

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Teknillinen tiedekunta
LUT Energia
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Riikka-Liisa Säikkö

**ENERGIANA HYÖDYNNETTÄVIEN JÄTTEIDEN ELINKAARI-
TARKASTELU PORIN SEUDULLA**

Työn tarkastajat: Professori TkT Mika Horttanainen
 Professori TkT Risto Soukka

Työn ohjaaja: FM Tarja Räikkönen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknillinen tiedekunta
LUT Energia
Ympäristötekniikka

Riikka-Liisa Säikkö

Energiana hyödynnettävien jätteiden elinkaaritarkastelu Porin seudulla

Diplomityö

2014

79 sivua, 26 kuvaa, 19 taulukkoa ja 5 liitettä

Tarkastajat: Professori Mika Horttanainen
Professori Risto Soukka

Hakusanat: sekajäte, energiajäte, kierrätyspolttoaine, jätteenpoltto, rinnakkaispoltto, elinkaariarviointi, ympäristövaikutus

Keywords: municipal solid waste, waste-to-energy, solid recovered fuel, waste incineration, co-incineration, life cycle assessment, environmental impacts

Työssä tarkasteltiin elinkaariarvioinnin keinoin energiana hyödynnettävien jätteiden ympäristövaikutuksia Porin Jätehuollon toiminta-alueella. Energiana hyödynnettäväksi jätteiksi tutkimuksessa lukeutuivat kunnan vastuulle kuuluvat sekajätteet sekä erilliskerätyt energiajätteet. Elinkaaritarkastelussa selvitettiin energiajätteen erilliskeräyksen ja jätteiden energiahyödyntämisen vaikutuksia kolmen eri skenaarion tarkasteluna. Skenaarioissa vertailtiin tarkasteluajanhetkellä voimassa olevien jätehuoltomääräyksien erilliskeräyslaajuutta, erilliskeräyksen lakkauttamista sekä erilliskeräyksen tehostamista. Lisäksi työssä arvioitiin energiajätteen erilliskeräyksen kustannusvaikutuksia kuluttajanäkökulmasta.

Tässä tarkastelussa ja tutkimuksen laajuudessa saatujen tulosten perusteella energiajätteen erilliskeräyksellä Porin seudulla voidaan hillitä ilmastonmuutosvaikutuksia. Toisaalta taas erilliskeräyksen lakkauttamisella voi olla happamoitumista ja rehevöitymistä vähentäviä vaikutuksia. Kustannusvaikutusarviossa selvisi, että energiajätteen erilliskeräminen sekajätteestä on jonkin verran edullisempaa kuin pelkän sekajätteen kerääminen.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
School of Technology
LUT Energy
Environmental Technology

Riikka-Liisa Säikkö

The life cycle assessment of energy waste recovery in Pori

Master's thesis

2014

79 pages, 26 figures, 19 tables and 5 appendices

Examiners: Professor Mika Horttanainen
Professor Risto Soukka

Keywords: municipal solid waste, waste-to-energy, solid recovered fuel, waste incineration, co-incineration, life cycle assessment, environmental impacts

The object of the thesis was to evaluate environmental impacts of energy waste recovery in Pori. The method used here was the life cycle assessment. The scope of this review was municipal solid waste and separately collected waste-to-energy. The review examined environmental impacts of waste-to-energy collection and energy recovery from waste in three different scenarios. In the scenarios waste-to-energy collection was compared with current waste management regulations, discontinuing the collection and enhancing the collection. In the review were also evaluated the cost impacts of the waste-to-energy collection from the consumers' point of view.

Based on the results, climate change can be mitigated by collecting waste-to-energy separately from municipal solid waste. On the other hand, by discontinuing waste-to-energy collection acidification and eutrophication impacts could be lessened. Collecting waste-to-energy separately from municipal solid waste turned out to be slightly more affordable than just collecting municipal solid waste.

ALKUSANAT

Haluan kiittää professori Mika Horttanaista sekä professori Risto Soukkaa työn tarkastamisesta ja ohjaamisesta. Erityiskiitos myös Porin Jätehuollon suunnittelijalle Tarja Räikköselle aiheen ideoinnista ja mahdollisuudesta toteuttaa tämä diplomityö sekä neuvoista ja ohjaamisesta projektin aikana.

Lisäksi haluan kiittää myös perhettäni saamastani valtavasta tuesta ja ymmärryksestä. Olette olleet tärkeässä osassa tämän projektin toteuttamista.

Porissa 22.5.2014

Riikka-Liisa Säikkö

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|---|----|
| SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO | 4 |
| 1 JOHDANTO | 6 |
| 1.1 Tutkimuksen taustaa..... | 6 |
| 1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset | 8 |
| 1.3 Lounaisen Suomen yhdyskuntajätteen hyödyntämisen hankintarengas | 9 |
| 1.4 Porin Jätehuolto..... | 9 |
| 1.4.1 Jättemäärät yhteistyöalueella | 11 |
| 1.4.2 Hyötyjätteen erilliskeräysvelvoitteet toiminta-alueella | 12 |
| 2 JÄTTEIDEN KERÄILYÄ JA KÄSITTELYÄ OHJAAVAT SÄÄDÖKSET | 13 |
| 2.1 Kunnan järjestämä jätehuolto..... | 13 |
| 2.2 Jätteen keräilyyn liittyvä säädäntö | 14 |
| 2.3 Jätteen kaatopaikkasijoittamista koskeva säädäntö..... | 15 |
| 2.4 Jätteenpolttoa koskeva säädäntö | 16 |
| 3 ENERGIANA HYÖDYNNETTÄVÄN JÄTTEEN KERÄILY- JA KÄSITTELYMENETELMIÄ | 17 |
| 3.1 Energiajätteen erottelujärjestelmiä..... | 17 |
| 3.1.1 Energiajätteen syntypaikkalajittelu | 18 |
| 3.1.2 Energiajätteen laitospainainen erottelu..... | 19 |
| 3.2 Jätteen energiahyödyntäminen Suomessa..... | 20 |
| 3.3 Jätteen energiahyödyntäminen Euroopassa | 22 |
| 4 ENERGIANA HYÖDYNNETTÄVIEN JÄTTEIDEN OMINAISUUDET POLTTOAINEENA | 24 |
| 4.1 Energiajätteen koostumus ja palamistekniset ominaisuudet | 26 |
| 4.2 Sekajätteen koostumus ja palamistekniset ominaisuudet..... | 27 |
| 5 JÄTTEENPOLTTOTEKNIKOITA | 28 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5.1 | Jätteen arinapoltto | 29 |
| 5.2 | Jätteen leijupetipoltto | 31 |
| 5.3 | Kattilan likaantuminen jätteenpoltossa | 32 |
| 5.4 | Jätteiden rinnakkaispoltto tavanomaisten polttoaineiden kanssa | 33 |
| 5.5 | Rinnakkaispolton ja massapolton eroja..... | 34 |
| 5.6 | Jätteen kaasutus | 35 |
| 5.7 | Pyrolyysitekniikka..... | 36 |
| 6 | ELINKAARITARKASTELUN HYÖDYNTÄMINEN JÄTEHUOLLOSSA..... | 37 |
| 6.1 | Elinkaaritarkastelu päätöksenteon tukena | 40 |
| 6.2 | Jätehuollon elinkaariarviointeja | 41 |
| 6.2.1 | Biojätteen erilliskeräyksen elinkaariarvio | 41 |
| 6.2.2 | Keräyskartongin ympäristövaikutusten elinkaariarviointi..... | 42 |
| 6.2.3 | Jätteiden hyödyntämisen ympäristövaikutukset ja kustannukset..... | 43 |
| 6.2.4 | Sanomalehden jätehuollon kestävyystarkastelu elinkaariarvioinnin avulla .. | 45 |
| 6.2.5 | Pohjois-Suomen pakkausjätteiden hyödyntäminen | 45 |
| 6.2.6 | Jätteenpolton ympäristövaikutusten elinkaariarviointi Ranskassa | 46 |
| 6.2.7 | Jätteenpolton tehostetun metallien talteenoton elinkaariarviointi | 47 |
| 7 | ENERGIANA HYÖDYNNETTÄVIEN JÄTTEIDEN KERÄYKSEN JA ENERGIAHYÖDYNTÄMISEN ELINKAARITARKASTELU | 48 |
| 7.1 | Tutkimuksen tavoitteet ja soveltamisala | 49 |
| 7.2 | Tutkittava tuotejärjestelmä..... | 50 |
| 7.3 | Laskentatietojen määrittäminen | 55 |
| 7.3.1 | Syntypaikkalajittelu ja jätteiden kuljetukset | 55 |
| 7.3.2 | Sekajätteen siirtokuormaus ja kierrätyspolttoaineen valmistus | 57 |
| 7.3.3 | Jätteiden energiahyödyntäminen polttolaitoksilla | 58 |
| 7.3.4 | Polttoprosessien kiinteät jätteet | 59 |

| | | |
|-------|--|----|
| 7.4 | Laskennan herkkyystarkastelut | 61 |
| 8 | TUTKIMUKSEN TULOKSET | 61 |
| 8.1 | Ympäristövaikutusten tulokset | 61 |
| 8.2 | Energiajätteen erilliskeräyksen kustannusvaikutukset asukkaan näkökulmasta ... | 63 |
| 8.3 | Energiajätteen erilliskeräykseen liittyviä sosiaalisia vaikutuksia | 65 |
| 8.4 | Herkkyystarkastelujen tulokset | 66 |
| 8.4.1 | Jätteenpolttolaitoksen vaikutus tuloksiin | 66 |
| 8.4.2 | Jätepolttoaineiden lämpöarvon vaikutus tuloksiin | 70 |
| 8.4.3 | Rejektin hyötykäytön vaikutus tuloksiin | 73 |
| 8.5 | Tulosten tulkinta ja virheanalyysi | 76 |
| 9 | YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET | 77 |
| | LÄHTEET | 80 |

LIITTEET:

Liite I. Tarkastelun skenaarioiden lämpöarvojen määrittäminen

Liite II. Energiajätteen erilliskeräyksen vaikutukset kustannuksiin

Liite III. Herkkyystarkastelu: Jätteenpolttolaitoksen vaikutukset

Liite IV. Herkkyystarkastelu: Lämpöarvojen muuttamisen vaikutukset

Liite V. Herkkyystarkastelu: Rejektin kaatopaikkasijoittamisen vaikutukset

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Lyhenteet

| | |
|------|---|
| a | vuosi |
| APC | savukaasujen puhdistus (engl. air pollution control) |
| ekv | ekvivalentti |
| LCA | elinkaariarviointi (engl. life cycle assessment) |
| m- % | massaprosentti |
| m | massa |
| p- % | painoprosentti |
| P | fosfori |
| RDF | lajittelemattomasta sekajätteestä valmistettua kierrätyspolttoainetta (engl. refuse derived fuel) |
| REF | erilliskerätystä energiajätteestä valmistettua kierrätyspolttoainetta (engl. re-covered fuel) |
| SER | sähkö- ja elektroniikkalaiteromu |
| SRF | jätteestä valmistettu kiinteä kierrätyspolttoaine (engl. solid recovered fuel) |

Yhdisteet

| | |
|------------------|--------------------|
| CH ₄ | metaani |
| Cl | kloori |
| CO | hiilimonoksidi |
| CO ₂ | hiilidioksidi |
| F | fluori |
| HCl | vetykloridi |
| HF | vetyfluoridi |
| Hg | elohopea |
| N ₂ O | dityppioksidi |
| NO _x | typen oksidit |
| PVC | polyvinyylikloridi |

| | |
|-----------------|---------------------------------|
| S | rikki |
| SO ₂ | rikkioksidi |
| TOC | orgaanisen hiilen kokonaismäärä |

1 JOHDANTO

Jätehuolto on osa yhdyskuntien infrastruktuuria ja sen tehtävänä on toimia yhdyskuntien terveyteen ja elinympäristöön vaikuttavana peruspalveluna. Jätehuollon keskeisimpiä ja tärkeimpiä tavoitteita on ilmastonmuutoksen hillintä vähentämällä kaatopaikalle sijoitettavien jätteiden määrää. Jätteiden kaatopaikkasijoittamista voidaan tehokkaimmin vähentää lisäämällä jätteiden kierrätystä sekä energiahyötykäyttöä.

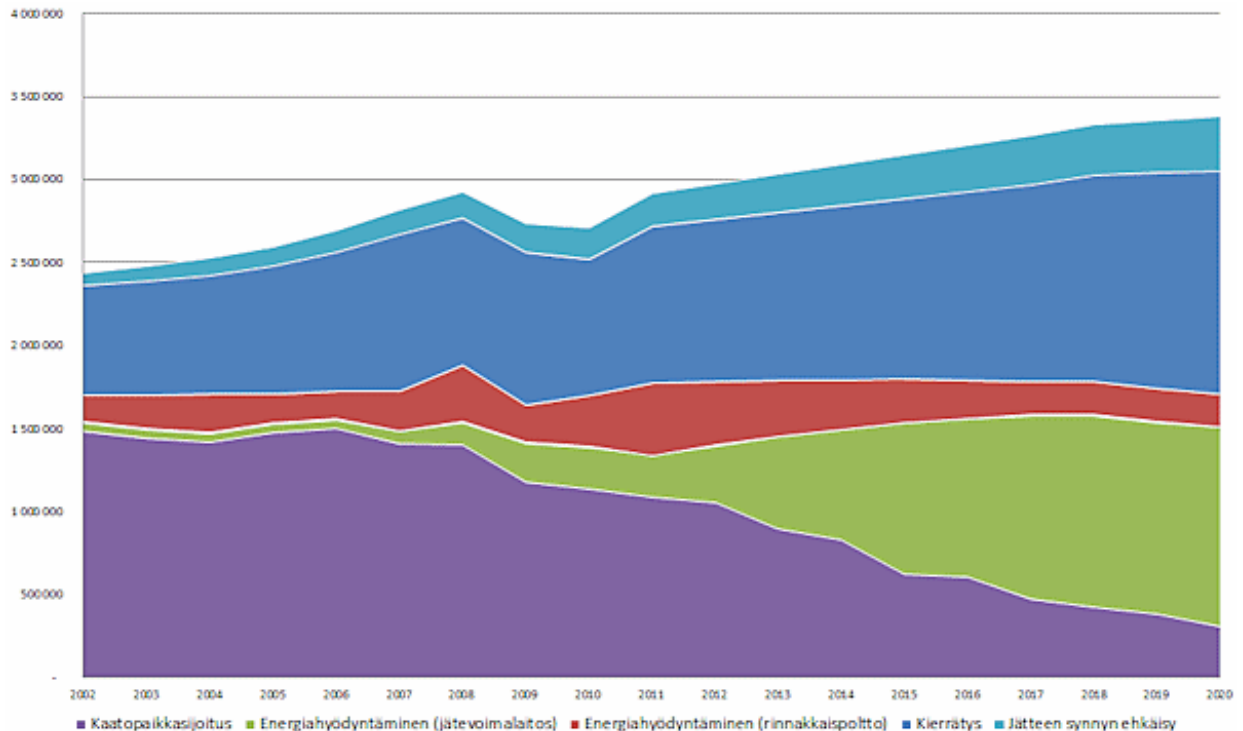
Oikeanlainen ja tehokas syntypaikkalajittelu edesauttaa kierrätettävien materiaalien ohjautumista kierrätykseen. Syntypaikkalajittelusta jäljelle jäävä kotitalouksien sekajäte voi olla teknisesti haastavaa kierrättää. Lisäksi sekajätteen kierrätys ei välttämättä ole ympäristön ja kustannusten osalta kannattavaa. Kierrätykseen kelpaamattomien jätteiden energiahyötykäyttö voi täydentää jätehuoltoa ja sen toimivuutta. (Jätelaitosyhdistys ry 2013c.)

