyödyt. Paikallisesti ajateltuna on tietysti liikennepolttoaineen eduksi eroa sillä, päätyvätkö kaasut suoraan hengityskorkeudelle vai piipun korkeudelle.

Kompostointi lannoitekäyttöön ei näyttäisi tuovan kasvihuonekaasujen kannalta juurikaan etuja. Tutkimuksen epätarkkuuksien vuoksi on epäselvää, onko päästötase todellisuudessa jopa ympäristöä kuormittavalla puolella.

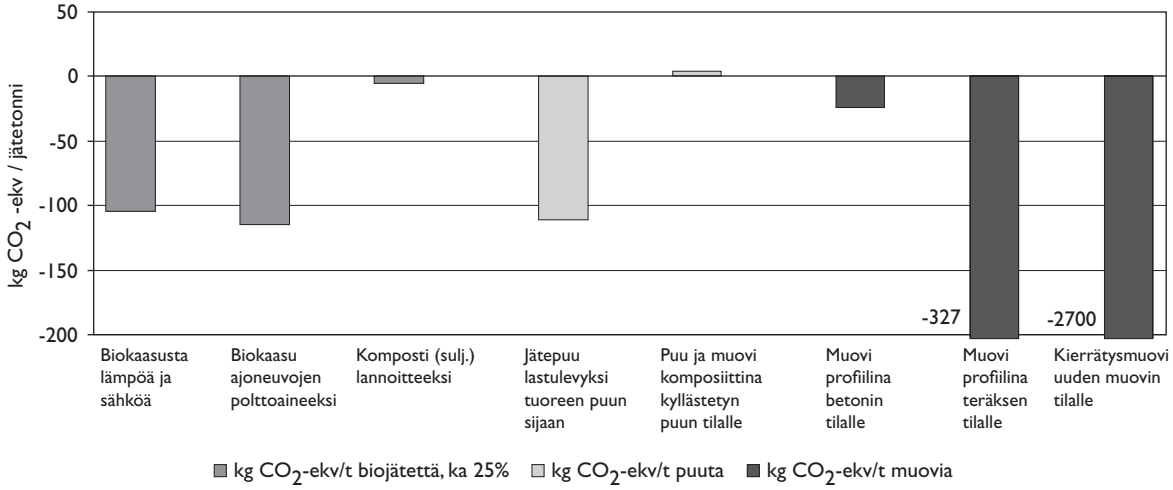
Kompostoinnin järkevyyteen menetelmänä tämä tutkimus ei anna vastausta, joskin tehokkainta näyttäisi olevan mädättäminen ennen kompostointia, koska mädätys ei mitenkään vähennä kompostituotteen laatua. Kompostoinnin päästöt tulisi saada hallintaan varmistamalla ilmastuksen toimivuus. Kompostoinnin heikkous ei niinkään näyttäisi olevan menetelmässä vaan ongelmissa käytännön toteutuksessa.

Taulukko 29.
Eri hyötykäyttömenetelmien vaikutus päästötaseeseen hiilidioksidiekvivalentteina (g CO_2-ekv). Miinusmerkkiset arvot ovat säästettyjä päästöjä, positiiviset puolestaan lisääntyneitä päästöjä.

Menetelmä	Jätevesiliete, ka 15 % (g CO_2-ekv/t lietettä)	Biojäte, ka 25 % (g CO_2-ekv/t biojätettä)	Puu (g CO_2-ekv/t puuta)	Muovi (g CO_2-ekv/t muovia)
Biokaasusta lämpöä ja sähköä	- 58 720	- 104 857	-	-
Biokaasu ajoneuvojen polttoaineeksi	- 64 070	- 114 411	-	-
Komposti viherrakentamiseen	NA	NA	-	-
Komposti (sulj.) lannoitteeksi	-	- 4 956	-	-
Jätepuu lastulevyksi tuoreen puun sijaan	-	-	- 111 458	-
Puu ja muovi komposiittina kyllästetyn puun tilalle	-	-		3 967
Muovi profiilina betonin tilalle	-	-	-	- 23 606
Muovi profiilina teräksen tilalle	-	-	-	- 326 704
Kierrätysmuovi raakamuovin tilalle	-	-	-	- 2 694 898

Tietojen puuttumisen vuoksi tässä tutkimuksessa ei voitu selvittää viherrakentamiseen käytettävän kompostituotteen kasvihuonekaasupäästöjä tai muitakaan ympäristövaikutuksia.

Hyötykäyttömenetelmien kasvihuonekaasupäästöt



Kuva 4. Jätteiden hyötykäyttömenetelmien kasvihuonekaasupäästöt hiilidioksidiekvivalentteina ilmoitettuna.

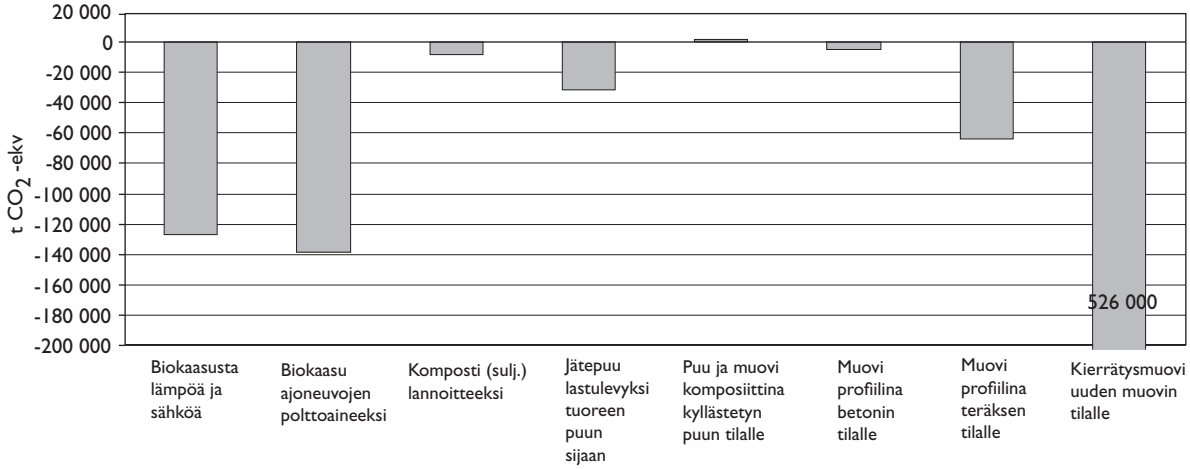
4.9.2

Suomessa saavutettavissa oleva kasvihuonekaasupäästöjen säästöpotentiaali tutkittujen menetelmien avulla

Jotta eri hyödyntämismenetelmien kokonaisvaikutukset ja –päästösäästöt voitaisiin arvioida, on eri menetelmien päästöt ja päästösäästöt painotettava valtakunnallisesti syntyvien polttokelpoisten jätteiden materiaalikohtaisilla määrillä (taulukko 12).

Yhdistämällä taulukoiden 12 ja 29 tiedot saadaan kuvan 5 mukainen laskelma koko Suomea koskevasta säästöpotentiaalista.

Kokonaiskasvihuonekaasupäästöt sovellettaessa kutakin menetelmää käytettävissä olevalle jätemäärälle (polttokelpoiset, kaatopaikkasijoitetut)



Kuva 5. Hyötykäyttömenetelmillä saavutettavat kasvihuonekaasujen maksimisäästöt sovellettaessa menetelmiä koko käytettävissä olevalle jätemäärälle (jätemäärät esitetty taulukossa 12).

Kaatopaikalle sijoitettujen biohajoavien jätteiden määrät ovat suhteellisen suuria, joten valtakunnan tasolla muut menetelmät jäävät muovia lukuun ottamatta hyödyiltään huomattavasti vähäisemmiksi. Muuten erot ovat luonnollisesti samansuuntaiset kuin menetelmien välisetkin erot kuvassa 4. Menetelmätason tarkastelu osoittaa saman, minkä määrätarkastelukin: suurin merkitys on biohajoavia jätteitä koskevilla päätöksillä.

4.10

Jätteen materiaalihyödyntämisen vahvuudet ja heikkoudet ympäristön kannalta

Jätteiden hyödyntämisestä voidaan yleisesti ottaen todeta, että olennaista on, että erikseen kerätyllä, käsitellyllä ja/tai tuotteistetulla materiaalilla saadaan korvattua neitseellisiä raaka-aineita ja materiaaleja. Sillä tulee siis olla kysyntää ja mahdollisimman samassa suhteessa kuin materiaalia syntyy. Lisäksi kierrätys voidaan hyödyllisyytensä suhteen jakaa eri luokkiin: ensisijaisen tavoitteen tulisi olla kierrättäminen hyödykkeiksi, joilla korvataan olemassa olevia hyödykkeitä eikä vain lisätä hyödykkeiden määrää.

Tässä tutkimuksessa on voitu syventyä vain murto-osaan todellisista käytössä olevista hyötykäyttömenetelmistä ja vain hyvin yleisellä tasolla, mikä heikentää tulosten edustavuutta ja kasvattaa niiden virhemarginaalia. Suurin puute on, että vaikka yhdyskuntajätteistä 26 % on erilaisia paperikuituja, tähän tutkimukseen ei saatu riittävällä tarkkuudella mukaan elinkaaritietoja yhdestäkään kuitujenerotusprosessista. Tietojen hajanaisuus ja vähyys osoittaisi tarvetta laajemmallekin alan menetelmäkatsaukselle.

Kompostointi

Kompostoinnin kannattavuuden kriittiseksi tekijäksi nousi menetelmän toimivuus. Kun huolehditaan kompostin riittävästä ja tasaisesta ilmastuksesta ja/tai kompostoidaan hallitussa tilassa jätevedet ja ilmapäästöt talteen keräten, lopputulos on onnistunut. Huonoissa olosuhteissa sen sijaan voidaan menettää jopa puolet typestä ja tästä merkittävä osuus ilmastolle hyvin haitallisena dityppioksidina.

Kompostituotteen lannoitekäytöllä saavutetaan kasvihuonekaasutaseena tarkasteltuna hyvin pienet hyödyt. Ravinnehyödyt olisivat suuremmat, jos typestä voitaisiin laskea mukaan myös niukkaliukoinen osuus. Jos viljavuusanalyyseihin sisällytettäisiin nykyisten fosfori- ja hivenainemääritysten lisäksi myös typpi, voitaisiin seurata ja todeta myös niukkaliukoisen typen käyttö ja pienentää samassa suhteessa liukoisen typen lisäystä. Typen lisälannoitus arvioitaisiin siis aina todellisen tarpeen mukaan.

Kompostituotteen maanparannusvaikutuksista on tietoa melko vähän ja hajanaisesti, mutta sillä tiedetään olevan ainakin joitakin korvaamattomia käyttökohteita mm. eroosion estäjänä jyrkillä pinnoilla ja haitta-aineiden sitojana. Vaikka tällaiset käyttökohteet ovatkin marginaalisia, niiden merkitystä lisää se, ettei korvaavia menetelmiä tunneta.

Mädätys

Mädätys tuottaa kasvihuonekaasupäästöjen tarkastelussa selkeät hyödyt. Koska mädätyksen jälkeen biomassa on edelleen tallella, biohajoavan jätteen mädättäminen ennen kompostointia tuntuisi järkevältä. Mädätyksen tuottaman metaanin hyödyntämisellä liikennepolttoaineena tai energiantuotannossa voidaan saavuttaa käytännössä samansuuruiset kokonaishyödyt, jos tarkastellaan yksinomaan kasvihuonekaasupäästöjä. Koska dieselin korvaaminen vähentää kuitenkin myös haitallisia päästöjä

ja liikennepolttoaineissa kaikkien päästöjen merkitys korostuu niiden tapahtuessa hengityskorkeudessa, voidaan liikennepolttoainekäyttö asettaa energiantuotannon edelle.

Jätteiden kierrätys materiaalina

Muovin kierrätys uudelleen muoviksi osoittautui kasvihuonekaasujen valossa erittäin kannattavaksi hyödyntämisratkaisuksi. Muovin valmistaminen raakaöljystä on erittäin energiaa kuluttava prosessi ja säästöt syntyvätkin vältetyistä energian päästöistä.

