

Eemeli Tsupari, Sampo Soimakallio & Mona Arnold

## Yhdyskuntajätteen kahden energiahyödyntämistavan eroavuudet ilmastonmuutoksen hillinnän näkökulmasta

# **Yhdyskuntajätteen kahden energiahyödyntämistavan eroavuudet ilmastonmuutoksen hillinnän näkökulmasta**

Eemeli Tsupari, Sampo Soimakallio & Mona Arnold

ISBN 978-951-38-7232-8 (nid.)  
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 978-951-38-7233-5 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)  
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2008

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 3, PL 1000, 02044 VTT  
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 3, PB 1000, 02044 VTT  
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 3, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland  
phone internat. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 4374

VTT, Koivurannantie 1, PL 1603, 40101 Jyväskylä  
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 597

VTT, Koivurannantie 1, PB 1603, 40101 Jyväskylä  
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 597

VTT Technical Research Centre of Finland, Koivurannantie 1, P.O. Box 1603, FI-40101 Jyväskylä, Finland  
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 597

Toimitus Maini Manninen

Edita Prima Oy, Helsinki 2008

Tsupari, Eemeli, Soimakallio, Sampo & Arnold, Mona. Yhdyskuntajätteen kahden energiahyödyntämistavan eroavuudet ilmastonmuutoksen hillinnän näkökulmasta [The differences between two practices in MSW utilisation to energy in the climate change point of view]. Espoo 2008. VTT Tiedotteita – Research Notes 2446. 48 s. + liitt. 5 s.

**Avainsanat** jäte, energiahyödyntäminen, jätteenpolttolaitos, kierrätyspolttolaitos, REF, ilmastonmuutos, kasvihuonekaasut, päästökauppa

## Tiivistelmä

EU:n tavoitteet ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi ja kaatopaikoille sijoitettavan jätemäärän vähentämiseksi sekä kohonneet energiakustannukset ovat lisänneet kiinnostusta jätteen energiasisällön hyödyntämiseen. Jätteiden energiahyödyntäminen voidaan jakaa karkeasti kahteen yleiseen tapaan. Nämä ovat syntypaikkalajitellun jätteen poltto yleensä arinatekniikkaa käyttäen ja jätteistä jalostetun kierrätyspolttolaitteen polttaminen rinnakkaispolttolaitosten muiden polttolaitosten kanssa.

Yhtenä rinnakkaispolton hyötynä käsittelemättömän jätteen polttoon nähden on parempi sähköntuotannon hyötysuhde. Tämä vaikuttaa merkittävästi näiden jätteenpolttotapojen aiheuttamiin ilmastovaikutuksiin, sillä tuotetulla sähköllä korvataan niin sanottua marginaalisähköä, jonka tuottaminen keskimäärin aiheuttaa verrattain suuret CO<sub>2</sub>-päästöt. Toisaalta, kierrätyspolttolaitteen jalostamisessa kuluu energiaa ja osa jätteen energiasisällöstä jää hyödyntämättä. Lisäksi biohajoava osa hyödyntämättä jääneestä jätteestä aiheuttaa metaanipäästöjä, jos se loppusijoitetaan kaatopaikalle.

Koska tammikuussa 2008 julkistetussa EU:n energia- ja ilmastopakettissa on omat sitovat päästövähennystavoitteensa päästökauppasektorille ja päästökaupan ulkopuoliselle sektorille (ns. kansallinen kiintiö), uusien jätteenpolttolaitosten rajaaminen päästökaupan ulkopuolelle vaikeuttaisi kansallisten päästövähennystavoitteiden saavuttamista. Jätteenpolttolaitosten tuottama lämpö ja sähkö vähentävät polttolaitosten käyttöä enimmäkseen päästökauppasektorilla.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin useita skenaarioita jätteiden energiasisällön hyödyntämiseksi. Tulevaisuudessa polttoon ohjautuvaa jätemäärää on hankala arvioida, joten tarkastelut tehtiin käyttämällä nykyistä polttokelpoisen yhdyskuntajättemäärän suuruusluokkaa oletusarvona. Jättemäärälle, kuten muillekin muuttujille, arvioitiin työssä vaihteluvälit, joista mallinnettiin stokastisesti todennäköisyysjakaumina esitetyt tulokset. Erot kasvihuonekaasupäästöissä eri skenaarioiden välillä ovat molemmilla sektoreilla satoja tuhansia CO<sub>2</sub>-ekvivalenttitonneja vuodessa. Päästökaupan ulkopuolisella sektorilla erot

skenaarioiden välillä vastaavat 3–14 % koko päästökaupan ulkopuolisen sektorin päästövähennysvelvoitteesta Suomessa. Sektorit yhteenlaskettuina kasvihuonekaasupäästöt näyttäisivät vähenevän parhaissa skenaarioissa pelkästään korvaushyötyjen kautta 0,5–1 Mt vuodessa nykytilaan verrattuna. Huonoimmista tapauksista korvaushyödyt saattavat olla jopa negatiivisia. Kaikissa tarkastelluissa skenaarioissa kaatopaikkojen metaanipäästöt kuitenkin vähentyvät nykytilanteeseen verrattuna. Näille päästöille ei ole esitetty kvantitatiivisia arvioita, sillä vaikutus olisi sama kaikille skenaarioille, koska kaatopaikkasijoitukseen ohjautuva yhdyskuntajättemäärä vähenee niissä yhtä paljon. Kierrätyspolttoaineen valmistuksesta syntyvän alitteen mahdollisen kaatopaikkasijoituksen aiheuttamat metaanipäästöt on kuitenkin huomioitu tuloksissa.

Ilmastonmuutoksen hillintä vaatii paljon toimenpiteitä, joista osa tulee olemaan myös kalliita. Optimaalisella tavalla hyödynnettynä jätteiden materiaali- ja energiakierrätyksellä voidaan saavuttaa päästövähennysten lisäksi jopa taloudellista voittoa. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella yritysjetettä, jonka jalostuksen REFin saanto on kotitalousjetettä parempi, ei kannattaisi ilmastonmuutoksen hillinnän näkökulmasta polttaa jätteenpolttolaitoksissa. REFin rinnakkaispoltoilla saavutetaan korkeampi sähköntuotannon hyötysuhde ja sitä kautta suuremmat korvaushyödyt kuin jätteenpolttolaitoksilla.

Tsupari, Eemeli, Soimakallio, Sampo & Arnold, Mona. Yhdyskuntajätteen kahden energiahyödyntämistavan eroavuudet ilmastonmuutoksen hillinnän näkökulmasta [The differences between two practices in MSW utilisation to energy in the climate change point of view]. Espoo 2008. VTT Tiedotteita – Research Notes 2446. 48 p. + app. 5 p.

**Keywords** waste to energy, incineration, recycled fuel, REF, SRF, RDF, climate change, greenhouse gases, emission trading

## Abstract

Objectives recently set by the EU to mitigate climate change and to reduce waste land-filling, in addition to increased energy prices, have increased attentions to utilise energy content of the waste streams. Waste utilisation to energy can be divided in two common practices. These are combustion in waste-to-energy (WtE) plants and SRF (or REF/RDF) co-firing in power plants with other fuels.

In comparison with WtE plants, one advantage of co-firing is higher power to heat ratio. This significantly effect on the overall greenhouse gas (GHG) balances of these practices because the difference in produced electricity is compensated by “marginal production” which often results relatively high CO<sub>2</sub> emissions. On the other hand, the refining process of SRF consumes energy and energy content of the sidestream may not be utilised. In addition, if sidestream will be landfilled it causes methane emissions.

In the integrated “Climate action and renewable energy package” of the EU published in January 2008 mandatory emission reduction targets are proposed separately to ETS (Emission Trading Scheme) sector and non-ETS sector. Targets for the non-ETS sector are national and CO<sub>2</sub> emissions from new WtE plants planned to Finland will possible be excluded from the ETS and therefore counted in the non-ETS sector. Electricity and heat from waste combustion, however, usually substitute fuels and emissions in the ETS sector making it more difficult to achieve national targets of the non-ETS sector.

In this study, different scenarios to utilise the thermal energy of landfilled municipal solid waste in Finland were assessed. It is difficult to estimate the amount of waste in the future and therefore the present amount and composition were used as default values in the calculations. Uncertainty was estimated for every parameter used in the calculations. The results are presented as probability distributions based on the stochastic modelling. Differences in GHG emissions of the scenarios were hundreds of thousands CO<sub>2</sub>-equivalent tons annually in both the ETS and the non-ETS sectors. In non-ETS sector the differences correspond 3–14 % of the non-ETS sector total reduction target set for Finland. Sectors combined it seems that the best scenarios probably reduce GHG emissions from 0.5 up to 1 Mt annually comparing today even if reduced emissions from

landfilling are not taken into account. In the worst scenarios GHG emissions from power and heat production may even increase. However, quantitative estimations are not presented for GHG reduction from reduced landfilling due to the fact that amount of considered waste is the same in all scenarios. This results equal reduction in emissions and causes therefore no bias when scenarios are compared. However, emissions from possibly landfilled sidestream of SRF refining process are included to calculations.

Mitigation of climate change will require many relatively expensive operations. In the case of waste utilisation, also cost savings in addition to emission reductions can be obtained by optimal recycling of materials and energy. According to the results of this study, waste fractions which could be refined to SRF with a reasonable yield should not, from the climate change mitigation point of view, be incinerated. Higher electricity production and thus greater substitution of fossil fuels is achieved by REF co-firing.

# Alkusanat

Jätehuollon toimintaympäristö on viime vuosina muuttunut ja on edelleen muuttumassa mm. jätehuoltoa ja kaatopaikkasijoitusta koskevan lainsäädännön, päästövähennysvelvoitteiden, EU:n päästökaupan ja energiakustannusten nousun myötä. Jätehuollon erilaisilla ratkaisuilla on erilaisia vaikutuksia toisaalta päästökauppasektorin ja toisaalta sen ulkopuolisen sektorin päästöihin.

Tässä julkaisussa esitetään tulokset tutkimuksesta, jossa vertailtiin kahden yhdyskuntajätteen polttotavan eli jätteenpolttolaitosten ja rinnakkaispolton aiheuttamia eroja ilmastomuutoksen hillinnän kannalta. Erityistä huomiota kiinnitettiin vaikutuksiin päästökauppasektorilla ja sen ulkopuolisella, ns. kansallisella sektorilla sekä oletusten epävarmuuksiin. Aiemmin jätteiden energiahyödyntämisen vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin on selvitetty mm. Tekesin Climtech-ohjelmassa (Lohiniva ym. 2002) ja Climbus-ohjelmassa (Mroueh ym. 2007).

Julkaisun kirjoittamisesta vastasivat Eemeli Tsupari, Sampo Soimakallio ja Mona Arnold VTT:stä. Työhön ovat kirjoittajien lisäksi osallistuneet Ulla-Maija Mroueh, Esa Mäkelä, Kai Sipilä ja Ilkka Savolainen VTT:stä. Tutkimuksen rahoitti Lassila & Tikanoja Oyj, josta yhteyshenkilöinä ja asiantuntijoina tutkimuksessa olivat Lassi Hieta-  
nen ja Janne Hannula.

Jyväskylä, syyskuu 2008

Tekijät



# Sisällysluettelo

|  |    |
|--|----|
| Tiivistelmä.....                                   | 3  |
| Abstract.....                                      | 5  |
| Alkusanat.....                                     | 7  |
| Symboliluettelo.....                               | 9  |
| 1. Johdanto.....                                   | 11 |
| 2. Skenaariotarkastelut.....                       | 14 |
| 2.1 Valitut skenaariot.....                        | 16 |
| 2.2 Rajaukset ja arviot.....                       | 18 |
| 2.2.1 Korvattava lämpö.....                        | 19 |
| 2.2.2 Vaikutukset sähköntuotantoon.....            | 22 |
| 2.2.3 Kaatopaikkojen päästöt.....                  | 23 |
| 2.2.4 REF-valmistuksen energian kulutus.....       | 24 |
| 2.2.5 REFin saanto ja sivutuotteet.....            | 24 |
| 2.2.6 Kuljetukset.....                             | 25 |
| 2.2.7 Rakennukset.....                             | 26 |
| 2.2.8 Jätteen ja REFin polton päästökertoimet..... | 27 |
| 2.2.9 Kosteudet ja lämpöarvot.....                 | 28 |
| 2.2.10 Tuhka.....                                  | 28 |
| 2.2.11 Muut kasvihuonekaasut.....                  | 29 |
| 3. Tulokset.....                                   | 30 |
| 3.1 Päästökaupan ulkopuolinen sektori.....         | 31 |
| 3.2 Päästökauppasektori.....                       | 33 |
| 3.3 Kokonaisvaikutus.....                          | 35 |
| 3.4 Parametrien vaikutus tuloksiin.....            | 37 |
| 3.5 Vertailu samankaltaisiin tarkasteluihin.....   | 38 |
| 4. Yhteenveto.....                                 | 41 |
| Lähdeluettelo.....                                 | 46 |
| Liitteet   |    |
| Liite A: Laskennassa käytetyt muuttujat            |    |
| Liite B: Tuloksiin eniten vaikuttavat muuttujat    |    |

# Symboliluettelo

|                       |   |
|-----------------------|---|
| CCS                   | Hiilen talteenotto ja varastointi (Carbon Capture and Storage)  |
| CHP                   | Yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto (Combined Heat and Power)  |
| CO <sub>2</sub> -ekv. | Hiilidioksidiekvivalentti (muut KHK:t yhteismitallistetaan usein CO <sub>2</sub> :n kanssa kertomalla niiden määrä GWP-arvolla) |
| EF                    | Päästökerroin (Emission Factor)   |
| GWP                   | Lämmitysvaikutus suhteessa hiilidioksidiin (Global Warming Potential)   |
| KHK                   | Kasvihuonekaasu   |
| LHV                   | Alempi lämpöarvo (Lower Heating Value)  |
| MSW                   | Yhdyskuntajäte (Municipal Solid Waste)  |
| PA                    | Polttoaine (yleensä alaindeksinä, esim. TJ <sub>pa</sub> tarkoittaa terajoulea polttoainetta)                                   |
| REF                   | Kierrätyspolttoaine (Recycled Fuel)   |
| YTV                   | Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta   |
| YVA                   | Ympäristövaikutusten arviointi  |



# 1. Johdanto

Euroopan unionin ympäristöneuvosto hyväksyi 20.2.2007 keskeisiksi tavoitteiksi, että kehittyneiden maiden tulisi vähentää yhteisesti päästöjään 30 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä, jotta ne voisivat vähentää niitä 60–80 % vuoteen 2050 mennessä. Eurooppa-neuvosto vahvisti maaliskuussa 2007 tämän päätöksen. EU on halukas sitoutumaan itse tällaiseen päätökseen, mikäli muut kehittyneet maat sitoutuvat vastaaviin päästövähennyksiin ja taloudellisesti edistyneemmät kehitysmaat osallistuvat riittävästi vastuitaan vastaavasti. Lisäksi, kunnes kansainvälinen sopimus saadaan valmiiksi, EU sitoutuu välivaiheena 20 %:n päästövähennykseen vuoteen 2020 mennessä. Tavoitteen toimeenpano perustuu oikeudenmukaiseen ja läpinäkyvään taakanjakoon, joka huomioi kansalliset olosuhteet ja Kioton pöytäkirjan ensimmäisen velvoitekauden vertailuvuodet.

Euroopan unionin komissio julkisti 23.1.2008 energia- ja ilmastopakettin, joka käsittää mm. kolme säädösehdotusta: 1) ehdotuksen EU:n päästökauppadirektiivin muuttamisesta (EC 2008a), 2) ehdotuksen taakanjaosta päästöjen vähentämiseksi EU:n päästökaupparjestelmään kuulumattomilla aloilla (EC 2008b) ja 3) direktiiviehdotuksen uusiutuvien energialähteiden (ns. RES-direktiivi) käytön edistämisestä (EC 2008c). Paketti sisältää oikeudelliset, sitovat velvoitteet jäsenmaittain.

RES-direktiiviehdotuksen mukaan Suomen tulee lisätä uusiutuvien energialähteiden osuutta energian loppukulutuksessa 38 %:iin vuoteen 2020 mennessä, kun vuoden 2005 vastaava kulutus oli 28 % (EC 2008c). Lisäksi kaikkien jäsenmaiden on lisättävä biopolttoaineiden osuus liikenteen polttonesteissä 10 %:iin vuoteen 2020 mennessä. EC 2008b -direktiiviehdotuksen mukaan Suomen on vähennettävä päästökaupan ulkopuolella olevien toimialojen (ns. non-ETS-sektori) päästöjä 16 % vuoden 2005 päästömääristä (n. 36 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.) vuoteen 2020 mennessä (n. 30 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.). Näitä toimialoja ovat muun muassa rakentaminen, rakennusten lämmitys, asuminen, liikenne, maatalous ja jätehuolto. Mukana on myös joitakin toimialoja, joilla käytetään teollisuuskaasuna ns. fluorattuja kaasuja (F-kaasuja).

EC 2008a -direktiiviehdotuksen mukaan EU:n päästökauppa uudistuu vuonna 2013, jolloin alkaa päästökaupan kolmas kausi. Päästöoikeuksia jaetaan vähemmän kuin aiemmilla kausilla ja lisäksi markkinoilla olevia päästöoikeuksia on tarkoitus supistaa vuosi vuodelta, jotta päästökaupparjestelmän kattamia päästöjä voidaan vähentää 21 prosenttia vuoteen 2020 mennessä vuoden 2005 päästömääristä. Ehdotuksen mukaan päästökaupan kolmannella kaudella 2013–2020 on mukana sähköä tai lämpöä tuottavat yli 20 MW:n polttolaitokset (lukuun ottamatta ongelmatai yhdyskuntajätteen polttoon ensisijaisesti tarkoitettuja laitoksia) ja yli 10 000 tonnia hiilidioksidia vuodessa tuottavat teollisuuslaitokset. Lisäksi päästökaupan soveltamisalaa laajennetaan koskemaan eräitä

uusia teollisia toimialoja. Myös laitokset, jotka harjoittavat hiilen talteenottoa ja varastointia (CCS), kuuluisivat järjestelmän piiriin.

Jätteen polton kuulumisen EU:n päästökaupan piiriin riippuu siitä, katsotaanko jätteen hävittämisen olevan laitoksen ensisijainen tarkoitus vai ei. Lähtökohtaisesti EC 2008a -direktiiviehdotusta voidaan tulkita siten, että jätteen hävittäminen jätteenpolttolaitoksissa ei kuulu päästökaupan piiriin vaikka saatu energia hyödynnetään. Jätteestä jalostetun kierrätyspolttoaineen (REF) polttaminen rinnakkaispolttona muiden polttoaineiden kanssa leijupetikattiloissa puolestaan kuuluu päästökaupan piiriin. Asia ei kuitenkaan ole näin yksiselitteinen, sillä direktiiviehdotus jättää paljon tulkinnan varaan, mikä saattaa muuttaa tilannetta oleellisesti. On olemassa lukuisia mahdollisia tapauksia, joissa rajanveto jätteen polton kuulumisesta päästökauppa- tai sen ulkopuoliseen sektoriin on epäselvä.

Vuonna 2005 jätehuollon kasvihuonekaasupäästöt olivat Suomessa kokonaisuudessaan arviolta n. 2,4 Mt CO<sub>2</sub>-ekv., mistä n. 85 % (n. 2,1 Mt CO<sub>2</sub>-ekv.) oli kaatopaikoilta vapautuvia metaanipäästöjä, jotka vastasivat reilua 5 %:a Suomen päästökaupan ulkopuolisten sektoreiden yhteenlasketuista päästöistä (Tilastokeskus 2008a). EY:n kaatopaikadirektiivi (1999/31/EY) edellyttää, että biohajoavan yhdyskuntajätteen sijoittamista vähennetään asteittain. Vuonna 2016 kaatopaikoille saa sijoittaa biohajoavaa yhdyskuntajätettä enintään 35 % vuonna 1994 syntyneestä, Euroopan tilastokeskukselle Eurostatille ilmoitetusta biohajoavan yhdyskuntajätteen määrästä (2,1 miljoonaa tonnia) vastaten noin 25 % tuolloin syntyväksi arvioidusta biohajoavasta yhdyskuntajätteestä (YM 2004). Lisäksi valtakunnallisessa jätesuunnitelmassa esitetään tavoitteiksi, että vuonna 2016 yhdyskuntajätteistä kierrätetään materiaalina 50 % ja hyödynnetään energiana 30 %. Loppusijoitettavaksi kaatopaikoille päätyisi enintään 20 % yhdyskuntajätteistä (VALTSU 2008).

Jätelaissa esitetään säännöt, joiden puitteissa edellä esitettyihin tavoitteisiin ja vaatimuksiin pitäisi päästä. Jätelain 10 §:ssä lukee:

*Kunnan on järjestettävä joko omana toimintanaan taikka muuta yhteisöä tai yksityistä yrittäjää käyttäen asumisessa syntyneen jätteen sekä ominaisuudeltaan, koostumukseltaan ja määrältään siihen rinnastettavan julkisessa toiminnassa ja asuinkiinteistöissä sijaitsevilla liikehuoneistoissa syntyneen muun kuin ongelmajätteen kuljetus (kunnan järjestämä jätteenkuljetus). Jätteen haltijan kanssa tehtävällä sopimuksella kunta voi ottaa järjestämäänsä jätteenkuljetukseen muunkin jätteen kuljetuksen.*

Jätelain 13 §:ssä lisätään vielä, että edellä mainittu jäte on toimitettava kunnan järjestämään hyödyntämiseen ja käsittelyyn. Jätteen haltijan kanssa tehtävällä sopimuksella kunta voi järjestää muunkin jätteen hyödyntämisen tai käsittelyn.

Jätteiden energiahyödyntäminen on Suomessa ollut viime vuosina lähes kokonaan teollisuus- ja yritys-jätteestä jalostetun REFin rinnakkaispolttoa leijupetikattiloissa. Oriekedon jätteenpolttolaitos Turussa on ollut vuosia ainoa varsinainen jätteenpolttolaitos Suomessa. EU-direktiivien myötä tilanne on kuitenkin muuttumassa voimakkaasti. Kesäkuussa 2008 jätelaitosyhdistyksen internet-sivuilla esitettiin 15 suunnitteilla olevaa jätteen tai REFin polttolaitosta (JLY 2008). Näistä selkeä enemmistö on jätteenpolttolaitoksia. Näiden lisäksi Riihimäellä on jo käynnistynyt Ekokemin yhdyskuntajätteen polttolaitos ongelmajätteiden käsittelylaitoksen yhteyteen ja Kotkaan rakenteilla oleva jätteenpolttolaitos valmistunee syksyllä 2008.