1.1 Tutkimuksen taustaa

Vuonna 2012 Suomessa muodostui yhdyskuntajätettä noin 2,7 miljoonaa tonnia. Yhdyskuntajätteestä erilliskerättiin hieman vajaa puolet kierrätykseen tai polttoon. Jätteiden kierrätysaste on viimeisen kymmenen vuoden aikana säilynyt melko tasaisena, keskimäärin noin kolmannes yhdyskuntajätteestä kierrätetään vuosittain. Jätteiden energiahyötykäytön lisääntyminen ei ole vähentänyt kierrätysastetta, vaan se on vähentänyt kaatopaikoille sijoitettavien jätteiden määrää. Vuonna 2012 yhdyskuntajätteestä noin kolmas osa, reilu 900 000 tonnia, sijoitettiin kaatopaikalle. Määrästä jopa 97 prosenttia oli yhdyskuntien tuottamaa sekajätettä. (Tilastokeskus 2013c.)

Yhdyskuntajätteelle on ennustettu noin 1,5 prosentin vuosittaista kasvua ajanjaksolla 2005–2030. Tämän ennusteen mukaan vuonna 2030 Suomessa tuotettaisiin reilu 3,7 miljoonaa tonnia yhdyskuntajätettä. (Moliis et al. 2009, 20.) Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista (331/2013) sekä asetus jätteistä annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamista (332/2013) rajoittavat biojätteiden kaatopaikkasijoittamista siten, että vuodesta 2016 alkaen biohajoavan ja muun orgaanisen jätteen sijoittamisesta kaatopaikalle on luovuttava lähes kokonaan, jotta biojätteestä kaatopaikalla aiheutuvia metaanipäästöjä saadaan vähennettyä. Jätelaitosyhdistys ry:n laatiman arvioin mukaan jätteiden kaatopaikkasijoittaminen

tulee vuoden 2012 tasosta vähemmän vuoteen 2020 mennessä noin 70 prosenttia. Arvion mukaan jätteiden kierrätys ja synnyn ehkäisy tulevat kasvamaan jonkin verran, mutta merkittävimmin jätteiden hyötykäyttöä tulee lisäämään jätteiden energiahyötykäyttö ja erityisesti energiahyödyntäminen jätteenpolttolaitoksissa rinnakkaispolttolaitosten sijaan. Kuvassa 1 on esitetty Jätelaitosyhdistyksen laatima arvio jätehuollon kehityksestä.



Kuva 1. Jätehuollon kehittyminen vuodesta 2002 vuoteen 2020 (Jätelaitosyhdistys ry 2013c).

Lainsäädännön lisäksi jätehuoltoa ja sen kehitystä ohjaa valtioneuvoston hyväksymä valtakunnallinen jätesuunnitelma, jonka tehtävänä on toimia suuntaa antavana apuvälineenä paikallisille jätehuoltoyhtiöille. Valtakunnallisen jätesuunnitelman ensisijaisena tavoitteena on pyrkiä mahdollisuuksien mukaan noudattamaan jätelaissa (646/2011) määritettyä jätehierarkiaa, jonka ensisijaisena tavoitteena on jätteen synnyn ehkäisy. Tavoitteena on myös lisätä yhdyskuntajätteen kierrätystä 50 prosenttiin ja energiahyödyntämistä 30 prosenttiin vuoteen 2016 mennessä. Yhdyskuntajätteestä korkeintaan 20 prosenttia saa päätyä kaatopaikalle loppusijoitettavaksi.

Etelä- ja Länsi-Suomen jätesuunnitelman asettaman tavoitteen mukaan vuonna 2020 yhdyskuntajätteestä on hyödynnettävä jopa 90 prosenttia ja kaatopaikalle sijoitetusta yhdyskuntajätteestä korkeintaan puolet saa olla biohajoavaa. Hyödyntämistavoite on valtakun-

nallista tavoitetta tiukempi, koska Etelä- ja Länsi-Suomen alueella hyötykäytön järjestäminen on helpompaa kuin pohjoisessa Suomessa, tiheimmän asutuksen vuoksi. Asettamalla tiukemman tavoitteen tiheimmin asutulle alueelle on mahdollista saavuttaa valtakunnallinen kokonaistavoite. Jotta 90 prosentin hyötykäyttö olisi mahdollista saavuttaa, jätteiden materiaali- ja energiahyödyntämistä on lisättävä ja kehitettävä merkittävästi. (Sten & Mauno 2009, 84.)

Jätelainsäädännön ja jätesuunnitelmien lisäksi kuluttajien lisääntynyt ympäristötietoisuus painostaa paikallisia jätehuoltoyhtiöitä huomioimaan yhä enemmän ympäristönäkökohdat toiminnassaan. Tiedon puute ja priorisointiongelmat voivat kuitenkin tuottaa ongelmia ja haasteita jätehuoltoyhtiöiden laatiessa kehitysstrategioitaan.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset

Tämän tutkimuksen tavoitteena on tuottaa tietoa tukemaan Porin seudun jätelautakunnan päätöksentekoa. Työssä tutkitaan elinkaarimallinnuksen keinoin energiana hyödynnettävien jätteiden elinkaarenaikaisia ympäristövaikutuksia syntypaikkalajittelusta energiahyötykäyttöön. Porin seudulla kerätty kunnan vastuulle kuuluva sekajäte tullaan hyödyntämään energiantuotannossa Vaasassa sijaitsevassa Westenergyn jätteenpolttolaitoksessa vuosina 2015–2017. Tarkasteluajanhetkenä erilliskerätystä energiajätteestä jalostetaan kierrätyspolttoainetta, mitä pääosin hyödynnetään Kauttualla sijaitsevassa voimalaitoksessa. Tutkimuksen tavoitteena on vertailla, millaisia ympäristövaikutuksia voi aiheutua pelkän sekajätteen keräyksestä ja sekajätteen ja energiajätteen erilliskeräyksestä. Lisäksi tutkimuksessa tarkastellaan seka- ja energiajätteiden energiahyötykäytön ympäristövaikutusten eroja. Tutkimuksen tavoitteena on myös selvittää erilliskeräyksen kustannusvaikutuksia kuluttajien näkökulmasta.

Tutkimus rajattiin tarkastelemaan ainoastaan alueella tuotettujen seka- ja energiajätteiden määriä sekä niiden hyödyntämistä energiantuotannossa. Tutkimuksessa ei tarkasteltu muita hyötykäyttökohteita. Lisäksi tutkimuksen pääpaino oli ympäristövaikutusten arvioinnilla. Tutkittavan järjestelmän kokonaiskustannusten arviointi rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle ja kustannusarviota tarkasteltiin ainoastaan asukkaan näkökulmasta. Järjestelmän sosiaalisten vaikutusten arviointia tarkasteltiin ainoastaan valmiin tutkimusaineiston pohjalta eikä työssä toteutettu kyselytutkimusta todellisten sosiaalisten vaikutusten arvioinniksi.

1.3 Lounaisen Suomen yhdyskuntajätteiden hyödyntämisen hankintarenkas

Osana jätesuunnitelman tavoitteiden saavuttamista Lounais-Suomesta viisi jätelaitosta on perustanut Lounaisen Suomen yhdyskuntajätteiden hyödyntämisen hankintarenkaan, jonka tehtävänä on löytää kunnan vastuulla olevalle yhdyskuntajätteelle mahdollisimman kustannustehokas hyödyntämiskäytäntö, joka voi käsittää materiaalikierrätystä tai energiahyötykäyttöä taikka molempia. Lisäksi tavoitteena on pitää asukkaiden jätemaksut hillityllä tasolla. Hankintarenkaan ovat perustaneet Hallavaara Oy, Rouskis Oy, Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy, Turun Seudun Jätehuolto Oy ja Rauman Seudun Jätehuoltolaitos. Lisäksi Porin Jätehuolto on liittynyt hankintarenkaaseen. (Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy 2013.)

Ensimmäinen kilpailutus on suoritettu vuosille 2015–2017. Kuntien vastuulla olevat yhdyskuntajätteet päätyvät hyödynnettäväksi neljään eri jätevoimalaan, joista kolme sijaitsee Suomessa ja yksi Ruotsissa. Kilpailutettu jätemäärä koko sopimuskaudelle on yhteensä 328 000 tonnia, josta Porin Jätehuollon osuus on 36 000 tonnia. Suomessa jätteistä hyödynnetään noin 74 prosenttia. Määrästä noin kolmannes hyödynnetään Riihimäellä Ekokem Oy:n jätevoimalaitoksessa, noin 23 prosenttia Vantaalla toimintansa vuonna 2014 aloittavassa Vantaan Energian jätevoimalaitoksessa ja noin 17 prosenttia Vaasassa Westenergy Oy Ab:n jätevoimalaitoksessa. Porin Jätehuollon jätteet hyödynnetään Vaasan jätevoimalaitoksessa. (Turun Seudun Jätehuolto Oy 2014.)

Vuodesta 2018 alkaa toinen, pitkän aikavälin sopimuskausi, jonka pituus tulee olemaan noin 15–25 vuotta. Hankinta tehdään myös kilpailutuksen kautta, ja hyötykäyttö voi perustua sekä kierrätykseen että energiahyödyntämiseen. Toisella kaudella kilpailutettava jätemäärä tulee olemaan noin 125 000–145 000 tonnia vuodessa. Jätteen hyötykäyttökohteen on tavoitteena ratketa syksyn 2014 aikana. (Turun Seudun Jätehuolto Oy 2014.)

1.4 Porin Jätehuolto

Porin Jätehuolto on seudullisesti toimiva Porin kaupungin omistama liikelaitos, jonka visiona on edistää kestävästä kehitystä toiminta-alueellaan ja perustaa toimintansa alueellisesti, ekologisesti, taloudellisesti ja sosiaalisesti kestäviin ratkaisuihin. Toiminnan tavoitteena on edistää viihtyisän, terveellisen ja turvallisen asuin- ja elinympäristön luomista sekä hyö-

dyntää toiminta-alueella muodostuvia jätteitä valtakunnallisten tavoitteiden mukaisesti siten, että jätteiden kierrätystä ja energiahyötykäyttöä lisätään ja kaatopaikkasijoittamista vähennetään.

Porin Jätehuollon yhteistyöalueeseen kuuluu Porin lisäksi sopimuksen mukaan kahdeksan muuta kuntaa, jotka ovat Harjavalta, Kokemäki, Luvia, Merikarvia, Nakkila, Pomarkku, Siikainen ja Ulvila. Kuvassa 2 on esitetty yhteistyöalue. Yhteistyöalueella oli vuonna 2012 asukkaita yhteensä 128 572. (Porin Jätehuolto 2011, 4–5, Porin Jätehuolto 2013, 2.)



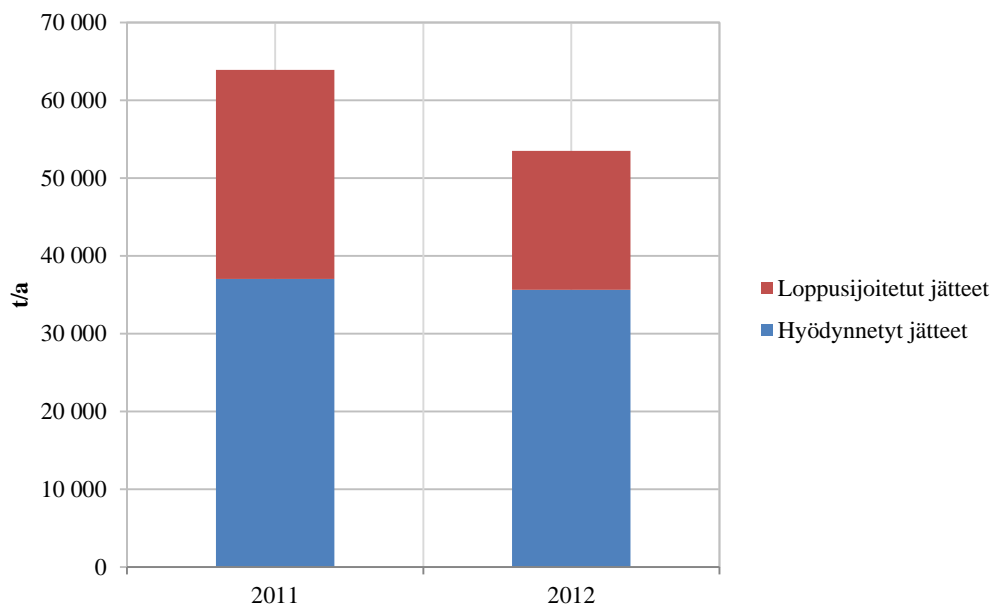
Kuva 2. Porin Jätehuollon yhteistyöalue (Porin Jätehuolto 2014).

Porin Jätehuollon tehtävänä on järjestää jätelain mukainen yhdyskuntajätehuolto yhteistyöalueella, vastata Hangassuon jätekeskuksesta ja pientuottajien jätteiden lajittelupisteistä sekä Porin kierrätyskeskuksesta ja alueellisista kierrätyspisteistä. Lisäksi liikelaitoksen tehtävänä on jätteiden kierrätyksen ja hyödyntämisen edistäminen, jätehuollon kehittäminen, yhteistyö kuntien kanssa, laadukkaan palvelutason turvaaminen koko toimialueen

asukkaille sekä jätehuollosta aiheutuvien haitallisten ympäristövaikutusten vähentäminen. (Porin Jätehuolto 2011, 8.)