Muovien osuus kaatopaikalle päätyvästä palavasta jätteestä on noin 9 %. Tästä määrästä yli 99 % on peräisin yhdyskunnista ja käytännössä lähes koko määrä kulkee sekajätevirrassa. Mahdollisuuksia tämän muovin kierrättämiseen voidaan pitää, jollei vaikeina, niin ainakin hyvin haasteellisina. Yhdyskuntajätettä käsitteleviltä ja lajittelevilta prosesseilta vaaditaan paljon, koska sekajäte pitää sisällään niin suuren kirjon laadultaan hyvin erilaisia jätteitä. Kierrätyksen kannalta välivaiheita vähentäisi esim. se, että pakkaukset olisivat yksinomaan paperia tai muovia, eivät näiden kahden sekoitusta, mutta tämäkin olisi helpotus vain hyvin pieneen osaan koko ongelmassa. Helpommin hyödynnettävissä olevaa, teollisuuden ja kaupan toimialoilla syntyvää ja nykyisin kaatopaikalle menevää pakkausmuovijätettä olisi erään toimialakyselyyn pohjautuvan selvityksen (Leppänen-Turkula 2005) mukaan löydettävissä yhteensä noin 8 500 tonnia vuodessa (liite 4), mikä vastaa suuruusluokaltaan FINWASTE-aineistosta laskettua lukua (teollisuudessa syntyneet muovit 8 586 t, taulukko 10).

Muovin käyttäminen teräksen tilalla osoittautui kasvihuonekaasupäästöjen kannalta järkeväksi. Tähän, kuten muihinkin korvaavuusvertailuihin pätee se, että mitä kuormittavampaa ja runsaammin energiaa kuluttavaa prosessia korvaamaan tuote päätyy, sitä suuremmat säästöt saavutetaan. Verranto ei siis välttämättä kerro kierrätysprosessin ympäristöystävällisyydestä vaan vertailuprosessin suuresta kuormittavuudesta.

Kierrätysmuovin, kuten muidenkin jätteistä valmistettujen tuotteiden ominaisuuksista kaivattaisiin lisää tietoja. Korvaavuusskenaariot pysyvät niin kauan vain teoreettisella tasolla, kun rakennesuunnittelijoilla, muotoilijoilla, prosessien raaka-ainehankkijoilla ym. potentiaalisilla loppukäyttäjillä ei ole todennettua tietoa korvaavien tuotteiden ominaisuuksista ja soveltuvuudesta pitkällä aikavälillä. Olisi tarve luoda menetelmät ja perustaa riippumaton testauslaitos, joka tekisi tämän kaltaisia testejä ja tekisi työtä kierrätystuotteiden imagon parantamiseksi.

Jätteiden hyötykäytön haasteena on, että jokaisen jätejakeen hyötykäytön ollessa oma menetelmänsä kokonaisuuden hallinta on vaikeaa. Toiminta on markkinoiden varassa ja vaikuttamismahdollisuudet vähäiset.

Jos jätteitä kuljetetaan 6,5 tonnin kuormissa, kasvihuonekaasupäästöjä syntyy 100 g CO_2-ekv/km/t jätettä. Kasvihuonekaasutaseiden kannalta jätteitä ei kannata kuljettaa pidemmälle, kuin mitä menetelmän kokonaissäästö on jaettuna tällä lukuarvolla. Mitä suuremmissa kuormissa saadaan kuljetettua, sitä parempi. Mitä pienemmät etäisyydet, sitä parempi. Etenkin harvaan asutuilla alueilla tämä korostaa lähikäsittelyn merkitystä, oli menetelmä mikä tahansa. Edellä mainitulla 6,5 tonnin kuormalla kuljetettuna pelkästään kompostoitua biojätettä ei kannata kuljettaa diesel-käyttöisellä ajoneuvolla lannoitteeksi yli 50 kilometrin päähän, koska tällöin kuljetuksen päästöt ylittävät menetelmän säästöt. Samalla periaatteella voidaan laskea, että mädätettyä biojätettä voi kuljettaa noin 1 000 km, jolloin tase pysyy vielä juuri ja juuri hyödyn puolella. Sekajätettä voi kuljettaa polttoon useita tuhansia kilometrejä, samoin muovia korvaamaan muovia. Nämä verrantoluvut ovat kuitenkin vain teoreettisia, koska järkevintä on tietysti kuljettaa mahdollisimman vähän ja tavoitteena tulisi olla mahdollisimman suuret päästösäästöt. Lisähyötyä tulee luonnollisesti vielä siitä, mitä päästöttömämmillä ajoneuvoilla ja suuremmissa kuormissa kuljetetaan.

Kaiken kaikkiaan jätehuollon toteutusta helpottaisi, jos eri menetelmille – niin kierrätys- kuin polttomenetelmille – olisi riittävät päästöseuranta- ja päästöjen puhdistuskriteerit, jotta mahdolliset negatiiviset ympäristövaikutukset voitaisiin minimoida, valittiin sitten mikä menetelmä tahansa.

Hyötykäyttömenetelmien keskeisimpiä etuja ja haittoja on koottu taulukkoon 30. Laaja eri menetelmien soveltuvuuden ja käytettävyyden analyysi on esitetty taulukossa 31.

Taulukko 30.
Hyötykäyttömenetelmien vahvuuksia ja heikkouksia.

	Vahvuudet	Heikkoudet
Biologiset hyötykäyttömenetelmät		
Kompostituotteen käyttö maisemoinnissa ja viherrakentamisessa	• Jätteiden materiaalisisältö kiertoon ja pois kaatopaikalta	• Imago
	• Komposti-turve-tuote mahdollistaa kasvillisuuden sitomisen jyrkille pinnoille	• Kysyntä - tarjonta; ongelmina kausiluontoisuus ja varastointitarve
	• Kompostituote parantaa maan fysikaalisia ominaisuuksia	• Kompostoinnin häviöt huonolla tekniikalla jopa 50% N
	• Kompostointi onnistuu myös pienessä mittakaavassa	• Tukiaineen tarve n. 50 % (turve, hake tms.)
	• Kompostituote sopii esim. energiakasvien viljelyyn => kysynnän parantuminen jatkossa?	• Lääkeaineiden kulkeutuminen ja vaikutukset?
		• Org. yhdisteiden kulkeutuminen ja vaikutukset?
		• Epidemiat?
		• Maanparannusvaikutuksista vähän tietoa
Kompostituotteen käyttö lannoitteena	• Osa jätteiden ravinnesisällöstä kiertoon	• Imago
	• Kompostin N ja P voivat korvata lannoitteita => vähentää lannoitetuotannon kasvihuonekaasupäästöjä ja kipsijätettä	• Kysyntä - tarjonta; ongelmina kausiluontoisuus ja varastointitarve
		• Tukiaineen tarve n. 50 % (turve, hake tms.)
		• Lannoitekäytössä levitysmäärät mitoitetaan liukoisen N perusteella => hitaasti liukenevat ravinteet kertyvät maaperään ravinnevarastoksi, jonka vaikutuksia vaikea arvioida
		• Lääkeaineiden kulkeutuminen ja vaikutukset?
		• Org. yhdisteiden kulkeutuminen ja vaikutukset?
		• Epidemiat?
		• Paljon kuljetus-/siirtelytarvetta/t
Energia ja biopolttoaineet		
Mädätyksen biokaasun käyttö sähkö- ja/tai lämpöenergiana	• Voi korvata muuta energiaa => vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja polttoaineiden käyttöä (esim. kivihiili)	• Mädätystä pidetään kalliina, ainakin suhteessa kompostointiin
	• Sähköenergian hinnan nousu lisää kannattavuutta	• Mädätetty biomassa käsitellään polyelektrolyytein veden poistamiseksi
		• Mädätyksen lopputuote vaatii kompostoinnin
Mädätyksen biokaasun käyttö polttoaineena	• Dieselin tilalta käytettynä alentaa kasvihuonekaasupäästöjä ja haitallisia päästöjä	• Suuret alkuinvestoinnit
		• Perustamis- ja ylläpitokustannukset tekevät polttoaineista dieseliä kalliimpia
		• Synteettiset bio-pa:t ehkä uhka => parempilaatuisina voivat viedä markkinat?

	Vahvuudet	Heikkoudet
Biopolttoaineiden valmistus (puukuitujen hydrolysointi jne.)	• Monia uusia liikenteen biopolttoaineiden valmistusmenetelmiä kehitteillä	• Vähäiset käyttökokemukset suuressa mittakaavassa
	• Kehitteillä monia rajoituksetta bensiinin tilalle soveltuvia polttoaineita	
Puumateriaalin hyötykäyttömenetelmät		
Lastulevy	• Puhdas sahanpuru, hake ja muu puujäte sopivat lastulevyn raaka-aineeksi.	• Nykytuotanto kattaa Suomen kysynnän.
		• Tuotetaan Suomessa aina sivutuotteista => ei saavutettavissa lisähyötyä
Puu ja muovi komposiitti-tuotteeksi korvaamaan kyllästettyä puuta	• Tuotteen laatu säädettävissä seossuhteilla	• Muovilla huono imago
	• Kyllästetyn puun korvaamisella vältetään As ja Cr, jotka ovat syöpävaarallisia ja ympäristöön ja eliöihin kertyviä	• Vähäiset käyttökokemukset ja näytön puute
	• Hyvät vientinäkymät	
Muovin hyötykäyttömenetelmät		
Muoviprofiilit	• Raaka-aineeksi soveltuvat kaikki muovilaadut	• Muovilla huono imago
		• Muovien oltava puhtaita (ei esim. elintarvikejäämiä)
Muovin kierrättäminen uusiomuoviksi	• Suuret energiasäästöt raaka-öljystä jalostetun muovin valmistukseen verrat-	• Muovilla huono imago
		• Vähäiset käyttökokemukset ja näytön puute

Taulukko 31.
Analyysi eri hyötykäyttömenetelmien vahvuuksista, heikkouksista ja uhkista.