Tässä selvityksessä arvioidaan, miten jätteiden poltto energiaksi vaikuttaisi kasvihuonekaasujen kokonaispäästöihin erilaisissa skenaarioissa huomioimalla energiajärjestelmässä tapahtuvat olennaisimmat vaikutukset. Toisena ääripäänä tarkastellaan REFin rinnakkaispolton maksimointia ja toisena jätteenpolton maksimointia. Lisäksi tarkastellaan skenaarioita näiden ääripäiden väliltä. Selvityksessä arvioidaan myös eri skenaarioiden vaikutuksia erikseen päästökauppa- ja sen ulkopuolisen sektorin päästöihin.

Jätteiden erilaisten käsittelytapojen vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin on aiemmin tarkasteltu mm. VTT:n raporteissa Tuhkanen (2002), Lohiniva ym. (2002) ja Mroueh ym. (2007) sekä Suomen ympäristökeskuksen raportissa Myllymaa ym. (2006). Tämä tarkastelu poikkeaa aikaisemmista mm. siten, että tässä tutkimuksessa on keskitytty eroihin juuri jätteen arinapolton ja REFin rinnakkaispolton päästövaikutusten välillä sekä eritelty vaikutukset sektoreittain päästövähennysvelvoitteiden mukaisesti. Aiemmin usein käytettyjen esimerkkilaitosten sijasta tässä tutkimuksessa on tarkasteltu mahdollisia vaikutuksia koko Suomen osalta kiinnittäen erityistä huomiota järjestelmävaikutuksiin. Laskentaan ja tulosten epävarmuuden käsittelyyn on myös sovellettu viime aikoina muissa ilmastovaikutustarkasteluissa (mm. Soimakallio ym. 2008) käytettyjä uusia menetelmiä.

Tässä luvussa esiteltiin lyhyesti tärkeimmät jätteiden energiahyödyntämiseen vaikuttavat säädökset. Luvussa 2 esitellään tehdyt tarkastelut tärkeimpine rajauksineen ja luvussa 3 näiden tarkastelujen olennaisimmat tulokset. Yhteenveto ja johtopäätökset on esitetty luvussa 4. Laskennassa käytetyt muuttujat mahdollisine vaihteluväleineen on esitetty liitteessä A ja tulosten herkkyyden kannalta olennaisimmat muuttujat liitteessä B.

## 2. Skenaariotarkastelut

Uusien jätteenpolttolaitosten valmistumisen myötä myös osa nykyisin REFiksi jalostetusta jätteestä saattaa ohjautua tulevaisuudessa jätteenpolttolaitoksiin, sillä niitä todennäköisesti pyritään käyttämään mahdollisimman paljon täydellä teholla. Kaikkea REFiksi nykyisin jalostettavaa jätettä tämä ei koske, sillä tietyille jättejakeille jätteenpolttolaitoksiin ohjautuminen on epätodennäköistä hyvien poltto-ominaisuuksien, tasalaatuisuuden tai jalostusprosessissa saatavien muiden hyötyjen (esim. materiaalikierrätys) takia. Jättemäärä, joka Suomessa voisi ohjautua jätteenpolttolaitoksiin, on arvioitu kansallisen jätetilaston (Tilastokeskus 2008b) perusteella. Kyseinen arvio on summa taulukossa 1 alleviivatuista määristä.

*Taulukko 1. Yhdyskuntajätteet Suomessa vuonna 2006 [1000 tonnia].*

|                         | Jättemäärä | josta hyödynnetty |            | Kaato-<br>paikalle | Poltto jätteenpolto- ja ongelmajätelaitoksissa |
|-------------------------|------------|-------------------|------------|--------------------|--|
|                         |            | materiaalina      | energiana  |                    |  |
| Sekajäte yhteensä       | 1 585      | 40                | 51         | <u>1 445</u>       | <u>49</u>                                      |
| Erilliskerätyt yhteensä | 981        | 799               | 117        | 59                 | 5  |
| Kaikki yhteensä         | 2 566      | 839               | <u>168</u> | 1 504              | 54   |

Taulukon 1 perusteella Suomessa jätteenpolttolaitoksiin voi ohjautua yhteensä 1 662 kt jätettä, josta olisi myös mahdollista jalostaa kierrätyspoltoainetta. Muu poltettava jättemäärä ohjautuu todennäköisesti joka tapauksessa selkeästi joko kierrätyspoltoaineeksi (esim. jätepuu) tai jätteenpolttolaitoksiin (esim. poltettavat ongelmajätteet) eikä tätä jättemäärää ole tarkasteltu tässä tutkimuksessa. Koska pääkaupunkiseudun yhdyskuntajätteistä noin puolet on kotitalousjätettä ja puolet yritysjetettä (Myllymaa ym. 2006), tässä tutkimuksessa asetettiin tämä oletus todennäköisimmäksi vaihtoehdoksi jätteen alkuperälle.

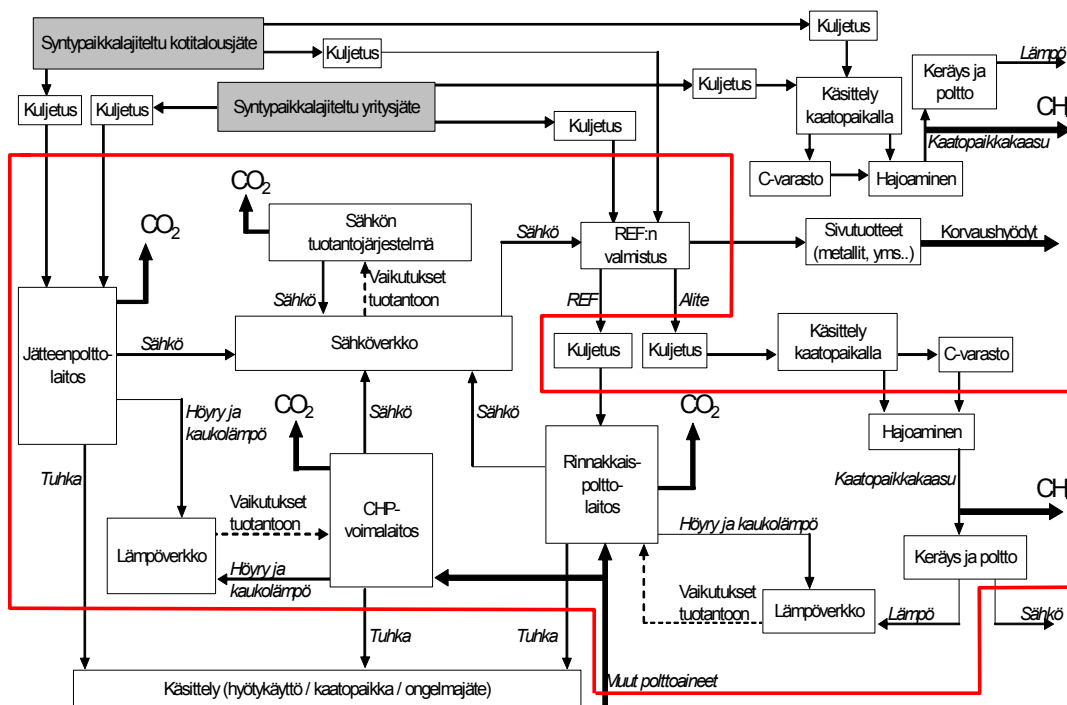
Myös jätteen määrälle annettiin vaihteluväli, joka tarkastelussa huomioidaan. Vaihteluväli ei ole ennuste jätteen määrästä tulevaisuudessa, vaan realistinen suuruusluokka, jolla tarkastelu tehdään. Nykyinen jätteen määrä soveltuu tällaiseen tarkasteluun riittävän hyvin, sillä tulevaisuudessa voidaan olettaa jätteen määrän toisaalta kasvavan kuluksen kasvun takia, mutta toisaalta vähenevän kierrätyksen sekä ympäristöystävällisemmän käyttäytymisen ja tuotannon (esim. pakkausten) myötä. Jätteen määrää tulevai-

suudessa on hankala ennustaa, mutta jätemäärän vähentämistä voidaan pitää yleisesti hyväksyttynä tavoitteena ja mm. jätelain kokonaisuudistuksen yhtenä kohteena. Jos jätteenpolttolaitoksia rakennetaan nykyiselle määrälle, on vaarana, että ylikapasiteetti joutuu kilpailemaan polttoaineesta tai uudehkoja laitoksia joudutaan jopa sulkemaan. Jätteenpolttolaitoksissa ei kannata polttaa perinteisiä polttoaineita, sillä laitoksia ei ole rakennettu tuottamaan sähköä voimalaitoksiin verrattuna hyvällä hyötysuhteella.

Energiahyödyntämisen kannalta jätteestä voidaan jalostaa REF:ää tai sitä voidaan polttaa syntypaikkalajiteltuna (myöh. jäte). Polttotekniikoita on useita kaasutuksesta erillisiin esilämmitin- ja tulistuskattilaratkaisuihin. Tässä julkaisussa esitetään tulokset tutkimuksesta, jossa vertailtiin yleisimpien polttotekniikoiden, eli rinnakkaispolton ja jätteenpolttolaitoksissa suosituksen arinapolton, ilmastovaikutuksia ottaen huomioon vaikutukset koko energiajärjestelmään niin laajasti kuin se järkevällä työmäärällä oli mahdollista. Tulosten julkaisussa on pyritty käyttämään termejä rinnakkaispoltto ja jätteenpoltto erotamaan nämä kaksi hyödyntämistapaa toisistaan.

Rajauksista huolimatta tarkasteltu systeemi on varsin monimutkainen ja laaja. Järjestelmävaikutuksia on havainnollistettu kuvassa 1. Olennaisia vaikutuksia ovat esimerkiksi jätteenpolttolaitoksen lämmöntuotannon korvaamien polttoaineiden käytön vähenemisestä aiheutuva CHP-sähköntuotannon vähentyminen ja sen vaikutukset sähköntuotantoon sekä polttoon ohjautuvan jätemäärän vaikutukset kaatopaikkojen metaanipäästöihin. Kuvaan on punaisella viivalla rajattu tarkastelussa huomioitavat vaiheet. Kuten kuvasta nähdään, kaatopaikkojen metaanipäästöt on rajattu tarkastelun ulkopuolelle REF:in jalostuksesta kaatopaikoille aiheutuvaa sivuvirtaa lukuun ottamatta, sillä muuten vaikutus on sama molemmille polttotavoille. Kuljetusten merkitys ja varsinkin niiden aiheuttama ero polttotapojen välillä puolestaan on hyvin pieni verrattuna kokonaisuuteen, joten ne on rajattu työn ulkopuolelle. Rajauksia on tarkemmin kuvattu ja perusteltu luvussa Rajaukset ja arviot.





Kuva 1. Jätteen energiahyödyntämisen järjestelmävaikutukset.

Tässä julkaisussa on pyritty erityisen hyvään läpinäkyvyyteen, sillä tämänkaltaisissa tutkimuksissa joudutaan aina tekemään useita oletuksia ja rajauksia erilaisten asioiden huomioimisesta. Varsinaisessa laskennassa mukana on rajauksista huolimatta noin sata parametria, joille on lisäksi annettu epävarmuuden huomioimiseksi vaihteluvälit. Näistä vaihteluväleista on stokastisesti mallinnettu todennäköisyysjakaumat, joita esitellään tutkimuksen lopputuloksina. Mallinnus on tehty käyttäen MS Excel -ohjelman add inn -sovellusta Crystal Ball, jossa satunnaisotosten lukumääränä käytettiin 25 000. Tärkeimmät parametrit vaihteluväleineen on esitetty liitteessä A ja niiden toistamista tekstissä tai jatkuvaa liitteeseen A viittaamista on pyritty välttämään. Vaihteluväleissa on tiettyjen parametrien kohdalla olennaista huomioida keskimääräisen parametrin mahdollinen vaihteluväli, ei yksittäisten tapausten mahdollisuuksia. Esimerkiksi marginaalisähkön CO<sub>2</sub>-päästökerroin voi vaihdella kulloinkin marginaalissa olevan tuotantomuodon mukaan välillä 0 (puupolttoaineet) – 105,9 t/TJ<sub>pa</sub> (turve), mutta parametrille laskennassa annettu vaihteluväli kuvaa keskiarvoa ja on siten paljon kapeampi.

## 2.1 Valitut skenaariot

Edellisessä luvussa esitettiin jätemäärä, joka voisi tulevaisuudessa ohjautua jätteenpolttolaitoksiin. Näistä jätteistä olisi kuitenkin myös mahdollista jalostaa kierrätyspolttoainetta. Tutkimuksessa tarkasteltiin esitetyllä jätemäärällä kolme pääskenaariota. Nämä jätteet oletettiin joko poltettavan kokonaan jätteenpolttolaitoksissa (Skenaario 1),

enimmäkseen rinnakkaispolttona (Skenaario 2) tai siten, että Suomessa olisi kuusi jätteenpolttolaitosta (Riihimäki, Kotka, YTV/Lohja, Hämeenkyrö, Turun uusi laitos ja Oulu) ja loput tarkastellusta jätemäärästä jalostettaisiin REFiksi ja poltettaisiin rinnakkaispolttona (Skenaario 3). Päästöarvioinneista ja tuloksista on kuitenkin jätetty pois Riihimäen ja Kotkan jätteenpolttolaitokset, sillä näiden laitosten on oletettu joka tapauksessa toimivan täydellä kapasiteetillaan vuonna 2020 eli ne sisältyvät kaikkiin skenaarioihin eivätkä siltä osin aiheuta niihin eroja. Turun nykyisen jätteenpolttolaitoksen on puolestaan oletettu olevan vuonna 2020 lopullisesti suljettu. Tarkasteluissa 2020 on olennainen vuosi juuri päästökaupan ulkopuolisen KHK-päästövähennysvaatimuksen takia.

Skenaarioissa 1 ja 3 tarkastelluille jätteenpolttolaitoksille on valittu parametrit suoraan laitossuunnitelmien mukaisesti (JLY 2008) sekä hyödynnetty mm. CO<sub>2</sub>-päästölupien (EMV 2008) sekä VTT:n tietoja alueiden energiajärjestelmistä, mm. kaukolämmön tuotannosta. Skenaariossa 3 rinnakkaispolttona poltettava määrä on oletettu kokonaan yritys-jätteeksi ja jätteenpoltoon ohjautuva määrä on jäljelle jäävien osuuksien mukaisesti enimmäkseen kotitalousjätettä mutta sisältää myös yritys-jätettä. Skenaariossa 1 yritys-jäte ja kotitalousjäte on jaettu tasaisesti kaikille edellä mainituille laitoksille, mutta lisäksi loput jätteet on oletettu poltettavan 2–4 kuvitteellisessa polttolaitoksessa, joiden tuottamalla lämmöllä korvataan turvetta ja kivihiiltä. Korvattavat turpeen ja kivihiilen määrät on arvioitu kyseisten alueiden energiajärjestelmien mukaan, ja laitokset on sijoitettu ympäri Suomea siten, että jätettä olisi järkevästi saatavilla.

Pääskenaarioiden alla on tehty erilaisia skenaarioita. Pääkaupunkiseudun jätteet poltetaan joko YTV:n alueella (YTV 2007) korvaten alaskenaarioissa yhdessä kivihiiltä (alaskenaario a) ja toisessa maakaasua (alaskenaario b) tai Mangsin Voiman suunnitelman mukaisesti (M-Real 2007) korvaten enimmäkseen maakaasua (alaskenaario c). Siitä, käytetäänkö YTV:n vai Mangsin Voiman suunnitelmaa, riippuu poltettavissa oleva jätemäärä myös muualla Suomessa. Tälle jäljellä olevalle jätemäärälle on tehty parempi (a ja b) ja huonompi (c) alaskenaario, joissa tärkeimpänä erona on hyödyksi saatu lämpömäärä.

Koska alaskenaarioissa b ja c korvataan pääkaupunkiseudun jätteenpolttolaitoksen tuottamalla lämmöllä pääasiassa maakaasua, niiden tiedettiin aiheuttavan pienemmän päästövähennyksen kuin skenaario a. Jotta jätteenpolton järjestelmävaikutusten KHK-päästöjen vaihteluväli saataisiin mahdollisimman hyvin esille, on skenaarioissa 1a ja 1b lisäksi arvioitu suurempi potentiaali hyödynnettävissä olevalle lämmölle kuvitteellisissa polttolaitoksissa (yläraja 100 %) ja pienempi marginaalisähköllä kompensoitava sähköntuotannon menetys kuin skenaariossa 1c. Yhteenvedo skenaarioiden tärkeimmistä eroista on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Yhteenveto tutkimuksessa lasketuista skenaarioista (default-arvot).

| Pääskenaario                                       | 1         |           |               | 2                        | 3           |             |             |
|--|-----------|-----------|---------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Jätteenpolttolaitoksia                             | 8–10      |           |               | 2                        | 6           |             |             |
| Alaskenaariot                                      | a         | b         | c             | -                        | a           | b           | c           |
| Yhdyskuntajätteestä jalostettava REF-määrä [kt/a]  | 0         |           |               | 1090                     | 520         | 520         | 473         |
| REFin raaka-aine                                   | -         |           |               | Kotitalous & yritys-jäte | Yritys-jäte | Yritys-jäte | Yritys-jäte |
| Pääkaupunkiseudun jätteiden korvaamat polttoaineet | Kivihiili | Maa-kaasu | Maa-kaasu + * | *                        | Kivihiili   | Maa-kaasu   | Maa-kaasu   |
| Hyötykäyttöön saatu lämpömäärä*                    | Suuri     | Suuri     | Pieni         | Suuri                    | Suuri       |             |             |

\* Katso luku 2.2.1 Korvattava lämpö

Skenaarioissa ei ole huomioitu mm. sementtiuuneja, joihin osa jätteestä ohjautunee tulevaisuudessa. Jätteen polttaminen sementtiuuneissa johtaa varsin hyvään KHK-päästövaikutukseen, sillä korvattava polttoaine on yleensä kivihiili eikä sementtiuuneissa tuoteta sähköä, jolloin polttoaineen vaihdolla ei ole vaikutusta sähköntuotantojärjestelmään.

## 2.2 Rajaukset ja arviot

Elinkaari- ja järjestelmävaikutustarkasteluissa on aina tehtävä rajauksia. Koska kaikista huomioitavista asioista ei usein löydy luotettavaa tietoa, täytyy joitain parametreja myös arvioida. Tässä tutkimuksessa rajauksia on jouduttu pohtimaan ja arvioita tekemään ainakin tässä luvussa esitettyjen asioiden kohdalla. Lisäksi kaikkiin muihinkin työssä käytettyihin parametreihin on arvioitu mahdollinen vaihteluväli. Nämä vaihteluvälit on huomioitu tuloksia laskettaessa stokastisesti, minkä takia tulokset on esitetty todennäköisyysjakaumina. Todennäköisyysjakauma antaa usein todenmukaisemman käsityksen elinkaari- ja järjestelmätarkastelujen tarkkuudesta kuin yksittäiset lukuarvot, vaikka niille olisikin esitetty arvio epävarmuudesta. Merkittävät työssä käytetyt laskentaparametrit on esitetty liitteessä A.

Olennainen rajausta tulosten kannalta on jätteenpolton rajaaminen päästökaupan ulkopuolelle vielä vuonna 2020. Tämä on perusteltu rajausta mm. johdannossa esitettyjen EU:n

direktiiviehdotusten takia. Rinnakkaispolton sen sijaan on oletettu kuuluvan päästökaupan piiriin, koska se kuuluu jo nykyisin päästökauppaan. Myös jätteenpolttolaitokset voidaan tulevaisuudessa rajata päästökaupan piiriin joko EU:n laajuisella tai kansallisella päätöksellä. Erityisen olennainen oletus tulosten kannalta on myös tarkasteltava jätemäärä, jota käsiteltiin tarkemmin aiemmin tässä julkaisussa.

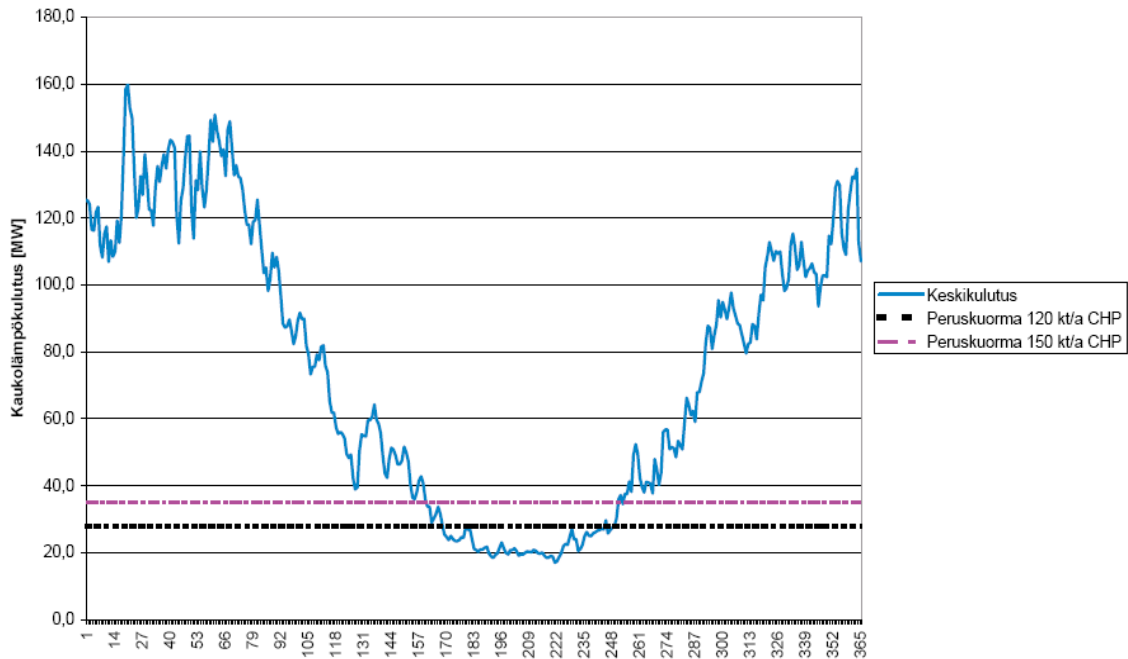
### 2.2.1 Korvattava lämpö

Skenaariossa 3 poltettava REF korvaa turvetta, mutta skenaarion 2 korvattavan polttoaineen päästökertoimeksi on arvioitu hieman pienempi kerroin suuremman REF-määrän mahdollisesti korvaamien muidenkin polttoaineiden takia. Todennäköisesti REF kuitenkin korvaisi tässäkin tapauksessa lähes pelkästään turvetta, sillä poltettu turvemäärä sopivissa rinnakkaispolttokattiloissa riittää tähän helposti. Polttoaineiden päästökertoimina on käytetty Tilastokeskuksen polttoaineluokituksen päästökertoimia (Tilastokeskus 2008c). Korvattavien polttoaineiden elinkaaren aikaisista päästöistä on huomioitu ainoastaan polton CO<sub>2</sub>-päästö, sillä se on yleensä ylivoimaisesti suurin osa koko elinkaaren päästökertoimesta ja helposti kohdennettavissa tietylle sektorille, kun lopputuloksia verrataan kansallisiin päästövähennysvelvoitteisiin. Tästä ei aiheudu merkittävää virhettä lopputuloksiin, sillä absoluuttisia ilmastovaikutuksia olennaisempia tässä tutkimuksessa ovat erot kahden vertailun jätteen hyödyntämistavan välillä. Polttoaineiden päästökertoimien lisäksi tutkimuksessa on käytetty myös ohjeellisia hapetuskertoimia polttoaineille, vaikkakin tällaisissa tarkasteluissa kertoimet 0,99 (kiinteät polttoaineet) ja 0,995 (nesteet ja kaasut) voivat antaa aivan väärän kuvan lopputulosten tarkkuudesta.