1.4.1 Jättemäärät yhteistyöalueella

Vuonna 2012 Hangassuon jätekeskuksella vastaanotettiin hyödynnettäviä jätteitä reilu 35 600 tonnia ja loppusijoitettavia jätteitä reilu 17 800 tonnia, josta yhdyskuntajätteitä oli noin 14 500 tonnia. (Porin Jätehuolto 2013, 2; Salo, sähköpostiviesti 14.2.2014). Kuvassa 3 on esitetty vuosien 2011 ja 2012 hyödynnettävien ja loppusijoitettavien jätteiden määrät.



Kuva 3. Hyödynnettävät ja loppusijoitettavat jätteet vuosina 2011 ja 2012 (Salo, sähköpostiviesti 14.2.2014).

Vuonna 2011 jätekeskuksella vastaanotettiin hyödynnettäviä ja loppusijoitettavia jätteitä yhteensä vajaa 63 900 tonnia. Kokonaisjättemäärä väheni seuraavana vuonna noin 16 prosenttia, jolloin jätteitä vastaanotettiin noin 53 500 tonnia.

Hangassuon jätekeskuksella toteutetaan koeluonteinen yhdyskuntajätteiden siirtokuormaus ajanjaksolla 1.10.2013–31.12.2014. Jätekeskuksella on arvioitu siirtokuormattavan yhdyskuntajätettä noin 16 000–24 000 tonnia vuodessa. Kokeessa testataan neljää eri siirtokuormausvaihtoehtoa, jotka ovat

- jätteen siirtokuormaus tavanomaisen jätteen kentän tasatun jätetäytön päällä
- jätteen siirtokuormaus tavanomaisen jätteen kentälle rakennettavassa pressukatetussa hallissa
- jätteen siirtokuormaus lievästi pilaantuneen maan asfaltoidulla kentällä sekä
- jätteen siirtokuormaus lievästi pilaantuneen maan kentälle rakennettavassa pressukatetussa hallissa.

Varsinainen siirtokuormaus on mahdollista aloittaa vasta hyötyjätteiden kilpailutuksen jälkeen vuonna 2015. Kokeilun tavoitteena on selvittää, onko siirtokuormauksen yhteydessä mahdollista lajitella hyötyjätteet erikseen kannattavasti vai vaatiiko lajittelu laitostointia. Lisäksi koetoiminnalla pyritään löytämään tehokkain siirtokuormausmenettely ja valmistautumaan kaatopaikkakiellon voimaantumiseen. (Ympäristölupapäätös 4.10.2013, 3–4.)

1.4.2 Hyötyjätteiden erilliskeräysvelvoitteet toiminta-alueella

Jätehuoltomääräyksissä määritetään hyötyjätteiden erilliskeräysvelvoitteet. Jätteen tuottaja on vastuussa jätteiden lajittelusta. Tuottajan on huolehdittava, että lajitellut hyötyjätteet, vaaralliset jätteet ja erityisjätteet pidetään erillään muista jätteistä sekä toisistaan ja, että ne toimitetaan niille osoitettuihin paikkoihin. (Porin kaupungin jätehuoltomääräykset 2010.) Taulukkoon 1 on kerätty Porin Jätehuollon yhteistyöalueen hyötyjätteiden erilliskeräysvelvoitteet.

Taulukko 1. Porin Jätehuollon yhteistyöalueen hyötyjätteiden erilliskeräysvelvoitteet (Porin kaupungin jätehuoltomääräykset 2010; Harjavallan kaupungin jätehuoltomääräykset 2011, 3; Nakkilan kunnan jätehuoltomääräykset 2011, 4; Kokemäen kaupungin jätehuoltomääräykset 2011, 3; Luvian kunnan jätehuoltomääräykset 2007, 6; Pomarkun kunnan jätehuoltomääräykset 2007, 5; Siikaisten kunnan jätehuoltomääräykset 2008, 4-5; Merikarvian kunnan jätehuoltomääräykset 2008, 5; Ulvilan kaupungin jätehuoltomääräykset 2007, 6).

| Keräysväline hyötyjätteelle | Asuinkiinteistö | Muu kiinteistö |
|------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| Biojäte* | ≥ 5 huoneistoa | > 20 kg/ vko |
| Keräyskartonki | ≥ 5 huoneistoa | > 20 kg/ vko |
| Keräyslasi | ≥ 10 huoneistoa | > 20 kg/ vko |
| Keräysmetalli | ≥ 10 huoneistoa | > 20 kg/ vko |
| Energiajäte** | ≥ 10 huoneistoa | > 20 kg/ vko |

* ei koske Pomarkkua ja Siikaista

** ei koske Luviaa, Pomarkkua, Siikaista ja Merikarviaa

Tällä hetkellä energiajätettä tulee erilliskerätä kiinteistöillä, joissa on kymmenen tai sitä enemmän huoneistoja taikka energiajätettä muodostuu yli 20 kg viikon aikana. Alle kymmenen huoneiston kiinteistöille energiajätteen erilliskeräysvelvoite voidaan määrätä erillismääräyksellä (Porin kaupungin jätehuoltomääräykset 2010).

2 JÄTTEIDEN KERÄILYÄ JA KÄSITTELYÄ OHJAAVAT SÄÄDÖKSET

EU:n uusin jätedirektiivi (2008/98/EY) tuli voimaan joulukuussa 2008. Jätedirektiivin uudistuksen seurauksena jätelakia (646/2011) ja siihen liittyviä muita säädöksiä uudistettiin vastaamaan jäte- ja ympäristöpolitiikan painotuksia ja EU-lainsäädännön vaatimuksia. Uusin jätelainsäädäntö tuli voimaan toukokuussa 2012.

Jätedirektiivin tavoitteena on vähentää syntyvän jätteen määrää, edistää jätteen uudelleen käyttöä ja kierrätystä sekä vähentää jätteen päätymistä kaatopaikalle ja vähentää siitä johtuvia kasvihuonekaasupäästöjä. EU:n jätedirektiivissä on määritelty jätehierarkia, jota jätehuollon on pääsääntöisesti noudatettava. Jätehierarkian mukaan ensisijaisesti tulee ehkäistä jätteen syntymistä. Jos jätettä kuitenkin syntyy, tulee jäte toissijaisesti valmistella uudelleenkäyttöön. Mikäli jätteen uudelleenkäyttö ei ole mahdollista, jäte tulee kierrättää tai hyödyntää muilla menetelmillä, kuten energiantuotannossa. Vasta viimeinen vaihtoehto on jätteen turvallinen ja ympäristövaatimukset huomioiva loppusijoittaminen.

Jätehierarkiasta voidaan kuitenkin poiketa, mikäli se on elinkaaritarkastelun mukaisesti perusteltua ja siten saavutetaan kokonaisuuden kannalta paras mahdollinen tulos. Jätehierarkiasta poikkeamisen arvioinnissa tulee huomioida tuotteen ja jätteen elinkaaren aikaiset vaikutukset, ympäristösuojelun varovaisuus- ja huolellisuusperiaate sekä toiminnanharjoittajan tekniset ja taloudelliset edellytykset jätehierarkian noudattamiseen. (Jätelaki 646/2011.)

2.1 Kunnan järjestämä jätehuolto

Jätelain (646/2011) mukaan kunnalla on velvollisuus järjestää jätehuolto asumisessa syntyvän jätteen osalta sekä sosiaali- ja terveystaloudessa, koulutustoiminnassa ja julkisessa

hallinto- ja palvelutoiminnassa syntyvän yhdyskuntajätteen osalta. Kunnan on myös huolehdittava, että kiinteistökohtainen jätteenkuljetus on tarpeen tullen käytettävissä, vaarallisen jätteen ja muun jätteen alueellisia vastaanottoaikoja on riittävästi käytettävissä ja ne ovat vaivattomasti saavutettavissa. Käytettävissä tulee olla riittävän monipuoliset jätehuoltopalvelut, kuten etusijajärjestyksen mukainen mahdollisuus jätteen erilliskeräykseen. Lisäksi jätteiden keräys ja kuljetus tulee järjestää ja mitoittaa niin, että ne vastaavat mahdollisimman hyvin syntyvän jätteen määrää ja laatua, ja jätteenkuljetuksen ja alueellisen vastaanoton järjestelyistä tulee tiedottaa riittävästi ja riittävän usein.

Jätelain (646/2011) mukaan kunnan on järjestettävä kiinteistökohtainen jätteenkuljetus. Tästä voidaan kuitenkin 37 ja 41 §:ien mukaan poiketa, mikäli kunta päättää, että kiinteistön haltija sopii jätteenkuljetuksesta suoraan jätteen kuljettajan kanssa tai kiinteistön haltijan tai muun jätteen haltijan on luovutettava kunnan vastuulle kuuluva jäte kunnan järjestämään alueelliseen vastaanottoaikaan.

Kunnallisten jätehuoltomääräyksien avulla kunta voi täsmentää jätelain säännöksiä tai edistää valtioneuvoston yleisten määräysten toteutusta (Kuntaliitto 2010). Jätelain (646/2011) mukaan kunta voi antaa tarpeellisia paikallisista oloista johtuvia, kuntaa tai sen osaa koskevia yleisiä määräyksiä. Jätehuoltomääräyksiä voidaan antaa jätteen määrän vähentämisestä, keräyksestä, lajittelusta, säilyttämisestä, kuljetuksesta, hyödyntämisestä ja loppukäsittelystä sekä näitä koskevista teknisistä vaatimuksista. Lisäksi määräyksiä voidaan antaa terveys- tai ympäristövaaran tai -haitan ehkäisemiseksi tarvittavista toimenpiteistä sekä jätehuollon valvonnasta. Kunnan asettamat jätehuoltomääräykset koskevat jätteen tuottajia, käsittelijöitä, hyödyntäjiä sekä kuljetusyrityksiä. Määräykset säätelevät myös teollisuuden ja yritystoiminnan jätehuoltoa, mutta ei ympäristöluvanvaraista jätteen käsittelyä. (Kuntaliitto 2010.)

2.2 Jätteiden keräilyyn liittyvä säädäntö

Jätteiden keräyksestä, kuljetuksesta ja käsittelystä ei saa aiheutua ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavia päästöjä ja jätehuollossa on pyrittävä käyttämään parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa sekä noudatettava ympäristön kannalta parasta käytäntöä (Jätelaki 646/2011).

Lajiltaan ja laadultaan poikkeavia jätteitä on kerättävä ja pidettävä erillään siinä määrin kuin se on terveydelle tai ympäristölle aiheutuvan vaaran tai haitan ehkäisemiseksi, etusjärjestyksen noudattamiseksi taikka jätehuollon asianmukaiseksi järjestämiseksi tarpeellista ja lisäksi teknisesti ja taloudellisesti mahdollista. Erilliskeräystä koskevat vaatimukset voivat vaihdella eri alueilla ottaen huomioon väestötiheyden, syntyvän jätteen määrän ja hyötykäyttömahdollisuudet sekä erilliskeräyksen järjestämisestä aiheutuvat ympäristövaikutukset ja kustannukset. (Jätelaki 646/2011.)

2.3 Jätteiden kaatopaikkasijoittamista koskeva säädäntö

Biohajoavan ja muun orgaanisen yhdyskuntajätteen kaatopaikkasijoittamista rajoittavat valtioneuvoston asetus kaatopaikoista (331/2013) ja asetus jätteistä annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta (332/2013). Näillä asetuksilla pyritään vähentämään jätteiden kaatopaikkasijoittamista ja siten vähentämään jätteistä muodostuvia kasvihuonekaasupäästöjä ja vesistökuormituksia sekä edistämään luonnonvarojen säästeliästä käyttöä. Asetuksilla luovutaan biohajoavan ja muun orgaanisen jätteen sijoittamisesta kaatopaikalle lähes kokonaan vuoteen 2016 mennessä ja jätettä on hyödynnettävä yhä enemmän materiaalina ja energiana. Kaatopaikalle voidaan vuoden 2016 jälkeen sijoittaa sellaista tavanomaista jätettä, jonka biohajoava tai muu orgaanisen aineksen osuus mitattuna orgaanisen hiilen kokonaispitoisuutena tai hehikutushäviönä on enintään kymmenen prosenttia. (Ympäristöministeriö 2014.)

Jäteveroa on maksettava niistä kaatopaikkasijoitettavista jätteistä, joiden hyötykäyttö olisi teknisesti ja ympäristöperusteisesti mahdollista. Jäteveronalaisia kaatopaikkoja ovat yleiset ja yksityiset kaatopaikat, jonne sijoitetaan verolliseen jäteryhmään kuuluvia jätteitä, kuten yhdyskuntajätteitä ja muita energiana hyödynnettävissä olevia jätteitä. Jäteveron tavoitteena on kannustaa jätteiden hyötykäytön lisäämiseen ja kaatopaikkasijoittamisen vähentämiseen. Veroa ei kuitenkaan kanneta niistä jätteistä, jotka hyödynnetään kaatopaikalla. Vuoden 2013 alusta lähtien jätevero on ollut 50 € jätetonnin kohden. (Jäteverolaki 1126/2010.)

2.4 Jätteenpoltttoa koskeva säädäntö

Uusin valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta (151/2013) perustuu suurimmalta osin aiemmin voimassa olleeseen jätteenpolton asetukseen. Asetus säätelee yhdyskuntajätteen polttamista ja se koskee jätteenpoltto- ja rinnakkaispolttolaitoksia, joissa poltetaan kiinteää tai nestemäistä jätelain (646/2011) määrittelemää jätettä ja joiden pääasiallinen tarkoitus on jätteen poltto. Rinnakkaispolttolaitoksissa jäte poltetaan varsinaisen polttoaineen seassa tai tuotantoprosessin ohessa. Jätteenpolttoasetusta on sovellettava, vaikka jätettä poltettaisiin vain yksi prosentti laitoksen pääpolttoaineen rinnalla. Jos laitoksella poltetaan yhdyskuntajätettä ilman esikäsitteilyä, on sovellettava tiukempia pelkäästään jätteenpoltoon asettuja päästöjen raja-arvoja. (Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta 151/2013; Koskinen 2006, 11.)