Materiaali-hyötykäyttö	Positiiviset asiat		Negatiiviset asiat	
	Vahvuudet	Mahdollisuudet	Heikkoudet	Uhat
Biologiset hyötykäyttömenetelmät				
Käyttö maisemoinnissa ja viherrakentamisessa	**Mädätys**: Jos jäte mädätetään ennen kompostointia, saadaan välituotteena biokaasua (ks. mädätys). **Kompostointi**: Kompostit toimivat myös pienessä mittakaavassa. **Materiaalien kierto**: Osa ravinnesisältöä ja orgaaninen jäännösmateriaali palaavat luonnon kiertoon.	**Käyttö**: Tienpientareet, golf-kentät, saastuneet maa-alueet, kaatopaikat, meluvallit ja nurmikentät. **Erityistä**: Kompostituote turpeeseen sekoitettuna (n. 1:1) estää eroosiota jyrkilläkin pinnoilla.	**Imago**: Lopputuotteen imago-ongelma, todellinen käyttö yleensä kaatopaikan peitteenä. **Kysyntä - tarjonta**: Varastointiongelma: tuotetta syntyy läpi vuoden, kysyntä kasvukautena ja toisinaan vähäistä. **Ravinteet**: Kompostoinnissa poistuu jopa puolet typestä häviöinä. **Erityistä**: Veden erottaminen mädätysmassasta ennen kompostointia tehdään polyelektrolyytein. Kompostointi vaatii tukiaineen (turve, hake, kutterilastu, olki tai sahajauho), kompostitukiaine -suhde n. 1 : 1.	**Ympäristöriskit**: Mitattaviin kuulumattomien aineiden, kuten lääkeainejäämien ja orgaanisten yhdisteiden kulkeutuminen maaperään ja pohjavesiin? Kasviepidemioiden leviämismahdollisuudet? **Terveysriskit**: Käsittelytyöntekijöiden turvallisuus epidemioissa?
Käyttö maanparannusaineena tai lannoitteena	**Ravinnearvo**: Kompostoitu (ja mädätetty) jätevesiliete on sellaisenaan lannoitteena karjanlannan luokkaa tai hieman parempi. Ravinteet kasveille soveltuvassa muodossa, mutta vain osittain (fosforista 50%-75%, typestä <50%). Typpi hitaasti liukenevassa muodossa: ehkäisee valuntapiikin levityksen jälkeen.	**Käyttö**: soveltuu maanviljelyyn, energiakasvien viljelyyn ja metsänlannoitukseen, muttei laidunten tai kasvisten lannoitukseen. **Imago**: Imago parantuisi ja käyttömäärät lisääntyisivät, kun mainostettaisiin kasvunlisäyskykyä ja kompostikäsitellyn lopputuotteen hygieenisyyttä. **Ravinteet**: ravinnesuhteen parantaminen lisäravinteilla? Jätteen korvatessa lannoitteen fosforia säästetään kipsipäästöjä (n. 300 kg/t lannoitetta).	**Imago**: Lopputuotteella imago-ongelma. **Energia**: Rakeistus lannoitteeksi vie energiaa. **Ravinteet**: Ravinteen typpi/fosfori-suhde (n. 1) ei kasvien kannalta optimi (tarve esim. metsämaille 2-3). Ympäristötukiehtojen fosforin levitysraja tulee vastaan viljelymailla ennen kuin kasvien typentarve on täytetty. Kompostoinnin typpihäviö jopa puolet. **Kysyntä - tarjonta**: Vaatii varastoinnin talvikauden yli. Käyttöä ei sallita luomuviljelyssä. **Erityistä**: Veden erottaminen ennen kompostointia tehdään polyelektrolyytein. **Levittäminen pellolle**: Vaatii ylimääräisen levityskierroksen.	**Ympäristöriskit**: Mitattaviin kuulumattomien aineiden, kuten lääkeainejäämien ja orgaanisten yhdisteiden kulkeutuminen maaperään ja pohjavesiin? Kasviepidemioiden leviämismahdollisuudet? **Terveysriskit**: jäämien kulkeutuminen viljoissa kuluttajille? Käsittelytyöntekijöiden turvallisuus epidemioissa? **Imago**: Käyttö ei tuo lisäarvoa, mutta imago-ongelman.

Materiaali-hyötykäyttö	Positiiviset asiat		Negatiiviset asiat	
	Vahvuudet	Mahdollisuudet	Heikkoudet	Uhat
Biopolttoaineiden tuotantomenetelmät				
Mädätyksen biokaasun käyttö sähkö- ja/tai lämpöenergiana	**Energia**: Mädätyksellä saatavan biokaasun ansiosta biomateriaaleilla on energiasisältöä 20 - 200 kWh/t (märkä liete - 70 % ka biomateriaali). Energiasisältö voidaan hyödyntää lämpönä ja/tai sähkönä. **Materiaali**: Mädätyksen lopputuote on edelleen käytettävissä materiaalina.	**Energia**: Biokaasusta tuotettava energia voidaan hyödyntää omassa toiminnassa tai myydä ulkopuolelle. Energian hinnan nousu lisää mädätyksen kannattavuutta.	**Kustannukset**: Mädättämön perustaminen kallista.	
Mädätyksen biokaasun käyttö polttoaineena	**Tekniset ominaisuudet**: Vastaa maakaasua, eli ei laske ajoneuvon suorituskykyä. **Päästöt**: Alentaa dieselautojen käytössä syntyviä kasvihuonepäästöjä bio-osuutensa suhteessa ja vähentää käytön haitallisia päästöjä.	**Kustannukset**: Maakaasun hinnannousu edesauttaa biokaasun käyttöä. **Päästöt**: raskaan kaluston (bussit, roska-autot, kuorma-autot ym.) vaihto kaasukäyttöiseksi pienentäisi etenkin taajamien haitallisia ja kasvihuonekaasupäästöjä.	**Kustannukset**: Korkeapaineisten tankkausasemien perustaminen kallista. Bussien hankinnassa lisäinvestointi 20% ja bensiiniautoissa 10%. **Tarjonta**: Maakaasukäyttöisiä kuorma-automalleja toistaiseksi vähän (3) **Muuta**: bensiiniin verrattuna tarvitaan kuusinkertainen säiliö saman matkan kulkemiseen.	**Kilpailu**: Synteettisten ja mahdollisesti parempilaatuisten biokaasujen tulo markkinoille. **Hinta**: Kalleus fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna voi estää tai hidastaa menetelmän käyttöä.
Biomassan prosessointi biodieseliksi synteesikaasu-prosessin avulla	Synteesikaasumenetelmällä voidaan valmistaa biomassasta korkealaatuisia polttoaineita: ns. Fischer-Tropsch-dieseliä, metanolia (ja edelleen MTBE: a), dimetyylieetteriä (DME), maakaasua tai vetyä.	**Tekniset ominaisuudet**: Vastaa korkealaatuista dieseliä **Energia**: Kaavailtujen konseptien periaatteena tuottaa sähköä ja lämpöä yhdessä biopolttonesteiden kanssa, jolloin hyötysuhteeksi saataisiin jopa 90 %.	**Käyttökokemukset**: Ei käyttökokemuksia biopohjaisista raaka-aineista, suuren mittakaavan tuotantolaitos vasta rakenteilla (Neste Oil / NExBTL), biomassan käyttö raaka-aineena vaatii vielä kehitystyötä.	**Kilpailu**: Ulkomailta tuotavat halvat polttoaineet (esim. Brasiliasta tuotu etanoli) vievät markkinat. **Hinta**: Kalleus fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna voi estää tai hidastaa menetelmän käyttöä.
Bioöljyjen prosessointi biodieseliksi vetykäsittelyllä	Kasvi- tai eläinperäisistä öljyistä voidaa valmistaa biodieseliä vetykäsittelyn avulla.	**Tekniset ominaisuudet**: on synteettinen tuote ja vastaa siten korkealaatuista dieselpolttoainetta.	**Käyttökokemukset**: Suuren mittakaavan tuotantolaitos vasta rakenteilla (Neste Oil / NExBTL)	
Bioöljyjen prosessointi biodieseliksi esteröinnin avulla	Kasviöljyt - myös käytetyt - voidaan vaihtoesteröidä alkoholin kanssa, jolloin lopputuotteena on rasvahappojen metyyliestereitä (FAME) (esim. rypsimetyyliesteri (RME)). Soveltuvia kasviöljyjä ovat rypsi, rapsi, auringonkukka, soija, eläinrasvojen soveltuvuutta tutkitaan.	**Käyttö**: Lopputuote soveltuu dieseliä korvaavaksi polttoaineeksi. **Kokoluokka**: Valmistusta ja sähköntuotantoa voidaan tehdä myös maatilamittakaassa **Raaka-aineet**: Prosessi on mahdollista toteuttaa monista eri raaka-aineesta.	**Kasviöljyestereiden tekniset ominaisuudet (RME)**: Heikko kylmänsietokyky, huono varastoitavuus, syövyttävyys, lisää haitallisia päästöjä dieseliin verrattuna **Haitalliset päästöt (FAME)**: Alentaa hiukkaspäästöjä, mutta lisää typenoksidien päästöjä.	

Materiaali-hyötykäyttö	Positiiviset asiat		Negatiiviset asiat	
	Vahvuudet	Mahdollisuudet	Heikkoudet	Uhat
Puukuitujen hydrolysointi biopolttoaineeksi	Puusta ja oljesta voidaan valmistaa etanolia ja ligniinipolttoainetta hydrolyysin avulla. Puuksi saattaa soveltua myös metsähake. Etanoli - ligniinipolttoaineen tuotantosuhde 1 : 2.	**Käyttö**: Tuotettu etanoli lasketaan 2. polven polttoaineisiin, joita voidaan käyttää rajoituksetta polttoaineen seassa bensiinin tilalta nykyisen kaltaisissa ajoneuvomoottoreissa.	**Käyttökokemukset**: Vielä vähän käyttökokemuksia tuotannosta suuressa mittakaavassa.	
Puumateriaalin hyötykäyttömenetelmät				
Lastulevy	Puhdas sahanpuru, hake ja muu puujäte sopivat lastulevyn raaka-aineeksi.	**Käyttö**: Keittiökalusteet, huonekalut, lattiat, seinälevyt **Kapasiteetin kasvu vientiin**: nykytuotanto kattaa Suomen kysynnän, mutta vientiin menee tälläkin hetkellä alle puolet tuotannosta.	**Toiminnan laajuus**: Tuottajia Suomessa vain kolme	**Uudet investoinnit**: Kiinnostus uusiin investointeihin lähinnä ulkomaille. **Verkostoituminen**: Tuottajien yhteistyötä tarvittaisiin, jotta jätemateriaalit tulisivat käyttöön.
MDF-levy	Puu-/sahajauho soveltuu MDF-levyjen raaka-aineeksi.	**Käyttö**: huonekalut, listat, lattialaminaatit	**Jätemateriaalin saatavuus**: Jätesahajauhon määrä pieni (3 248 t).	**Uudet investoinnit**: Kiinnostus uusiin investointeihin lähinnä ulkomaille.
Hakkeen ja sahajauhon käyttö kompostien tukiaineena	Hakejätettä voidaan käyttää kompostien tukiaineena turpeen ja haketuotteen sijaan.		**Ominaisuudet**: hienojakoinen tukiaine tekee lopputuotteesta kosteaa ja hankalasti käsiteltävää.	
Puu-muovi-komposiitti	**Raaka-aineet**: Puumuovikomposiittiin soveltuvat kierrätetty muovi ja sahanpuru. **Valmistustekniikka**: Valmistus onnistuu muoviteollisuuden nykyisillä laitteilla. **Tuotteen laatu**: Kosteudenkestoon, kovuuteen ja sitkeyteen voidaan vaikuttaa valitsemalla sopiva puumateriaali. **Hävittäminen**: Voidaan hävittää polttamalla.	**Käyttö**: Voi korvata kyllästettyä puuta ja lasikuitua (lasikuitu vaikeasti kierrätettävää). **Kysyntä**: Kasvavat markkinat maissa, joissa rajoitetaan tulevaisuudessa kyllästettyjen tuotteiden käyttöä, esim. USA, Eurooppa, Japani.		
Paperikuitujen hyötykäyttömenetelmät				
Kuitujen talteenotto uusiopaperin valmistukseen			Likaisen ja sekalaatuisen paperin käyttö tekee tuotteesta ruskeaa. Saatava paperi ei yhtä valkoista kuin neitseellisestä kuidusta valmistettu.	
Kuitujen talteenotto hylsykartongin valmistukseen	Toimiva ja käytössä oleva menetelmä			
Kuitujen prosessointi lämmöneristeeksi	Paperikuituja voidaan käyttää lämmöneristeinä.		Käyttötarkoitukseen kelpaa vain puhdas paperikuitu, mm. toimistokeräyspaperi.	