Jätteenpolttolaitos on yleensä CHP-laitos, mutta sen sähköhyötysuhde on ”tavalliseen” CHP-voimalaitokseen verrattuna huonompi, koska höyryä ei voida tulistaa yhtä korkeaan lämpötilaan kuin voimalaitoksissa, ainakaan ilman erillistä, jollain muulla polttoaineella toimivaa tulistuskattilaa. Tässä tutkimuksessa on käytetty tuotetulle lämpömäärälle [GWh/a] jätteenpolttolaitossuunnitelmien mukaisia arvoja. Niille laitoksille, joille tällaisia lukuja ei ollut luotettavasti saatavilla, lämmöntuotanto on arvioitu huipunkäytöajan ja annettujen tehotietojen tai jätemäärän (vuosikapasiteetti) ja muiden laitosten ja laitossuunnitelmien lämmöntuotanto/jätemäärä -suhteen tulona. Laitoksissa poltettavan jätemäärän oletusarvona on käytetty suunniteltuja vuosikapasiteetteja, ja niiden ympärille on arvioitu vaihteluvälit, ellei vaihteluväliä ollut selkeästi ilmoitettu kapasiteetin yhteydessä.

Korvattavat lämpömäärät ovat melko haastavia arvioitavia. Esimerkiksi Vaasaan suunnitellun jätteenpolttolaitoksen tuottamasta lämmöstä kaikkea ei voida hyödyntää kesällä, kun kaukolämpökuorma on pienempi (kuva 2). Vastaava tilanne on oletettu myös kuvitteellisille 2–4 polttolaitokselle siten, että huonommassa skenaariossa vuotuisesta läm-

möntuotannosta saadaan hyödynnettyä 60–90 % ja paremmassa skenaariossa osa lämmöntuotannosta menee teollisuuteen, jossa se hyödynnetään kokonaan korvaten turvetta, ja lisäksi 75–100 % jäljelle jäävästä lämmöstä saadaan hyödynnettyä kaukolämpönä korvaten lämpökeskuksissa poltettua turvetta ja raskasta polttoöljyä. Tämä skenaario edustaa jätteenpolton edullisinta mahdollista tapausta, sillä korvattaessa lämpökeskusten tuotantoa menetetty sähköteho ei aiheuta ympäristörasituksia.



Kuva 2. Vaasan Sähkön kaukolämpöverkon lämmönkulutus vuositason ja suunnitellun jätteenpolttokattilan osuus kulutuksesta (Stormossen 2007).

Joillain alueilla kaukolämpö- ja teollisuushöyrykuormaa on periaatteessa tarpeeksi ke-sälläkin, mikäli verkkoa nykyisin lämmittävä CHP-laitos vähentäisi huomattavasti tehoaan tai suljettaisiin kokonaan. Mahdollisen jätevoimalan vaikutukset CHP-laitoksen toimintaan ovat kuitenkin epävarmat. Nämä riippuvat erilaisista kustannustekijöistä kuten polttoaineiden, sähkön ja päästöoikeuksien hinnoista, yhtiörajoista sekä kauko-lämmön siirtomahdollisuuksista hyötykäyttöön tai apujäähdyttimeen. Tässä tutkimuk-sessa on oletettu, että edellä mainittuja laitoksia lukuun ottamatta jätteenpolton tuottama lämpömäärä korvaa vastaavan määrän muilla polttoaineilla aiemmin tuotettua lämpöä ja siten näitä polttoaineita ei käytetä eikä niistä aiheutuvia päästöjä synny. Todellisuudessa voi tulla tilanteita, joissa mm. korkeiden sähkön hintojen takia kannattaa ajaa osa läm-möstä mereen tai järveen, jotta sähköä saadaan tuotettua täydellä teholla. Tällöin jät-teenpolttolaitoksen lämmölle ei ole syytä laskea korvaushyötyjä, ja esim. ilmastovaiku-tuksiltaan se näyttää oleellisesti huonommalta kuin tässä tarkastelussa esitettyissä tulok-sissa.

Esimerkkilaitosten korvaama lämpö on yleensä tuotettu maakaasulla, turpeella tai kivihiilellä. Myös öljyn käyttö vähentyy jonkin verran jätteenpolton vaikutuksesta, mutta yleensä jätteenpolton lämpö näyttäisi korvaavan suurempien laitosten lämpöä, ja öljyä polttavia vara- ja huippukattiloita tarvittaisiin edelleen lähes nykyisessä käytössään. Näin öljyn käyttö vähentyy oletettavasti vain vähän. Mahdolliset pienet virheet korvattavien polttoaineiden osuuksissa eivät aiheuta merkittävää virhettä kokonaisuuteen, sillä öljyn, kivihiilen ja turpeen päästökertoimet ovat samaa suuruusluokkaa. Suuremmat virheet korvattavien polttoaineiden osalta on vältetty tekemällä alaskenaarioita esimerkiksi pääkaupunkiseudun jätteille, joiden poltto voi periaatteessa korvata sekä maakaasua että kivihiiltä.

Korvattavien polttoaineiden määrä energiana [GWh/a] ja sitä kautta vältetyt CO<sub>2</sub>-päästöt on arvioitu kohteittain nykyisin lämpöä tuottavan yksikön lämpöteho / polttoaineteho -suhdeluvun perusteella. Korvattavien voimalaitosten tiedot on poimittu pääsääntöisesti Energiamarkkinaviraston internetsivuilla julkaistuista CO<sub>2</sub>-päästöluvista (EMV 2008), mutta osittain myös yhtiöiden internetsivuilta tai laitosten ympäristöluvista. Myös käytetyt lähteet on esitetty liitteessä A.

Uusi lämmöntuotantokapasiteetti tai jätepolttoaineen myötä muuten vaihtoehtoja edullisempi kaukolämpö voi houkuttaa uusia liittyjiä kaukolämpöverkkoon. Tämän aiheuttamien ilmastovaikutusten kvantitatiivinen arvioiminen ja jätteen tai REFin polton hyödyksi laskeminen on käytännössä erittäin hankalaa ja se on jätetty tämän tarkastelun ulkopuolelle oletetun pienen merkityksen takia. Lisäksi molemmat jätteenpolttotavat kannustavat jossain määrin liittymään kaukolämpöön, joten tässä tutkimuksessa tarkasteltuun eroon jätteenpolttotapojen ilmastovaikutusten välillä tällä tekijällä ei ole merkittävää vaikutusta. Asialla voi kuitenkin olla merkitystä sektorikohtaisten tavoitteiden kannalta, mikäli paljon öljylämmittäjiä siirtyy kaukolämmön piiriin.

Jätteenpolttolaitoksen kaukolämmöntuotanto tai REFin energiasisältö rinnakkaispoltoissa saattavat vähentää myös mm. puupolttoaineiden käyttöä tai jopa estää investoinnin hiilineutraalia sähköä tuottavaan laitokseen. Tällaisten vaikutusten syvällisempään arviointiin tässä tutkimuksessa ei menty. Voidaan myös olettaa, että jossain polttamatta jätetty puupolttoaine käytetään kuitenkin jossain muualla mm. EU:n haastavien biopolttoainetavoitteiden takia. Tällöin jätteen voidaan ajatella korvaavan jätteenpolton ansiosta vapautuneen puupolttoaineen lopulta korvaamaa polttoainetta. Vastaavaa ajatusmallia on käytetty mm. lähteessä Lohiniva ym. (2002).

Koska jätteenpolton ansiosta vapautuneet puupolttoaineet voivat korvata myös muita puupolttoaineita tai muita hiilineutraaleiksi katsottuja polttoaineita, tässä tutkimuksessa on Mangsin Voiman tapauksessa varioitu jätteenpolttolaitoksen muuhun käyttöön vapauttamien puupolttoaineiden korvaushyötyä välillä 0–105,9 t CO<sub>2</sub> / T<sub>Jpa</sub>. Vaihteluväli

kattaa käytännössä kaikki merkittävät polttoaineet, mukaan lukien sen, että esimerkiksi hakuutähteitä ei hyödynnetä tai että ne korvaavat muita hiilineutraaleja polttoaineita.

### 2.2.2 Vaikutukset sähköntuotantoon

Samoin kuin lämmölle, myös tuotetulle sähkömäärälle on käytetty laitossuunnitelmien mukaisia arvoja ja tarvittaessa arvioitu tuotanto muiden laitosten tietojen perusteella jätemäärästä. Koska jätteenpolttolaitoksen tuottaman lämmön on laskettu vähentävän polttoaineiden käyttöä enimmäkseen CHP-laitoksissa, myös CHP-laitosten sähköntuotanto vähenee. Vähentyneen sähköntuotannon ja jätteenpolttolaitoksesta saadun uuden sähköntuotannon erotus on korvattava energiajärjestelmässä lisäämällä marginaalista sähköntuotantoa.

Sähköntuotannon marginaalivaikutusten arvioiminen ei ole yksinkertaista, sillä ne riippuvat monista eri tekijöistä. Hetkellisesti marginaalivaikutukset kohdistuvat olemassa oleviin laitoksiin, joiden tuotantokustannukset ovat tietyllä hetkellä marginaalisia. Pidemmällä aikavälillä marginaalivaikutusten voidaan periaatteessa ajatella kohdistuvan kokonaan uuteen sähköntuotantokapasiteettiin, joka olisi otettava käyttöön tyydyttämään syntynyt sähkövaje. On kuitenkin hyvin hankalaa määritellä, onko jotain tiettyä uutta kapasiteettia otettu käyttöön tyydyttämään juuri joku tietty sähköntarve vai olisiko se tullut muutenkin käyttöön korvaamaan jotain olemassa olevaa kapasiteettia. Näin ollen sähköntuotannon tai -kulutuksen muutosten voidaan olettaa kohdentuvan marginaalipäähän, jossa on olemassa olevan markkina-alueen kalleinta tuotantoa tietyllä ajanhetkellä. Tämä ns. marginaalisähkö kuitenkin vaihtelee ajanfunktiona ja vuodesta toiseen riippuen monista eri tekijöistä, kuten sähköntuotannosta, polttoaineiden ja päästöoikeuksien hinnoista ja mm. vesivoiman saatavuudesta.

Suomen sähkömarkkinat ovat osa pohjoismaista sähköpörssiä (Nord Pool). Pohjoismaisen sähköverkon marginaalinen tuotanto voi siten olla hetkellisesti Suomessa, Ruotsissa, Norjassa, Tanskassa tai näiden maiden ulkopuolella olevassa maassa, jos sieltä tuodaan sähköä pohjoismaiselle sähkömarkkina-alueelle. VTT:llä on tehty simuloiteja pohjoismaisten sähkömarkkinoiden marginaalisähkön keskimääräisestä päästöstä vuosille 2004 ja 2005, ja tulokset on esitetty esim. lähteissä Kirkinen ym. (2007), Soimakallio ym. (2008). Simulointien perusteella näinä vuosina marginaalisähkön keskimääräinen päästökerroin vaihtelee epävarmuustekijät huomioiden välillä 414–1 255 g CO<sub>2</sub>-ekv./kWh<sub>e</sub>. On syytä huomata, että markkina-alueen marginaalisähkön vuotuinen keskimääräinen päästökerroin on aivan eri asia kuin vuotuinen keskimääräinen sähköntuotannon päästökerroin.

Marginaalisähkö on tällä hetkellä ja tulee olemaan myös lähitulevaisuudessa hyvin todennäköisesti suurelta osin fossiilista alkuperää. Koska marginaalisähkön päästökertoimen määrittäminen on hyvin hankalaa, arvioidaan tässä selvityksessä lähteen Soimakallio ym. (2008) mukaisesti, että marginaalisähkön päästökerroin vaihtelee yhtä suurella todennäköisyydellä välillä 300–900 g CO<sub>2</sub>-ekv./kWh<sub>e</sub>. Päästökertoimen alaraja kuvastaa maakaasulauhdevoimaa (55 t CO<sub>2</sub> / TJ<sub>pa</sub>) ja yläraja kivihiililauhdevoimaa (95 t CO<sub>2</sub> / TJ<sub>pa</sub>), joiden voidaan riittävällä tarkkuudelle olettaa muodostavan marginaalisähkön vuotuisen keskiarvon vaihteluvälin nyt ja lähitulevaisuudessa.

REFiä poltettaessa sähköteho alenee, mutta merkitys ei ole niin suuri kuin jätteenpoltoissa. Tosin yhdyskuntajätteestä jalostetun REFin poltosta on niukasti käyttökokemuksia. Koska REF poltetaan rinnakkaispoltona voimalaitoksissa, menetetty eli marginaalisähköllä korvattava sähköntuotanto on erotus voimalaitoksen sähkötehossa ennen ja jälkeen REF-käytön aloituksen tai lisäyksen. Rinnakkaispoltoissa päästään kuitenkin yleensä jätteenpoltoa parempiin sähköhyötysuhteisiin. Korvattavan sähkötehon määrä riippuu rinnakkaispoltoissa voimakkaasti laitoksen sähköhyötysuhteesta ennen REFin polton aloittamista. Tämä puolestaan vaihtelee mm. laitoksen iän ja prosessihöyryn tarpeen mukaan. Tässä tutkimuksessa vaihtelu on huomioitu antamalla sähköhyötysuhteelle laskennassa laaja vaihteluväli.

### **2.2.3 Kaatopaikkojen päästöt**

Poltettava jätemäärä on pois kaatopaikoille menevästä jätemäärästä ja siten se pienentää kaatopaikkojen metaanipäästöjä. Samalla myös kaatopaikkojen hiilivarasto kuitenkin pienenee. Koska tässä tutkimuksessa verrattiin kahta jätteen polttotapaa toisiinsa samalla jätemäärällä, ei tämä vaikutus aiheuta eroa näiden käsittelytapojen välille ja se on siten jätetty huomioimatta laskelmissa. REF-valmistuksessa syntyvän alitteen päästöt kaatopaikoilta on kuitenkin arvioitu kappaleen 2.2.5 mukaisesti.

Jätteiden energiahyödyntämisen ansiosta vältetty kaatopaikkojen metaanipäästö on kuitenkin merkittävä skenaarioiden ilmastovaikutuksia ajatellen. Vältettyjä kasvihuonekaasupäästöjä voi arvioida mm. dynaamisella jätemallilla (Tuhkanen 2002), mutta kvantitatiiviset arviot vaikutuksista esimerkiksi vuoden 2020 päästövähennystavoitteisiin pääsemiseksi vaatisivat tiedot polttolaitosten valmistumisaikataulusta eikä niitä ollut tämän tarkastelun puitteissa järkevää arvioida.



## 2.2.4 REF-valmistuksen energian kulutus

REFin valmistus aiheuttaa kasvihuonekaasupäästöjä lähinnä sähkön ja dieselin kulutuksen kautta. Arviot näistä määristä vaihtelevat, mutta ne ovat joka tapauksessa hyvin pieniä verrattuna kokonaisuuteen. Tässä työssä on käytetty Lassila & Tikanojan Turun laitoksella mitattua sähkön kulutusta (Hannula 2008) ja karkeaa arviota dieselin kulutuksesta (energiayksiköissä likimain sama kuin sähkönkulutus). Mittaukset on tehty kotitalousjätteen REF-jalostuksen koeajoissa, joten niiden soveltuvuus yritysjetelle ja edustavuus tässä tutkimuksessa tarkasteltuihin koko Suomea koskeviin jätemääriin verrattuna on epävarmaa. Käytännössä näiden seikkojen vaikutus lopputuloksiin on kuitenkin merkityksettömän pieni.

## 2.2.5 REFIn saanto ja sivutuotteet

Kokonaisuuden kannalta REF-valmistuksen energiankulutusta olennaisempaa on, kuinka paljon jätteestä saadaan valmistettua REF:ää eli mikä on REF-prosessin saanto. Tässä tutkimuksessa tarkasteltava jätemäärä jaettiin erilaisten ominaisuuksiensa takia kahteen ryhmään, yritysjeteseen ja kotitalousjeteseen, joille annettiin eri saanto REF-prosessissa. Kotitalousjätteen osalta saanto perustuu L&T:n Turussa tekemiin koeajoihin ja yritysjetteen osalta pidempiaikaiseen kokemukseen.

REFin valmistuksessa syntyy myös ns. seulan alitetta komponenteista, joita ei haluta lopputuotteeseen. Tässä tutkimuksessa sivutuotteista saatuja korvaushyötyjä ei huomioitu tuloksissa vaan jätteen oletettiin jalostuksessa jakautuvan liitteen A lukujen mukaisesti vain REFiksi ja alitteeksi. Alitteen kaatopaikalla aiheuttama CH<sub>4</sub>-päästö huomioitiin karkeasti, sillä vaikka tämän päästön merkitys kokonaisuuteen on pieni, tällainen rasitus kohdistuu vain toiseen tarkasteltavaan polttotapaan. Hyötykäyttöön päätyvät sivutuotteet eivät tietenkään todellisuudessa lisää kaatopaikkojen metaanipäästöjä, vaan päinvastoin vähentävät KHK-päästöjä korvaushyötyjen kautta. Alitteen aiheuttamat KHK-päästöt on arvioitu kertoimella, jonka oletusarvon suuruusluokka on määritetty alitteen koostumuksen ja mm. julkaisussa (Mroueh ym. 2007) esitetyn kaatopaikkojen CH<sub>4</sub>-päästön massatasemallin mukaisesti. Kertoimelle on annettu suuri vaihteluväli myös siksi, että kaatopaikkojen sijasta alite saatettaisiin myös kompostoida, mädättää tai muuten hyötykäyttää. Alitteen koostumus voi myös poiketa huomattavasti oletetusta, ja kaatopaikalle päätyvä alite voi olla hyvinkin inerttiä eikä siten aiheuta päästöjä. Tässä tutkimuksessa on lisäksi oletettu, ettei alite sisällä fossiilista hiiltä eikä se ole muutenkaan merkittävä hiilivarasto kaatopaikalla.

Massatasemalli olettaa, että kaikki metaani muodostuu jätteen sijoitusvuonna, eikä malli siksi kykene kuvaamaan metaanipäästöjen vapautumisen aikadynamiikkaa. Malli sovel-

tuu päästöjen vuosittaiseen arviointiin, jos sijoitettavan jätteen määrä ja koostumus pysyvät melko samanlaisena. Jos kaatopaikalle sijoitetun jätteen määrä ajan myötä vähenee, massatasemalli aliarvioi tulevia vuosittaisia päästöjä. Metaanipäästöjen aikadynamiikka olisi tarvittaessa mahdollista huomioida ns. dynaamisella jätemallilla (Tuhkanen 2002), mutta silloin tarvittaisiin tiedot vuosittain muuttuvista kaatopaikoille sijoitettavista jätemääristä ja tarkastelujaksosta.

Kaatopaikkakaasuista poltettavaksi kerätty osuus on oletettu lähteen Mroueh ym. (2007) mukaiseksi, mutta sille on annettu melko suuri vaihteluväli. Koska kaikkea lämpöä ei saada hyötykäyttöön, hyötykäyttöön saatu lämpö on arvioitu varioimalla sille kerrointa Liitteen A mukaisesti. Hyötykäyttöön saadun lämmön vaikutukset CHP-sähköntuotantoon on huomioitu kuten aiemmin kappaleessa Vaikutukset sähköntuotantoon esitetiin jätteenpolton osalta.

Alitteesta aiheutuva ilmastovaikutus voi olla huomattavasti tässä työssä huomioitua default-arvoa pienempi. Arviossa ei ole huomioitu mahdollista sähköntuotantoa kaatopaikkakaasulla, eikä lämmöntuotanto välttämättä aiheuta CHP-tuotannon vähentymistä, mikäli lämmöllä korvataan esimerkiksi öljyllä toimineen lämpökeskuksen käyttöä. Lisäksi hitaasti kaatopaikalla hajoavan alitteen bioperäinenkin hiilisisältö on hiilivarasto kunnes se on hajonnut, ja toisaalta osa alitteesta ei välttämättä edes joudu kaatopaikalle. Mikäli osa alitteesta käytetään esimerkiksi sementtiunien polttoaineena tai mädätyksen kautta korvaamaan muita polttoaineita, sille tulisi laskea myös korvaushyötyjä. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan huomioitu alitteen mahdollista hyötykäyttöä tulevaisuudessa. Myöskään muille mahdollisille REF-prosessin sivuvirroille (esim. metallit) ei ole tässä tarkastelussa laskettu mitään korvaushyötyjä, vaikka ne korvaisivatkin päästöintenssiivisiä neitseellisiä raaka-aineita. Muista sivuvirroista, kuten metalleista ja muoveista, saatava ympäristöhyöty lienee kuitenkin suurempi tämän tarkastelun ulkopuolella olevan jätteen tapauksessa (mm. teollisuus- ja purkujäte) kuin tässä työssä tarkastellun yhdyskuntajätteen tapauksessa. Koska myös jätteenpolttolaitosten tuhkasta on mahdollista erottaa metalleja hyötykäyttöön, erot eri skenaarioiden välillä jäänevät muun kuin energiahyödyntämisen osalta verrattain pieniksi.

## 2.2.6 Kuljetukset

Tässä tutkimuksessa oletettiin, että eri energiahyötykäyttöraikaisujen välillä ei ole kokonaisuuteen verrattuna merkittävää eroa kuljetusten energian kulutuksessa ja päästöissä. Tämä on perusteltu oletus, sillä vaikka REF:n jalostus vaatii kuljetuksen jalostuslaitokselle, REF:n poltto on puolestaan mahdollista useissa rinnakkaispolttokattiloissa, jolloin kuljetusmatka ei välttämättä ole kovin pitkä. REF:n valmistus ei myöskään vaadi jätteenpolttoa enempää syntypaikkalajittelua ja siten lisää kuljetuksia (Hietanen 2008).