Jätteenpolttoasetuksen tavoitteena on ehkäistä jätteenpoltoista muodostuvia päästöjä ilmaan ja vesistöihin. Asetuksessa on määritetty ilmaan sekä vesistöihin johdettaville päästöille päästöraja-arvot, joita ei saa ylittää. Jatkuvat mittauksia ilmaan johdettaville päästöille on tehtävä typenoksideille (NO_x), hiilimonoksidille (CO), orgaanisen hiilen kokonaismäärälle (TOC), suolahapolle (HCl), vetyfluoridille (HF), rikkidioksidille (SO_2) ja hiukkasten kokonaismäärälle. Jatkuvia mittauksia on tehtävä myös palamiskammion sisäseinämän läheisyyden lämpötilalle sekä savukaasujen happipitoisuudelle, paineelle, lämpötilalle ja vesihöyrystisällölle. Lisäksi vähintään kaksi kertaa vuodessa on mitattava savukaasujen raskasmetalli-, dioksiini- ja furaanipitoisuudet. Savukaasujen puhdistuksen yhteydessä syntyvien jätevesien pääsy vesistöihin on ehkäistävä mahdollisimman tehokkaasti, kuten laitoksen ympäristöluvassa määritetään. Jätteenpoltto- ja rinnakkaispolttolaitoksien käytölle, päästöille ja niiden mittauksille sekä muulle tarkkailulle asetetut vaatimukset ovat tiukempia ja laajempia kuin tavanomaisia polttoaineita käyttäville laitoksille. (Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta 151/2013.)

3 ENERGIANA HYÖDYNNETTÄVÄN JÄTTEEN KERÄILY- JA KÄSITTELYMENETELMIÄ

Jätteitä syntypaikkalajitellaan ja erilliskerätään jätteiden kierrätyksen ja käsittelyn helpottamiseksi. Kiinteistökohtainen keräys voi perustua kunnan jätehuoltomääräyksiin tai kiinteistön vapaaehtoiseen keräykseen. Nykyvaatimukset täyttävän yhdyskuntajätehuollon edellytyksenä on tehokas logistiikka. Jätevirtoja tulee hallita mahdollisimman tehokkaasti keräyksestä ja kuljetuksesta jätteiden käsittelyyn ja hyödyntämiseen. Jätteiden keräys ja kuljetus ovat jätehuollon työläimpiä osuuksia, koska jätteen tuotanto on nykyään hajautunut kaikkeen ihmisen toimintaan, kuten asumiseen, teollisuuteen, julkishallintoon ja infrastruktuurin ylläpitoon. Jätehuollon kustannuksista jopa reilu 50 prosenttia muodostuu jätteen kuljetuksista. Kuljetuskapasiteetin mahdollisimman tehokkaalla käytöllä ja saatavilla säästöillä voi olla merkittäviä vaikutuksia jätehuollon kokonaiskustannuksiin. (Jätelaitosyhdistys ry 2014b; Horttanainen 2012c.)

Jätteiden käsittelyllä voidaan erotella jätteistä hyödynnettäviä fraktioita tai jätteitä voidaan muokata jatkokäsittelyä helpottavaan muotoon. Jätteenkäsittely perustuu erilaisiin biologisiin, mekaanisiin ja termisiin prosesseihin. Käsittelyketju voi muodostua useammasta erityyppisestä käsittelyprosessista – esimerkiksi jäte voidaan ennen termistä käsittelyä esikäsitellä mekaanisella prosessilla. (Jätelaitosyhdistys ry 2014a.)

3.1 Energiajätteen erottelujärjestelmiä

Asumisessa syntyvästä kotitalousjätteestä keskimäärin noin puolet on energiajätettä. Muilla syntypaikoilla, kuten kaupoissa, toimistoissa, laitoksissa ja yrityksissä, energiajätteitä syntyy vaihtelevia määriä, mikä aiheuttaa vaihtelua alueellisiin energiajättemääriin. Lisäksi alueelliset jätehuoltomääräykset ja keräysjärjestelmät vaikuttavat energiajätteen määrään. Energiajäte koostuu monenlaisista jätekomponenteista, mutta pääsääntöisesti energiajäte koostuu materiaalihyötykäyttöön kelpaamattomasta muovista, puusta, paperista ja pahveista. (Ekholm et al. 2005, 12–13.)

Suomessa on käytössä neljä perusjärjestelmää, joilla jätteitä ohjataan energiahyötykäyttöön. Järjestelmät ovat energiajätteen erilliskeräys syntypaikoilla, lajittelemalla energiajäte

syntypaikoilla tietyn värisiin pusseihin ja keräämällä ne muun jätteen yhteydessä, erottelemalla syntypaikoilla syntyvästä kuivajätteestä energiajäte käsittelylaitoksilla tai käyttämällä kuiva- tai sekajätettä sellaisenaan polttoaineena. (Ekholm et al. 2005, 12.)

3.1.1 Energiajätteen syntypaikkalajittelu

Energiajätteen erilliskeräystä alettiin tutkia Jyväskylässä vuonna 1993, jolloin koeluontoisesti noin 2 000 asukasta ohjeistettiin lajittelemaan kotitalousjätteestä energiajätteet erikseen. Koetoiminta kesti kahden vuoden ajan, jolloin erilliskerättyä energiajätettä analysoitiin jätteen koostumuksien ja ominaisuuksien selvittämiseksi. (Ekholm et al. 2005, 12.)

Energiajätteen erilliskeräys voi laajimmillaan käsittää kaikki jätehuoltoyhtiön toiminta-alueeseen kuuluvat kiinteistöt. Tällöin erilliskeräystä täydennetään alueellisilla keräyspisteillä kiinteistöjen omien keräysasioiden lisäksi. (Ekholm et al. 2005, 13.)

Erilliskeräykseen perustuvissa järjestelmissä ongelmana on ollut energiajätteen pienehkö saanto. Jätteiden hyötykäyttöä ei ole saatu sille tasolle kuin sen on suunniteltu asettuvan. Asumisesta saatavan energiajätteen osuus on ollut vain noin 10–15 prosentin luokkaa kokonaisjättemäärästä ja se jää vain noin 20 prosenttiin potentiaalisesta energiajättemäärästä. (Ekholm et al. 2005, 4.)

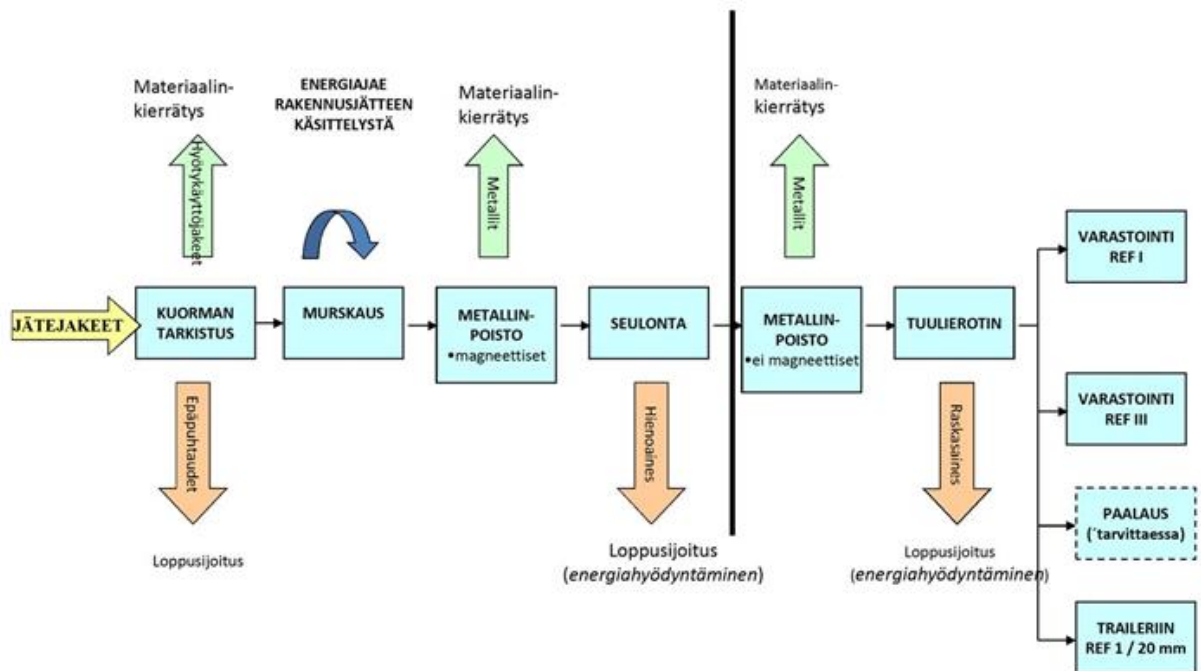
Energiajätteistä valmistettuja kierrätyspolttoaineita on Suomessa hyödynnetty kattiloiden rinnakkaispolttoaineena noin kahden kymmenen vuoden ajan. Nyt kuitenkin kierrätyspolttoaineita hyödyntävien laitosten rakentaminen on lähes pysähtynyt, koska sekalaisen jätteen suora poltto arinakattiloilla on lisääntynyt merkittävästi. Kunnalliset jätelaitokset eivät rakennuta kierrätyspolttoaineita hyödyntäviä laitoksia itse, vaan pyrkivät kilpailuttamaan jätteiden energiahyötykäytön kokonaisuutena ja palveluperiaatteella. (Ekholm et al. 2005, 5.)

Koska sekajätteen massapoltto on viime vuosina kasvanut merkittävästi, joillakin paikkakunnilla on luovuttu tai aiotaan luopua energiajätteen erilliskeräyksestä. Esimerkiksi pääkaupunkiseudulla energiajätteen erilliskeräys lakkautetaan vuonna 2015, koska Vantaalle rakenteilla olevalla Vantaan Energian jätevoimalaitoksella tullaan hyödyntämään pääkaupunkiseudun ja Länsi-Uudenmaan yhdyskuntien tuottamat sekajätteet energiantuotannossa. (Helsingin seudun ympäristöpalvelut 2014.)

Toisaalta energiajätteen erilliskeräystä ollaan myös tehostamassa tai aloittamassa sekajätteen massapolton suosion kasvusta huolimatta. Esimerkiksi Rauman Seudun Jätehuoltolaitoksen toiminta-alueella aloitettiin vuoden 2014 alusta energiajätteen erilliskeräys Rauman kaupungin toimesta. Erilliskeräysvelvoite koskee kaikkia vähintään viiden huoneiston asuinkiinteistöjä, julkisen toiminnan kiinteistöjä sekä sosiaali- ja terveystalujen kiinteistöjä. Lisäksi pienemmät kiinteistöt voivat omaehtoisesti liittyä energiajätteen erilliskeräykseen. (Rauman Seudun Jätehuoltolaitos 2013.) Erilliskerätty energiajäte vastaanotetaan Rauman Biovoiman vastaanottoasemalla, jossa energiajäte murskataan ja syötetään kattiloille, jotka tuottavat kaukolämpöä Rauman kaupungille ja höyryä paperitehtaalle. Erilliskerättävän energiajätteen käsittelylaitoksen on määrä valmistua syksyllä 2014. (Pohjolan Voima 2013.)

3.1.2 Energiajätteen laitosmainen erottelu

Kierrätyspolttoaineita voidaan valmistaa kuivajätteestä ja lajitellusta energiajätteestä. Kuivajätteestä saadaan heikohkoluista kierrätyspolttoainetta ja kuivajätteen määrästä reilu puolet jalostuu kierrätyspolttoaineeksi. Laitoksella kuivajätteestä erotellaan biohajoavat ainekset, mineraaliainekset, magneettiset ja ei-magneettiset metallit sekä raskaat palamatomat ainekset. Yrityksiltä erilliskerätty energiajäte on usein niin tasalaatuista, että siitä saadaan jalostettua pääsääntöisesti hyvälaatuista kierrätyspolttoainetta murskauksen ja metallien erottelulla. (Ekholm et al. 2005, 16–17.) Kuvassa 4 on esitetty esimerkki kierrätyspolttoaineen käsittelyketjusta. Ketjussa kerätään talteen kierrätettävät materiaalit sekä polttoon soveltumattomat jätejakeet, jotka päätyvät loppusijoitukseen.

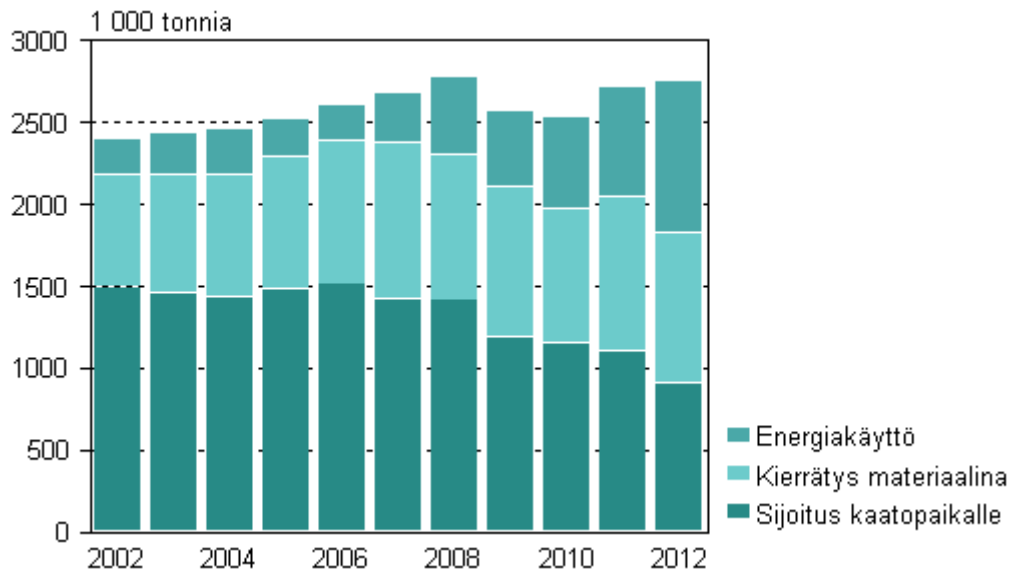


Kuva 4. Kierrätyspolttoaineen valmistuksen käsittelyketju (Horttanainen 2012a).

Kierrätyspolttoaineen valmistuksen tavoitteina ovat tasalaatuisemman polttoaineen tuottaminen ja materiaalikierrätyksen lisääminen. Mitä homogeenisempaa polttoainetta valmistetaan, sitä paremmin tunnetaan polttoaineen ominaisuudet, pystytään helpommin poistamaan haitallisia materiaaleja ja pienentämään poltosta aiheutuvia päästöjä sekä voidaan estää kattilan korroosio ja likaantuminen. (Horttanainen 2012a.)