Materiaali-hyötykäyttö	Positiiviset asiat		Negatiiviset asiat	
	Vahvuudet	Mahdollisuudet	Heikkoudet	Uhat
Muut materiaalikohtaiset hyötykäyttömenetelmät				
Tekstiilien prosessointi teollisuuden matoiksi	Teollisuuden tasalaatuinen tekstiilijäte sopii hyödyntämiseen hyvin.	**Käyttö**: öljynimeytys-, suoja- ja puhdistusmatot, parkettien alusmatot, verhoiluvanut, puutarhojen kastelumatot **Laitetekniikan kehittyminen**: voidaan saada myös kuluttajien tekstiilit hyötykäyttöön.	**Korkeat laatuvaatimukset**: Kotitalouksien tekstiilijätteestä hyödynnettävissä vain villaiset tekstiilit. Irto-osia sisältäville vaatteille ei vielä ole toimivia käsittelylaitteita, joten ne eivät sovellu hyötykäyttöön. Kuluttajatekstiilien laaja materiaalikirjo on myös ongelma. **Saatavuus**: Tekstiilijätteen määrä pieni.	
Solupolystyreenin kierrätys	Soveltuu sekä uuden polystyreenin valmistukseen että muiden muovien raaka-aineeksi.		Korkeat laatuvaatimukset: Solupolystyreenin (EPS) valmistukseen käytetyssä aineksessa ei saa olla hiekkaa, hajuja tai orgaanisia epäpuhtauksia.	
Muoviprofiilit	**Raaka-aineet**: voidaan käyttää kaikkia muovilaatuja, ml. PVC-muovia.	**Käyttö**: Lopputuote tolpan/lankun muotoinen työstettävä tuote, jolla voidaan korvata mm. metallia, betonia ja kyllästettyä puuta. **Kysyntä**: Kuluttajat löytäneet materiaalin.	**Imago**: Muovituotteiden ja etenkin kierrätysmuovituotteiden rasitteena on huono imago.	
Kumi bitumin tukiaineena	Kumi lisää bitumin seassa sen joustavuutta ja kestävyyttä.		**Vähäiset käyttökokemukset**: Viitattu tutkimus ei ole selvittänyt käyttäytymistä pakkasolosuhteissa. Seososuus olisi vain n. 3%. Kumijätteen määrä pieni.	
PVC-muoveista ruiskuvalettavia muovituotteita	Yksi ainoita PVC-muoville soveltuvia materiaalihyötykäyttömenetelmiä.	**Käyttö**: Soveltuu esim. rakennusteollisuuden putkiin, seinä- ja lattiapäällysteisiin, käyttöastioihin, toimistotarvikkeisiin, vapaa-ajan tarvikkeisiin, elintarvikepakkauksiin.		

5 Johtopäätökset

Jätevirtojen tarkastelu osoitti, että suurimmat kaatopaikoille suuntautuvat palavan jätteen virrat ovat peräisin yhdyskunnista (78 %), loput lähes tasaosuuksin teollisuudesta ja rakentamisesta. Yhdyskunnista peräisin oleva 78 % koostuu lähinnä jätevesilietteistä (24 %), biojätteistä (29 %), erilaisista paperikuiduista (26 %) ja muoveista (10 %). Vain 6 % kaatopaikalle sijoitetusta kokonaisjätemäärästä on ominaisuuksiltaan palavaa. Loppuosa on erilaisia maa-aineksia, tuhkia ja metalleja. Koko jätehuollon mittakaavassa ajateltuna suurimmat kierrätyksen ja kiertojen sulkemisen haasteet ja mahdollisuudet liittynevätkin siis palamattomiin jätteisiin.

Jätteen energiasisällön hyödyntäminen sähkönä ja lämpönä vähentää kasvihuonekaasupäästöjä kaikilla tutkituilla polttomenetelmillä, kun tuotetulla energialla korvataan kivihiilellä tuotettua energiaa. Arina- ja leijupetiratkaisut tuottivat kivihiili-CHP-laitosta enemmän hiukkaspäästöjä, mutta päästöt olivat kauttaaltaan hyvin pienet. SO_2- ja NOx-päästöjen kannalta jätteenpolttoratkaisut olivat ympäristötaseeltaan edullisempia, mutta tulos riippuu oletetuista päästöjen käsittelymenetelmistä. Päästötaseisiin vaikuttaa laitoksen kokonaishyötysuhde sekä vaihtelevissa määrin sähkön ja lämmön tuotannon hyötysuhteet riippuen mm. siitä, tarvitaanko esim. lauhdekivihiilivoimalalla tuotettua marginaalisähköä kyseisenä vuonna.

Tässä selvityksessä käytetyillä oletusarvoilla kaasutinratkaisu osoittautui kasvihuonekaasutaseen perusteella parhaaksi vaihtoehdoksi jätteen lämpökäsittelytekniikoista, mutta myös muilla vaihtoehdoilla on omat etunsa. Sekä kaasutin- että leijupetiratkaisuja puolustavat energiantuotannon nykyisen rakenteen suomat mahdollisuudet käyttää vanhoja, jo olemassa olevia kattiloita osana ratkaisua. Myös näiden kahden tekniikan kotimainen huippuosaaminen on hyvä ottaa huomioon. Molempia vaihtoehtoja tarkastellessa on kuitenkin syytä muistaa, että polttoaineen esikäsittely vaatii resursseja ja investointeja ja aiheuttaa päästöjä. Lisäksi molemmat tekniset ratkaisut vaativat polttoaineelta puhtautta. Olemassa olevia kattiloita hyödynnettäessä sekä kaasutinratkaisu että leijupetipoltto edellyttävät myös lisäinvestointeja mittauslaitteistoihin, päästöseurantaan ja savukaasujen puhdistukseen.

Arinapolttokattilat ovat yleisimmin jätteenpoltossa käytössä olevia tekniikoita. Arinoiden rakenteellinen kehitys ja tulipesän palamisolosuhteiden parantaminen mm. leijupetitekniikasta tutulla ilman vaiheistuksella ovat parantaneet palamistehokkuutta ja alentaneet primääripäästöjä. Käyttövarmuudeltaan arinaratkaisut ovat riskittömämpiä kuin leijupetiratkaisut. Sekajätteen käsittelyvaihtoehtona arinapoltto on kokonaisvaltainen ratkaisu, koska se käsittelee sekajätteen kaikkinensa. Kaasutus- ja leijupetipoltto sen sijaan käsittelevät vain valikoidun energiajakeen ja kierrätyspolttoaineeseen kelpaamattoman jätteen käsittelylle on aina keksittävä muita ratkaisuja.

Jätteiden materiaalihyödyntämiseen on käytettävissä monia eri menetelmiä. Hyödyntämisen kannalta olennaista on, että erikseen kerätyllä, käsitellyllä ja/tai tuotteistetulla materiaalilla on kysyntää ja mahdollisimman samassa suhteessa kuin materiaalia syntyy. Kysynnän edistämiseksi tulisi kuluttajille todistaa kierrätystuotteiden

hyvä laatu esim. asettamalla kierrätystuotteille laatuvaatimukset ja perustamalla jokin organisaatio vastaamaan laadun tarkkailusta.

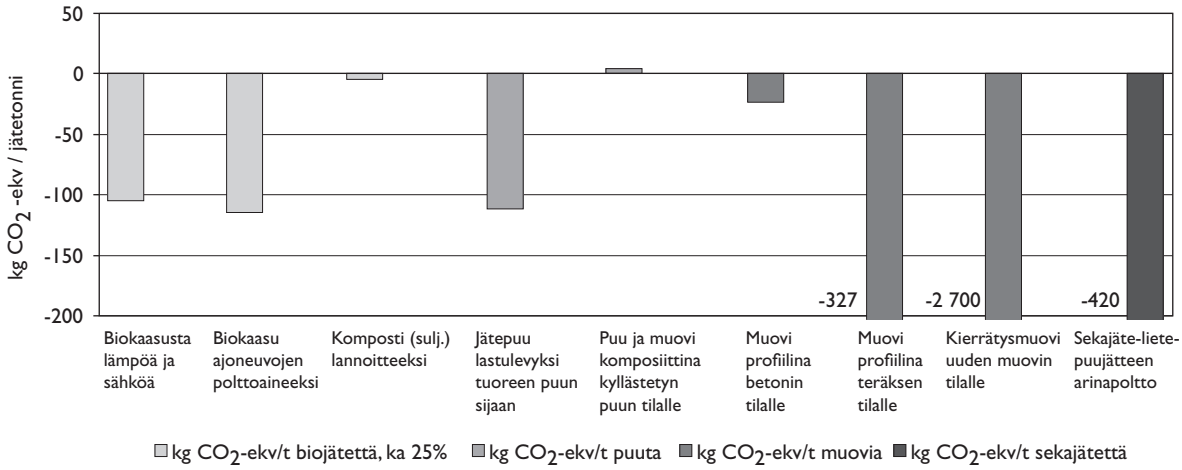
Muovin kierrätys uudelleen muoviksi osoittautui kasvihuonekaasujen valossa erittäin kannattavaksi hyödyntämisratkaisuksi. Muovin valmistaminen raakaöljystä on energiaa kuluttava prosessi ja säästöt syntyvätkin vältetyistä energian päästöistä. Muovin materiaalihyödyntämisen lisääminen on kuitenkin haaste lajittelulle - miten nykyisin sekajätteeseen päätyvät muovit saataisiin erotettua muusta jätteestä sillä puhtaudella, että lopputulos vastaa hyödyntämisprosessien vaatimuksia? Hyödynnettävissä olevia, nykyisin kaatopaikalle meneviä teollisuuden ja kaupan toimialoilla syntyviä pakkausmuovijätteitä on löydettävissä, mutta niiden määrät ovat vain kymmenesosa yhdyskuntajätteen sisältämästä raaka-ainepotentiaalista.

Mädätys tuotti kasvihuonekaasupäästöjen tarkastelussa selkeät hyödyt. Mädätyksen tuottaman metaanin hyödyntämisellä liikennepolttoaineena tai energiantuotannossa voidaan saavuttaa käytännössä samansuuruiset kasvihuonekaasusäästöt. Koska dieselin korvaaminen vähentää myös haitallisia päästöjä ja liikennepolttoaineiden korvaamiseen liittyvät säästöt tapahtuvat hengityskorkeudessa, voidaan liikennepolttoainekäyttö priorisoida energiantuotannon edelle.

Yhtenä materiaalihyötykäytön haasteena on, että jokaisen jätejakeen hyötykäytön ollessa oma menetelmänsä kokonaisuuden hallinta on vaikeaa. Toiminta on markkinoiden varassa ja vaikuttamismahdollisuudet vähäiset.

Jätteiden hyödyntämismenetelmistä on tietoa saatavilla toistaiseksi heikosti. Tässä selvityksessä on voitu syventyä vain murto-osaan todellisista käytössä olevista hyötykäyttömenetelmistä ja vain hyvin yleisellä tasolla, mikä heikentää tulosten edustavuutta ja kasvattaa niiden virhemarginaalia. Lisäksi selvityksessä ei ole voitu perehtyä energiantuotannon lopputuotteen, tuhkan, hyötykäyttö- ja hävitysproblematiikkaan. Selvityksen perusteella kuitenkin sekä jätteiden energia- että materiaalihyödyntämisellä on vahvuutensa ja heikkoutensa ympäristövaikutusten kannalta. Molemmat vähentävät loppusijoitettavan jätteen määrää ja kaatopaikoilla muodostuvia kasvihuonekaasupäästöjä. Eri hyötykäyttömenetelmillä saavutettavat päästösäästöt on esitetty kuvassa 6.

Hyötykäyttömenetelmien kasvihuonekaasupäästöt



Kuva 6. Jätteiden hyödyntämisellä saavutettavat kasvihuonekaasupäästöjen säästöt eri hyötykäyttömenetelmillä hiilidioksidiekvivalentteina jätetonnia kohti. Polttomenetelmistä kuvaan on valittu arinapoltto.

Kasvihuonekaasupäästöissä saavutettavat edut ovat pitkälti riippuvaisia siitä, mitä toimintoja jätteen hyödyntämisellä oletetaan korvattavan. Tässä selvityksessä käytetyillä lähtötiedoilla voidaan todeta, että jos voidaan olettaa energiahyödyntämisen korvaavan kivihiilellä tuotettavaa energiaa, muovin materiaalikierrätystä lukuun ottamatta eri jätelajien polttaminen on hyödyntämisvaihtoehtona kasvihuonekaasupäästöjen kannalta edullisempi kuin mikään tarkastelluista kierrätysmenetelmistä. Pelkkiä kasvihuonekaasupäästöjä tarkasteltaessa jätteiden sisältämä muovi siis kannattaisi erottaa ja kierrättää uudelleen muoviksi, hyödyntää jäljelle jäävä jäte energiana ja käyttää energiahyödyntämiseen mieluiten kaasutusprosessia, jonka päästöt ovat arina- ja leijupetipolttoa pienemmät. Tässä yhteydessä on kuitenkin huomioitava, että tarkastelu kattoi 1) ainoastaan kasvihuonekaasupäästöt, 2) vain rajatun määrän eri hyötykäyttömenetelmiä mm. kuitujen hyötykäytön puuttuessa tiedon puutteen vuoksi joukosta, ja 3) käytännön ratkaisujen kannalta epärealistisen aluekokonaisuuden (koko Suomen). Lisäksi selvityksessä ei ole arvioitu nykyteknologian soveltuvuutta yhdyskuntajätteen sisältämien muovien erottamiseen niin puhtaana lopputuotteena, että se soveltuisi materiaalikierrätykseen. Ei myöskään ole selvitetty sitä, miten kaasutustekniikka soveltuu jätteelle silloin, kun se sisältää ainoastaan muita materiaaleja kuin muovia.