Kuljetusten osuus kokonaispäästöistä on joka tapauksessa pieni ja erot eri polttotapojen aiheuttamien kuljetusten välillä sitäkin pienemmät ja hankalat arvioida, joten nämä vaikutukset on rajattu pois tämän tutkimuksen laskelmista. Esimerkiksi YTV:n jätteenpolttolaitoksen YVA-selostuksessa arvioitiin kuljetusten osuuden CO<sub>2</sub>-päästöistä olevan noin 0,6 % polton suorista CO<sub>2</sub>-päästöistä pisimmälläkin kuljetusmatkalla (YTV 2007). REFin valmistuksessa syntyvän alitteen kuljetusten päästöjä ei myöskään huomioida, sillä merkittävä osa alitteesta päätyisi jätteenpoltossa tuhkaksi, eikä myöskään tuhkan kuljetusten päästöjä ole laskettu mukaan tuloksiin tässä työssä.

## 2.2.7 Rakennukset

Jätteenpolttolaitoksiin ja rinnakkaispolttolaitoksiin kuuluu tuhansia tonneja energiaintensiivistä terästä ja suuria määriä muita materiaaleja. Rakennusten aiheuttama ympäristörasitus voi olla merkittävä, mutta se on erittäin hankala arvioitava. Tässä tutkimuksessa tämä rasitus on oleellinen, sillä REFin rinnakkaispoltto on mahdollinen nykyisissä laitoksissa, mutta jätteenpoltto vaatii uusia laitoksia. Tästä syystä tulosten yhteydessä on mainittu erikseen hyvin karkea suuruusluokka uusien jätteenpolttolaitosten rakennusten aiheuttamista CO<sub>2</sub>-päästöistä. Tulokuvaajista rakennusten epätarkat vaikutukset on kuitenkin rajattu pois.

Rakentamisvaiheen CO<sub>2</sub>-päästöjen on arvioitu muodostuvan enimmäkseen teräksen ja betonin kulutuksesta. Teräksen ja sementin valmistuksen CO<sub>2</sub>-ominaispäästöille on käytetty kertoimia 1,7 t CO<sub>2</sub> / t raakaterästä, joka edustaa maailman keskimääräistä terästuotantoa (IISI 2005) ja 0,75 t CO<sub>2</sub> / t<sub>sementtiä</sub>, joka oli Suomen sementtitehtaiden keskimääräinen ominaispäästötaso vuonna 2002 (KTM 2005). Lisäksi teräksen valmistuksessa kulutetaan sähköä noin 143 kWh / t<sub>terästä</sub> masuuniprosessissa (Rautaruukki 2006) ja noin 2 GJ / t<sub>terästä</sub> valokaariprosessissa, kun loppukäsittely huomioidaan (Savolainen ym. 2008). Maailman terästuotannosta noin 34 % perustuu valokaariprosessiin (IISI 2005). Sementin valmistuksessa käytetään sähköä noin 115 kWh / t<sub>sementtiä</sub> (KTM 2005) ja betonin valmistukseen käytetään noin 8–16 painoprosenttia sementtiä, joka aiheuttaa suurimman osan betoninvalmistuksen ympäristörasituksesta (Betoni 2008).

Jätteenpolttolaitossuunnitelmien mukaan tyypillinen kokoluokka Suomeen suunnitelluille laitoksille on noin 100–200 kt jätettä vuodessa. Suuntaa antavien lukujen mukaan tällaiseen laitokseen tarvitaan terästä hyvin karkeasti arvioituna noin 5 000 tonnia ja betonia noin 10 000 tonnia. Lisäksi laitoksen rakentamisen vaatimat maansiirtotyöt aiheuttavat esimerkiksi YTV:n laitoksen YVA:n mukaan noin 20–50 kuljetusta per päivä ensimmäisen puolen vuoden aikana (YTV 2007). Näiden kuljetusten vaikutus KHK-päästöihin lienee kuitenkin kokonaisuuteen nähden vähäinen, eikä sitä ole huomioitu laskelmissa.

Rakennusten aiheuttaman ympäristövaikutuksen arviointi on kuitenkin erittäin haasteellista. Laitokset eivät suinkaan ole suoraan terästehtaalta tullutta terästä ja betonia, vaan niissä on paljon muutakin. Valmistamiseen, kuljettamiseen ja rakentamiseen tarvitaan myös koneita ja muita rakennuksia, jotka teoriassa pitäisi jotenkin huomioida ilmastovaikutuksissa, mutta käytännössä kaiken huomioiminen on mahdotonta. Lisäksi esimerkiksi REFin rinnakkaispoltossa on kyseenalaista, pitäisikö REFin osuudelle allokoida rakentamisen päästöjä. Monet voimalaitokset on kuitenkin rakennettu muille polttoaineille kuin REFillle ja siten REFin käyttö ei niiden osalta aiheuta voimalaitosten lisärakentamista. REFin käytön aloittaminen voi kuitenkin vaatia uusia investointeja esimerkiksi polttoaineen käsittelyyn ja savukaasun puhdistukseen tai pakottaa uusimaan tulistimia useammin kuin ilman REFin käyttöä ja siten aiheuttaa ympäristörasituksia materiaalien valmistuksen ja rakentamisen kautta.

Edellä mainitut rinnakkaispolton vaatimat investoinnit nykyisiin voimalaitoksiin aiheuttanevat vain pienen ympäristörasituksen verrattuna uusien laitosten aiheuttamiin vaikutuksiin. Toisaalta uudet laitokset ovat uutta sähköntuotantokapasiteettia, joka periaatteessa osaltaan korvaa tulevaisuudessa poistuvan tuotantokapasiteetin tai mahdollisesti kasvavan sähkönkulutuksen takia tarvittavaa lisäkapasiteettia. Tätä erittäin hankalaa kysymystä ei tässä työssä tämän tarkemmin huomioitu.

Koska tulosten yhteydessä esitetään rakentamisen osalta vain teräksen ja betonin ympäristövaikutukset erittäin karkeasti ja huomioimatta niiden edelleen jalostusta ja erilaisten osien valmistusta, joihin menee merkittävästi energiaa, voidaan esitettyjä lukuja pitää suuntaa antavina minimiarvoina. Todellinen rakentamisvaiheen rasitus voi olla jopa kertaluokkaa esitettyjä lukuja suurempi.

### **2.2.8 Jätteen ja REFin polton päästökertoimet**

REFillle on annettu kansallinen päästökerroin Tilastokeskuksen polttoaineluokituksessa (Tilastokeskus 2008c). Tätä kerrointa on tässä tutkimuksessa käytetty default-arvona yritysätteestä jalostetulle REFillle. Kotitalousätteestä jalostetun REFin on oletettu siinä määrin vastaavan yritysätteestä jalostettua REFiä, että samasta tonnimäärästä aiheutuu samat CO<sub>2</sub>-päästöt. Koska kotitalousätteestä jalostetun REFin lämpöarvo on kuitenkin mm. kosteuden takia matalampi, kotitalousätteestä jalostetun REFin laskennalliseksi päästökertoimeksi tulee näin huomattavasti suurempi kuin tilastokeskuksen yritysätteelle arvioima kerroin. Myös jätteenpolton päästöt on laskettu REFin kertoimen avulla siten, että samasta jätemäärästä aiheutuu aina sama CO<sub>2</sub>-päästö riippumatta siitä, onko sitä jalostettu REFixi vai poltettu sellaisenaan. Toisin sanoen, tässäkin kohdassa on oletettu, ettei REF-prosessissa synny alitteen fossiilisesta hiilestä hiilivarastoa kaatopaikalle eikä REFin poltosta synny siten fossiilisia CO<sub>2</sub>-päästöjä vähempää kuin jätteenpol-

tosta. Tällä laskutavalla on vältetty epätarkan jätteen päästökertoimen arviointi, sillä kerroin on voimakkaasti riippuvainen mm. jätteen kosteudesta ja koostumuksesta. Todellisuudessa REF-jalostuksessa pieni osa jätteen fossiilisesta hiilisäällöstä ajautunee myös kaatopaikoille, jolloin REFin poltosta aiheutuu jätteenpoltoon verrattuna pienempi CO<sub>2</sub>-päästö ja hajoamaton alitteen hiilisäältö toimii kaatopaikalla hiilivarastona.

Todellisuudessa jätteen hiilipitoisuus vaihtelee, mutta tässä tarkastelussa on tärkeämpää, että arvioiduilla päästökertoimilla ei vääristetä eroa REFin rinnakkaispolton ja jätteenpolton ilmastovaikutusten välillä. Tästä syystä tässä tutkimuksessa on käytetty samoja CO<sub>2</sub>-päästöjä aina samalle jätemäärälle riippumatta siitä, poltetaanko se REFinä vai jätteenä. Sen sijaan tällä periaatteella lasketut päästökertoimet näille jätejakeille tai niistä jalostetuille REF-jakeille ovat aivan erisuuria erilaisten lämpöarvojen takia.

### **2.2.9 Kosteudet ja lämpöarvot**

Päästökertoimien yhteydessä kuvatulla laskentatavalla on vältetty myös jätteiden lämpöarvon arviointi. Myöskään kosteutta ei tarvitse tässä tarkastelussa tarkemmin arvioida, vaikkakin sillä on poltosta saatavan hyödyn ja lämpöarvon kannalta suuri merkitys. Tässä työssä lämmön ja sähkön tuotantotiedot on kuitenkin otettu jätteenpolttolaitossuunnitelmista tai ympäristövaikutusten arvioinneista, joten kosteuksia tai lämpöarvoja ei tarvitse enää huomioida tässä laskennassa.

Yritysjätteestä valmistetun REFin lämpöarvona on käytetty Tilastokeskuksen polttoaineluokituksessa annettua lämpöarvoa. Tämä lämpöarvo on ”yhteensopiva” samasta lähteestä otetun päästökertoimen kanssa, ja muiden lämpöarvojen käyttö olisi siten kyseenalaista. Lämpöarvo on määritelty käyttökostean tilan lämpöarvoksi. Kotitalousjätteestä jalostetun REFin lämpöarvona on käytetty Lassila & Tikanojan Turun laitoksella suoritettujen koeajojen tuloksien keskiarvoa. Koeajoissa käytetty jäte oli varastoitu ulkona ennen koeajoja, joten se oli todennäköisesti kosteampaa kuin keskimääräinen jäte vaikuttaen myös REFin lämpöarvoon alentavasti. Todellisuudessa skenaarion 2 mukainen tilanne voisi siis hyvinkin johtaa jopa tässä työssä esitettyjä todennäköisimpiä päästövähenyksiä parempiin tuloksiin.

### **2.2.10 Tuhka**

Polttolaitoksella syntyvän tuhkan käsittelystä laitoksen ulkopuolella aiheutuvia energiankulutuksia tai päästöjä ei ole huomioitu tässä työssä, koska niiden määrä on muihin tarkasteltuihin päästöihin verrattuna vähäinen. Tuhkan käsittelystä kasvihuonekaasupäästöjä aiheutuu lähinnä kuljetuksista. Laitoksella tuhkan käsittelyyn mahdollisesti

käytetty sähkö on tässä tutkimuksessa pyritty huomioimaan laitoksen sähkötehossa tai sähköntuotannossa, eli tarkastelussa on käytetty laitosten nettotuotantoja, jotka laitokset myyvät verkkoon. Myös tuhkan osalta tässä tutkimuksessa vaikutuksia olennaisempaa on ero kahden jätteenpolttotavan ilmastovaikutusten välillä, mikä pienentää tuhkan käsittelyn merkitystä entisestään.

### **2.2.11 Muut kasvihuonekaasut**

Muun muassa palamisen seurauksena syntyy sekä jätteenpoltossa että korvattavien polttoaineiden polttamisessa muitakin kasvihuonekaasuja kuin hiilidioksidia. Esimerkiksi laitosten N<sub>2</sub>O- CH<sub>4</sub>- ja F-kaasupäästöjen merkitys on kuitenkin kokonaisuuteen nähden merkityksettömän pieni, eikä niitä ole huomioitu laskelmissa.

### 3. Tulokset

Jätteiden energiahyödyntämistapojen paremmuutta voi tarkastella monelta kannalta. Tässä tutkimuksessa keskityttiin skenaarioiden eroihin kasvihuonekaasupäästöissä. Muita olennaisia tekijöitä ovat ainakin taloudellisuus, työllisyysvaikutukset, energiaomavaraisuus ja muut ympäristövaikutukset. Tulokset on esitetty erikseen päästökaupan ulkopuoliselle sektorille (luku 3.1), päästökauppasektorille (luku 3.2) sekä yhteenlasketuina molemmille sektoreille.

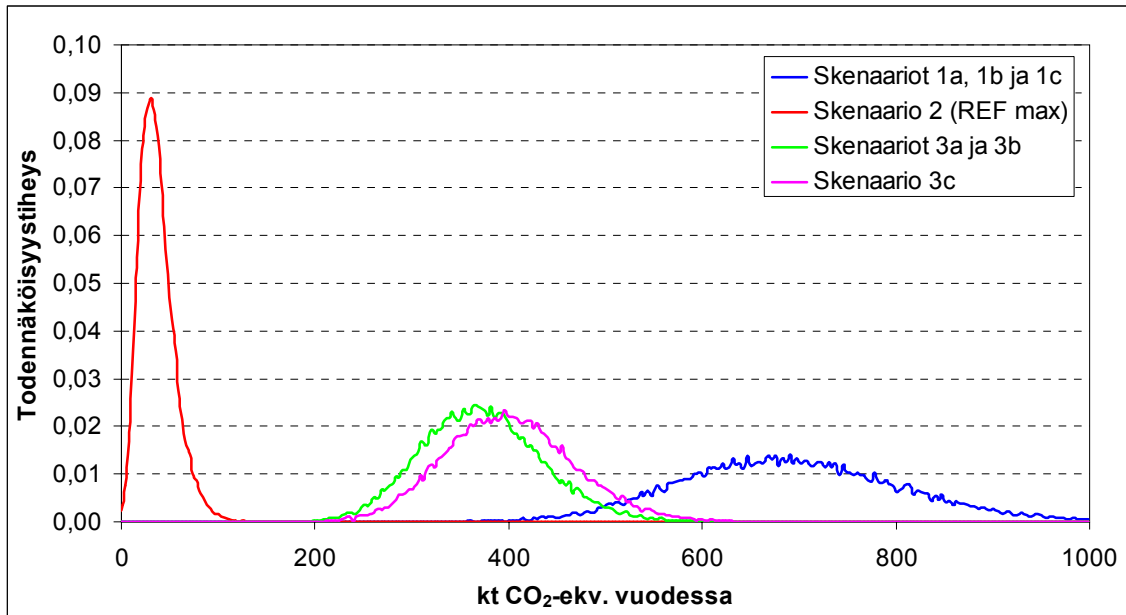
Skenaarioita on kuvattu raportin alussa esitetyn numeroinnin mukaisesti, eli skenaario 1 kuvaa tilannetta, jossa maksimoidaan jätteenpolttolaitoksissa eikä tarkastelluista jätefraktioista riitä jätettä rinnakkaispolttoon. Skenaariossa 2 maksimoidaan rinnakkaispolttolaitoksissa, jolloin vain jo valmiina ja valmistumassa olevat Riihimäen ja Kotkan jätteenpolttolaitokset polttaisivat pelkkää jätettä ja loput tarkastelluista jätemäärästä jätettä jätetään REFiksi, mikä aiheuttaisi myös sivuvirran kaatopaikalle. Skenaariossa 3 toteutettaisiin sekä rinnakkaispolttolaitoksia että aiemmin kuvatut kuusi jätteenpolttolaitosta.

Alaskenaarioita on kuvattu kirjaimilla a, b ja c. Skenaarioissa a ja b toteutetaan YTV:n laitossuunnitelma ja skenaariossa c Mangsin Voiman suunnitelma Lohjalle. Skenaariossa a jätteenpolttolaitoksen tuottamalla lämmöllä korvataan Martinlaakson kivihiihikattilan mukaista tuotantoa ja skenaariossa b Vuosaaren A-laitoksen tyypistä maakaasun polttoa. Vaikka todellisuudessa pääkaupunkiseudulla korvattaisiinkin Salmisaaren, Hanasaaren tai Suomenojan kivihiihivoimalaitosten lämpöä Martinlaakson sijasta, ei vaikutus tuloksiin ole kovin suuri. Samoin, mikäli korvattava maakaasulaitos ei olekaan Vuosaaren A-laitos, vaan jokin muu pääkaupunkiseudun kaasuturbiinilaitos, vaikutus tuloksiin lienee pieni, koska korvattava polttoaine pysyy samana.

Tulokset on esitetty todennäköisyysjakaumina, eli pystyakseli kuvaa vaaka-akselilla esitetyn vaikutuksen todennäköisyyttä. Kuvaajan huippu on todennäköisin vaikutus tässä tarkastelussa käytetyillä parametreilla ja rajauksilla, mutta muutkin vaikutukset ovat mahdollisia kuvaajien mukaisesti. On syytä vielä korostaa, että julkaisussa esitetyt tulokset eivät kuvaa absoluuttisia päästövaikutuksia, sillä esimerkiksi kaatopaikoilta vapautuvia metaanipäästöjä ei ole huomioitu kuvaajissa. Olennaista onkin tarkastella eri skenaarioiden välisiä eroja. Skenaarioiden välisiä eroja ei puolestaan voi tulkita aivan suoraan kahden skenaarion todennäköisyysjakaumista, sillä skenaarioissa on useita samoja muuttujia, joiden epävarmuudet kuitenkin vaikuttavat skenaarioihin eri tavoin. Tästä syystä tässä tutkimuksessa onkin esitetty myös kuvaajat skenaarioiden 1 ja 3 päästövaikutuksista vähennettynä skenaarion 2 vaikutuksilla. Negatiiviset erotukset tarkoittavat, että skenaario 1 tai 3 on ilmastonmuutoksen hillinnän kannalta parempi kuin skenaario 2. Positiivinen erotus tarkoittaa, että skenaario 2 olisi ilmastonmuutoksen hillinnän kannalta parempi.

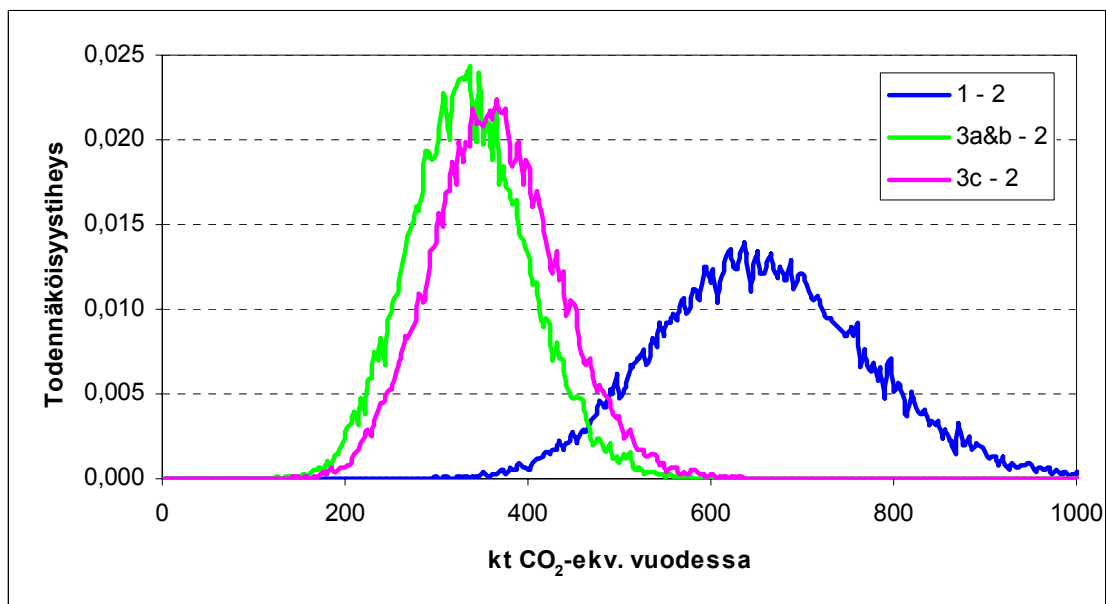
### 3.1 Päästökaupan ulkopuolinen sektori

Kuvasta 3 nähdään, että jätteiden rinnakkaispolton maksimointi lisää päästökaupan ulkopuolisen sektorin päästöjä selvästi vähemmän kuin muut tarkastellut skenaariot. Tämä näkyy myös kuvasta 4, jossa tarkasteltujen skenaarioiden aiheuttamat päästöt vähennettyinä skenaarion 2 päästövaikutuksilla ovat selvästi positiivisella puolella.



Kuva 3. Jätteen energiahyödyntämisen vaikutus päästökaupan ulkopuolisen sektorin kasvihuonekaasupäästöihin Suomessa eri skenaarioissa. Kuvaajassa ei ole huomioitu kaatopaikkojen pientyneitä metaanipäästöjä eikä myöskään jätekuljetusten muutosten tai rakentamisen aiheuttamia muutoksia päästöissä. Tiheysfunktiot kuvaavat päästövaikutusten todennäköisyyttä annetuilla oletuksilla. Esimerkiksi muihin jakaumiin verrattuna kapea ja korkea skenaarion 2 kuvaaja tarkoittaa, että skenaarion 2 päästövaikutukset tälle sektorille ovat erittäin todennäköisesti välillä 0–100 CO<sub>2</sub>-ekv. kt vuodessa kun työssä esitetyt rajaukset huomioidaan. Skenaarion 1 vaikutukset puolestaan ovat huomattavasti epävarmemmat, mutta osuvat todennäköisesti välille 500–900 CO<sub>2</sub>-ekv. kt vuodessa.





Kuva 4. Skenaarioiden 1 ja 3 päästövaikutus verrattuna skenaarioon 2 päästökaupan ulkopuolisella sektorilla. Tiheysfunktiot kuvaavat päästövaikutusten todennäköisyyttä annetuilla oletuksilla. Kuvasta nähdään, että esimerkiksi skenaario 1 aiheuttaa todennäköisesti noin 500–800 CO<sub>2</sub>-ekv. kt skenaariota 2 suuremmat vuosittaiset päästöt.