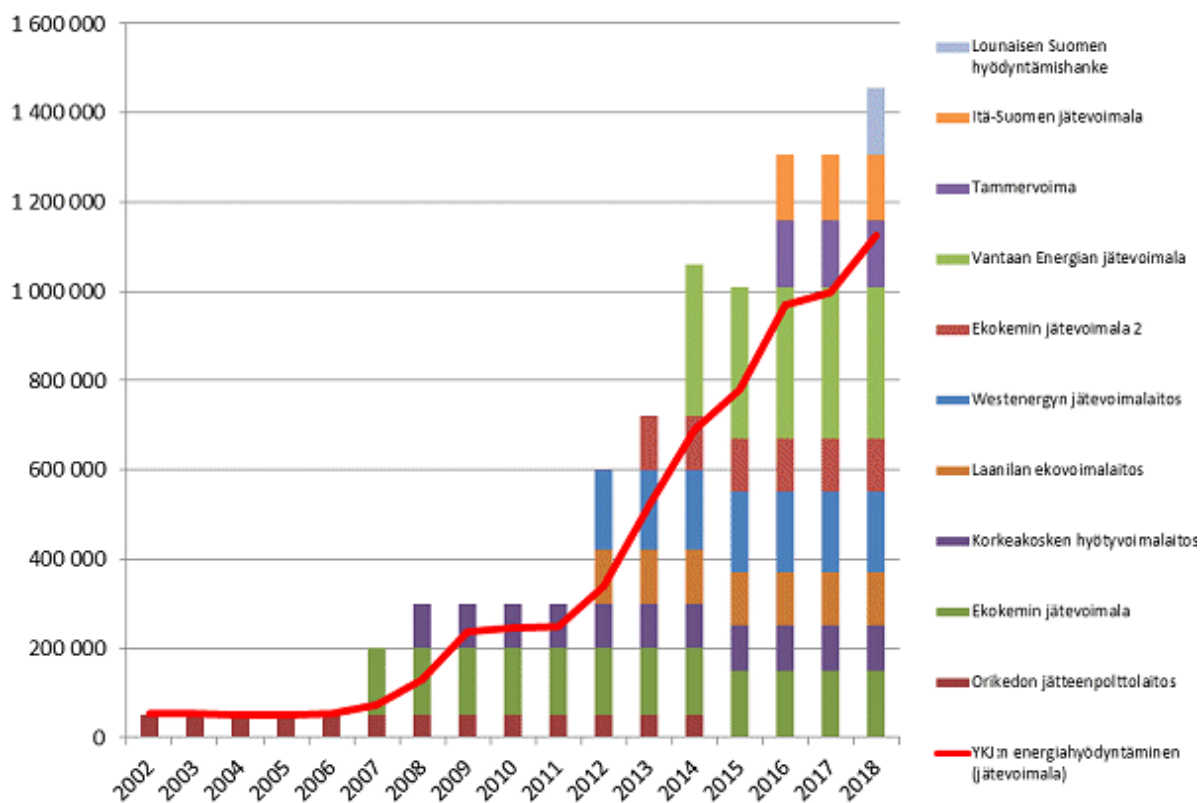
3.2 Jätteiden energiahyödyntäminen Suomessa

Suomessa syntypaikkalajitellun jätteen hyödyntäminen energiana on ollut aiempina vuosina erittäin vähäistä. Määrä on kuitenkin ollut tasaisessa nousussa ja vuonna 2012 Suomessa yhdyskuntajätettä poltettiin noin 0,9 miljoonaa tonnia. Energiahyötykäytön osuus yhdyskuntajätteen käsittelymenetelmänä oli noin kolmannes, mikä on selvästi enemmän kuin aikaisempina vuosina. Erityisesti sekajätettä poltettiin edeltäneitä vuosia enemmän, noin 520 000 tonnia. Energiahyödyntämisen osuus kohosi ensimmäistä kertaa lähes Länsi-Euroopan keskiarvoihin. (Tilastokeskus 2013c.) Kuvassa 5 on esitetty yhdyskuntajätteen käsittelymenetelmien jakautuminen Suomessa vuodesta 2002 vuoteen 2012.



Kuva 5. Yhdyskuntajätteen käsittelymenetelmien kehitys vuosina 2002–2012 (Tilastokeskus 2013c).

Suomessa sijaitsevia jätevoimalaitoksia, joiden pääpolttoaineena ovat yhdyskuntajätteet ja muut jätteet, on Turussa, Riihimäellä, Kotkassa, Lahdessa, Oulussa ja Mustasaassa. Lisäksi rakenteilla olevia jätevoimalaitoksia on Vantaalla ja Tampereella, ja suunnitteilla Leppävirtaan. Nykyisten suunnitelmien perusteella Suomeen on kehitteillä riittävä jätteenpolttokapasiteetti yhdyskuntajätteille vuosiin 2016–2017 mennessä. Jätevoimaloiden kapasiteetti sekajätteille tulee olemaan noin 1,1 miljoonaa tonnia eli noin 70 prosenttia kokonaiskapasiteetista. Loput kapasiteetista on suunnattu teollisuusjätteiden energiahyödyntämiseen. (Jätelaitosyhdistys ry 2013a.) Kuvassa 6 on esitetty Suomen jätevoimalaitosten kokonaiskapasiteetin kasvu vuoteen 2018 mennessä. Lounaisen Suomen hankintarengas on huomioitu kapasiteetissa vuodesta 2018 alkaen, jolloin hankintarenkaassa alkaa pitkän aikavälin sopimuskausi.



Kuva 6. Jätevoimalaitosten kokonaiskapasiteetti vuosina 2002–2018 (Jätelaitosyhdistys ry 2013b).

Suomessa oli vuonna 2012 vajaa 30 rinnakkaispolttolaitosta, jotka polttivat kierrätyspolttoaineita tai lietettä. Lisäksi suunnitteilla oli yksi rinnakkaispolttolaitos. Kierrätyspolttoaineiden rinnakkaispoltto tavanomaiden polttoaineiden seassa on ollut tehokas menetelmä energiahyötykäyttää hyvälaatuista jätettä. Poltosta aiheutuvat päästöt ovat olleet hyvin hallinnassa, koska polttoon on käytetty ainoastaan hyvin palavia ja melko haitattomia jätteitä. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2012, liite 2; Vesanto 2006, 14.)

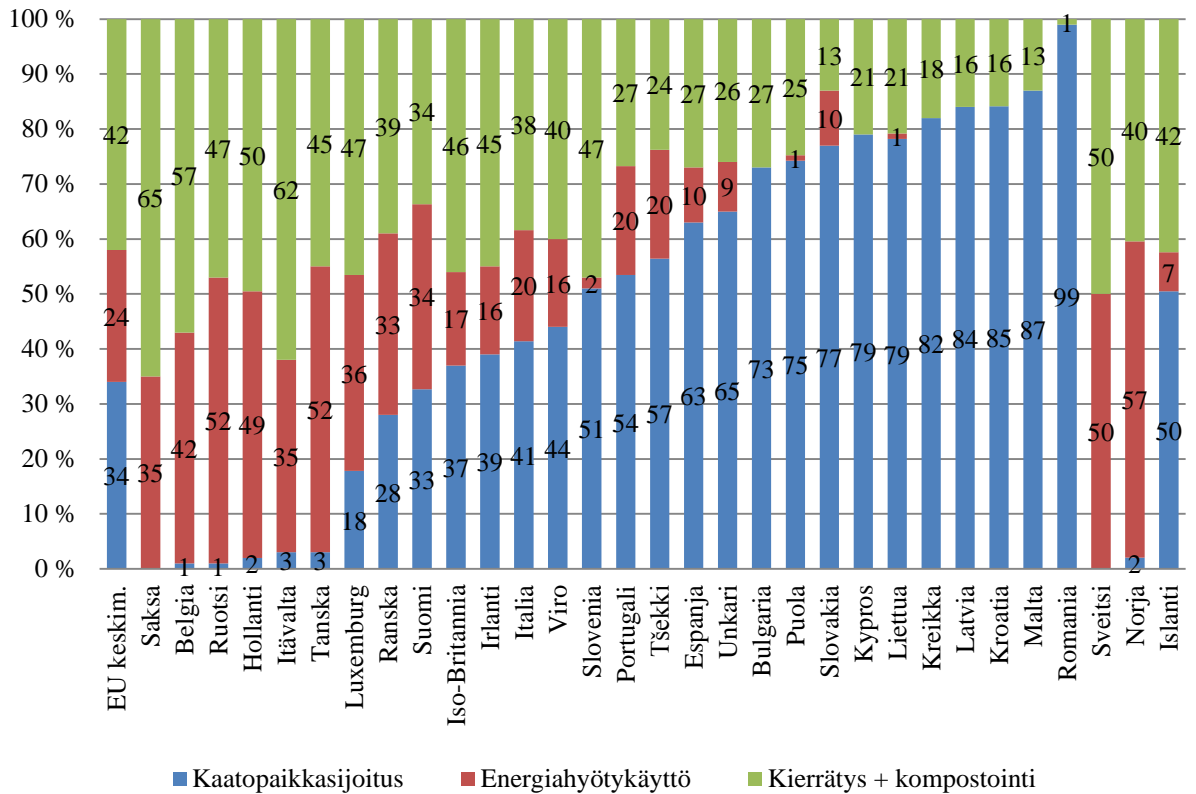
3.3 Jätteiden energiahyödyntäminen Euroopassa

Euroopassa jätteenpolton merkitys osana jätehuoltoa vaihtelee melko paljon. Läntisessä Euroopassa jätteenpoltolla on suuri merkitys, erityisesti Tanskassa ja Sveitsissä lähes kaikki polttokelpoinen jäte päättyy poltettavaksi. Myös Ruotsissa ja Alankomaissa jätteenpolto on ollut merkittävää. (Vesanto 2006, 10.) Taulukkoon 2 on kerätty jätteenpolttolaitoksia ja poltetun yhdyskuntajätteen määriä Euroopassa vuodelta 2011.

Taulukko 2. Jätteenpolttolaitokset ja poltetun yhdyskuntajätteen määrä Euroopassa vuonna 2011 (CEWEP 2014).

| Maa | Jätteenpolttolaitokset [kpl] | Poltettu yhdyskuntajätteen määrä [milj. t] | Jätteenpolton osuus kokonaisjättemäärästä [%] |
|---------------|------------------------------|--|---|
| Alankomaat | 12 | 7,2 | 38 |
| Belgia | 18 | 3,6 | 42 |
| Espanja | 11 | 2,5 | 9 |
| Irlanti | 1 | 0,04 | 5 |
| Iso-Britannia | 25 | 5,7 | 12 |
| Italia | 46 | 5,8 | 17 |
| Itävalta | 13 | 2,5 | 35 |
| Luxemburg | 1 | 0,1 | 38 |
| Norja | 18 | 1,5 | 30 |
| Portugali | 3 | 1,1 | 21 |
| Puola | 1 | 0,04 | 1 |
| Ranska | 129 | 12,9 | 35 |
| Ruotsi | 32 | 5,2 | 51 |
| Saksa | 75 | 21,2 | 37 |
| Slovakia | 2 | 0,2 | 11 |
| Slovenia | 1 | 0,01 | 2 |
| Suomi | 3 | 0,3 | 25 |
| Tanska | 29 | 3,5 | 54 |
| Tšekki | 3 | 0,6 | 18 |
| Unkari | 1 | 0,4 | 11 |

Määrällisesti eniten jätteenpolttolaitoksia vuonna 2011 oli Ranskassa ja Saksassa. Ranskassa oli laitoksia selvästi muita maita enemmän. Jätteenpolton osuus kokonaisjättemäärästä Ranskassa jäi silti alle 40 prosentin. Prosentuaalisesti eniten jätteitä poltettiin Tanskassa ja Ruotsissa, joissa molemmissa maissa jätteenpolton osuus kokonaisjättemäärästä nousi yli 50 prosenttiin. Vähiten jätteitä poltettiin Irlannissa, Puolassa ja Sloveniassa, joissa jätteenpolton osuus kokonaisjättemäärästä oli vain 5 prosenttia tai sitä vähemmän. Kuvassa 7 on vielä esitetty yhdyskuntajätteiden käsittelyosuuksia Euroopassa vuonna 2012.



Kuva 7. Yhdyskuntajätteen käsittely Euroopassa vuonna 2012 (CEWEP 2014).

Vuonna 2012 Euroopassa yhdyskuntajätteen energiahyötykäytön osuus oli merkittäväntä Norjassa, Sveitsissä, Tanskassa ja Ruotsissa, joissa yhdyskuntajätteestä hyödynnettiin energiana vähintään 50 prosenttia. Materiaalihyötykäyttö oli merkittäväntä Saksassa ja Itävallassa, joissa molemmissa maissa yhdyskuntajätteestä kierrätettiin tai kompostoitiin yli 60 prosenttia. Keskimäärin Euroopan maissa yhdyskuntajätteistä hyödynnettiin materiaalina noin 42 prosenttia ja noin 24 prosenttia hyödynnettiin energiana. Kaatopaikalle päätyi keskimäärin 34 prosenttia yhdyskuntajätteestä. Suomen yhdyskuntajätteen kokonaishyödyntämisaste oli vuonna 2012 Euroopan maiden keskitason luokkaa.

4 ENERGIANA HYÖDYNNETTÄVIEN JÄTTEIDEN OMINAISUUDET POLTTOAINEENA

Syntypaikkalajitellusta teollisuuden, yritysten ja yhdyskuntien kuivista, kiinteistä, polttokelpoisista ja vaarattomista jätteistä voidaan valmistaa kierrätyspolttoaineita, joiden tuotannolla ja energiahyödyntämisellä tuetaan jätteen ja sivutuotteiden hyötykäyttöä ja sa-

malla vähennetään jätteiden kaatopaikkasijoittamista. Kierrätyspolttoaineita (SRF, REF ja RDF) ovat erilliskerätystä energiajätteestä, kuivajätteestä tai sekajätteestä jalostetut polttoaineet, ja niiden käytöllä voidaan korvata lämpö- ja voimalaitosten sekä muiden termisten prosessien käyttämiä fossiilisia polttoaineita. Kierrätyspolttoaineiden tulee täyttää niille asetetut laatu- ja luokituskriteerit. Luokitus perustuu taloudellisiin, teknisiin ja ympäristöllisiin indikaattoreihin. Kierrätyspolttoaineen yleisnimitys SRF (engl. solid recovered fuel) on kansainvälinen termi, jolla tarkoitetaan kaikkia kiinteitä kierrätyspolttoaineita, sisältäen myös luokitukset REF (engl. recovered fuel) ja RDF (engl. refuse derided fuel). REF -luokituksella viitataan erilliskerätystä energiajätteestä valmistettuun kierrätyspolttoaineeseen ja RDF -luokituksella lajittelemattomasta sekajätteestä valmistettuun kierrätyspolttoaineeseen. (Alakangas 2000, 9; Montané et al. 2013, 90.)