Polttokelpoisen jätteen käsittelylle ympäristön kannalta optimaalisesti ei löydy yhtä yksiselitteistä ratkaisua. Alueelliset piirteet jätteiden määrissä ja laadussa, kuljetusetäisyyksissä, energiahuollossa, infrastruktuurissa, elinkeinorakenteessa ja sitä kautta materiaalien hyötykäyttömahdollisuuksissa jne. vaikuttavat siihen mikä ratkaisu millekin alueelle soveltuu parhaiten: Kyse on alueellisesta energiarakenteellisesta ja jätehuollollisesta kokonaisratkaisusta. Kaikille jätteiden hyödyntämistavoille – niin kierrätys- kuin polttomenetelmille – tulisi luoda riittävät, yksiselitteiset ja yleisesti hyväksyttävät päästöseuranta- ja päästöjen puhdistuskriteerit, jotta mahdolliset negatiiviset ympäristövaikutukset voitaisiin minimoida, valittiin sitten mikä menetelmä tahansa.

LÄHTEET

Alakangas. E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Tiedotteita 2045. Espoo 2000.

Antikainen, R. 2006. Suomen ympäristökeskus. Suomen lannoitekäytön tilastotietoja. Suullinen tiedonanto 13.4.2006.

Arasto A. 2006 Jätevirtojen muutokset lähitulevaisuudessa. seminaarityö, TKK, Energiatekniikan ja Ympäristönsuojelun laboratorio

Conenor Oy 2006. http://www.conenor.com

Corenso United Oy Ltd, StoraEnso. www.storaenso.com.

Dahlbo, H., Laukka, J., Myllymaa, T., Koskela, S., Tenhunen, J., Seppälä, J., Jouttijärvi, T. ja Melanen, M. 2005. Waste management options for discarded newspaper in the Helsinki Metropolitan Area. The Finnish Environment 752. Helsinki.

Ecoinvent Centre 2003. Ecoinvent data v1.01. Final reports ecoinvent 2000 No. 1-15. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2003. CD-ROM.

Euroopan unioni. 2001. 2001/80/EC DIRECTIVE 2001/80/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 October 2001 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants, http://europa.eu.int/eur-lex/pri/en/oj/dat/2001/l_309/l_30920011127en00010021.pdf

Euroopan Unioni. 2001. Directive 2001/81/EC DIRECTIVE 2001/81/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 October 2001 on national emission ceilings for certain atmospheric pollutants. http://europa.eu.int/eurlex/pri/en/oj/dat/2001/l_309/l_30920011127en00220030.pdf

Euroopan Unioni. Revision of the National Emission Ceilings Directive http://ec.europa.eu/environment/air/rev_nec_dir.htm

GreenNet Finland, Konsem Oy, YTV, EKES, Kuusakoski Uudenmaan liitto 2005. Rakennusmateriaalien hyötykäytön edistäminen - Liiketoimintamallien tarkastelu.

Grönroos, J. Suomen ympäristökeskus. Kirjallinen tiedonanto 25.4.2006.

Hiltunen, M-R. & Dahlbo, H. 2006. UJKON Osaprojekti 3: Jätteiden jalostaminen tuotteiksi. Väliraportti 13.1.2006. Suomen ympäristökeskus SYKE. Helsinki. (Ei julkaistu).

Hospido, A., Moreira, T. M., Rigola, M. & Feifoo, G. 2005. Environmental Evaluation of Different Treatment Processes for Sludge from Urban Wastewater Treatments: Anaerobic Digestion versus Thermal Processes. Int J LCA 10 (5) 336 – 345.

Hämeen ammattikorkeakoulu 2004. Biokaasun tuotanto- ja käyttömahdollisuudet Kanta-Hämeessä. Hämeenlinna 2004.

Jaakko Pöyry Consulting, Maa- ja metsätalousministeriö, Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto MTK r.y. & Metsäteollisuus r.y. 2005. Suomen metsäteollisuuden tulevaisuudennäkymät ja niiden vaikutus puuntuotantostrategioihin. Raportti. Saatavissa osoitteessa: www.mmm.fi/julkaisut/metsatalous/310505raportti.pdf

Jaakko Pöyry Infra, Maa ja Vesi Oy 2001. Suomalaisten kompostointilaitosten toimivuus ja tehostaminen. Lehto, T. ja Ekholm, E. 1. Väliraportti Osa A. Helsinki. Tiedosto saatavilla osoitteessa: www.jly.fi > Julkaisut

Jussi-Tuote Oy 2006. Tupla-Jussi-lannoiteruuvi. http://www.jussi-tuote.fi/Tupla.pdf.

Karvosenoja N. and Johansson M. 2003. The Finnish Regional Emission Scenario model – a base year calculation. Proceedings of Air Pollution XI Conference, Catania, Italy, pp. 315-324.

Kauppa- ja teollisuusministeriö KTM 2006. Liikenteen biopolttoaineiden
tuotannon ja käytön edistäminen Suomessa. Työryhmän mietintö. KTM julkaisuja 11/2006.

Klimont, Z. Cofala, J. Bertok, I. Amann, M. Heyes, C. Gyarfas, F. 2002, Modelling Particulate Emissions in Europe- A Framework to Estimate Reduction Potential and Control Costs. 2002. IIASA Interim Report IR-02-076, Laxenburg, Austria

Kiteen kunta 2006. Kompostituote Kikote. Tuoteseloste. Maanparannuskomposti. Raaka-aineena lehtipuuhake, biojäte ja puhdistamoliete. Saatavissa osoitteesta: http://www.kitee.fi/fi.php?/palvelut/tekninen_toimi/jatehuolto/kompostituote_ki

Kuittinen V., Huttunen M. J. & Leinonen S. 2005. Suomen biokaasulaitosrekisteri VIII. Karjalan tutkimuslaitoksen raportteja 3/2005. Joensuun yliopisto.

KTTK 2005. Analyysien tulokset. Lannoitevalmisteet: maanparannusaineet, kompostit, lantaseokset ja muut maanparannusaineet. Dokumentti on saatavissa osoitteessa: http://www.kttk.fi/data/mko/Analyysiraportit/Raportti%202005_1/BO-raportit_kompostit.pdf

Lampinen, A. 2003. Biokaasun liikennekäyttö Ruotsissa. Jyväskylän yliopisto. www-dokumentti, saatavissa osoitteessa: http://www.biokaasuauto.com/artic/Ruotsin_liikennekaytto.pdf

Laukka, J. 2004.

Lehto, T. 2005. Biojätteiden kierrätys ja ravinteiden virrat paikallisessa ruokajärjestelmässä. Etelä-Savon ympäristökeskuksen moniste 64. Mikkeli.

Lehtomäki, A., Lampinen, A. & Rintala J. 2003. Peltobiomassoista puhdasta kotimaista kaasua. Kemia – Kemi 30/2003.

Linnunmaa Oy (toim.) 2005. Soodasakkaseminaari. 31.5.2004 Joensuun Tiedepuisto. Seminaarin yhteenveto ja aineisto.

Lohiniva, E., Mäkinen, T. & Sipilä, K. 2001. Lietteiden käsittely Uudet ja käytössä olevat tekniikat. VTT Tiedotteita 2081. Espoo.

Lounais-Suomen ympäristökeskus (LOS) 2005. Ympäristölupapäätös LOS-2004-Y-496-111. Veljet Kuusisto Oy:n puun kyllästämö, Laitila.
Muukkonen, J. 2006. Yhteenveto talonrakentamisen jätteistä. Kirjallinen tiedonanto. Tilastokeskus 2006.
Myllymaa, T., Dahlbo, H., Ollikainen, M., Peltola, S. & Melanen, M. 2005. Menettely jätehuoltovaihtoehtojen ympäristö- ja kustannusvaikutusten elinkaaritarkasteluun. Suomen ympäristö 750. Helsinki. Laskentataulukot http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=137412&lan=fi > Jätemäärät.
Mäenpää, I. 2005. FINWASTE-hankkeen jätemääräaineisto.
Mäkelä, K. VTT 2002. Liikennevälineiden yksikköpäästöt. Tieliikenteen tavaraliikenne. Jakelukuormaauto 6 t katuajossa 100 %:n kuormalla. http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/pienetjakeluautotkadut.htm
Mäntylä, E. Vapo Biotech Oy 2006. Kompostin käyttö pohjavesien suojelussa ja eroosion ehkäisyssä. Suullinen esitys SYKEssä 30.3.2006.
Nissinen, A. 2006. Mittatikku-hankkeen lähtötiedot. Kirjallinen tiedonanto 21.4.2006.
Nylund, N-O, Erkkilä, K., Lappi, M. & Ikonen, M. 2004. Transit bus emission study: comparison of emissions from diesel and natural gas buses. VTT Processes. Research report PRO3/P5150/04. Espoo.
Nylund, N-O ja Erkkilä, K. 2005. Bussikaluston pakokaasupäästöjen evaluointi: Yhteenvetoraportti 2002 – 2004. VTT Prosessit. Tutkimusselostus PRO3/P3018/05. Espoo.
Opetushallitus (OPH) 2006. Puuaineen ominaisuuksia. Dokumentti saatavissa osoitteessa: http://www.edu.fi/oppimateriaalit/puutuoteteollisuus/raaka-aineet/puuaineen_ominaisuuksia/etusivu.html
Paatero, P. 2000. Puhdistamolietteiden hyödyntämis- ja loppusijoitusvaihtoehdot sekä niiden vertailu. Suomen ympäristökeskuksen moniste 210. Helsinki.
Pelkonen, M., Rauta, E., Tanskanen, J-H. 2000. Yhdyskuntajätehuollon päästöjen järjestelmätarkastelu. Teknillinen korkeakoulu Vesihuoltotekniikan laboratorio. Espoo.
Pipatti, R., Hänninen, K., Vesterinen, R., Wihersaari, M. & Savolainen, I. 1996. Jätteiden käsittelyvaihtoehtojen vaikutus kasvihuonepäästöihin. VTT Energia.
Puuinfo Oy – Wood Focus Oy 2006. Lastulevy tehdään puusta. www-dokumentti, saatavissa sivulta: http://customers.evianet.fi/woodfocus/data.php/200102/001569200102060806_lastulevy.pdf?woodfocusid=162.
Puuliitto 2005. Puu- ja erityisalojen liiton elinkeinopoliittisia tavoitteita sekä sopimusalojen työllisyys- ja tuotantonäkymät. Tiivistelmä ja painopisteet. Raportti saatavissa osoitteessa: http://www.puuliitto.fi/files/1607_Elinkeinopolitiinen%20asiakirja.doc?PHPSESSID=af83d37cb25e40d7ff2b78139c830451
Ramaswamy V, Boucher, O, Haigh J, Hauglustaine D, Haywood J, Myhre G, Nakajima T, Shi G Y, Solomon S (2001): Radiative forcing of climate change. In: Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, Noguer M, Linden van den P J, Dai X, Maskell K, Johnson C A (eds.) (2001). Climate change 2001: The scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York. Pp. 349-416. http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/
Raukola, J. & Mäkinen, K. 2004. Wood plastic composites with conical Conex® Wood Extruder. VTT Processes. Dokumentti saatavissa osoitteessa: http://www.conenor.com/Report%20-%20WoodComposites%20-%20Conex%20Wood%20Extruder.pdf
Ravaska, E. 2005. Puupinnan funktionalisointi. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Materiaaliopin osasto. Tampere.
RT 2002. Ohjekortti. Kyllästetty puutavara. RT 21-10786.
Salmenperä, H. 2000. Materiaalitehokkuus huonekalualalla. Materiaalitehokkuuden neuvontaprojekti. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. Dokumentti saatavissa osoitteessa: http://www.miljo.fi/download.asp?contentid=9555&lan=fi
Schäfer, W., Evers, L., Lehto, M., Sorvala, S. & Teye, F. 2006. Kuivalannan kaksivaiheinen jatkuvatoiminen mädätys maatilalla: Reaktorin rakenne sekä aine-, ravinne- ja energiataseet.
Suomen biokaasukeskus. Perustietoja biokaasusta. Viitattu 30.3.2006. http://www.kolumbus.fi/suomen.biokaasukeskus/.
Suomen ympäristökeskus 2005. Päästötietojen tuottamismenetelmät – Energiantuotanto, versio 6.10.2005. http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=46599&lan=fi
Suomen ympäristökeskus SYKE 2006. Yhdyskuntien jätevesilietteet. Päivitetty 20.2.2006. http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=167524&lan=fi.
Suomen ympäristökeskus SYKE 2006b. Jätteiden synty toimialoittain. Päivitetty 20.2.2006. http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=6984&lan=fi
Suomen ympäristökeskus SYKE 2006c. Minä ja ympäristö. Kyllästetyn puun käyttö ja hävittäminen. Dokumentti on saatavissa osoitteessa: http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=179&lan=fi.
Suunnittelukeskus Oy 2003. Sekajätteen käsittelylaitos. Tekninen hankesuunnitelma. YTV Jätehuolto. Helsinki.
Tenhunen, J., Oinonen, J. & Seppälä, J. 2000. Vesihuollon elinkaaritutkimus. Tampereen vesilaitoksen vaikutukset ympäristöön. Suomen ympäristö 434. Helsinki.
Tilastokeskus 2006. Yhdyskuntajätteet vuonna 2003. Päivitetty 13.12.2005.
Tilastokeskus 2006b. Polttoaineluokitus ja päästökertoimet. http://www.stat.fi/til/khki/2003/khki_2003_2005-09-12_luo_002.html
Valtakunnallinen jätesuunnitelma –seminaari 23.9.2005. Runstén S. Jätehuollon nykytila ja edellisen VALTSUn toteutuminen
VTT 2004. Puu-muovi-yhdistelmillä voi korvata kyllästetyn puun. Dokumentti on saatavissa osoitteessa: http://www3.vtt.fi/esimerkkeja/0304/puumuovi.htm
Wihersaari, M. 2006. Kirjallinen tiedonanto J. Grönroosille.