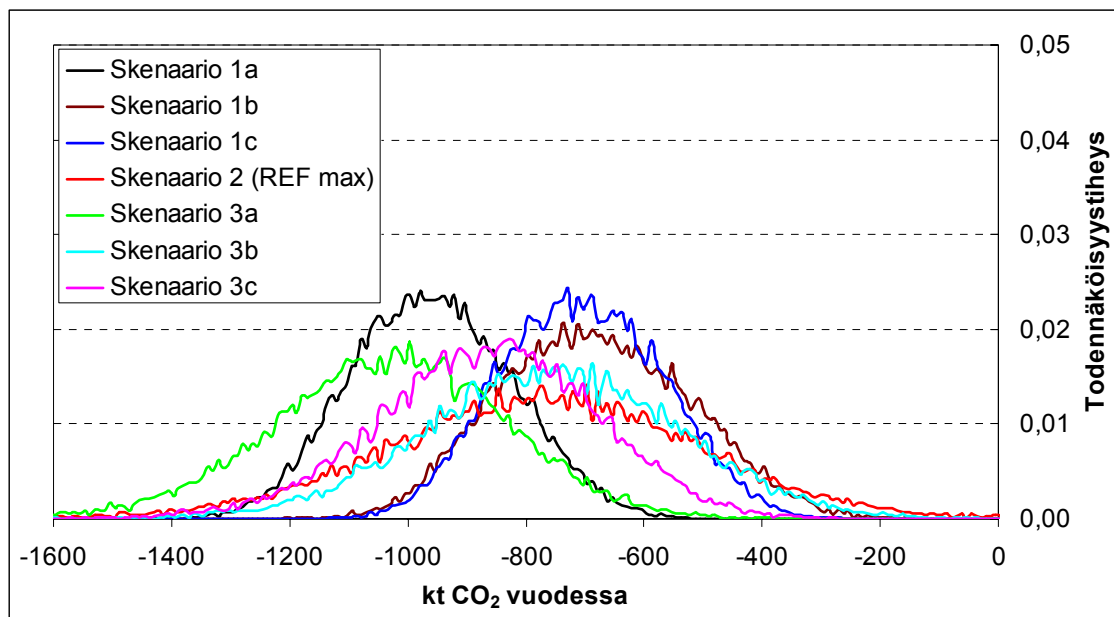
Selkeä ero skenaarioiden päästövaikutuksissa johtuu siitä, että REFin rinnakkaispoltto muiden polttoaineiden kanssa on sisällytetty päästökauppaan mutta jätteenpoltto on rajattu sen ulkopuolelle. Skenaarioiden 1 ja 3 päästöt tällä sektorilla johtuvat siis REFin valmistuksen aiheuttamasta polttoaineen kulutuksesta sekä REFin valmistuksesta syntyvän alitteen kaatopaikalla aiheuttamista CH<sub>4</sub>-päästöistä. Kuvassa 3 ei kuitenkaan ole huomioitu yhdyskuntajätteestä muodostuvien kaatopaikkakaasujen vähenemistä, jonka vaikutus on sama kaikille skenaarioille. Vaikutus absoluuttisiin päästöihin on lisäksi hankala arvioida mm. kaatopaikkojen ominaisuuksien, kaasun talteenoton tehokkuuden ja yleisyyden sekä hajoamisen aikadynamiikan ja tulevaisuuden edellä mainittuihin tekijöihin aiheuttamien muutosten takia. Vältetty metaanipäästön määrä voidaan karkeasti arvioida lähteen Mroueh ym. (2007) perusteella. Määrästä voidaan kuitenkin vielä vähentää talteen otetun kaasun poltosta mahdollisesti saatu korvaushyöty, joka menetetään, kun kaatopaikkasijoitusta vähennetään. Kuvaan 4 yhdyskuntajätteen kaatopaikkasijoituksesta aiheutuvat metaanipäästöt eivät vaikuta, koska vaikutus on kaikille skenaarioille sama (kaatopaikoilta pois ohjautuva jätemäärä on sama ja REFin alitteen mahdollisesti aiheuttamat metaanipäästöt on jo huomioitu kuvissa).

Alaskenaarioissa 1a, 1b ja 1c ei ole eroja kuvien 3 ja 4 osalta, sillä poltettava jätemäärä pysyy samana, mikä aiheuttaa saman CO<sub>2</sub>-päästön päästökaupan ulkopuoliselle sektorille. Koska eri laitokset korvaavat kuitenkin eri polttoaineita, tulee näidenkin skenaarioiden välillä selkeitä eroja muiden sektoreiden osalta esitettäviin kuviin, joissa on mukana

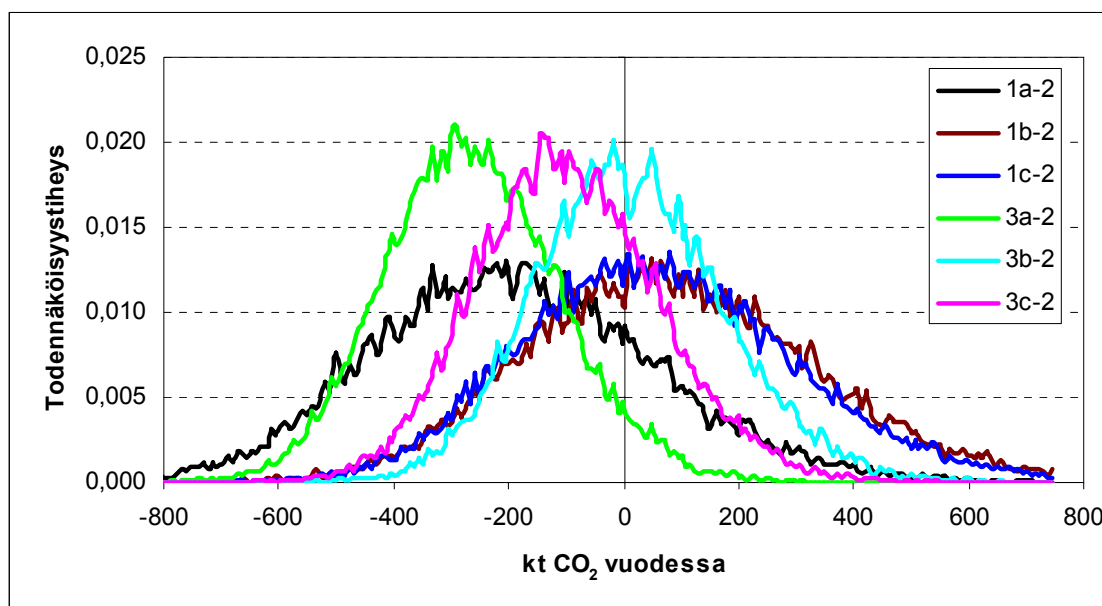
päästökauppasektorille tulevat vaikutukset. Skenaarion 3 osalta näkyy myös kuvissa 3 ja 4 pieni ero alaskenaarioiden välillä, sillä rinnakkaispolttoon jää niissä erilainen jätemäärä pääkaupunkiseudun jätteiden polttolaitoksesta riippuen.

### 3.2 Päästökauppasektori

Kuvasta 5 nähdään, että päästökauppasektorin CO<sub>2</sub>-päästöt vähenisivät nykyisestä kaikkien tarkasteltujen skenaarioiden mukaisissa tilanteissa. Skenaarioiden väliset erot (kuva 6) ovat kuitenkin epäselvemmät kuin päästökaupan ulkopuolisella sektorilla. Epävarmuus johtuu mm. lisääntyvän jätteen tai REF:n polton aiheuttamasta sähköntuotannon hyötysuhteen laskun epävarmuudesta ja korvattavien polttoaineiden epävarmuuksista, jotka kaikki vaikuttavat päästökauppasektorin päästöihin. Suurin päästövähennys saavutetaan todennäköisimmin skenaariossa 3a, kun jätteenpolton tuottamalla lämmöllä korvataan pääkaupunkiseudulla kivihiiltä ja yritys-jäte ohjautuu rinnakkaispolttoon.



Kuva 5. Jätteen energiahyödyntämisen vaikutus päästökaupan piirissä oleviin CO<sub>2</sub>-päästöihin eri skenaarioissa. Tiheysfunktiot kuvaavat päästövaikutusten todennäköisyyttä annetuilla oletuksilla. Esimerkiksi skenaariossa 1a saavutetaan todennäköisesti noin 700–1 200 kt:n vuosittainen CO<sub>2</sub>-päästövähennys verrattuna nykytilaan, kun taas skenaarion 2 vaikutus on epävarmempi, todennäköisesti välillä 300–1 200 kt/a.



Kuva 6. Skenaarioiden 1 ja 3 päästövaikutus verrattuna skenaarioon 2 päästökauppasektorilla. Tiheysfunktiot kuvaavat päästövaikutusten todennäköisyyttä annetuilla oletuksilla. Esimerkiksi skenaariot 1b ja 1c sekä 3b aiheuttavat todennäköisesti melko samantyyppiset CO<sub>2</sub>-päästövaikutukset päästökauppasektorille kuin skenaario 2. Muut skenaariot vähentävät päästökauppasektorin CO<sub>2</sub>-päästöjä todennäköisesti enemmän. Kuvaajan mukaan on kuitenkin myös pieni todennäköisyys, että esimerkiksi skenaario 1a aiheuttaisikin suuremmat CO<sub>2</sub>-päästöt kuin skenaario 2.

Kuvista 5 ja 6 voidaan myös päätellä, että skenaarioissa, joissa maksimoidaan jätteenpolttoa ja korvataan pääkaupunkiseudun jätteistä tuotetulla lämmöllä maakaasun polttoa (alaskenaariot 1b ja 1c), aiheutetaan todennäköisesti hieman pienemmät päästövähennykset päästökauppasektorille kuin muissa tarkastelluissa tapauksissa. Skenaariot 3 asemaa verrattuna skenaariot 1 vastaaviin alaskenaarioihin sekä skenaarioon 2 parantaa puolestaan se, että skenaariossa 3 rinnakkaispolttoon ohjautuu pelkästään yritysjetettä. REF-saanto on yritysjettestä parempi kuin kotitalousjettestä, millä on merkittävä vaikutus tuloksiin. Aiemmin kuvatut alaskenaarioille a ja b tehdyt oletukset paremmista korvaushyödyistä ja pienemmästä sähkötehon menetyksestä parantavat puolestaan alaskenaarioiden 1a ja 1b asemaa erityisesti suhteessa skenaarioon 1c.

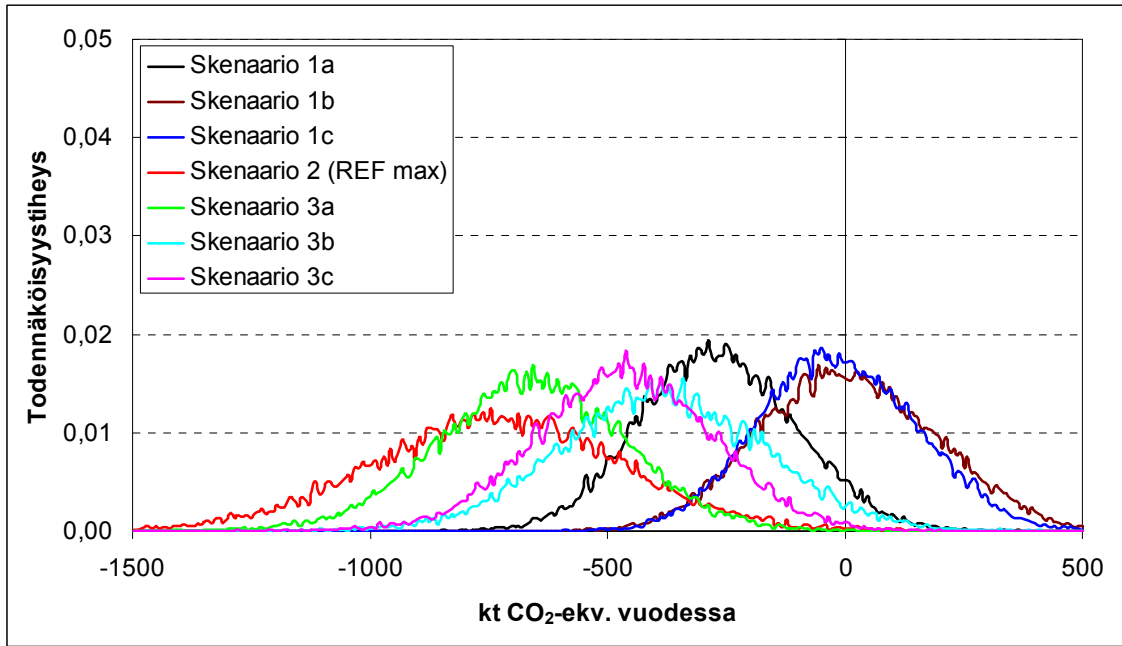
Jätteenpolttolaitosten rakentaminen aiheuttaisi todellisuudessa eroa eri skenaarioiden päästövaikutusten välillä. Tämä vaikutus on kuitenkin rajattu esitettyjen kuvaajien ulkopuolelle luvussa 2.1 esitettyjen epävarmuuksien ja metodisten kysymysten takia. Luvussa 2.1 esitettyjen oletusten pohjalta voidaan kuitenkin karkeasti arvioida, että polttolaitosten rakentaminen aiheuttaa suuruusluokaltaan vähintään 10 kt:n CO<sub>2</sub>-päästölisäyksen jokaista uutta laitosta kohden päästökauppasektorille jo pelkästään teräksen ja betonin lisääntyneen käytön takia. Näiden lisäksi rakentaminen aiheuttaa lukuisia erilaisia pääs-

tövaikutuksia komponenttien valmistuksesta ja kuljetuksista maansiirtotöihin, mutta niiden arvioiminen on erittäin haasteellista. Koska laitosten käyttöikä on kymmeniä vuosia, voidaan rakentamisen päästövaikutusten arvioida olevan käytönaikaisiin päästöihin nähden merkityksettömiä. Lyhyemmän ajan päästötavoitteiden kannalta rakentamisen aiheuttamat päästövaikutukset voivat kuitenkin olla merkittäviä.

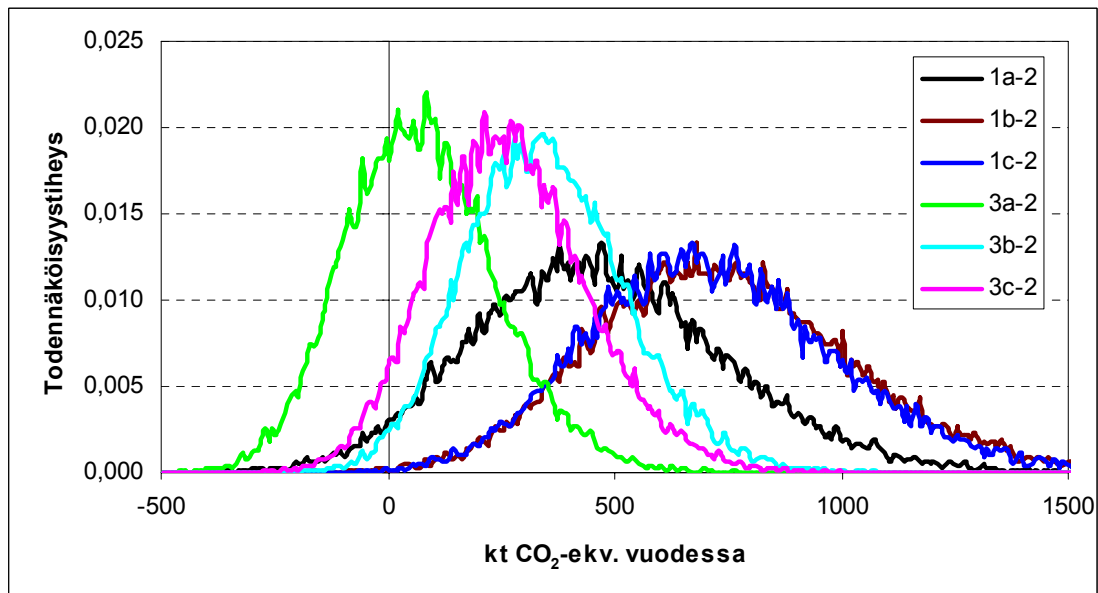
On syytä korostaa, että vaikutukset päästökaupparektorilla eivät aina tapahdu Suomessa, vaan esimerkiksi marginaalisähkön tuotanto voi lisääntyä missä tahansa sähköverkon alueella. Tällä ei kuitenkaan ole merkitystä kansallisten CO<sub>2</sub>-päästövelvoitteiden suhteen, sillä kansallista velvoitetta vuodelle 2020 on esitetty vain päästökaupan ulkopuoliselle sektorille.

### **3.3 Kokonaisvaikutus**

Kuvasta 7 nähdään, että sektoreiden yhteenlasketut kasvihuonekaasupäästöt vähenevät todennäköisesti eniten skenaarioiden 2 tai 3a mukaisissa tilanteissa. Skenaarioiden 1b tai 1c kohdalla yhteenlasketut kasvihuonekaasupäästöt saattavat jopa kasvaa, kun vaikutusta kaatopaikkojen päästöihin ei huomioida. Mikäli alaskenaariolle b olisi oletettu huonompi hyödyksi saatavan lämmön osuus, skenaario 1b olisi ilmastonmuutoksen kannalta epäedullisin, koska siinä korvataan hyvällä sähköhyötysuhteella toimivan kaasuturbiinin tuotantoa.



Kuva 7. Tarkasteltujen skenaarioiden vaikutus sektoreiden yhteenlaskettuihin kasvihuonekaasupäästöihin. Kuvaajassa ei ole huomioitu kaatopaikkojen pienentyneitä metaanipäästöjä eikä myöskään jätekuljetusten muutosten tai rakentamisen aiheuttamia muutoksia päästöissä. Tiheysfunktiot kuvaavat päästövaikutusten todennäköisyyttä annetuilla oletuksilla. Esimerkiksi skenaariot 1b ja 1c saattavat lisätä tai vähentää CO<sub>2</sub>-päästöjä kun kaatopaikkojen päästöjä ei huomioida. Muut skenaariot vaikuttaisivat vähentävän KHK-päästöjä melko varmasti nykytilaan verrattuna.



Kuva 8. Skenaarioiden 1 ja 3 päästövaikutus verrattuna skenaarioon 2. Tiheysfunktiot kuvaavat päästövaikutusten todennäköisyyttä annetuilla oletuksilla. Skenaariolla 3a saavutetaan todennäköisesti lähes yhtä suuret KHK-päästövähennykset kuin skenaariolla 2. Muut skenaariot jäivät todennäköisesti pienempiin päästövähennyksiin.

Kuvasta 8 nähdään, että tarkastelluista skenaarioista ilmastonmuutoksen hillinnän kannalta parhaisiin tuloksiin päästään todennäköisimmin skenaariossa 2. Skenaariossa 3a kasvihuonekaasupäästöt ovat todennäköisesti lähellä skenaarion 2 päästöjä. Skenaario 1 olisi ilmastonmuutoksen hillinnän kannalta todennäköisesti huonoin vaihtoehto parhaalakin alaskenaariollaan. Kuvassa 8 skenaarion 1 alaskenaarioiden epävarmuudet ovat kuitenkin suurempia kuin muiden skenaarioiden. Tämä johtuu siitä, että verrattaessa skenaarioon 2 samojen parametrien epävarmuudet kumoavat toisiaan, jos parametrit vaikuttavat skenaarioissa samalla tavalla. Skenaariossa 3 moni REFin polttoon liittyvä parametri vaikuttaa kuten skenaariossa 2, ja siten kuvassa 8 päästövaikutusten epävarmuus on skenaariossa 3 skenaariota 1 pienempi. Kuvaan 8 kaatopaikoilta pois ohjautuvan jätteen myötä vähenevät kaatopaikkojen metaanipäästöt eivät vaikuta, sillä kaikissa skenaarioissa on tarkasteltu samaa jätemäärää.

### 3.4 Parametrien vaikutus tuloksiin

Laskennassa oli mukana noin sata parametria, joille oli annettu mahdolliset vaihteluvälit. Muuttujat vaikuttavat lopputuloksiin eri tavoin. Monien muuttujien vaikutus lopputulokseen on merkityksettömän pieni, mutta tulokset ovat erityisen herkkiä muutaman muuttujan epävarmuudelle. Nämä muuttujat on esitetty liitteessä B kunkin skenaarion ja sektorin osalta.

Liitteen B kuvissa positiiviset luvut tarkoittavat, että muuttujan kasvaessa päästöt kasvavat. Negatiiviset puolestaan tarkoittavat, että muuttujan kasvaessa päästöt pienenevät. Palkin pituus kuvaa tuloksen riippuvuutta parametrilla. Kaikkien skenaarioiden tällä mittarilla merkittävimmät muuttujat on esitetty liitteen B kuvissa. Alaskenaarioiden merkittävimmät muuttujat olivat kuitenkin monissa tapauksissa täysin samat, joten tällaisissa tapauksissa on esitetty vain yhden alaskenaarion kuvaaja.

Kuten liitteestä B nähdään, olennaisimmat muuttujat ovat monissa skenaarioissa samat. Päästökaupan ulkopuolisten päästöjen kannalta eniten vaikuttavat REFin lämpöarvo ja päästökerroin, polttokelpoisen yhdyskuntajätteen määrä Suomessa, REF-prosessin saanto ja skenaarion 2 osalta erityisesti alitteen kaatopaikalla aiheuttamat päästöt. REFin ominaisuudet vaikuttavat tuloksiin voimakkaasti myös skenaarion 1 osalta, vaikka REF-iä ei kyseisessä skenaariossa poltetakaan, sillä päästöt on aina laskettu REFin kertoimen avulla siten, että samasta jätemäärästä aiheutuu aina sama päästö riippumatta siitä onko siitä jalostettu REF-iä vai ei. Tämä laskentatapa on tarkemmin perusteltu aiemmin tässä julkaisussa.

Päästökauppasektorin päästöt riippuvat voimakkaasti vaikutuksista sähköntuotantoon ja erityisesti marginaalisähkön päästökertoimesta. Myös polttokelpoisen yhdyskuntajätteen

määrällä ja REFin ominaisuuksilla on luonnollisesti olennainen vaikutus tuloksiin. Koska kokonaispäästöt ovat näiden sektoreiden summa, vaikuttavat molemmilla sektoreilla keskeiset parametrit eniten myös kokonaispäästöön. Suurin vaikutus on sähköntuotannon hyötysuhteella ennen REFin polton aloittamista tai lisäämistä ja marginaalisähkön päästökertoimella.