Kierrätyspolttoaineiden laatu on melko vaihtelevaa. Laatutekijöihin vaikuttavat muun muassa paikalliset eroavaisuudet jätehuollon järjestämisstrategioissa ja kierrätysvaatimuksissa, jätevirtojen saatavuudesta sekä erilaisista tekniikoista, joita käytetään jäteperäisten polttoaineiden valmistuksessa. Palamisominaisuudet on tunnettava mahdollisimman tarkkaan, jotta voidaan välttyä teknisiltä ja ympäristöllisiltä ongelmilta, joita jätepolttoaineiden laadun heterogeenisuus ja eroavaisuudet tavanomaisiin polttoaineisiin verrattuina voivat aiheuttaa. (Montané et al. 2013, 90.)

Suomessa vuodesta 2000 asti käytössä ollut kierrätyspolttoainestandardi SFS 5875 kumottiin ja se korvattiin eurooppalaisilla standardeilla. Vanhassa standardissa kierrätyspolttoaineet luokiteltiin kolmeen luokkaan seitsemän ominaisuuden perusteella. Uudessa standardissa SFS-EN 15359 kierrätyspolttoaineet luokitellaan viiteen luokkaan kolmen eri ominaisuuden perusteella, jotka ovat lämpöarvo, kloori- ja elohopeapitoisuus. Taulukossa 3 on esitetty SRF -polttoaineiden luokitusjärjestelmä.

Taulukko 3. Kiinteiden kierrätyspolttoaineiden luokitusjärjestelmä (SFS-EN 15359, 16).

| Luokitusominaisuus | Tilastollinen mitta | Yksikkö | Luokat | | | | |
|----------------------------|------------------------------|--------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Tehollinen lämpöarvo (NCV) | Keskiarvo | MJ/kg (ar) | ≥ 25 | ≥ 20 | ≥ 15 | ≥ 10 | ≥ 3 |
| Luokitusominaisuus | Tilastollinen mitta | Yksikkö | Luokat | | | | |
| Klooripitoisuus (Cl) | Keskiarvo | % (d) | ≤ 0,2 | ≤ 0,6 | ≤ 1,0 | ≤ 1,5 | ≤ 3 |
| Luokitusominaisuus | Tilastollinen mitta | Yksikkö | Luokat | | | | |
| Elohopeapitoisuus (Hg) | Mediaani 80. prosentti-piste | mg/MJ (ar) mg/MJ (ar) | ≤ 0,02 ≤ 0,04 | ≤ 0,03 ≤ 0,06 | ≤ 0,08 ≤ 0,16 | ≤ 0,15 ≤ 0,30 | ≤ 0,50 ≤ 1,00 |

SRF -polttoaineiden luokitus- ja spesifikaatioperiaatteet ovat erityisen tärkeitä, jotta kiinteillä kierrätyspolttoaineilla voidaan käydä mahdollisimman tehokasta kauppaa, edistää niiden hyväksymistä polttoainemarkkinoilla ja lisätä kansalaisten luottamusta kierrätyspolttoaineisiin (SFS-EN 15359, 6).

4.1 Energiajätteen koostumus ja palamistekniset ominaisuudet

Tässä tarkastelussa energiajätteellä tarkoitetaan erilliskerättyä, syntypaikalla lajiteltua yhdyskuntien tuottamaa jätettä, jonka pääkomponentteja ovat muovit ja puukuidut. Taulukossa 4 on esitetty asumisessa syntyvän energiajätteen keskimääräisiä koostumuksia energiajätteessä esiintyvien jätejakeiden vaihteluväleinä.

Taulukko 4. Energiajätteen keskimääräisiä jätejakeiden vaihteluvälejä (Alakangas 2000, 111; Forssell 2011, 18; Pöyry 2013, 18; Peltonen 2012, 25).

| Jätejake | Energiajätteen koostumus [p- %] |
|--------------------|---------------------------------|
| Keräyspaperi | 13–27 |
| Pahvi | 4–24 |
| Biojäte | 4–40 |
| Lasi | 0,3–5 |
| Metalli | 0,5–5 |
| Muovi | 5–32 |
| Tekstiili | 2–6 |
| Puu | 2–5 |
| SER | 0,3 |
| Muu palava jäte | 16–19 |
| Muu palamaton jäte | 5–15 |

Energiajätteestä valmistetun kierrätyspolttoaineen (SRF -polttoaineen) tärkeimpiä käyttäjiä ovat teollisuusyritykset ja yhdyskuntien voimalaitokset, jotka käyttävät kierrätyspolttoainetta rinnakkaispoltona tavanomaisten polttoaineiden seassa noin 5–30 prosentin seoksella polttoaineen käyttömäärästä. Energiahyödyntämiseen soveltuvat parhaiten teollisuuden ja kaupanalan pakkaus-, paperi- ja muovijätteet sekä rakennusjätteet ja yhdyskuntajätteistä kuivajätteet metalli- ja lasijätteen erottelun jälkeen. (Alakangas 2000, 110.)

Vanhan luokituksen mukaan energiajätteestä valmistettu REF -polttoaine luokiteltiin kolmeen laatuluokkaan (REF I–III), jossa REF I on laadultaan parasta ja REF III heikointa. Yleisemmäksi kaupankäynnin laatuluokaksi muodostui REF II. Kierrätyspolttoaineiden laatuun vaikuttavat polttoaineiden valmistusprosessit ja raaka-aineiden koostumukset. (Myllymaa et al. 2006, 23; Vesanto et al. 2007, 15, 21.) Taulukossa 5 on esitetty vanhan laatuluokituksen mukaan kierrätyspolttoaineen keskimääräisiä palamisteknisiä ominaisuuksia. Taulukossa 3 aiemmin esitettiin uuden standardin mukainen kierrätyspolttoaineiden luokitusjärjestelmä.

Taulukko 5. Energiajätteestä valmistetun REF -polttoaineen palamisteknisiä ominaisuuksia (Alakangas 2000, 113; Ajanko et al. 2005, 66).

| Ominaisuudet | REF I | REF II | REF III |
|--|-------|--------|---------|
| Kosteus [%] | 9,1 | 13,8 | 28,5 |
| Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa [MJ/kg] | 20,8 | 19,3 | 14,6 |
| Tuhkapitoisuus [%] | 5,9 | 8,0 | 9,5 |

4.2 Sekajätteen koostumus ja palamistekniset ominaisuudet

Sekajäte on lajittelematonta yhdyskuntajätettä ja se voi sisältää monia eri fraktiota ja olla laadultaan siten epätasaista. Sekajätteestä mekaanisesti valmistetusta kierrätyspolttoaineesta käytetään nimitystä RDF (engl. refuse derived fuel). RDF on laadultaan usein vanhan luokituksen mukaisen REF III:n tasoa tai sitä heikompaa. Sekajätettä hyödyntävän laitoksen savukaasujen puhdistusjärjestelmät tulee olla huippuluokkaa ja täyttää jätteenpolttodirektiivin (2010/75/EU) asettamat vaatimukset. (Myllymaa et al. 2006, 23.)

Sekajätteen koostumuksessa esiintyy jonkin verran alueellista vaihtelua. Muun muassa alueelliset jätehuoltomääräykset ja jätteen tuottajien lajitteluaktiivisuus vaikuttavat sekajätteen koostumukseen. (Teirasvuo 2011, 97; Hynynen 2008, 48.) Taulukossa 6 on esitetty sekajätteen keskimääräisiä koostumuksia jätejakeiden vaihteluväleinä.

Taulukko 6. Sekajätteen koostumus (Teirasvuo 2011, 96; Hynynen 2008, 35).

| Jätejake | Vaihteluväli sekajätteessä [m- %] |
|---------------------------------|--|
| Biojäte | 9–40 |
| Paperi-, pahvi- ja kartonkijäte | 5–17 |
| Metallijäte | 2–5 |
| Lasijäte | 1–4 |
| Vaarallinen jäte ja SER | 1–6 |
| Polttokelpoinen jäte | 19–43 |
| Polttokelvoton jäte | 3–41 |

Sekajätteen palamisteknisistä ominaisuuksista on tarkasteltu polttoaineen kosteuspitoisuutta, tehollista lämpöarvoa saapumistilassa sekä tuhkapitoisuutta. Taulukkoon 7 on koottu sekajätteen keskimääräisiä palamisteknisiä ominaisuuksia.

Taulukko 7. Sekajätteen palamisteknisiä ominaisuuksia (Teirasvuo 2011, 104; Tilastokeskus 2014b).

| Ominaisuudet | Vaihteluväli |
|--|---------------------|
| Kosteuspitoisuus [%] | 25–35 |
| Tehollinen lämpöarvo saapumistilassa [MJ/kg] | 10–17 |
| Tuhkapitoisuus [%] | 5–16 |

Sekajätettä voidaan polttaa niin sanottuna massapolttona, jolloin jätettä ei esikäsitellä ennen polttoa vaan se poltetaan siinä muodossa kuin se polttolaitokselle tuodaan. Esikäsitely kuitenkin parantaa palamisprosessia, kun jätteestä eliminoidaan palamista haittaavia fraktioita. Esimerkiksi erittäin kosteuspitoiset jätteet heikentävät tulipesän palamisolosuhteita ja vaikeuttavat siten palamisen hallintaa. Sekajätteen sisältämät palamattomat materiaalit eivät paranna jätteen lämpöarvoa, vaan ne kulkeutuvat polttojärjestelmän läpi, jonka jälkeen ne on käsiteltävä palamattomana jakeena polttoprosessin jälkeen. Tämän vuoksi inerttien materiaalien erottaminen jätteestä ennen polttoprosessia parantaa jätteen lämpöarvoa massayksikköä kohden. (Raiko et al. 2002, 482–483.)

5 JÄTTEENPOLTTOOTEKNIKOITA

Jätteenpoltto poikkeaa jonkin verran tavanomaisten polttoaineiden poltosta. Ero johtuu muun muassa polttoaineen ominaisuuksista sekä polton tavoitteesta. Jätteenpolton ainoana tarkoituksena ei ole energiantuotanto vaan lisäksi kaatopaikalle vietävän jätteen painon ja tilavuuden pienentäminen sekä inerttiyden lisääminen. Poltolla voidaan vähentää jätemää-

rää jopa 95 prosenttia. (Raiko et al. 2002, 482; Montejo et al. 2010, 2135.) Muita jätteenpolton tavoitteita ovat hygienisointi eli taudinaiheuttajien tuhoaminen, kaatopaikalla muodostuvien metaanipäästöjen vähentäminen, kun bioperäisten jätteiden määrä kaatopaikalle vähenee, jätteen sisältämän kemiallisen energian hyödyntäminen lämpöenergiana, sähkönä tai mekaanisena työnä sekä mahdollinen prosessoinnin lopputuotteiden hyödyntäminen. (Horttanainen 2012b.)

Jätteenpolttomenetelmiä on monia, mutta yleisin, varsinkin sekalaiselle yhdyskuntajätteelle, on liikkuva eli mekaaninen arina. Muita menetelmiä ovat esimerkiksi kiinteät arinat pienillä jätemäärillä, leijukerros poltto esimerkiksi lietteille sekä pyörivät rumpu-uunit kemiallisille ja vaarallisille jätteille. (Raiko et al. 2002, 482.)

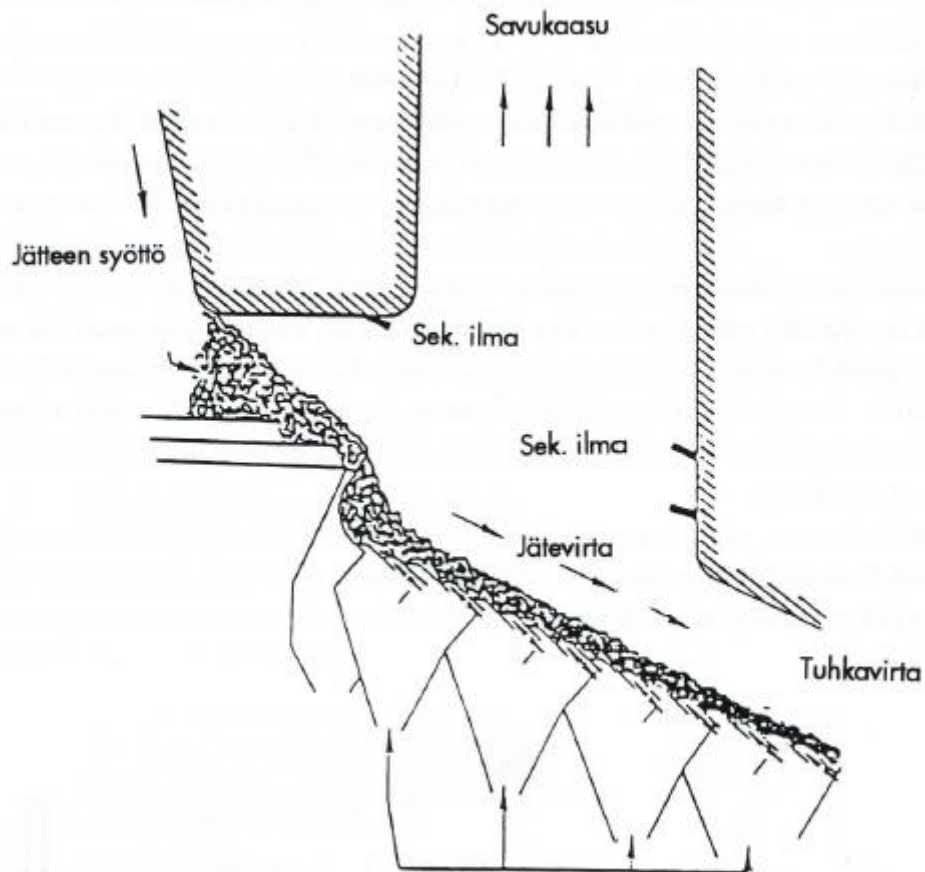
5.1 Jätteen arinapoltto

Arinatekniikka soveltuu hyvin erilaatuisten jätteiden polttoon. Tavanomaista yhdyskuntajätettä voidaan polttaa arinakattilalla ilman suurempaa esikäsitelyä. Esikäsitelyksi riittää, että polttoon menevästä jätteestä rikotaan suurikokoisimmat jätejakeet ja poistetaan metallikappaleet. Arinatekniikka sietää melko hyvin jätteen kosteuspitoisuuden, lämpöarvon ja tuhkapitoisuuden vaihtelua. Tulipesässä voidaan polttaa muun jätteen seassa pienissä erissä jopa kuivahkoa yhdyskuntalietettä. Arinatekniikka ei kuitenkaan sovellu nestemäisten, jauhemaisten tai sulavien jätteiden polttoon. (Vestanto 2006, 30.)