Wood Focus Oy 2006. Puutuotteiden ekologinen kestävyys. www-dokumentti saatavissa osoitteessa: http://www.puuinfo.fi/index.php?vr=887&mainmenu=1&anonymous=nobody
YTV Jätehuolto 2004. Pääkaupunkiseudun rakennustyömailla syntyvä rakennusjäte.
YTV Jätehuolto 2005. Pääkaupunkiseudun kotitalouksien sekajätteen määrä ja laatu.
YTV Jätehuolto 2005b. Pääkaupunkiseudun palvelualojen sekajätteen laatu.
YTV Jätehuolto 2006. Jätteiden energiakäytön mahdollisuudet pääkaupunkiseudulla ja sen lähialueilla, Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C2006:1.

Liite 1. Teollisuudessa syntyneet jätteet (mm. Mäenpää 2005 soveltaen).

Luokka		Tuotettu jäte (t)	Kaatopaikalle (t)	Energia (t)	Materiaali-hyöd. (t)	Muu (t)	Polttokel-poisen jät-teen määrä (t)
	Yhteensä	9 524 805	6 422 114	577 275	479 823	2 045 594	556 175
12.51.0	Kipsi, kalkki, lasivilla	1 647 781	1 592 686	-	4 923	50 172	-
12.32.0	Kaivosten maat ja sivukivi	1 057 706	1 057 706	-	-	-	-
12.42.0	Tuhkat	1 630 908	891 576	-	205 825	533 507	-
01.24.0	Suolajäte	544 781	541 453	-	-	3 328	-
12.43.0	Metallikuonat	445 570	398 967	-	44 999	1 604	-
12.33.0	Rikastushiekka	360 335	360 335	-	-	-	-
01.24.1	Suolajäte	164 217	163 660	-	141	417	-
11.12.0	Jätevesiliete	437 409	158 565	83 909	33 804	161 132	158 565
03.21.1	Siistaus-, puhdistamo- ja metalliliete	149 260	144 516	-	177	4 567	-
03.13.0	Soodasakka, lipeäjäte	178 331	137 009	571	18 174	22 576	137 009
12.31.0	Kalkki, hiekka, multa	276 487	134 030	-	6 135	136 322	-
12.51.1	Jarosiitti	126 065	126 061	-	-	5	-
01.21.0	Happojen väkev.sakka	127 390	122 947	-	114	4 329	-
12.11.0	Betoni ja kipsi	260 787	112 298	-	2 847	145 642	-
03.21.0	Siistaus-, puhdistamo- ja metalliliete	313 739	93 016	100 550	3 238	116 934	93 016
10.22.0	Sekalaiset materiaalit, palava max10 %	164 605	89 789	38 582	7 357	28 876	-
10.11.0	Yhdyskuntien sekajäte	72 405	52 869	1 480	317	17 739	52 869
07.53.0	Puu, kuoret, oksat	71 318	38 963	5 039	131	27 186	38 963
07.24.0	Kuitu-, pinnoite- ja täyteaineet (pastaliete)	260 457	34 034	32 880	4 112	189 432	-
11.31.0	Puhtaat ruoppausmassat	32 945	30 275	-	-	2 670	-
12.61.1	Saastuneet maa-ainekset	33 206	27 574	-	-	5 632	-
01.22.0	Meesajäte (emäksiset jätteet)	27 391	22 202	-	1 910	3 279	22 202
12.41.0	Kipsi- ym. pöly	129 344	20 742	-	70 437	38 165	-
12.13.0	Sekalainen rakennusjäte	17 572	16 232	-	1	1 339	16 232
10.32.0	Lajittelujäte (siistaus, jv.käsittely)	24 054	12 712	36	79	11 227	12 712
09.11.0	Eläinperäinen jäte	22 339	5 428	4 338	-	12 573	5 428
07.23.0	Paperi ja pahvi	137 777	4 494	33 932	1 315	98 037	4 494
06.11.0	Rautametallien jäte ja romu	62 266	4 081	-	974	57 211	-
07.52.0	Sahajauho ja lastut	12 006	3 248	5	3 255	5 498	3 248
09.12.0	Elintarvikejäte, kasvit	67 087	2 992	4 102	7 944	52 049	2 992
09.31.0	Lanta, lietelanta	6 770	2 722	-	728	3 320	-
07.63.0	Nahkajäte	2 447	2 440	-	7	0	2 440
12.52.0	Tulenkestävien ainesten jätteet	3 208	1 770	-	-	1 438	-
06.23.0	Alumiinijäte	3 900	1 364	-	56	2 481	-
12.11.1	Betoni ja kipsi	30 706	1 330	-	-	29 376	-

Luokka		Tuotettu jäte (t)	Kaatopaikalle (t)	Energia (t)	Materiaali-hyöd. (t)	Muu (t)	Polttokel-poisen jät-teen määrä (t)
13.11.0	Jätevesilaitoksen tuhka (stab.)	1 193	1 193	-	-	-	-
03.11.0	Tervat ja hiilipitoiset jätteet	1 836	1 180	56	-	600	1 180
02.13.0	Maalit, lakat, liimat (pääosa kuivia)	2 710	907	20	330	1 454	907
07.42.0	Muovijätteet	16 903	892	2 205	7 599	6 206	892
06.32.1	Sekal.metallijäte	1 050	846	-	-	204	-
12.12.0	Asfalttijäte	657	650	-	-	7	-
02.31.0	Sekalainen kemikaalijäte	755	570	181	-	4	-
11.41.0	Sakokaivolietteet	15 394	560	-	-	14 834	560
07.21.0	Paperi- ja pahvipak-kausten jätteet	3 729	523	1 299	610	1 298	523
09.13.0	Biojäte (elintarv.valmis-tuksen jäte)	5 191	482	3	3 265	1 441	482
03.22.0	Hiilivetyjä sis.lietteet	1 285	480	-	29	776	480
10.12.0	Katujenpuhdistusjäte	597	390	4	-	204	-
10.21.0	Sekal. pakkausjäte	2 685	381	411	32	1 862	381
11.21.0	Juoma- ja prosessiveden puhdistuksessa syntyvät lietteet	952	352	-	-	600	-
12.21.1	Asbestijäte	338	321	-	-	17	-
10.22.1	Muut sekalaiset materiaalit	1 520	258	6	259	997	-
03.14.1	Käytetyt suodatus- ja absorboimisaineet	661	247	2	-	411	-
09.21.0	Puutarha- ja muu kasviperäinen jäte	907	233	592	-	82	233
02.14.0	Muut kemiallisten valmisteiden jätteet	4 433	213	13	552	3 656	-
02.33.1	Vaarallisten aineiden saastuttamat pakkaukset	1 968	200	-	-	1 768	-
12.13.1	Hg-pitoinen tai muuten saastunut rakennusjäte	264	198	-	-	65	-
07.41.0	Muovipakkausten jätteet	4 803	193	483	549	3 578	193
02.32.1	Muut kemialliset jätteet	182	151	-	23	8	-
07.51.0	Puupakkausten jätteet	4 681	108	1 788	466	2 320	108
01.41.0	Käytetyt kemialliset katalyytit	2 776	103	-	-	2 673	-
06.32.0	Muut sekalaiset metalli-jätteet	39 844	96	-	12 335	27 413	-
06.26.0	Muut metallijätteet	35 970	77	-	18 774	17 119	-
07.12.0	Muut lasijätteet	6 679	38	-	3 792	2 848	-
03.14.0	Käytetyt suodatus- ja absorboimisaineet	2 809	38	0	0	2 770	-
12.42.1	Poltossa syntyvät tuhkat	352	33	2	-	317	-
06.31.0	Sekalaisten metallipak-kausten jäte	2 751	24	-	154	2 573	-
07.32.0	Muut kumijätteet	4 659	24	534	-	4 101	24

Luokka		Tuotettu jäte (t)	Kaatopaikalle (t)	Energia (t)	Materiaali-hyöd. (t)	Muu (t)	Polttokel-poisen jät-teen määrä (t)
03.13.1	Tislausjäte (Kem.reaktioi-den jäännökset)	6 979	20	-	442	6 517	-
07.62.0	Tekstiilijäte	2 274	15	2 154	-	105	15
08.43.1	Poistetut koneenosat (kumiset ja muoviset)	6 612	13	-	-	6 600	13
11.11.0	Jätevesilietteet	6 426	6	-	3 103	3 316	6
03.12.1	Veden ja öljyn emulsioiden lietteet	38 477	6	77	442	37 952	-
05.22.0	Eläinjäte	4	4	-	-	-	4
05.21.0	Eläinjäte	3	3	-	-	1	3
07.53.1	Kyllästetty puu	236 516	2	233 888	-	2 626	2
01.31.1	Käytetyt moottoriöljyt	4 940	1,3	66	4	4 869	1
01.32.1	Muut käytetyt öljyt	20 626	1,0	103	18	20 504	1
02.13.1	Maalit, lakat, liimat	6 217	1	375	11	5 831	1
19.99.0	Tuntematon jäte	1	1	-	-	-	-
03.22.1	Öljyiset (hiilivetyjä sisältävät) lietteet	2 818	0	120	-	2 698	0
05.11.1	Sairaalajäte	2	0	-	-	2	-
08.43.0	Loisteputket, käytöstä poistetut laitteet	123	0	-	94	29	-
12.52.1	Tulenkestävien ainesten jätteet	0	-	-	-	0	-
12.43.1	Metallinjalostuksen pölyt ja kuonat	3 111	-	-	3 044	68	-
12.41.1	Kipsi- ym. pöly	29 361	-	-	2	29 359	-
12.31.1	Mineraalijäte (luontoperäinen)	49	-	-	-	49	-
12.12.1	Asfalttijäte	48	-	-	48	-	-
10.32.1	Muu lajiteltu jäte (polttojae)	154	-	-	-	154	-
08.41.1	Paristot ja akut	5 236	-	-	4	5 233	-
08.41.0	Paristot ja akut	21	-	-	-	21	-
08.23.1	SER-jäte	16 346	-	-	24	16 322	-
08.23.0	SER-jäte	260	-	-	1	259	-
08.22.0	Kylmälaitteet	0	-	-	-	0	-
08.21.1	Kylmälaitteet	8	-	-	-	8	-
08.12.0	Työkone(et)	8	-	-	-	8	-
07.72.1	Kondensaattorit (PCB-romu)	38	-	-	-	38	-
07.71.1	Öljyt (PCB-pitoiset)	4	-	-	-	4	-
07.61.0	Käytetyt vaatteet (kypärät)	0	-	-	-	0	-
07.52.1	Sahajauho ja lastut	0	-	-	-	0	-
07.42.1	Muovijäte (muu)	744	-	-	359	385	-
07.31.0	Käytetyt renkaat	100	-	1	8	92	-
07.24.1	Kuitu-, pinnoite- ja täyteaineet	38	-	-	-	38	-
07.23.1	Paperi ja pahvi	7	-	-	6	0	-
07.12.1	Muut lasijätteet	1	-	-	-	1	-