Myös tarkasteltaessa skenaarioiden välisiä eroja edellä mainitut muuttujat aiheuttavat suurimmat epävarmuudet tuloksiin. CHP-laitosten sähköhyötysuhde ennen REFin käytön aloittamista tai lisäämistä sekä REFin lämpöarvo ja päästökerroin sisältävät tällä mittarilla merkittävimmät epävarmuudet. REFin käyttöä maksimoitaessa on myös REFin korvaamalla polttoaineella suuri merkitys. Eroja tarkasteltaessa kaikki merkittävimmät parametrit eivät ole täysin samoja kuin yksittäisten skenaarioiden merkittävimmät parametrit. Monet parametrit vaikuttavat tarkastelluissa skenaarioissa samaan suuntaan, jolloin näiden parametrien merkitys skenaarioiden välisien erojen herkkyyteen vähenee.

### **3.5 Vertailu samankaltaisiin tarkasteluihin**

Myös aikaisemmin tehdyissä tutkimuksissa on kiinnitetty huomiota samoihin vaikutuksiin kuin tässä tarkastelussa. Selvitykset on kuitenkin tehty hieman eri näkökulmasta kuin tämä työ, ja siten tulosten lukuarvojen vertailu suoraan ei ole järkevää. Lähteessä Lohiniva ym. (2002) verrataan jätteen massapolttua REFin polttoon käyttämällä YTV:n aluetta esimerkkinä. Tulosten mukaan REFin käyttö on selvästi ilmastoystävällisempi vaihtoehto kuin jätteenpolttolaitos, mutta tarkastelussa on oletettu, että REF kaasutettaisiin ja tuotekaasu käytettäisiin kivihiilikattiloissa korvaamaan kivihiihtä. Näin vältetään kyseisen tarkastelun massapolttoskenaariion ongelmalta, jossa massapolttolaitoksen tuotannosta saadaan käytännössä hyödynnettyä vain sähköteho, koska nykyiset CHP-laitokset kattavat lähes kaiken lämpökuorman (Lohiniva ym. 2002).

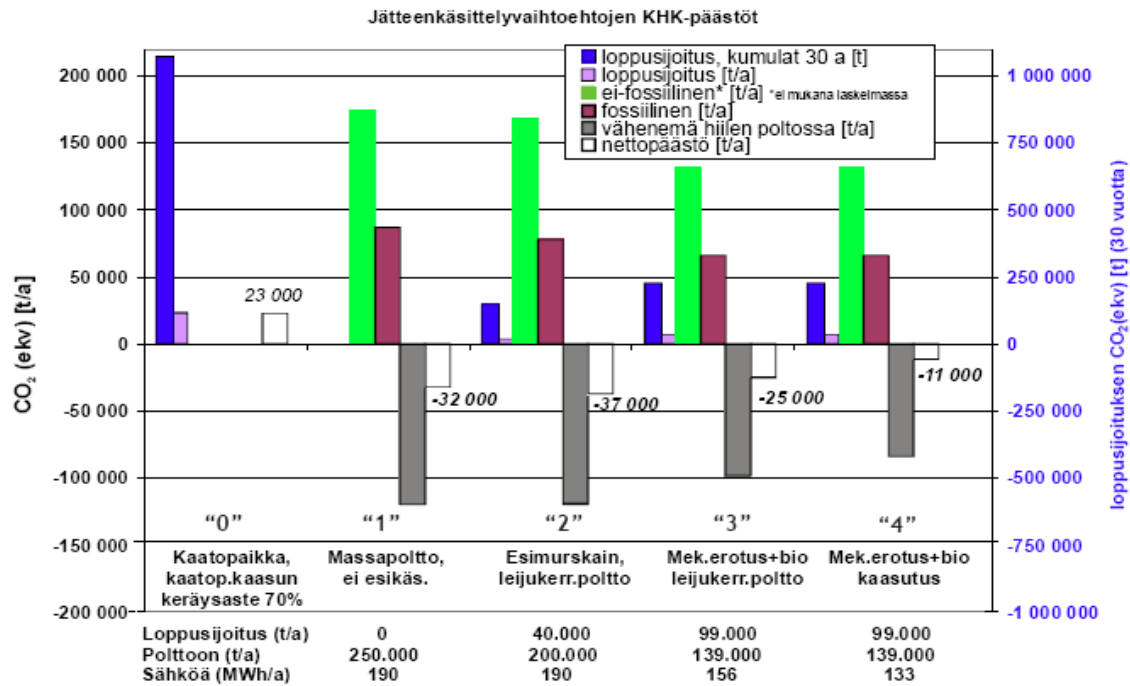
Lähteessä Lohiniva ym. (2002) esitetään laskelmat myös kierrätyspolttoaineen käytön maksimoinnilla saavutettavista päästövähennyksistä verrattuna silloiseen nykykehitykseen ja ilmastostrategiaan. Päästövähennykset korvaushyötyjen kautta (pl. vaikutukset kaatopaikkakaasuihin) ovat noin 1,3 ja 0,9 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuosittain. Tämän työn tuloksista voisi kuvassa 7 esitetyistä skenaariosta 2 arvioida todennäköisimmäksi päästövähennykseksi nykytilaan verrattuna 0,6–0,9 Mt CO<sub>2</sub>-ekv. vuosittain. Tulosten suuruusluokka on sama, ja pieni ero lukuarvoissa johtuu osittain myös muuttuneesta vertailutilanteesta.

Lähteessä Myllymaa ym. (2006) puolestaan vertailtiin kasvihuonekaasupäästöjä tuottamalla tietty sähkö- ja lämpömäärä eri menetelmien avulla. Lähteessä päädyttiin raken-

tamisen ja kuljetusten osalta samankaltaisiin johtopäätöksiin kuin tässäkin tarkastelussa. Jätteenpolttolaitoksen ja kivihiiltä käyttävän CHP-laitoksen sähköntuotannon erotus on korvattu lähteessä Myllymaa ym. (2006) kivihiilellä tuotetulla lauhdesähköllä, jota voidaan pitää karkeana arviona tässä tarkastelussa käytetystä marginaalisähköstä. Lähteessä Myllymaa ym. (2006) on kuitenkin laskettu mm. turpeen CO<sub>2</sub>-päästöt rinnakkaispoltoista mukaan tarkasteluun. Tämä aiheuttaa merkittävän eron tähän tarkasteluun verrattuna, sillä tämän tutkimuksen laskelmissa on oletettu, että REFin käyttö päinvastoin vähentää turpeen polttoa korvaten sitä kattiloissa, joissa turvetta ilman REFin käyttöä poltettaisiin. Lähteessä Myllymaa ym. (2006) on läpinäkyvästi esitetty myös käytetyt parametrit, joissa on joitain eroja tässä työssä käytettyihin verrattuna.

Lähteessä Mroueh ym. (2007) todetaan kierrätyspolttoaineiden käytön olevan ilmastomuutoksen hillinnän kannalta massapolttota parempi vaihtoehto ja laskelmien tuloksia on havainnollistettu kuvalla 9. Kuvassa vaihtoehdot 1 ja 2 ovat lähellä tässä tutkimuksessa vertailtuja polttotapoja, mutta kuva 9 koskee vain pääkaupunkiseutua, kun tässä tutkimuksessa tarkasteltiin koko Suomen jätteitä. Kuvassa 9 vaihtoehtojen 1 ja 2 nettopäästöt ovat lähellä toisiaan. Laskelmissa on kuitenkin huomioitu sekä jätteenpoltoille että REFin rinnakkaispoltoille korvaushyödyt vain sähköntuotannon osalta, sillä pääkaupunkiseudulla ei ole ylimääräistä lämpökuormaa, joka voisi hyödyntää jätevoimalan lämpöä, ellei nykyisten CHP-laitosten tuotantoa vähennetä. Tässä tarkastelussa CHP-laitosten on oletettu vähentävän tuotantoaan lämmön kulutusta vastaavaksi. REFin on puolestaan oletettu ohjautuvan olemassa oleviin leijukerroskattiloihin, jolloin se korvaa niissä enimmäkseen suoraan turvetta, ja korvaushyödyt ovat siten huomattavasti suuremmat kuin pelkästään sähköntuotannon kautta kivihiiltä korvattaessa.





Kuva 9. Eri jätteenkäsittelyvaihtoehtojen kasvihuonekaasupäästöt YTV-alueella (Mroueh ym. 2007).

Poltettuun jätemäärään suhteutettuna kuvan 9 päästövähennykset mahtuvat tämän tarkastelun tuloskuvaajien todennäköisimpien vaikutusten joukkoon jätteenpolttolaitoksien (tapaus 1 vs. tämän tutkimuksen skenaario 1a) osalta sekä päästökauppasektorilla että sen ulkopuolella. Päästökauppasektorin vaikutusten samankaltaisuus tarkoittaa sitä, että korvaushyötyjen laskentatavan merkitys oli ainakin tässä tapauksessa melko pieni. Päästökauppasektorin ulkopuolisten päästöjen kuuluukin olla lähellä toisiaan, sillä tutkimuksissa käytetyissä lähestymistavoissa ei tältä osin ollut merkittävää eroa. REFin rinnakkaispolton osalta tulokset eivät vastaa toisiaan muuta kuin päästökaupan ulkopuolisen sektorin osalta (alitteesta aiheutuva, kokonaisuuteen verrattuna pieni päästö). Tämä johtuu edellä kuvatusta erosta korvaushyötyjen laskennassa.

## 4. Yhteenveto

EU:n tavoitteet ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi ja kaatopaikoille sijoitettavan jätemäärän vähentämiseksi sekä kohonneet energiakustannukset ovat lisänneet kiinnostusta jätteen energiasisällön hyödyntämiseen. Jätteiden energiahyödyntäminen voidaan jakaa karkeasti kahteen yleiseen tapaan. Nämä ovat syntypaikkalajitellun jätteen poltto yleensä arinatekniikkaa käyttäen ja jätteistä jalostetun kierrätyspolttoaineen polttaminen rinnakkaispolttona muiden polttoaineiden kanssa. Lisäksi on olemassa erilaisia esimerkiksi kaasutukseen perustuvia ratkaisuja, mutta Suomessa arinapoltto ja rinnakkaispoltto leijupetikattiloissa ovat merkittävät vaihtoehdot nykyisten laitosten ja laitossuunnitelmien perusteella. Esimerkiksi kaasutuksella voidaan kuitenkin saavuttaa hyviä tuloksia myös kasvihuonekaasupäästöjen kannalta (Myllymaa ym. 2006).

Yhtenä rinnakkaispolton hyötynä käsittelemättömän jätteen polttoon nähden on parempi sähköntuotannon hyötysuhde. Tämä vaikuttaa merkittävästi näiden jätteenpolttotapojen aiheuttamiin ilmastovaikutuksiin, sillä tuotetulla sähköllä korvataan niin sanottua marginaalisähköä, jonka tuottaminen aiheuttaa keskimäärin verrattain suuret CO<sub>2</sub>-päästöt. Toisaalta, kierrätyspolttoaineen jalostamisessa kuluu energiaa ja osa jätteen energiasisällöstä jää hyödyntämättä. Lisäksi biohajoava osa hyödyntämättä jääneestä jätteestä aiheuttaa metaanipäästöjä, jos se loppusijoitetaan kaatopaikalle.

Ilmastovaikutusten kannalta olennainen kysymys on, mitä jätteistä saatavalla energialla korvataan. Kierrätyspolttoaine korvaa yleensä turpeen käyttöä leijupetikattiloissa. Mikäli kierrätyspolttoaineen käyttö lisääntyisi huomattavasti tulevaisuudessa, pieni osuus siitä voi korvata myös muita polttoaineita. Jätteenpolttolaitoksen korvaama lämpö puolestaan riippuu alueesta, jolle jätteenpolttolaitos rakennetaan. Tyypillisesti lämpö korvaa maakaasun tai kivihiilen käyttöä kaukolämmön tai teollisuuden höyryn tuotannossa. Myös öljyn käyttö vähentynee hieman, mikäli jätteenpolttolaitoksia tulee skenaarion 1 mukaisesti.

Jätteenpolton tai rinnakkaispolton mahdollisesti korvaamista puupolttoaineista ei tule suoria laskennallisia korvaushyötyjä CO<sub>2</sub>-päästöjä ajatellen. Puupolttoaineet kuitenkin vapautuvat tällöin johonkin muuhun käyttöön ja mm. EU:n energia- ja ilmastotavoitteiden (erityisesti tavoitteet uusiutuvan energian osuuden kasvattamisesta) takia on syytä olettaa, että taloudellisesti saatavilla oleville puupolttoaineille on paljon kysyntää. On kuitenkin kyseenalaista, voidaanko mahdollisia korvaushyötyjä laskea jätteenpolttolaitoksen eduksi. Tässä tutkimuksessa esimerkiksi paperitehtaalta mahdollisen jätteenpolttolaitoksen takia vapautuvalle, aikaisemmin poltetulle kuorelle on annettu korvaushyödyksi päästökerroin tasajakaumalla väliltä 0–105,9 t/TJ eli on oletettu, että se vähentää jonkin muun puupolttoaineen polttoa, turpeen polttoa tai jotain näiden väliltä. Korvattavien

polttoaineiden päästöistä on tässä tutkimuksessa huomioitu ainoastaan polton CO<sub>2</sub>-päästöt, sillä ne kattavat suurimman osan polttoaineiden elinkaaren päästöistä.

Koska jätteenpolttolaitoksen tuottamalla lämmöllä korvataan tyypillisesti alueella toimivan CHP-laitoksen lämmön tuotantoa, vähenee myös CHP-laitoksen sähköntuotanto. Menetetty sähköntuotanto korvataan lisäämällä ns. marginaalisähkön tuotantoa. Sähkön hinnan ollessa korkea monilla CHP-laitoksilla on myös mahdollista lisätä sähköntuotantoaan apujäähdyttimillä tai turbiinien lauhdeperiä käyttämällä, vaikka kaukolämpökuormaa ei jätteenpolttolaitoksen ansiosta enää yhtä paljon olisikaan. Tällöin jätteenpolttolaitoksen ei voida kuitenkaan katsoa vähentävän CHP-laitoksen polttoaineiden käyttöä ja siten CO<sub>2</sub>-päästöjä. Tässä tutkimuksessa oletettiin jätteenpolttolaitoksille suotuisalla tavalla, että lämmön tuotanto vähentää polttoaineen käyttöä jossain muussa laitoksessa aina kun lämpökuormaa on alueella tarpeeksi. Esimerkiksi kesällä kaukolämpöä ei kuitenkaan välttämättä tarvita mitoitettua määrää, mutta jätteet on kuitenkin hävitettävä. Lähteiden Lohiniva ym. (2002) ja Mroueh ym. (2007) perusteella on mahdollista arvioida jätteenpolton ilmastovaikutuksia, kun oletetaan, ettei CHP-laitosten sähköntuotanto vähene uuden jätteenpolttolaitoksen myötä.

Ilmastovaikutuksia tarkasteltiin tässä työssä sektoreittain, koska EU on ehdottanut erilliset tavoitteet päästökauppasektorille ja päästökaupan ulkopuoliselle sektorille vuodelle 2020. Päästökauppasektorilla saavutetaan suurimmat CO<sub>2</sub>-päästövähennykset skenaarioiden 1a ja 3a mukaisilla tilanteilla, jos voidaan varmistaa, että jätteenpolttolaitoksen lämmöntuotannolla todella saadaan vähennettyä muiden polttoaineiden kulutusta tehokkaasti ympäri vuoden (myös lämpimien kesäkuukausien aikana) ja että mm. pääkaupunkiseudulla korvattava polttoaine olisi kivihiili eikä maakaasu. Tällöin päästökauppasektorin päästöt vähenisivät vuosittain todennäköisesti noin 0–500 kt enemmän kuin skenaarion 2 (rinnakkaispolton maksimointi) mukaisessa tilanteessa. Jos jätteenpoltolla korvataan maakaasun käyttöä CHP-tuotannossa, jossa on hyvä sähköhyötysuhde, CO<sub>2</sub>-päästöt todennäköisesti kasvavat, koska menetetty sähköntuotanto joudutaan korvaamaan kulloinkin marginaalissa olevalla sähköntuotannolla. Joissain teollisuusprosesseissa suuri höyryntarve huonontaa CHP-laitoksen sähköntuotannon hyötysuhdetta, ja maakaasua käyttävän CHP-laitoksen korvaaminen jätteenpoltolla voi jätteen päästökerroimesta riippuen olla myös ilmastonmuutoksen hillinnän kannalta perusteltua. Ainoastaan prosesseissa käytettävän lämmön tuottamiseksi poltetun maakaasun korvaaminen jätteenpolttolaitoksen lämmöllä voi olla ilmastonmuutoksen kannalta järkevää, koska tällöin ei menetetä hyvästä sähköntuotannon hyötysuhteesta saatuja hyötyjä.

Päästökaupan ulkopuolisella sektorilla erot tarkasteltujen skenaarioiden välillä ovat suuremmat kuin päästökauppasektorilla. Koska rinnakkaispolton CO<sub>2</sub>-päästöt lasketaan päästökauppasektorille, ovat skenaariossa 2 päästökaupan ulkopuolisen sektorin päästöt vuosittain noin 200–500 kt CO<sub>2</sub> pienemmät kuin skenaariossa 3 ja noin 500–800 kt CO<sub>2</sub>

pienemmät kuin skenaariossa 1. Ero skenaarioiden 1 ja 2 välillä vastaa noin 3–9 % koko päästökaupan ulkopuolisen sektorin päästövähennysvelvoitteesta Suomessa. Ero skenaarioiden 2 ja 3 välillä on jopa 8–14 % koko sektorin tavoitteesta. Koska päästökaupan ulkopuoliselle sektorille kuuluvat jätehuollon lisäksi mm. liikenne, maatalous ja asuminen, joiden päästöjen vähentäminen nopealla aikataululla on erittäin haasteellista, jopa 14 %:n eroa niille jäävässä päästövähennystaakassa voidaan pitää huomattavana.

Edellä esitetyt tulokset sisältävät oletuksen, että jätteenpolttolaitokset on rajattu päästökaupan ulkopuolelle. Oletus on perusteltu mm. EC 2008a -direktiiviehdotuksen ja aiempien päästökaupan käytäntöjen takia. Kansallisilla ja kansainvälisillä päätöksillä jätteenpolttolaitoksia voitaneen kuitenkin sisällyttää tulevaisuudessa päästökaupan piiriin (mm. seuraavalla päästökaupakaudella), ja erilaiset tekniset ratkaisut voivat aiheuttaa epäselvyyttä joidenkin laitosten suhteen.

Ilmastonmuutos ei kuitenkaan tunne sektorirajoja, ja siksi olennaista on myös laskea yhteen tarkasteltujen sektoreiden kasvihuonekaasupäästövaikutukset. Tällä mittarilla skenaarioiden 2 ja 3a vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin ovat epätarkkuuden rajoissa samat. Skenaarioissa 3b ja 3c kasvihuonekaasupäästöt vähenevät vuosittain noin 100–500 kt vähemmän kuin skenaariossa 2. Skenaario 1 on tarkastelluista skenaarioista tällä mittarilla huonoin, koska siinä REFin jalostukseen kotitalousjätettä paremmin soveltuva yritysjetettä ajautuu jalostamattomana jätteenpolttolaitoksiin. Kokonaisvaikutuksiltaan kasvihuonekaasupäästöihin REFin käytön maksimointi (skenaario 2) ei kuitenkaan poikkea paljoa skenaariosta 3 jos voidaan varmistaa, että jätteenpolton lämmöllä korvataan enimmäkseen kivihiilen tai turpeen käyttöä eikä esimerkiksi maakaasun käyttöä CHP-tuotannossa.

Tarkastelun tulokset on pyritty esittämään enimmäkseen eroina eri skenaarioiden välillä. Tämä johtuu siitä, ettei laskelmissa ollut tämän tarkastelun puitteissa mahdollista ottaa huomioon jätteen kaatopaikkasijoituksen vähenemisen takia vähentyviä metaanipäästöjä, jotka ovat merkittävä hyöty jätteen energiahyödyntämisen päästövaikutuksia arvioitaessa. Metaanipäästöjen vähentämisen mallintaminen vaatisi aikadynamiikan huomiointia ja siten jonkinlaisen valinnan myös tarkasteltavasta aikajaksosta ja investointien toteuttamisen aikataulusta. Kun tarkastellaan jätteen eri energiahyödyntämistapojen välisiä eroja samalla jätemäärällä, vältetyt metaanipäästöt ovat kaikissa tapauksissa samat eikä erotuksiin aiheudu virhettä kun huomioidaan jalostuksesta kaatopaikoille aiheutuva kuormitus (REFin valmistuksen alite).

Jätteenpoltosta tai rinnakkaispoltosta saattaa seurata myös muita tämän tarkastelun tulosten ulkopuolelle rajattuja hyötyjä. Uusi kaukolämpökapasiteetti tai REFin rinnakkaispolton tapauksessa edullisempi polttoaine saattaa kannustaa ihmisiä liittymään kaukolämpöön. REFin jalostusprosessissa tai jätteenpolton tuhkasta on mahdollista erottaa

materiaalikierrätykseen kelpaavia sivuvirtoja, joiden korvaushyödyt voivat olla sivuvirran kokoon nähden suuria. REFiä on mahdollista polttaa sementtiuuneissa, jolloin korvataan kivihiilen polttoa menettämättä sähköntuotantoa. Myös REFin jalostuksesta syntyvää alitetta on mahdollista hyötykäyttää, jolloin korvaushyötyjen lisäksi vältettäisiin alitteista kaatopaikoilla aiheutuva metaanipäästö. Vaikka alitetta ei muuten hyötykäytettäisikään, sen kompostoiminen tai mädätys voi kuitenkin olla mahdollista ja siten alitteesta aiheutuvat päästöt pienemmät ja korvaushyödyt suuremmat kuin tämän työn laskelmissa (Myllymaa ym. 2006). Näiden asioiden huomioiminen laskelmissa objektiivisella tavalla edellyttäisi lisätutkimusta aiheesta.

Jätteen päästökerroin on huonosti tunnettu ja tässä tutkimuksessa on käytetty sille arviota. Arvion merkitys pienenee, kun tarkastellaan eroja skenaarioiden välillä, joten kerroimen käyttö ei tässä yhteydessä aiheuta suurta epätarkkuutta tuloksiin. Jätteenpolton CO<sub>2</sub>-päästöjä olisi kuitenkin mahdollista mitata verrattain pitkältikin aikajaksolta ns. biohiilimenetelmällä, joka perustuu savukaasujen 14C-isotoopin mittaamiseen (Hämäläinen ym. 2007). Näin voitaisiin välttää epätarkkojen päästökertoimien käyttö jätteenpolton päästöarvioissa.