Jätteenpoltossa käytettyjä arinoita on kolmea päätyyppiä, jotka ovat vasta- ja myötäsytöarina sekä valssiarina. Vasta- ja myötäsytöarinoille on ominaista erittäin hyvä primääri ilman sekoittuminen. Niiden käyttöikä on valssiarinoihin verraten jokin verran lyhyempi, koska niissä on paljon mekaanisesti kuluvia osia. Vastasytöarinassa arinaraudat liikkuvat polttoainevirtaa vastaan. Vastasytöarinalla on erittäin hyvä sekoitusvaikutus, mutta kiinteän arinakulman vuoksi jätteen siirtymänopeuteen arinalla ei voida juurikaan vaikuttaa. (Raiko et al. 2002, 484.)

Arinakattilan tulipesässä tulee olla tavanomaiset kostean polttoaineen palamisalueet, jotka ovat kuivumis-, pyrolyysi- ja kaasuuntumisvyöhykkeet ja hiiltojäännöksen palamisalue. Tulipesän rakenne on suunniteltava siten, että arinan eri vyöhykkeillä muodostuneet kaasut sekoittuvat mahdollisimman hyvin ja palavat korkeassa lämpötilassa arinan yläpuolella.

(Vesanto 2006, 30.) Tulipesän geometrialla on suuri merkitys, koska jätteen sisältämien haitallisten aineiden, kuten dioksiinien ja furaanien, hajoaminen palamisprosessissa edellyttää mahdollisimman täydellistä palamista (Raiko et al. 2002, 485). Kuvassa 8 on esitetty arinakattilan tulipesän periaatekuva.



Kuva 8. Arinakattilan tulipesä vastasyöttöarinalla (Raiko et al. 2002, 484).

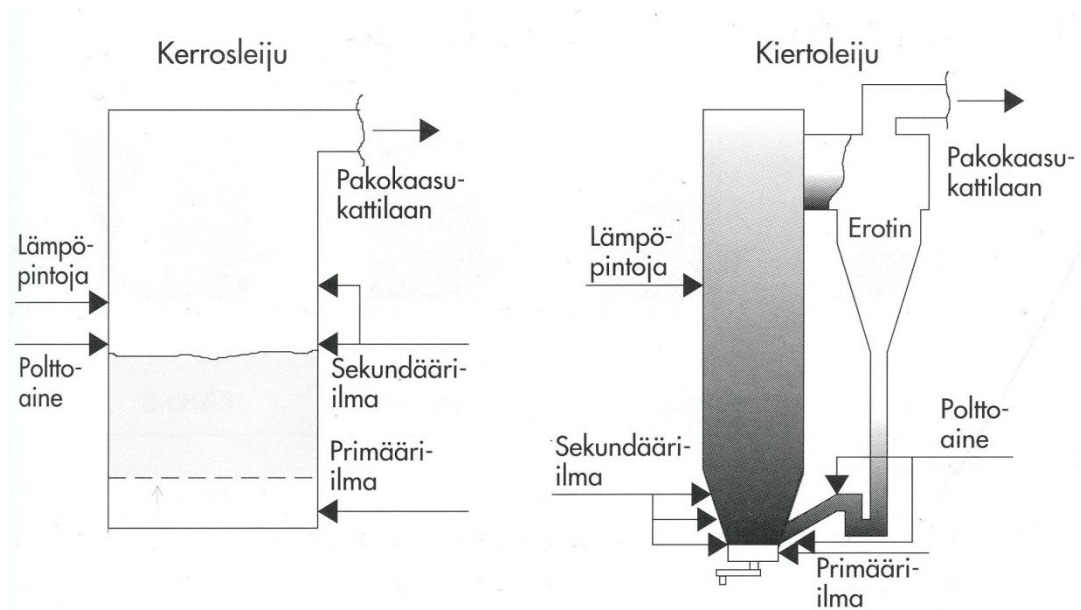
Suomessa suurimmassa osassa jätteenpolttolaitoksia käytetään arinatekniikkaa. Korkeakosken hyötyvoimalaitos Kotkassa, Westenergyn jätevoimalaitos Vaasassa, Laanilan eko-voimalaitos Oulussa, Ekokemin jätevoimalaitokset Riihimäellä sekä Orikedon jätteenpolttolaitos Turussa perustuvat arinatekniikkaan. Myös rakenteilla olevat Tammervoima ja Vantaan Energian jätevoimala tulevat käyttämään arinatekniikkaa.

5.2 Jätteen leijupetipoltto

Arinapolttoa uudempi menetelmä on leijupetipoltto, jossa hiekka, tuhka tai muu vastaavanlainen reagoimaton materiaali leijutetaan ilmapvirran avulla ja jätteet poltetaan leijutettavan petimateriaalin seassa. Leijupeti toimii arinan vastineena. Leijupetipoltossa polttoaineen sekoittuvuus on jatkuvaa, jonka ansiosta kaasujen ja lämmön siirtyminen on hyvin tehokasta. Tekniikkaa voidaan soveltaa myös huonolaatuisille polttoaineille, mutta käytännössä se ei kuitenkaan sovellu pelkästään lajittelemattoman yhdyskuntajätteen polttoon. (Van Caneghem et al. 2012, 554; Vestanto 2006, 31; Vesanto et al. 2007, 42.)

Leijupetitekniikan etuja ovat muun muassa tehokas palaminen, palamisprosessin helppo hallittavuus, ajoittainen käyttömahdollisuus sekä kohtuullisen alhaiset pääoma- ja käyttökustannukset. Lisäksi leijupetitekniikka on osoittautunut ympäristömyönteiseksi jätteenpolttotekniikaksi. Jäte on ennen polttoa murskattava leijutukseen soveltuvaan noin 50–100 mm palakokoon. Leijupetitekniikan esikäsittely vaatii enemmän investointeja verrattaessa arinatekniikkaan. Hyvä murskaus ja metallien erottelu ovat oleellisia laitoksen tasaisen toiminnan kannalta. Uusilla kehityssuunnilla on kuitenkin voitu vähentää jätteen esikäsittelyn tarvetta, jolloin laitokset sietävät yhä karkeampia jätemateriaaleja. (Yan et al. 2005, 1166; Vesanto 2006, 33; Horttanainen 2012a.)

Jätteenpoltossa voidaan käyttää kahta erilaista leijupetitekniikkaa, jotka ovat perinteinen kupliva leijupeti- ja kiertoleijupoltto. Kuplivassa leijupoltossa kaasun virtausnopeus pidetään alhaisena ja poltettavat jätteet syötetään leijutettavan kerroksen pinnalle tai sen sekaan. Polttoaineen partikkelikoko tulee olla oikeanlaista, jotta polttoaine ei pääse kulkeutumaan ennen täydellistä palamista pois tulipesästä. Kiertoleijupoltossa kaasun virtausnopeus on suurempi, jolloin osa petimateriaalista kulkeutuu kaasun mukana pois tulipesästä. Petimateriaali erotetaan savukaasuista syklonin avulla ja palautetaan takaisin tulipesään. Suuremman virtausnopeuden ansiosta polttoaineen sekoittuminen on parempaa ja palaminen tehokkaampaa kuin perinteisessä kuplivassa leijupetipoltossa. (Van Caneghem et al. 2012, 554.) Kuvassa 9 on esitetty periaatekuvat leijupeti- ja kiertoleijupolttotekniikoista.



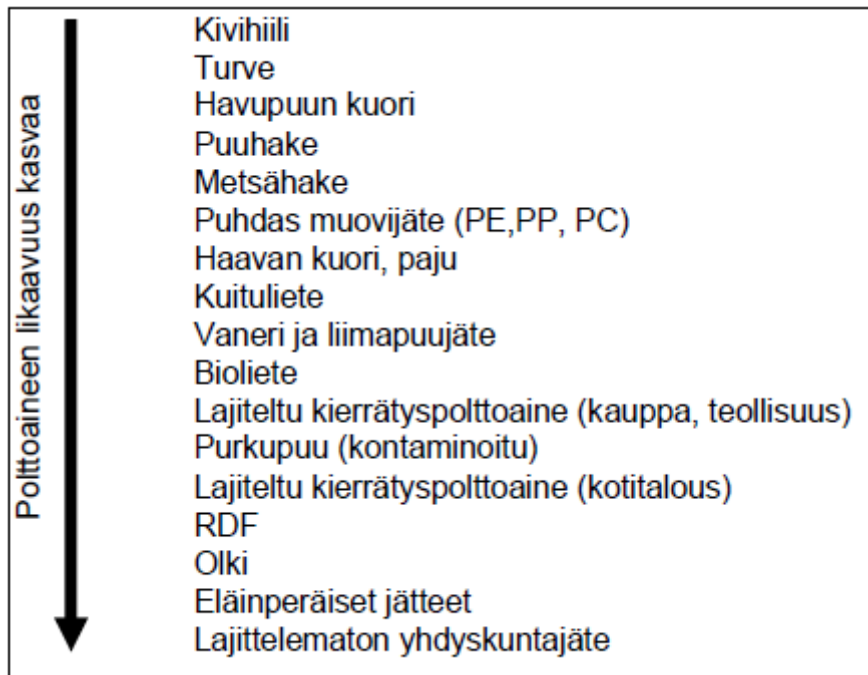
Kuva 9. Leijupeti- ja kiertoleijutekniikan peruseriaatekuvat (Raiko et al. 2002, 491).

Leppävirtaan suunnitteilla oleva Riikivoima Oy:n ekovoimalaitoksen kattilatyyppejä tulee olemaan leijupetikattila, jossa poltetaan pääsääntöisesti syntypaikkalajiteltua yhdyskuntajätettä (Riikivoima Oy 2014). Lisäksi rinnakkaispolttolaitoksissa käytetään usein leijupetitekniikkaa.

5.3 Kattilan likaantuminen jätteenpoltossa

Kierrätyspolttoaineita käytettäessä leijupoltossa kattilaan kertyy ajan myötä palamattomia polttoaineen epäpuhtauksia, kuten lasia ja metallia. Epäpuhtauksien poistamisesta on huolehdittava, koska ne heikentävät leijupoltossa kattilan lämpötilanhallintaa sekä palamisen ja päästöjen hallintaa.

Palamisessa muodostuvan tuhkan likaavuuteen vaikuttavat polttoaineen ja tuhkan koostumukset. Jäteperäiset polttoaineet ja biopolttoaineet ovat huomattavasti fossiilisia polttoaineita kattilaa likaavampia polttoaineita. (Vesanto et al. 2007, 41–42.) Kuvassa 10 on esitetty polttoaineiden ja niiden tuhkien suhteellista kattilan likaavuutta leijupoltossa. Järjestys on suuntaa-antava.



Kuva 10. Polttoaineiden kattilan likaavuus leijupoltossa (Vestanto et al. 2007, 42).

Lajittelematon yhdyskuntajäte on kuvan 10 perusteella kaikkein eniten kattilaa likaavaa polttoainetta. Myös kotitalouksien lajiteltu kierrätyspolttoaine ja RDF ovat hyvin likaavia polttoaineita. Kattilaa vähiten likaavat polttoaineet, kivihiili ja turve, ovat hyviä seospolttoaineita kierrätyspolttoaineiden polttoon. Seospolttoaineiden käyttö helpottaa kattilan likaantumisongelmia jonkin verran. (Vestanto et al. 2007, 42.)

5.4 Jätteen rinnakkaispoltto tavanomaisten polttoaineiden kanssa

Ennen jätteenpoltoasetuksen voimaantuloa jätteen rinnakkaispoltto tavanomaisten polttoaineiden seassa oli tyypillisin tapa hyödyntää jätteitä energiana. Rinnakkaispoltto on tehokas menetelmä hyödyntää jätepolttoaineita energiantuotannossa ja siihen voidaan käyttää periaatteessa mitä tahansa polttoprosessia. Parhaiten kierrätyspolttoaineiden rinnakkaispoltoon soveltuvat sellaiset kattilatyypit, joiden rakenteissa on huomioitu kattilan mahdollisesti runsas likaantuminen. Suomessa rinnakkaispoltoon on pääsääntöisesti käytetty jätemateriaalien polttoa leijupetikattilassa tai teollisuuden rumpu-uunissa. Leijupetikattilassa rinnakkaispoltoon soveltuu parhaiten hyvälaatuinen, melko puhtaasti palava jäte. Rumpu-uuneissa voidaan polttaa melko haastaviakin jätemateriaaleja. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2012, 18; Vesanto 2006, 35; Koskinen 2006, 7.)

Suomessa jätteitä on hyödynnetty rinnakkaispoltoissa vuosittain noin 300 000–400 000 tonnia (Työ- ja elinkeinoministeriö 2012, 18). Kierrätyspolttoaineita ja hyvälaatuista jättemateriaalia voidaan normaalisti polttaa puulle, turpeelle tai kivihiilelle suunnitelluissa leijupetikattiloissa jopa muutaman kymmenen prosentin polttoaineosuudella, riippuen poltettavan jätteen tai kierrätyspolttoaineen laadusta. Usein rinnakkaispoltoissa käytetään polttoominaisuuksista hyvälaatuisia kierrätyspolttoaineita, esimerkiksi teollisuuslaitoksilta syntynyttä tasalaatuista teollisuusjätettä. Jättemateriaalia polttava rinnakkaispolttolaitos on varustettava vaatimukset täyttävällä savukaasujen puhdistusmenetelmällä. Jäteperäisten polttoaineiden käyttö voi kuitenkin aiheuttaa teknisiä ja toiminnallisia riskitekijöitä voimalaitokselle, koska jätteet voivat sisältää suuria määriä haitta-aineita, kuten klooria, alumiinia, sinkkiä ja lyijyä. Haitalliset aineet voivat häiritä palamisprosessia. (Vesanto 2006, 36; Koskinen 2006, 28.)