Luokka		Tuotettu jäte (t)	Kaatopaikalle (t)	Energia (t)	Materiaali-hyöd. (t)	Muu (t)	Polttokel-poisen jät-teen määrä (t)
07.11.0	Lasipakkaukset	1 272	-	-	971	301	-
06.25.1	Lyijypitoiset jätteet (kemikaalit)	14	-	-	-	14	-
06.25.0	Lyijypitoiset jätteet (romu)	56	-	-	-	56	-
06.24.0	Kuparijäte	1 761	-	0	1 087	674	-
06.23.1	Alumiinijäte	31	-	-	-	31	-
06.22.0	Alumiinitölkit	449	-	-	-	449	-
06.21.1	Jalometallijäte (hopeapit.)	1	-	-	-	1	-
06.11.1	Rautametallien jäte ja romu	546	-	-	10	536	-
05.12.1	Tartuntavaarallinen eläinlääkärijäte	11 587	-	5 370	-	6 217	-
03.11.1	Tervat ja hiilipitoiset jätteet	57	-	-	-	57	-
02.31.1	Sekalainen kemikaalijäte	827	-	-	-	827	-
02.21.1	Räjähdysaineet	98	-	-	-	98	-
02.14.1	Sekalainen kemikaalijäte 2	1 125	-	-	388	736	-
02.12.1	Lääkejäte	359	-	-	-	359	-
02.11.1	Maatalouden kemikaalijät-teet (torjunta-aineet)	5	-	-	-	5	-
02.11.0	Maatalouden kemikaali-jätteet (lannoite)	163	-	-	163	-	-
01.41.1	Kemialliset katalyytit	1 049	-	-	570	479	-
01.22.1	Emäksiset liuottimet ja pesuvedet	23 938	-	21 642	-	2 296	-
01.21.1	Hapot	11 099	-	-	1 215	9 884	-
01.12.1	Halogenoimattomat liuot-timet	9 013	-	456	42	8 515	-
01.11.1	Halogenoidut liuottimet	702	-	-	-	702	-

Liite 2. Suomessa syntyneet yhdyskuntajätteet vuonna 2003.

Jätelaji	Materiaali-hyödynt. (t)	Energia-hyödynt. (t)	Kaatopaikka (t)	Muu (t)	Yhteensä(t)
Sekajäte	36 609	76 904	1 391 313	50642	1 555 468
Biojäte, erilliskerätty	103 480	0	28 332	190,0	132 002
Muovijäte, erilliskerätty	5 626	19 968	102,0	10,0	25 706
Puujäte, erilliskerätty	634	60 913	97	219,0	61 863
Vaatteet ja tekstiilit, erilliskerätty	48	0	93	4	145
Paperi- ja kartonki-jätteet, erillisk.	353 212	9 663	234	107	363 216
Biojäte, puut.& puisto	24 883	102,0	2 909	162,0	28 056
Puutarha-, puisto- ja katujäte, (pl. kompostoituvat)	2890		14363		17 253
Muut sekalaiset jätteet	142		95		237
Lasi	124492		745,0		125 237
Metallit	22936				22 936
Muut erilliskerätyt	3	370	2216	9	2 598
Ruokaöljyt ja ravintorasvat	805	636	3988	41	5 470
SER	10733		18		10 751
Kemikaalit, lääkkeet, akut, loisteputket	2084		36	3218	5 338
Yhdyskuntajätteet (pl. puhd.liete)	688 577	168 556	1 444 541	54 602	2 356 276

Liite 3. Luettelo energialaskuissa käytetyistä tärkeimmistä oletuksista ja laskentaparametreista.

	Referenssi laitos A Jätteenpolttolaitos, arina (sekajäte)	Tapaus B Jätteenpolttolaitos, leijupeti (REF+jätevesiliete) + lämpökeskus (öljy) + lauhdevoima	Tapaus C Jätteenkaasutus, leijupeti (REF+jätevesiliete) + lämpökeskus (öljy) + lauhdevoima	Tapaus D Rinnakkaispoltto (REF+turve+biomassa)	Referenssilaitos E Kivihiili CHP+kaukolämpökeskus (öljy)
Polttoaineteho	61MW	54MW	54MW	260MW	315MW
Lämmöntuotannon hyötysuhde	69%	70%	63%	63%	60%
Sähköntuotannon hyötysuhde	16%	19%	25%	24%	31%
Polttoaineiden määrät [kt]					
Sekalainen Yhdyskuntajäte	41	0	0	0	0
Syntypaikkalajiteltu energiajäte	31	0	0	0	
REF	0	65	65	17	
Jäteliete	10	10	10	0	
Purkupuu	21	0	0	0	
Määrittelemätön sekajäte	10				
Öljyä kaukolämpölaitoksessa tai tukipolttoaineena		4	8	2	7
Kivihiili (+ antrasiitti)	0	0	0	0	176
Lauhdekivihiili (+ antrasiitti)	24	25	17	10	
Palaturve	0	0	0	17	0
Jyrsinturve	0	0	0	66	0
Puupolttoaineet	0			66	
Päästökertoimet [t/TJ]					
MSW, RDF ja REF	31.8	31.8	26.5	31.8	31.8
Jäteliete	0	0	0	0	0
Purkupuu	17	17	17	17	17
Sekalainen, määrittelemätön	110	110	110	110	110
Keskimääräinen päästökerroin jätepolttoaineille [t/TJ]	35.2	29.9	29.9		
Öljy	77.4	77.4	77.4	77.4	77.4
Kivihiili	94.6	94.6	94.6	94.6	94.6
Jyrsinturve	105.9	105.9	105.9	105.9	105.9
Palaturve	102	102	102	102	102
Puupolttoaineet	0	0	0	0	0

Liite 4. Muovijätteen määrät ja käsittely Suomessa sekä arvio kierrätykseen soveltuvasta teollisuuden ja kaupan muovipakkausjätteestä.

Taulukko 4.1. Muovijätteen määrät ja käsittely Suomessa.

	Muovijäte yhteensä (kt/v)	Pakkausmuovit (kt/v)	SER-muovit (kt/v)	Autojen muovit (kt/v)	Rakennusmuovit (kt/v)	Maatalousmuovit (kt/v)	Muovia sekajätteessä (kt/v)
Kaatopaikka	1112; 1503	564; 52,06714	suurin osa				
Hyödynnetty	512; 461; 673	411; 32,84; 59,56714	1,914		11	41, 27	
- Muu kierrätys	222; 161; 213	12,84	pieni osa			0,26	
- Poltto energiaksi	292; 301; 463	204; 7,514	osa			0,47856	
Yht.	1622; 2173	89,44	1014; 2310**	11*	19***	125	
ONGELMAT / MUITA HUOMIOITA !		Uudelleenkäyttöjärjestelmästä olisi saatavissa 3000-4000 tonnia HDPE jätettä / v uusien tuotteiden valmistukseen. Teollisuudelta ja kaupalta kierrätykseen soveltuva mahdollisesti saatava määrä 8500 t. Lähde [13]	Käytetyt palonestoaineet (RoHS-direktiivi), laitteissa käytettyjen muovien sekalaisuus. Tällä hetkellä hyödynnetään kotelomuovia, muut kaatopaikalle	Kevytjae (muovit + tekstiilit) kaatopaikalle. Ei polteta, koska sis. raskasmetalleja.		Suuret kustannukset muovien pesusta, epäpyhtaudet, erilliskeräys kallista	Epäpuhtaudet, sekalaisuus, EU:n jätepolttodirektiivi

* Laskettu käyttäen Ympäristöministeriön arviota 100 000 romuautoa/vuosi, ja Suomen Auto-kierrätys Oy:n ja lähteen [8] tietoa että keskimäärin 9,1 % romuautojen painosta on muovia sekä auton keskipainoa 1250 kg.
** Pohjautuu Lassila-Tikanojan ja lähteen [9] arvioon että SER-romun määrä on Suomessa 100 000 t/v ja lähteen [14] arvioon että muoviosien määrä SER-romussa on 10 p-% tai lähteen [10] mukaan 23 p-%.
*** Pohjautuu lähteen [11] arvioon että rakennusjätettä syntyy 376 kt vuodessa, ja lähteen [12] arvioon että siitä n. 5% on muoveja.

Lähteet:

Lähteet 1-12 otettu julkaisusta [7]
1 Muoviteollisuus Ry 2003
2 APME 2000-2001
3 Plastics Europe2002
4 PYR 2003
5 Pirkanmaan Ympäristökeskus 2004
6 Friari, P., Horttanainen, M., Marttila, E..: Maatalouden muovijätteen keräily ja hyötykäyttö, loppuraportti. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energia- ja ympäristö-tekniikan osasto. Tutkimusraportti EN B-164, 2005.
7 RePlast FinEst, Vaihe III
8 Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 5/2004. Liikennesektorin ympäristökäsikirja, luonnos. Liikenne- ja viestintäministeriö, Helsinki, 2004.
9 Uusio-Uutiset 5/2003 Suomen Viestintä Oy
10 Metallien materiaalivirrat Suomessa 1970-1997, Viitanen M., Ekotehokas Suomi-projekti, Osaraportti 8. 2000.
11 Hietanen, L.: Jätteiden määrät ja käsittely vuonna 2000. VTT Energian raportteja ENE1/35/2001 ISSN 1457-3350. 33 s.
12 http://www.ylasavonjatehuolto.fi/tiedostot/rakennusopas.pdf
13 Suomen Uusiomuovi Oy: Raportti: Suomessa käytettävien muovipakkausjätteiden hyötykäyttö ja kierrätys, Pakkausteknologia-PTR ry, Annukka Leppänen-Turkula, 2005.
14 - perustuvat julkaisuun 14
14 Kotitalousmuovien hyötykäyttö.2003. Loppuraportti. Savonlinnan Seudun Jätehuolto Oy, tiedot koskevat vuotta 2000.

V. 2000 Suomessa muovipakkausten kok.käyttö oli 266 100 t, josta noin 2/3 (178 700 t) käytetään uudelleen erilaisten uudelleenkäyttöjärjestelmien kautta. Savonlinnan seudun jätehuolto Oy- raportti.

Taulukko 4.2. Arvio kierrätykseen soveltuvasta teollisuuden ja kaupan muovipakkausjätteestä.