Uusien laitosten rakentamisen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt vaikuttaisivat merkityksettömän pieniltä verrattuna laitoksen käytön aikaisiin päästöihin. Arvio perustuu kuitenkin hyvin karkeisiin lukuihin, ja siinä huomioidaan ainoastaan kulutetun teräksen ja betonin valmistuksen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt. Esimerkiksi energiaintensiivistä teräksen jatkojalostusta ei ole huomioitu, ja siksi rakentamisen todelliset kasvihuonekaasupäästöt ovatkin huomattavasti esitettyä arviota suurempia. Rakentamisen päästövaikutus on mielenkiintoinen tämän tarkastelun kannalta, sillä se kohdistuu erityisesti jätteenpolttolaitoksiin ja aiheuttaa siten eroa rinnakkaispolton ja jätteenpolttolaitosten ilmastovaikutusten välille. Rakentamisen vaikutuksia ei voitu luotettavan tiedon puutteen vuoksi sisällyttää tämän työn tuloksiin, ja tulosten tarkentaminen vaatisikin lisätutkimusta.

Jätteiden kuljetuksiin aiheutuu muutoksia, jos niitä aletaan kuljettaa polttoon tai REFin valmistukseen. Jätteet kuitenkin kuljetetaan jo nyt kaatopaikoille sijoitettaviksi, joten muutosten aiheuttamat vaikutukset skenaarioiden välisiin eroihin kasvihuonekaasupäästöissä lienevät merkityksettömän pienet. Myös tuhkan kuljetuksista ja käsittelystä aiheutuneet pieniä eroja eri skenaarioiden välille, mutta ne on rajattu tämän tutkimuksen ulkopuolelle.

Mielenkiintoinen kysymys on myös jätteenpolttolaitoksista tuleva lisäkapasiteetti kansalliseen sähköntuotantoon. Uusi kapasiteetti korvaa tulevaisuudessa poistuvaa kapasiteettia, mutta jätteenpolttolaitokset ovat todennäköisesti ilmastovaikutuksiltaan ja rakennusasteeltaan monia voimalaitoksia huonompia vaihtoehtoja. Toisaalta ilmaston-

muutoksen kannalta olisi tehokkainta vähentää jätteen syntymistä, jolloin jätteenpolttolaitokset ovat vaarassa jäädä ilman polttoainetta. Myös materiaalikierrätyksen parantaminen vähentäisi jätteenpolttolaitosten polttoainemäärää. Jätteenpolttolaitoksissa ei kannata polttaa voimalaitoksiin tarkoitettuja polttoaineita huonon sähköntuotannon hyötysuhteen takia. Koska laitosten odotettu käyttöikä on pitkä, on jätemäärän väheneminen tulevaisuudessa huomion arvioinen seikka.

Merkittäviä epävarmuuksia työhön aiheuttaa yhdyskuntajätteestä jalostetun REFin käytökokemuksien puuttuminen. Erityisesti REFin käytön vaikutus sähköntuotannon hyötysuhteeseen on merkittävä tekijä tulosten epävarmuutta ajatellen. Mikäli REFiä poltetaan teollisuuden kattiloissa, joista tarvitaan höyryä prosesseihin, ei menetys sähköntuotannossa ole niin suuri kuin sähköntuotantoon optimoidussa CHP-kattilassa, jossa on korkeat höyryn arvot. Toisaalta esimerkiksi lähteen Tekes (2008) mukaan REFin rinnakkaispolton sähköntuotannon hyötysuhdetta voidaan tulevaisuudessa nostaa huomattavasti, jolloin REFin rinnakkaispolton kannattavuus suhteessa jätteenpolttolaitoksiin paranee. Ilmastomielessä parhaan korvaushyödyn jätteenpolttolaitoksista saa, kun korvataan turpeen polttoa lämpökeskuksissa. Tällöin ei menetetä CHP-tuotannosta saatavaa sähköntuotantoa. Alaskenaariossa a haettiin parasta ilmastovaikutusta juuri olettamalla, että korvattavat yhdyskunnan laitokset ovat lämpökeskuksia. Tämä oletus ei ehkä ole täysin realistinen, koska se koski verrattain suurta jätemäärää.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltujen jätteen energiahyödyntämistapojen kustannuksia on käsitelty mm. lähteissä Lohiniva ym. (2002) ja Mroueh ym. (2007). Kustannuksissa on huomattavia eroja mm. REFin vaatiman jalostusprosessin ja toisaalta jätteenpolton vaatimien uusien kattiloiden takia. Tässä selvityksessä ei ollut mahdollisuutta suhteuttaa eri skenaarioissa saavutettuja päästövähennyksiä niissä aiheutettuihin kustannuksiin tai saavutettuihin säästöihin. Taloudellisten vaikutusten arvioiminen olisi kuitenkin tärkeää optimaalisen ratkaisun löytämiseksi ja vaatisi jatkotutkimushankkeen. Lähteessä Lohiniva ym. (2002) on arvioitu, että tuleviin kaatopaikkamaksuihin nähden energiahyödyntämisen lisäkustannukset ovat mitättömiä.

Jätteiden energiasisältö tullaan luultavasti hyödyntämään tulevaisuudessa enimmäkseen tässä työssä tarkastelluilla tekniikoilla. Ilmastonmuutoksen hillinnän haastavien vaatimusten takia on olennaista, että investoinnit nopeasti takaisin maksavat päästövähennyiskohteet, kuten jätteet, hyödynnetään optimaalisella tavalla. Koska eri hyödyntämistapojen vaikutukset ulottuvat jopa maamme rajojen ulkopuolelle mm. sähköjärjestelmän kautta, tässä työssä esitetyt järjestelmätarkastelun tulokset on syytä huomioida aihetta koskevassa päätöksenteossa kapea-alaisempien tarkastelujen lisäksi. Materiaalikierrätykseen tai REF-jalostukseen hyvin sopivien jätevirtojen ohjautumista sellaisenaan jätteenpolttolaitoksiin on syytä pyrkiä välttämään.

## Lähdeluettelo

Betoni 2008. Mitä betonin valmistuksessa tehdään? *www.betoni.com* (viitattu 1.7.2008)

EC 2008a. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council amending Directive 2003/87/EC so as to improve and extend the greenhouse gas emission allowance trading system of the Community. Commission of the European Communities, COM(2008) 16 final, Brussels 23.1.2008.

EC 2008b. Proposal for a Decision of the European Parliament and of Council on the effort of Member States to reduce their greenhouse gas emissions to meet the Community's greenhouse gas emission reduction commitments up to 2020. Commission of the European Communities, COM(2008) 17 final, Brussels 23.1.2008.

EC 2008c. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources. Commission of the European Communities, COM(2008) 19 final, Brussels 23.1.2008.

EMV 2008. Energiamarkkinaviraston internetsivujen päästölupapäätökset -osa. *www.emvi.fi* (viitattu 6/2008).

Hannula, J. 2008. Lassila & Tikanojan Turun laitoksella mitattuja ominaiskulutuksia RE-Fille kotitalousjätteen koeajoissa. Henkilökohtainen tiedonanto sähköpostilla 27.5.2008.

Hietanen, L. 2008. Henkilökohtaiset haastattelut toukokuussa 2008.

Hämäläinen, K., Jungner, H., Antson, O., Roine, J., Räsänen, J. & Tormonen, K. 2007. Measurement of biocarbon in flue gases using C14 method, Radiocarbon, Vol. 49, No. 2, 2007.

IISI 2005. International Iron and Steel Institute. Steel: The Foundation of a Sustainable Future – Sustainability Report of the World Steel Industry 2005.

JLY 2008. Jätelaitosyhdistyksen internetsivujen energiahyödyntäminen -osa. *www.jly.fi/energia1.php* (viitattu 6/2008)

Kirkinen, J., Soimakallio, S., Mäkinen, T., McKeough, P., Savolainen, I. 2007. Turvepohjaisen F-T-dieselin tuotannon ja käytön kasviuonevaikutukset. VTT Tiedotteita 2418. Helsinki 2008. 45 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2418.pdf>

KTM 2005. Teknologiaa kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen. Ohlström, M. & Savolainen, I. (toim.) KTM julkaisuja 1/2005.

Lohiniva, E., Sipilä, K., Mäkinen, T. & Hietanen, L. 2139. Jätteiden energiakäytön vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin. Espoo 2002. VTT Tiedotteita 2139. 119 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2139.pdf>

M-Real 2007. Kirkniemen tehtaan energiantuotannon uudistaminen, Mangsin Voima-hanke. Ympäristövaikutusten arviointiselostus. Pöyry Energy Oy.

Mroueh, U.-M., Ajanko-Laurikko, S., Arnold, M., Laiho, A., Wihersaari, M., Savolainen, I., Dahlbo, H. & Korhonen, M.-R. Uusien jätteenkäsittelykonseptien mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä [New waste management concepts in the reduction of greenhouse gas emissions]. Espoo 2007. VTT Tiedotteita – Research Notes 2402. 170 s. + liitt. 5 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2402.pdf>

Myllymaa, T., Tohka, A., Dahlbo, H. & Tenhunen, J. Ympäristönäkökulmat jätteen hyödyntämisessä energiana ja materiaalina. Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016. Taustaselvitys Osa III. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 12/2006. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=57493&lan=fi> (viitattu 4.7.2008).

Rautaruukki 2006. Ympäristöraportti vuodelta 2006.

Teknologiapolut 2050. Teknologian mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen syvien rajoittamistavoitteiden saavuttamiseksi Suomessa. Taustaraportti kansallisen ilmasto- ja energiastrategian laatimista varten. Savolainen, I., Sipilä, L., Syri, S. & Ohlström, M. (toim.) VTT, Espoo. 215 s. VTT Tiedotteita – Research Notes: 2432. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2008/T2432.pdf>

Soimakallio, S., Mäkinen, T., Ekholm, T., Pahkala, K., Mikkola, H. & Paappanen, T. 2008. Greenhouse gas balances of transportation biofuels, electricity and heat generation in Finland – Dealing with the uncertainties. Submitted to Energy Policy.

Stormossen 2007. Ab Stormossen Oy, Jätteen energiakäyttöhankkeen ympäristövaikutusten arviointiohjelma. Ramboll Finland Oy.

Tekes 2008. Development and demonstration of advanced srf co-firing concept for high efficiency fb chp boilers. Tiivistelmä projektista.

<http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/ClimBus/fi/system/projekti.html?id=9356855&nav=Projekti> (viitattu 7.8.2008)



Tilastokeskus 2008a. Suomen kasvihuonekaasupäästöt 1990–2006. Katsauksia 2008/2, Ympäristö ja luonnonvarat. Tilastokeskus, 2008.

[http://tilastokeskus.fi/tup/khkinv/katsauksia\\_2008\\_02\\_2008-04-18\\_fi.pdf](http://tilastokeskus.fi/tup/khkinv/katsauksia_2008_02_2008-04-18_fi.pdf)

Tilastokeskus 2008b. Jätetilasto, Yhdyskuntajätteet vuonna 2006.

[http://www.tilastokeskus.fi/til/jate/2006/jate\\_2006\\_2007-11-15\\_tau\\_001.html](http://www.tilastokeskus.fi/til/jate/2006/jate_2006_2007-11-15_tau_001.html) (viitattu 4.7.2008)

Tilastokeskus 2008c. Kasvihuonekaasuinventaariossa käytettävä polttoaineluokitus.

[http://www.tilastokeskus.fi/tup/khkinv/khkaasut\\_polttoaineluokitus.html](http://www.tilastokeskus.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html) (viitattu 4.7.2008)

Tuhkanen, S. 2002. Jätehuollon merkitys Suomen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Kaatopaikkojen metaanipäästöt ja niiden talteenotto [Mitigation of greenhouse gases from waste management in Finland Methane (CH<sub>4</sub>) emissions from landfills and landfill gas recovery]. Espoo 2002. VTT Tiedotteita – Research Notes 2142. 46 s.

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2142.pdf>

VALTSU 2008. Kohti kierrätysyhteiskuntaa. Valtioneuvoston 10.4.2008 hyväksymä valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016. 27 s.

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=83458&lan=fi> (viitattu 4.7.2008)

YM 2004. Ympäristöministeriö, Kansallinen strategia biohajoavan jätteen kaatopaikkakäsittelyn vähentämisestä.

YTV 2007. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunnan (YTV) jätevoimalahankkeen ympäristövaikutusten arviointiselostus. Pöyry Energy Oy.

# Liite A: Laskennassa käytetyt muuttujat

|  | jakauma  | min   | default | max   | yksikkö                                       | lähde  |
|--|----------|-------|---------|-------|---|--------|
| <b>Jätteenpolttolaitosten kapasiteetit toteutuessaan</b>   |          |       |         |       |   |        |
| Ekokem   | normaali | 140   | 150     | 160   | kt/a  | 1      |
| Kotka  | normaali | 90    | 100     | 110   | kt/a  | 1      |
| Lohja  | normaali | 350   | 375     | 400   | kt/a  | 1      |
| Hämeenkyrö   | normaali | 150   | 200     | 250   | kt/a  | 1      |
| Turku  | normaali | 100   | 150     | 200   | kt/a  | 1      |
| Oulu   | normaali | 120   | 130     | 140   | kt/a  | 1      |
| Vaasa  | normaali | 120   | 135     | 150   | kt/a  | 1      |
| YTV  | normaali | 300   | 320     | 340   | kt/a  | 2      |
| <b>Jätteenpolttolaitosten tuotantotietojen vaihteluvälit ja korvattavat polttoaineet (Kotka ja Ekokem eivät aiheuta eroja skenaarioihin)</b> |          |       |         |       |   |        |
| Korvattava maakaasumäärä Kirkniemessä  | normaali | 800   | 900     | 1000  | GWh/a   | 3      |
| Lohjan lämpökeskuksen KL-kuorma (korvattava pa kivihiihi)  | normaali | 50    | 60      | 70    | GWh/a   | 4      |
| Lisääntynyt ostosähkömäärä Kirkniemessä  | normaali | 150   | 160     | 170   | GWh <sub>e</sub> /a                           | 3      |
| Kirkniemestä vapautuva puupolttolainne   | normaali | 80    | 100     | 120   | GWh/a   | 3      |
| - Puulla korvattavan pa:n päästökerroin  | tasa     | 0     | 53      | 105,9 | tCO <sub>2</sub> /TJ <sub>pa</sub>            | 5      |
| Hämeenkyrön laitoksen sähköntuotanto   | normaali | 55    | 70      | 85    | GWh <sub>e</sub> /a                           | 6      |
| Hämeenkyrön lämmöntuotanto (sis. höyry, korvattava pa maakaasu)  | normaali | 370   | 400     | 430   | GWh/a   |        |
| Turun laitoksen sähköntuotanto   | normaali | 75    | 85      | 95    | GWh <sub>e</sub> /a                           | 7      |
| Turun lämmöntuotanto (korvattava pa kivihiihi)   | normaali | 260   | 280     | 300   | GWh/a   |        |
| Oulu, sähkö  | normaali | 60    | 68      | 76    | GWh <sub>e</sub> /a                           | 8      |
| Oulu, lämpö (sis. höyry, korvattava pa turve)  | normaali | 312   | 332     | 352   | GWh/a   |        |
| Vaasa, sähkö   | normaali | 70    | 80      | 90    | GWh <sub>e</sub> /a                           | 9      |
| Vaasa, lämpö (korvattava pa kivihiihi)   | normaali | 220   | 250     | 280   | GWh/a   |        |
| Muiden kuin em. jätteenpolttolaitosten ja rinnakkaispoltoissa REF:n osuuden HKA  | normaali | 7000  | 7500    | 8000  | h/a   | 8 ja 9 |
| YTV:n sähköteho  | normaali | 20    | 25      | 30    | MW  | 2      |
| YTV:n lämpöteho  | normaali | 68    | 78      | 88    | MW  |        |
| Muiden kuin em. laitosten sähköntuotanto   | normaali | 0,28  | 0,44    | 0,59  | GWhe / kt <sub>jätettä</sub>                  | 10     |
| Muiden kuin em. laitosten lämmöntuotanto   | normaali | 1,5   | 1,7     | 1,9   | GWhe / kt <sub>jätettä</sub>                  | 10     |
| <b>Korvaushyödyt</b>   |          |       |         |       |   |        |
| REF:llä korvattavan pa:n EF (sken. 2)  | normaali | 94,6  | 100,3   | 105,9 | tCO <sub>2</sub> /TJ <sub>pa</sub>            | 5      |
| Kokonaishyötysuhde   | normaali | 0,8   | 0,84    | 0,88  | (sähkö+lämpö)/pa                              | 11     |
| Teollisuuden (ympärivuotinen kuorma) osuus kuvitteellisten laitosten lämpökuormasta (alaskenaariot a ja b)                                   | normaali | 0,2   | 0,5     | 0,8   | osuus täydestä tuotannosta                    | arvio  |
| Kaukolämmön hyödyntäminen Vaasan laitoksella ja alaskenaarioiden a ja b kuvitteellisilla laitoksilla   | normaali | 0,75  | 0,88    | 1     | osuus täydestä tuotannosta                    | 9      |
| Turpeen osuus kuvitteellisten laitosten korvaamasta kaukolämmöstä (alaskenaariot a ja b)   | normaali | 40    | 70      | 100   | % polttoaine-energiasta                       | arvio  |
| Kuvitteellisista jätteenpolttolaitosta hyödyksi saatava lämpö alaskenaariossa c  | normaali | 0,6   | 0,75    | 0,9   | osuus täydestä tuotannosta                    | arvio  |
| CHP-kattilat, sähköntuotannon hyötysuhde ennen REF:n käytön aloittamista tai lisäystä  | normaali | 0,22  | 0,31    | 0,41  | MWh <sub>sähköä</sub> / MWh <sub>pa</sub>     | 12     |
| Marginaalisähkön keskimääräinen päästökerroin  | tasa     | 55    | 75      | 95    | tCO <sub>2</sub> /TJ <sub>pa</sub>            | 13     |
| Keskimääräinen sähköhyötysuhde marginaalisähkölle  | normaali | 0,30  | 0,33    | 0,36  | MWh <sub>e, ulos</sub> / MWh <sub>pa</sub>    | arvio  |
| Maakaasun EF   | normaali | 54    | 55      | 56    | tCO <sub>2</sub> /TJ <sub>pa</sub>            | 5      |
| Raskaan polttoöljyn EF   | normaali | 78    | 78,8    | 79,6  | tCO <sub>2</sub> /TJ <sub>pa</sub>            | 5      |
| Kivihiihen EF  | normaali | 94    | 94,6    | 95,2  | tCO <sub>2</sub> /TJ <sub>pa</sub>            | 5      |
| Turpeen EF   | normaali | 105   | 105,9   | 106,8 | tCO <sub>2</sub> /TJ <sub>pa</sub>            | 5      |
| Hapetuskerroin kiinteät  | normaali | 0,985 | 0,99    | 0,995 |   | 14     |
| Hapetuskerroin neste ja kaasu  | normaali | 0,99  | 0,995   | 1     |   |        |
| <b>Jättemäärä Suomessa sekä REF:n poltto-ominaisuudet ja valmistus</b>   |          |       |         |       |   |        |
| Polttokelpoista yhdyskuntajätettä (sisältää nykyisin poltettavat)  | normaali | 1512  | 1662    | 1812  | kt/a  | 15     |
| - Tästä kotitalouksista  | normaali | 40    | 50      | 60    | m-%   | 16     |
| REF LHV yritysjetille  | normaali | 15    | 20      | 25    | GJ/t  | 5      |
| REF LHV kotitalousjetille  | normaali | 9,2   | 11,2    | 14,2  | GJ/t  | 17     |
| REF EF yritysjetille   | normaali | 26,8  | 31,8    | 36,8  | g/MJ  | 5      |
| Sähköntuotannon hyötysuhde REF:n rinnakkaispoltoissa   | normaali | 20    | 23      | 25    | %   | 18     |
| REF:n valmistuksen sähkön kulutus  | normaali | 29    | 32      | 34    | kWh/t REF                                     | 17     |
| Dieselin EF  | normaali | 72,6  | 74      | 75    | tCO <sub>2</sub> /TJ <sub>pa</sub>            | 5      |
| Alite yritysjetteen REF-jalostuksesta  | normaali | 10    | 15      | 20    | m-% syötteestä                                | 19     |
| Alite kotitalousjetteen REF-jalostuksesta  | normaali | 24    | 34      | 44    | m-% syötteestä                                | 17     |
| CH <sub>4</sub> -muodostuminen alitteesta  | normaali | 0     | 250     | 500   | tCO <sub>2</sub> -ekv / kt <sub>jätettä</sub> | 20     |
| - CH <sub>4</sub> :stä talteen kaatopaikoilla  | normaali | 50    | 70      | 90    | %   | 21     |
| - Kerätystä metaanista hyötykäyttöön   | normaali | 0,7   | 0,95    | 1     | t / t   | 22     |
| - Poltetun kaasun LHV  | normaali | 45    | 50      | 55    | MJ/kg CH <sub>4</sub>                         | 23     |
| - Kaasulla korvatu polttoaineen EF   | normaali | 55    | 80      | 106   | tCO <sub>2</sub> /TJ <sub>pa</sub>            | 5      |
| CH <sub>4</sub> hapettuminen pintakerroksissa (OX-factor)  | normaali | 0,0   | 0,1     | 0,2   |   | 24     |

## Viittaukset liitteessä A

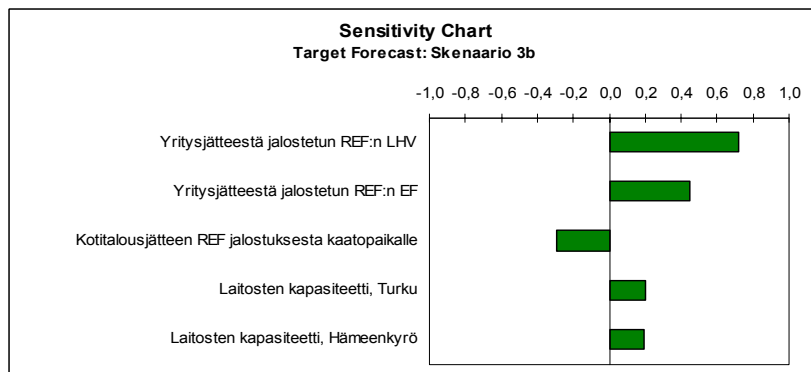
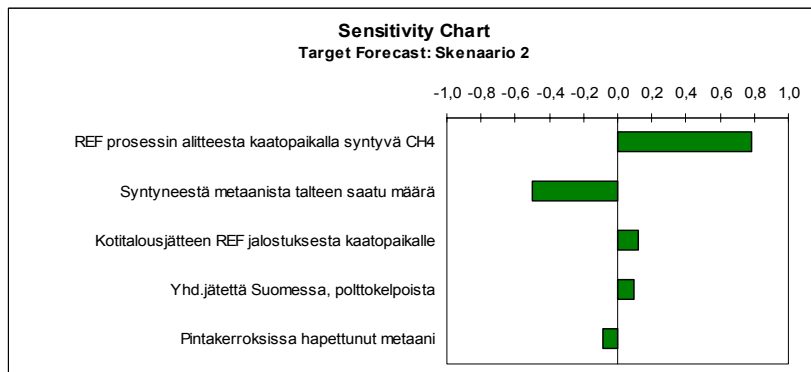
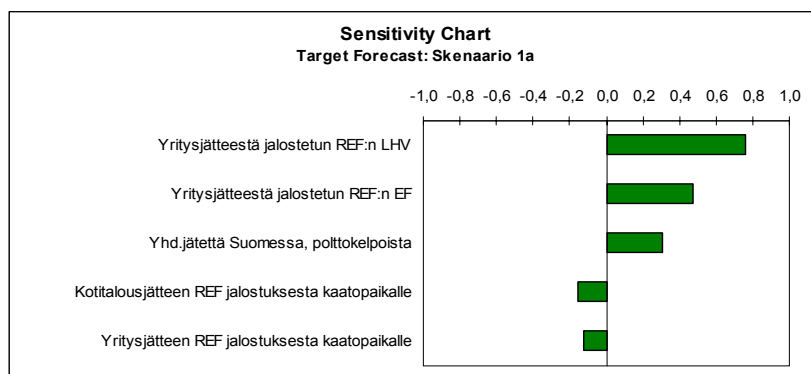
Huom: yleensä vain default-arvo on suoraan kyseisestä lähteestä ja vaihteluväli on arvioitu sen perusteella