Toimiala	Kierrätetty muovipakkausjäte syntypaikoittain t/v	Jätteeksi päätyviä muovipakkauksia t/v	Muovipakkausten uudelleenkäyttö täyttökertojen mukaan (t/v)	Muovipakkausten kierrätysmahdollisuuksien lisääminen uudellenkäytettävistä pakkauksista (t/v)	Mahdollisesti saatavan, kierrätykseen soveltuvan muovipakkausjätteen arvioidut määrät (t/v)
Teollisuus	9 300				5 500
- Elintarvikkeiden, juomien ja tupakan valmistus		25 600	162 800	4 000	
- Elektroniikka ja sähkötuotteiden valmistus		1 500	200		
- Sahatavaran ja puutuotteiden valmistus		1 400	<100		
- Massan, paperin ja paperituotteiden valmistus, kustantaminen ja painaminen		1 600	<100		
- Kemikaalien, kemiallisten tuotteiden ja tekokuitujen valmistus		3 800	<100		
- Kumi ja muovituotteiden valmistus		1 800	800		
Kauppa	3 300				3 000
Yhteensä	12 600	35 700	163 800		8 500

KUVAILULEHTI

Julkaisija	Suomen ympäristökeskus (SYKE)			*Julkaisuaika* Syyskuu 2006
Tekijä(t)	Tuuli Myllymaa, Antti Tohka, Helena Dahlbo ja Jyrki Tenhunen			
Julkaisun nimi	**Ympäristönäkökulmat jätteen hyödyntämisessä energiana ja materiaalina** Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016, Taustaselvitys Osa III			
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristökeskuksen raportteja 12 / 2006			
Julkaisun teema				
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut	Julkaisu on saatavana myös internetissä: http://www.ymparisto.fi/julkaisut SYKEra 9/2006: Materiaalitehokkuuden edistämisen vaikutusten arviointi Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016, Taustaselvitys Osa II			
Tiivistelmä	Tiukentuva jätelainsäädäntö on luonut paineita uusia suomalaista jätehuoltokäytäntöä. Säädökset velvoittavat rajoittamaan biohajoavan jätteen kaatopaikkasijoitusta, asettavat jätekohtaisia hyötykäyttötavoitteita ja mm. muuttavat jätevesilietteiden hyötykäyttöön liittyviä vaatimuksia. Alueelliset toimijat ovat laatineet suunnitelmia hyötykäyttötavoitteiden toteuttamiseksi. Monet alueellisista suunnitelmista tähtäävät jätteiden energiahyödyntämisen lisäämiseen ja ovat herättäneet runsaasti keskustelua eri hyödyntämisvaihtoehtojen priorisoinnista. Tämän selvityksen tavoitteena oli tuottaa uutta valtakunnallista jätesuunnitelmaa (VALTSUa) valmistelevan työryhmän käyttöön tietoa jätteiden energia- ja materiaalihyödyntämisen vaihtoehtojen vahvuuksista ja heikkouksista ympäristövaikutusten kannalta. Lisäksi tuotettiin laskennalliset arviot tarkasteltujen energia- ja materiaalihyödyntämisskenaarioiden kasvihuonekaasupäästöistä. Tarkastelussa keskityttiin polttokelpoiseen jätteeseen, joka tällä hetkellä päätyy hyödyntämättömänä kaatopaikalle. Selvitys toteutettiin ympäristöministeriön rahoituksella Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) tutkimusosastolla. Selvityksen perusteella sekä jätteiden energia- että materiaalihyödyntämisellä on vahvuutensa ja heikkoutensa ympäristövaikutusten kannalta. Molemmat vähentävät loppusijoitettavan jätteen määrää ja kaatopaikoilla muodostuvia kasvihuonekaasupäästöjä. Saavutettavat edut riippuvat siitä, mitä toimintoja tai tuotteita jätteen hyödyntämisellä oletetaan korvattavan. Polttokelpoisen jätteen käsittelylle ympäristön kannalta optimaalisesti ei näin ollen löydy yhtä yksiselitteistä ratkaisua. Alueelliset piirteet jätteiden määrissä ja laadussa, kuljetusetäisyyksissä, energiahuollossa, infrastruktuurissa, elinkeinorakenteessa ja sitä kautta materiaalien hyötykäyttömahdollisuuksissa jne. vaikuttavat siihen mikä ratkaisu millekin alueelle soveltuu parhaiten. Kyse on alueellisesta energiarakenteellisesta ja jätehuollollisesta kokonaisratkaisusta.			
Asiasanat	jätehuolto, jätteet, suunnitelmat, jätteenpoltto, hyötykäyttö, ympäristövaikutukset			
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Ympäristöministeriö			
	ISBN 952-11-2390-7 (nid.)	ISBN 952-11-2391-5 (PDF)	ISSN 1796-1718 (pain.)	ISSN 1796-1726 (verkkoj.)
	Sivuja 72	*Kieli* suomi	*Luottamuksellisuus* julkinen	*Hinta (sis.alv 8 %)* -
Julkaisun myynti/ jakaja	Suomen ympäristökeskus (SYKE), asiakaspalvelu, PL 140, 00251 Helsinki puh. 020 490 123, faksi 020 490 2190 e-mail: neuvonta.syke@ymparisto.fi			
Julkaisun kustantaja	Suomen ympäristökeskus (SYKE), PL 140, 00251 Helsinki			
Painopaikka ja -aika	Edita Prima Oy, Helsinki 2006			

PRESENTATIONSBLAD

Utgivare	Finlands miljöcentral (SYKE)			*Datum* September 2006
Författare	Tuuli Myllymaa, Antti Tohka, Helena Dahlbo och Jyrki Tenhunen			
Publikationens titel	**Ympäristönäkökulmat jätteen hyödyntämisessä energiana ja materiaalina** Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016, Taustaselvitys Osa III (Miljöaspekter inom energi- och materialutnyttjande av avfall Nationell avfallsplan för Finland till år 2016, Bakgrundsrapport Del III)			
Publikationsserie och nummer	Finlands miljöcentrals raporter 12 /2006			
Publikationens tema				
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt	Publikationen finns tillgänglig på internet: http://www.ymparisto.fi/julkaisut SYKEra 9/2006: Utvärdering av effekterna av befrämjande av materialeffektivitet Den rikstäckande avfallsplanen till år 2016, Utredning Del II			
Sammandrag	Lagstiftningen gällande avfallshanteringen har skapat ett behov att omorganisera det finska avfallshanteringssystemet. Lagstiftningen ställer krav på att minska deponering av biologiskt nedbrytbart avfall, på att höja utnyttjandet av olika avfallsfraktioner och den förändrar också kraven på hur avloppsslam utnyttjas. Lokala aktörer inom avfallshanteringen har presenterat planer för hur målen för utnyttjandet skall förverkligas. Flera planer är inriktade på att höja energiutnyttjandet och har väckt mycket diskussion om prioritering av alternativa metoder för att utnyttja avfallet. Målet med denna utredning var att producera information om de för- och nackdelar som anknyter till energi- och materialutnyttjandet av avfall för arbetsgruppen som förbereder den nationella avfallsplanen. Vi presenterar också kvantitativa beräkningar av växthusgasutsläppen från både energi- och materialutnyttjandet. Utredningen fokuserade på det brännbara avfallet som för tillfället deponeras outnyttjad. Utredningen finansierades av miljöministeriet och utfördes på Finlands miljöcentrals (SYKE) forskningsavdelning. Utredningen visar, att både energi- och materialutnyttjandet av avfall har sina för- och nackdelar ur miljösynvinkel. Båda minskar avfallsmängderna som deponeras och däremd också utsläppen av växthusgaser från deponierna. De fördelar som kan erhållas beror i stort sätt på vilka processer som kan ersättas med utnyttjandet av avfall. Det finns alltså ingen enskild lösning för vilken den optimala hanteringen av brännbart avfall är ur miljösynvinkel. De lokala egenskaperna i avfallets mängd och kvalitet, transportavstånd, energiförsörjning, infrastruktur, näringsliv, och därmed möjligheterna att använda material som har utvunnits ur avfallet, avgör vilken lösning som passar bäst för en viss region. Det är frågan om en helhetslösning inom den lokala energistrukturen och avfallshangeringen och besluten borde fattas utgående från detta.			
Nyckelord	sophantering, sopor, planer, avfallsförbränning, återvinning, miljökonsekvenser			
Finansiär/ uppdragsgivare	Miljöministeriet			
	ISBN 952-11-2390-7 (hft.)	ISBN 952-11-2391-5 (PDF)	ISSN 1796-1718 (print)	ISSN 1796-1726 (online)
	Sidantal 72	*Språk* finska	*Offentlighet* offentlig	*Pris (inneh. moms 8 %)* -
Beställningar/ distribution	Finlands miljöcentral (SYKE), kundservice, PB 140, 00251 Helsingfors Tel. +358 20 490 123, Fax +358 20 490 2190 e-mail: neuvonta.syke@ymparisto.fi			
Förläggare	Finlands miljöcentral (SYKE), PB 140, 00251 Helsingfors,			
Tryckeri/tryckningsort och -år	Edita Prima Ab, Helsingfors 2006			

DOCUMENTATION PAGE

Publisher	Finnish Environment Institute (SYKE)			*Date* September 2006
Author(s)	Tuuli Myllymaa, Antti Tohka, Helena Dahlbo and Jyrki Tenhunen			
Title of publication	**Ympäristönäkökulmat jätteen hyödyntämisessä energiana ja materiaalina** Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016, Taustaselvitys Osa III (Environmental aspects of energy and material recovery of wastes Finnish national waste plan 2016, Background document Part III)			
Publication series and number	Reports of Finnish Environment Institute 12/2006			
Theme of publication				
Parts of publication/ other project publications	The publication is available on the internet: www.ymparisto.fi/julkaisut SYKEra 9/2006: Evaluation of the effects of improving the material efficiency National waste plan until 2016, Background study Part II			
Abstract	The tightening waste legislation has put pressure on renewing the Finnish waste management systems. Legislation sets targets for decreasing the landfilling of biodegradable wastes, for increasing the recovery of different waste fractions and it also changes the requirements on the treatment of waste water sludges. Local actors have made plans on how to reach the given recovery goals. Many of the local plans aim at increasing energy recovery of wastes and have raised vivid discussion on the prioritizing of different waste recovery methods. The aim of this project was to produce information on the environmental strengths and weaknesses of energy and material recovery of wastes for the national waste plan working group. We also produced quantitative assessments on the greenhouse gas emissions of both energy and material recovery. The project focused on the combustible waste that currently is landfilled without recovery. The project was financed by the Ministry of Environment and it was carried out at the Research Department of the Finnish Environment Institute (SYKE). On the basis of this briefing both energy and material recovery of wastes have their strengths and weaknesses from the environmental point of view. They both reduce the amount of wastes to be landfilled and thus the greenhouse gas emissions from landfills. The environmental advantages at-tainable by waste recovery are heavily dependent on the processes that are assumed to be replaced by the waste recovery. Thus, there is no single solution for treating the combustible wastes in an environmentally optimal way. There are local differences in regional waste quantity and quality, transport distances, energy systems, infrastructure, industry and commerce, and in the possibilities and demand for materials recovered from wastes. All these features have their impact on which solution is the best for a certain area. It should be a holistic solution for the entire energy and waste management system on a local or regional level.			
Keywords	waste management, wastes, plans, waste incineration, utilization, utilization, environmental impact			
Financier/ commissioner	Ministry of Environment			
	ISBN 952-11-2390-7 (pbk.)	ISBN 952-11-2391-5 (PDF)	ISSN 1796-1718 (print)	ISSN 1796-1726 (online)
	No. of pages 72	*Language* Finnish	*Restrictions* Public	*Price (incl. tax 8 %)* -
For sale at/ distributor	Finnish Environment Institute, Custom service, P.O. Box 140, FIN-00251 Helsinki, Finland Tel. +358 20 490 123, Fax +358 020 490 2190 e-mail: neuvonta.syke@ymparisto.fi			
Financier of publication	Finnish Environment Institute (SYKE), P.O.Box 140, FIN-00251 Helsinki, Finland			
Printing place and year	Edita Prima Ltd., Helsinki 2006			

YMPÄRISTÖNÄKÖKULMAT JÄTTEEN HYÖDYNTÄMISESSÄ ENERGIANA JA MATERIAALINA

SYKE

ISBN 952-11-2390-7 (nid.)
ISBN 952-11-2391-5 (PDF)
ISSN 1796-1718 (pain.)
ISSN 1796-1726 (verkkoj.)

SUOMEN YMPÄRISTÖKESKUS