- 1 Jätelaitosyhdistyksen internetsivujen energiahäydyntäminen -osa. [www.jly.fi/energia1.php](http://www.jly.fi/energia1.php) (viitattu 6/2008)
- 2 Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta YTV, jätevoimalan ympäristövaikutusten arviointiohjelma. Pöyry 2007.
- 3 Kirkiniemen tehtaan energiantuotannon uudistaminen, Mangsin Voima -hanke. Ympäristövaikutusten arviointiselostus. Pöyry Energy Oy, 2007.
- 4 Fortumin voimalaitosten ja lämpökeskuksien esittelyt yhtiön www-sivuilla [www.fortum.com](http://www.fortum.com)
- 5 Kansallisessa kasviuonekaasuinventaariossa käytettävä polttoaineluokitus. [http://www.tilastokeskus.fi/tup/khkinv/khkaasut\\_polttoaineluokitus.html](http://www.tilastokeskus.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html) (viitattu 4.7.2008)
- 6 Hämeenkyrön jätevoimalahankkeen internetsivut <http://www.pirkanvoima.fi>
- 7 Lounais-Suomen ympäristökeskuksen päätös Dnro LOS-2005-Y-321-111
- 8 Laanilan Voima Oy. Jätteenpolttolaitoksen tekninen kuvaus ja ympäristövaikutusselvitys ympäristölupahakemusta varten. Pöyry 2006.
- 9 Ab Stormossen Oy, Jätteen energiakäyttöhankkeen ympäristövaikutusten arviointiohjelma. Ramboll Finland Oy, 2007.
- 10 Vaihteluväli tarkastelluista jätteenpolttolaitossuunnitelmista pl. Oulun laitos, jonka osalta nämä luvut poikkeavat selvästi muista.
- 11 Flyktman, M. ja Helynen, S. Hyötysuhteiden määrittäminen päästökaupan alkujakoa varten. Tutkimusselostus, VTT 2004.
- 12 Energiamarkkinaviraston internetsivujen päästölupapäätökset -osa. [www.emvi.fi](http://www.emvi.fi) (viitattu 6/2008)
- 13 VTT:n sähkömarkkinamalli, eri tuotantomuotojen osuudet marginaalisähköstä.
- 14 Suomen esitys päästöoikeuksien kansalliseksi jakosuunnitelmaksi vuosille 2008–2012, Liite 2. Eri alaryhmiin kuuluville laitoksille vuosiksi 2008–2012 myönnettävien päästöoikeuksien laskentakavat. Luonnos 29.9.2006. [http://ec.europa.eu/environment/climat/pdf/nap\\_finland\\_2.pdf](http://ec.europa.eu/environment/climat/pdf/nap_finland_2.pdf)
- 15 Jätetilasto, yhdyskuntajätteet vuonna 2006. [http://www.tilastokeskus.fi/til/jate/2006/jate\\_2006\\_2007-11-15\\_tau\\_001.html](http://www.tilastokeskus.fi/til/jate/2006/jate_2006_2007-11-15_tau_001.html)
- 16 Myllymaa, T., Tohka, A., Dahlbo, H. ja Tenhunen, J. Ympäristönäkökulmat jätteen hyödyntämisessä energiana ja materiaalina. Valtakunnallinen jättesuunnitelma vuoteen 2016. Taustaselvitys Osa III. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 12/2006. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=57493&lan=fi> (viitattu 4.7.2008)
- 17 Lassila & Tikanojan Turun laitoksella mitattuja ominaiskulutuksia REFille kotitalousjätteen koeajoissa. Janne Hannula, henkilökohtainen tiedonanto sähköpostilla 27.5.2008.
- 18 Tiivistelmä projektista "Development and demonstration of advanced srf co-firing concept for high efficiency fb chp boilers". <http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/ClimBus/fi/system/projekti.html?id=9356855&nav=Projekti> (viitattu 7.8.2008)
- 19 Lohiniva, E., Sipilä, K., Mäkinen, T. ja Hietanen, L. Jätteiden energiakäytön vaikutukset kasviuonekaasupäästöihin. Espoo 2002. VTT Tiedotteita 2139. 119 s.
- 20 Arnold, M. Asiantuntija-arvio mahdollisesta vaihteluvälistä (alaraja vastaa hyötykäyttöä, esim mädätystä ja yläraja sekajätteen kaatopaikkasijoitusta).
- 21 Mroueh, U.-M., Ajanko-Laurikko, S., Arnold, M., Laiho, A., Wihersaari, M., Savolainen, I., Dahlbo, H. & Korhonen, M.-R. Uusien jätteenkäsittelykonseptien mahdollisuudet kasviuonekaasupäästöjen vähentämisessä [New waste management concepts in the reduction of greenhouse gas emissions]. Espoo 2007. VTT Tiedotteita – Research Notes 2402.
- 22 Suomen Biokaasukeskus ry. Biokaasulaitosrekisteri IX. <http://www.kolumbus.fi/suomen.biokaasukeskus> (viitattu 12.8.2008)
- 23 Pipatti, R. ja Savolainen, I. Role of energy production in the control of greenhouse gas emissions from waste management. Energy Conversion and Management, Volume 37, Issues 6-8, June-August 1996, Pages 1105–1110.
- 24 IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 5. [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5\\_Volume5/V5\\_3\\_Ch3\\_SWDS.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_3_Ch3_SWDS.pdf)

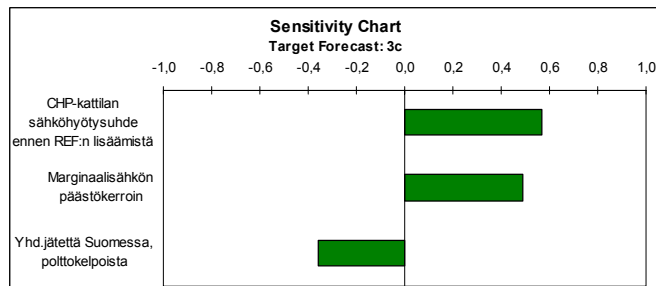
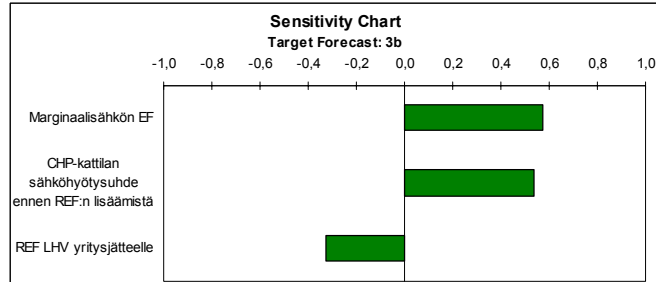
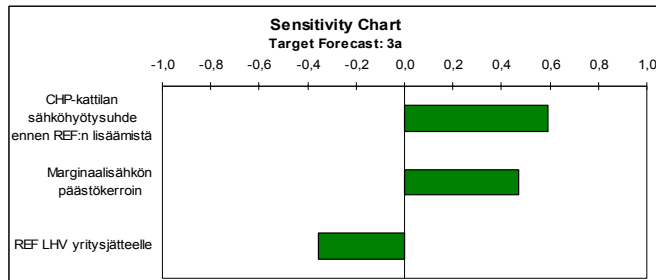
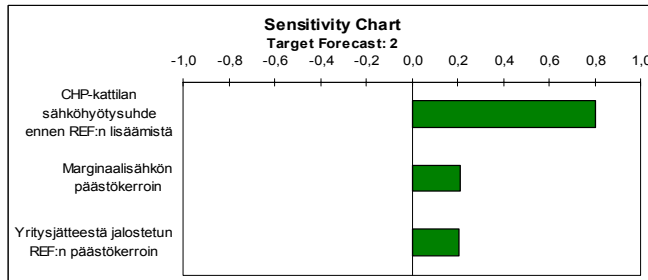
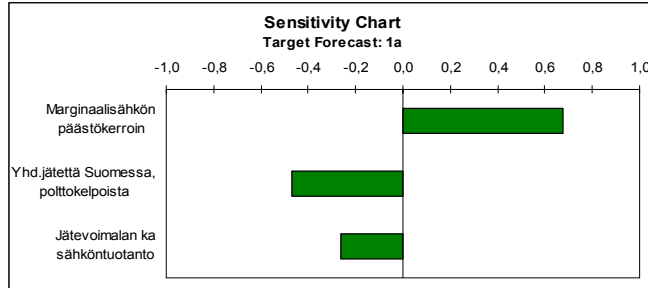
## Liite B: Tuloksiin eniten vaikuttavat muuttujat

Skenaariosta 1 on esitetty tässä liitteessä molempien sektoreiden osalta vain yhden alaskenaarion kuvaajat, sillä muuttujien järjestys oli merkittävimpien muuttujien osalta sama kaikissa alaskenaarioissa ja lukuarvotkin olivat samat (päästökaupan ulkopuolinen sektori) tai lähes samat (päästökauppasektori). Myös skenaarion 3 merkittävimmät muuttujat olivat kaikissa alaskenaarioissa samassa järjestyksessä päästökaupan ulkopuolisen sektorin osalta, joten siitäkin on esitetty vain yksi kuvaaja.

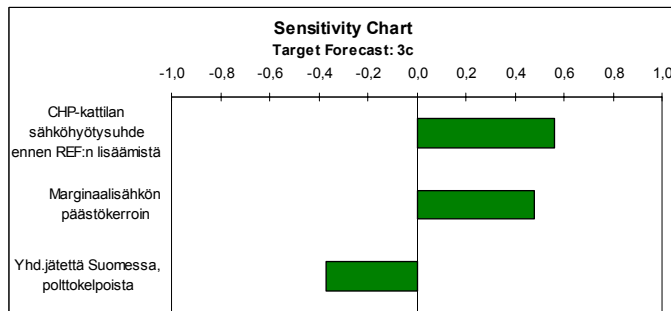
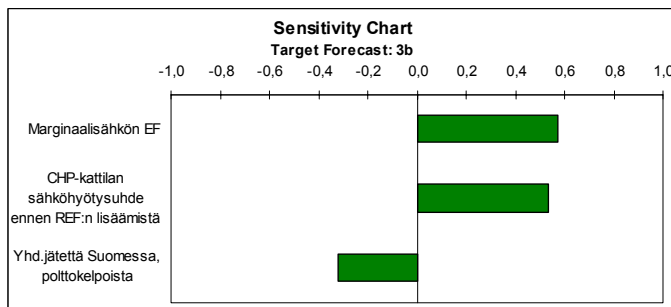
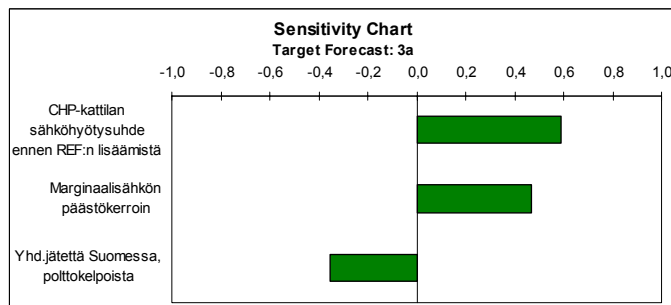
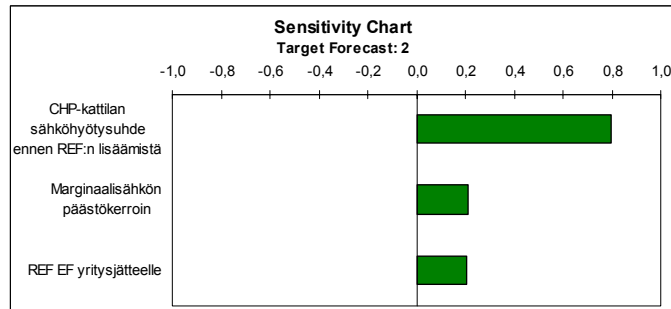
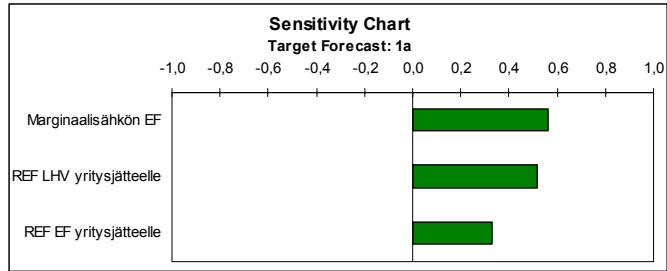
### Päästökaupan ulkopuolinen sektori



# Päästökauppasektori



## Sektoreiden yhteenlasketut päästöt



|  |                              |  |
|--|------------------------------|--|
| Tekijä(t)<br>Tsupari Eemeli, Soimakallio Sampo, Arnold Mona  |                              |  |
| Nimeke<br><b>Yhdyskuntajätteen kahden energiahödyntämistävän eroavuudet ilmastonmuutoksen hillinnän näkökulmasta</b>   |                              |  |
| Tiivistelmä<br><p>EU:n tavoitteet ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi ja kaatopaikoille sijoitettavan jätemäärän vähentämiseksi sekä kohonneet energiakustannukset ovat lisänneet kiinnostusta jätteen energiasisällön hyödyntämiseen. Jätteiden energiahödyntäminen voidaan jakaa karkeasti kahteen yleiseen tapaan. Nämä ovat syntypaikkalajitellun jätteen poltto yleensä arinatekniikkaa käyttäen ja jätteistä jalostetun kierrätyspolttoaineen polttaminen rinnakkaispoltona muiden polttoaineiden kanssa.</p> <p>Yhtenä rinnakkaispolton hyötynä käsittelemättömän jätteen polttoon nähden on parempi sähkötuotannon hyötysuhde. Tämä vaikuttaa merkittävästi näiden jätteenpolttotapojen aiheuttamiin ilmastovaikutuksiin, sillä tuotetulla sähköllä korvataan niin sanottua marginaalisähköä, jonka tuottaminen keskimäärin aiheuttaa verrattain suuret CO<sub>2</sub>-päästöt. Toisaalta, kierrätyspolttoaineen jalostamisessa kuluu energiaa ja osa jätteen energiasisällöstä jää hyödyntämättä. Lisäksi biohajoava osa hyödyntämättä jääneestä jätteestä aiheuttaa metaanipäästöjä, jos se loppusijoitetaan kaatopaikalle.</p> <p>Koska tammikuussa 2008 julkistetussa EU:n energia- ja ilmastopakettissa on omat sitovat päästövähennystavoitteensa päästökaupasektorille ja päästökaupan ulkopuoliselle sektorille (ns. kansallinen kiintiö), uusien jätteenpolttolaitosten rajaaminen päästökaupan ulkopuolelle vaikeuttaisi kansallisten päästövähennystavoitteiden saavuttamista. Jätteenpolttolaitosten tuottama lämpö ja sähkö vähentävät polttoaineiden käyttöä enimmäkseen päästökaupasektorilla.</p> <p>Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin useita skenaarioita jätteiden energiasisällön hyödyntämiseksi. Erot kasvihuonekaasupäästöissä eri skenaarioiden välillä ovat päästökaupan ulkopuolisella sektorilla skenaarioista riippuen noin 3–14 % koko sektorin päästövähennysvelvoitteesta Suomessa. Molemmat sektorit yhteenlaskettuina kasvihuonekaasupäästöt näyttäisivät vähenevän parhaissa skenaarioissa korvaushyötyjen kautta 0,5–1 Mt vuodessa nykytilaan verrattuna. Huonoimmista tapauksista korvaushyödyt saattavat olla jopa negatiivisia. Kaikissa tarkastelluissa skenaarioissa kaatopaikkojen metaanipäästöt kuitenkin vähentyvät nykytilanteeseen verrattuna, joten kokonaisvaikutus lienee nykytilaan verrattuna päästöjä vähentävä kaikissa skenaarioissa.</p> |                              |  |
| ISBN<br>978-951-38-7232-8 (nid.)<br>978-951-38-7233-5 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )  |                              |  |
| Avainnimeke ja ISSN<br>VTT Tiedotteita – Research Notes<br>1235-0605 (nid.)<br>1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )   |                              | Projektinumero<br>28032  |
| Julkaisuaika<br>Syyskuu 2008   | Kieli<br>Suomi, engl. abstr. | Sivuja<br>48 s. + liitt. 5 s.  |
| Projektin nimi<br>Jätteiden energiahödyntämisen KHK-päästöt  |                              | Toimeksiantaja(t)<br>Lassila & Tikanoja Oyj  |
| Avainsanat<br>jäte, energiahödyntäminen, jätteenpoltto, kierrätyspolttoaine, REF, ilmastonmuutos, kasvihuonekaasut, päästökauppa   |                              | Julkaisija<br>VTT<br>PL 1000, 02044 VTT<br>Puh. 020 722 4520<br>Faksi 020 722 4374 |

|   |                                     |  |
|---|-------------------------------------|--|
| Author(s)<br>Tsupari Eemeli, Soimakallio Sampo, Arnold Mona   |                                     |  |
| Title<br><b>The differences between two practices in MSW utilisation to energy in the climate change point of view</b>  |                                     |  |
| Abstract<br><p>Objectives recently set by the EU to mitigate climate change and to reduce waste landfilling, in addition to increased energy prices, have increased attentions to utilise energy content of the waste streams. Waste utilisation to energy can be divided in two common practices. These are combustion in waste-to-energy (WtE) plants and SRF (or REF/RDF) co-firing in power plants with other fuels.</p> <p>In comparison with WtE plants, one advantage of co-firing is higher power to heat ratio. This significantly effect on the overall greenhouse gas (GHG) balances of these practices because the difference in produced electricity is compensated by “marginal production” which often results relatively high CO<sub>2</sub> emissions. On the other hand, the refining process of SRF consumes energy and energy content of the sidestream may not be utilised. In addition, if sidestream will be land-filled it causes methane emissions.</p> <p>In the integrated “Climate action and renewable energy package” of the EU mandatory emission reduction targets are proposed separately to ETS (Emission Trading Scheme) sector and non-ETS sector. Targets for the non-ETS sector are national and CO<sub>2</sub> emissions from new WtE plants planned to Finland will possible be excluded from the ETS and therefore counted in the non-ETS sector. Electricity and heat from waste combustion, however, usually substitute fuels and emissions in the ETS sector.</p> <p>In this study, different scenarios to utilise the thermal energy of landfilled municipal solid waste in Finland were assessed. Differences in GHG emissions of the scenarios in non-ETS sector were 3 – 14 % of the sector’s total reduction target set for Finland. Both sectors combined it seems that the best scenarios probably reduce GHG emissions from 0.5 up to 1 Mt annually comparing today even if reduced emissions from landfilling are not taken into account due to time dynamics of the effects. In the worst scenarios GHG emissions from power and heat production may even increase.</p> |                                     |  |
| ISBN<br>978-951-38-7232-8 (soft back ed.)<br>978-951-38-7233-5 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )  |                                     |  |
| Series title and ISSN<br>VTT Tiedotteita – Research Notes<br>1235-0605 (soft back ed.)<br>1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )   |                                     | Project number<br>28032  |
| Date<br>September 2008  | Language<br>Finnish, English abstr. | Pages<br>48 p. + app. 5 p.   |
| Name of project<br>Jätteiden energiahyödyntämisen KHK-päästöt   |                                     | Commissioned by<br>Lassila & Tikanoja Oyj  |
| Keywords<br>waste to energy, incineration, recycled fuel, REF, SRF, RDF, climate change, greenhouse gases, emission trading   |                                     | Publisher<br>VTT Technical Research Centre of Finland<br>P.O.Box 1000, FI-02044 VTT, Finland<br>Phone internat. +358 20 722 4520<br>Fax +358 20 722 4374 |





Ilmastonmuutoksen hillintä, jätteen kaatopaikkasijoituksen vähentäminen ja kohonneet energiakustannukset ovat tehneet jätteiden energiahöydyntämisestä aiempaa houkuttelevampaa. Suomessa on suunnitteilla useita arinatekniikkaan perustuvia jätteenpolttolaitoksia ja toisaalta jätteistä jalostettua kierrätyspolttainetta on poltettu jo kauan rinnakkaispolttona voimalaitoksissa. Näillä vaihtoehtoisilla polttotekniikoilla on erilaiset ilmasto-vaikutukset. Kasvihuonekaasupäästövaikutukset poikkeavat erityisen paljon toisistaan, kun tarkastellaan erikseen ns. päästökauppasektoria ja päästökaupan ulkopuolista sektoria, joille EU on sopinut sektorikohtaiset päästövähennysvelvoitteet. Tässä julkaisussa tarkastellaan ilmastonmuutoksen hillinnän kannalta erilaisia skenaarioita näiden jätteenpolttotapojen hyödyntämisestä Suomessa huomioiden sektorikohtaiset päästövaikutukset.

---

Julkaisu on saatavana

VTT  
PL 1000  
02044 VTT  
Puh. 020 722 4520  
<http://www.vtt.fi>

Publikationen distribueras av

VTT  
PB 1000  
02044 VTT  
Tel. 020 722 4520  
<http://www.vtt.fi>

This publication is available from

VTT  
P.O. Box 1000  
FI-02044 VTT, Finland  
Phone internat. + 358 20 722 4520  
<http://www.vtt.fi>

---