5.5 Rinnakkaispolton ja massapolton eroja

Jätteenpolttolaitosten ja rinnakkaispolttolaitosten erona on se, että jätteenpolttolaitokset suunnitellaan ensisijaisesti yhdyskuntajätteen käsittelyyn, ja kaukolämmön tai prosessihöyryn ja sähkön tuotantoon, kun taas rinnakkaispolttolaitoksissa jäte on yksi polttoaine muiden joukossa ja niissä harvoin hyödynnetään kotitalouksien tuottamaa yhdyskuntajätteitä. Tyypillisesti rinnakkaispoltoissa käytetään teollisuuden ja palveluiden tuottamaa, hyvin polttoon soveltuvaa tasalaatuista jätettä. Rinnakkaispoltoissa hyödynnettävät jätteet aina esikäsitellään ennen polttoa, kun taas massapoltoissa esikäsitelyä ei välttämättä ole. Massapoltoissa jätteet hyödynnetään kokonaisuudessaan ja rinnakkaispoltoissa hyödynnetään vain kierrätyspolttoaineeksi saatava osuus. Massapoltoissa käsittelykustannukset voivat olla huomattavasti rinnakkaispoltoa alhaisemmat. Savukaasujen puhdistuksesta kuitenkin aiheutuu massapoltoissa suuria investointikustannuksia, koska siinä käytetään rinnakkaispoltoa huomattavasti epätasalaatuisempaa polttoainetta, mikä vaikuttaa savukaasujen koostumukseen. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2012, 18–19; Ahonen 2006, 38–39; Lohiniva et al. 2002, 85.)

Rinnakkaispolttolaitoksen sähköntuotannon vuosihyötysuhde voi olla keskimäärin noin 10–37 prosentin luokkaa ja massapolttolaitoksen sähköntuotannon vuosihyötysuhde noin 4–19 prosenttia (Anttila 2011, liite I–II; Westenergy Oy Ab 2013; Ympäristölupapäätös

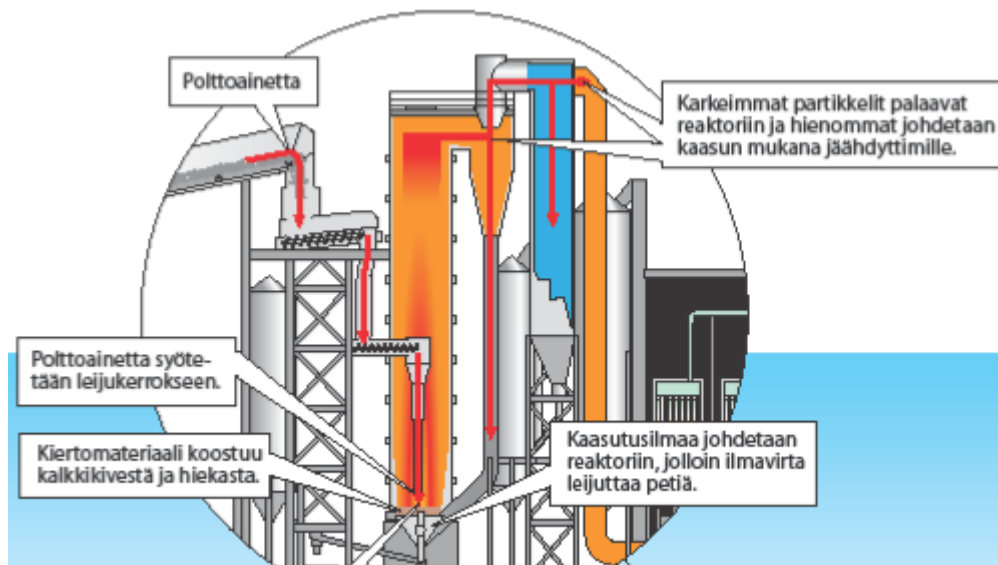
28.2.2013, 7). Rinnakkaispolttolaitoksella voidaan päästä jonkin verran korkeampiin vuosihyötysuhteisiin verrattaessa massapolttolaitokseen.

5.6 Jätteen kaasutus

Uudempaa tekniikkaa jätteen energiahyödyntämiseen on jätteen kaasutus. Kaasuttimella voidaan muuntaa kiinteä polttoaine kaasumaiseen muotoon. Kaasuttaminen on polttoaineen polttamista ali-ilmalla, jolloin kaikki palava aines ei pääse hapettumaan ja prosessissa muodostuu niin sanottua tuotekaasua. Reaktiot ja syntyvät lopputuotteet riippuvat kaasutettavasta aineesta, mutta pääsääntöisesti syntyvä polttokaasu on hiilimonoksidia ja vetyä. (Huhtinen et al. 2004, 179.)

Kaasutusreaktorit voidaan jakaa kiinteäkerros-, pöly- ja leijukerroskaasuttimiin. Leijukerroskaasutin soveltuu hyvin heterogeenisen ja huonolaatuisen polttoaineen – kuten yhdyskuntajätteen – kaasutukseen kaasuttimessa vallitsevan tasainen lämpöjakauman ja hyvän sekoittumisen ansioista. Lisäksi rikin sitominen reaktorin sisällä on mahdollista kalkin avulla. (Huhtinen et al. 2004, 181.)

Suomessa on tällä hetkellä yksi jätemateriaalien kaasutuslaitos, mikä on Lahti Energia Oy:n vuonna 2012 käynnistynyt Kymijärvi 2 -laitos. Laitos tuottaa sähköä ja kaukolämpöä kierrätyspolttoaineista. Laitos käyttää noin 250 000 tonnia kierrätyspolttoainetta vuodessa. (Jätelaitosyhdistys ry 2013d; Lahti Energia 2012.) Kuvassa 11 on esitetty periaatekuva Lahden kaasutuslaitoksen polttoaineen kaasutuksesta.



Kuva 11. Polttoaineen kaasutus Lahden kaasutuslaitoksella (Lehtovirta 2012).

5.7 Pyrolyysitekniikka

Pyrolyysi on uutta ja vielä kehitteillä olevaa jätteen energiahyödyntämistekniikkaa. Pyrolyysitekniikalla jäte voidaan muuttaa joko laadultaan heikoksi tai keskinkertaiseksi kaasuksi ja hiileksi tai hiilivety-yhdisteitä sisältäviksi tervoiiksi ja öljyiksi. Pyrolyysiprosessi tapahtuu hapettomissa olosuhteissa. Tuotekaasulla voidaan lämmittää reaktoria, tuottaa höyryä, kaasu voidaan jalostaa nestemäiseksi polttoaineeksi tai se voidaan polttaa sellaisenaan. Pyrolyysin jäännöshiileen jää runsaasti palamatonta hiiltä. Jäännöshiili voidaan vielä käyttää polttoaineena. Erityisesti jätteet, joilla on korkea energiasisältö, soveltuvat pyrolyysin raaka-aineiksi. (Myllymaa et al. 2008a, 148–149.)

Pyrolyysin etuina ovat muun muassa tavanomaiseen polttoon verrattuna raskasmetallien tehokkaampi erottuminen savukaasujen sijasta pikeen, alhaisemmat NO_x -päästöt ja PVC-muovista peräisin olevan HCl:n erottuminen savukaasuista. Pyrolyysiöljyissä ja tervayhdisteissä esiintyy kuitenkin toksisia ja karsinogeenisiä yhdisteitä. (Myllymaa et al. 2008a, 149.)

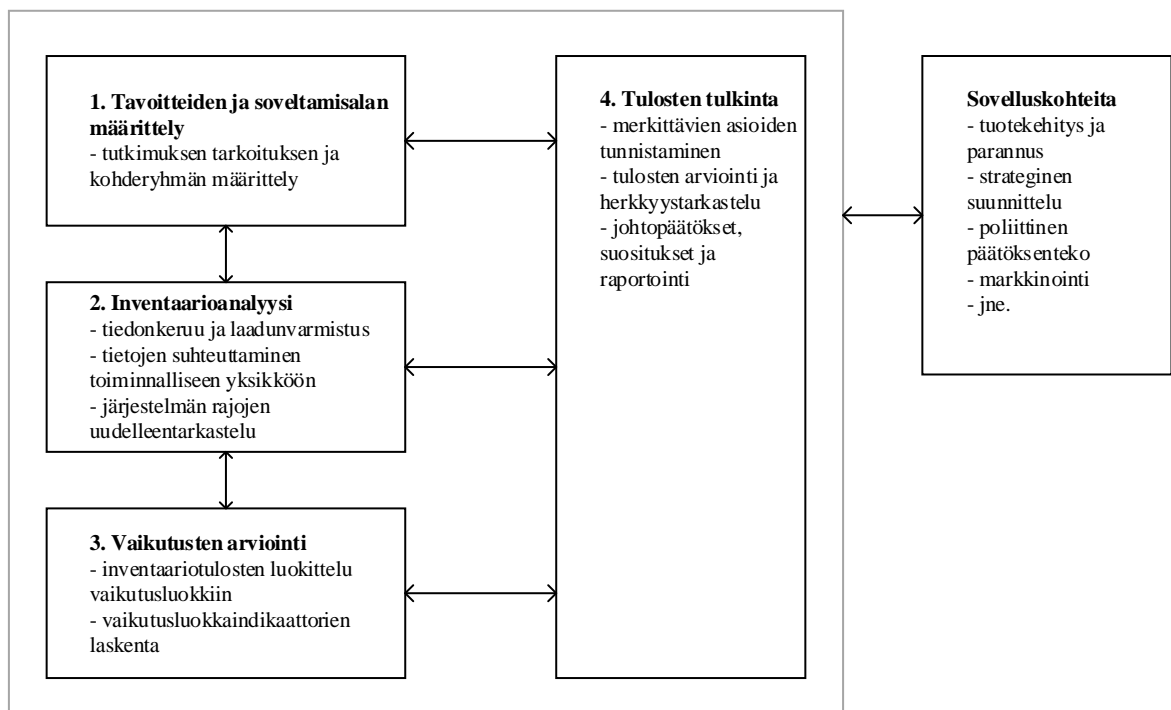
6 ELINKAARITARKASTELUN HYÖDYNTÄMINEN JÄTEHUOLLOSSA

Tuotteiden ja palveluiden valmistukseen ja käyttöön liittyvistä ympäristövaikutuksista on ollut tarpeen kehittää menetelmiä, joiden avulla ympäristövaikutuksia on helpompi tulkita ja käsitellä. Yksi tällaisista menetelmistä on elinkaariarviointi (engl. life cycle assessment, LCA), joka käsittelee tuotteen tai palvelun ympäristönäkökohtia ja potentiaalisia ympäristövaikutuksia – kuten päästöjen vaikutuksia – koko tuotteen tai palvelun elinkaaren ajalta aina raaka-aineen hankinnasta tuotantoon, käyttöön, käytöstä poistoon, kierrätykseen ja jätteiden loppusijoitukseen. Elinkaariarvioinnissa kootaan ja arvioidaan tarkasteltavan tuotejärjestelmän elinkaarenaikaiset syötteet ja tuotokset sekä potentiaaliset ympäristövaikutukset. Lisäksi elinkaariarvioinnilla voidaan muun muassa tunnistaa tuotteiden tai palveluiden ympäristösuorituskyvyn parantamismahdollisuuksia elinkaaren eri vaiheissa, tarjota tietoa päätöksenteon tueksi sekä valita oleellisia ympäristösuorituskyvyn indikaattoreita ja niiden mittausmenetelmiä. (SFS-EN ISO 14040:2006, 8.)

Elinkaariarviointi koostuu neljästä vaiheesta, jotka ovat tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, inventaarioanalyysi, vaikutusarviointi sekä tulosten tulkinta. Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyvaiheessa määritellään tarkasteltavan järjestelmän rajat ja yksityiskoh-taisuuden taso. Nämä ovat aina tapauskohtaisia ja riippuvat täysin tarkasteltavasta aiheesta ja selvityksen käyttökohteesta. Selvitysten tarkkuus ja laajuus voivat vaihdella merkittävästi, riippuen selvityksen tavoitteesta ja käyttötarkoituksesta. Soveltamisalan määrittelyssä tulee valita toiminnallinen yksikkö, jonka tärkeimpiä tarkoituksia on vastata selvityksen tavoitteita ja soveltamisalaa sekä muodostaa vertailuyksikkö. (SFS-EN ISO 14040:2006, 8; SFS-EN ISO 14044:2006; 24.)

Inventaarioanalyysivaiheessa kerätään tietoa järjestelmän syötteistä ja tuotoksista. Vaikutusarviointivaiheen tarkoitus on tuottaa lisätietoa tuotejärjestelmän inventaarioanalyysin tulosten arvioinnin avuksi ja ymmärtää paremmin inventaariotietojen merkitystä ympäristön kannalta. Elinkaariarvioinnin mukainen vaikutusten arviointi kattaa useita ympäristö-ongelmia, jotka tunnetaan hyvin ja niistä on saatavilla paljon tutkimustietoa. Niitä ovat esimerkiksi happamoituminen, rehevöityminen, vaikutukset yläilmakehän otsonikerrokseen ja ilmastonmuutos. (Myllymaa et al. 2008b, 10–11.) Viimeisessä vaiheessa eli tulos-

ten tulkinnassa inventaarioanalyysin, vaikutusarvioinnin tai molempien tulokset yhdistetään ja niitä käsitellään johtopäätösten, suositusten ja päätöksenteon pohjaksi, kuten tavoitteissa ja soveltamisalassa on määritetty. Tulosten tulkintaan tulee myös sisällyttää herkkyystarkastelu, jotta voidaan ymmärtää saatujen tulosten epävarmuutta. (SFS-EN ISO 14040:2006, 8; SFS-EN ISO 14044; 56.) Kuvassa 12 on esitetty elinkaariarvioinnin päävaiheet sekä muutamia sovelluskohteita.



Kuva 12. Elinkaariarvioinnin vaiheet (mukaillen SFS-EN ISO 14040:2006, 24).

Elinkaariarviointia on käytetty yhä enemmän viime vuosikymmenien aikana arvioidessa jätehuollon kehittämisen vaihtoehtoja ympäristönäkökulmien kannalta. Usein jätehuollon elinkaariarvioinneissa tavoitteena on laskea jätehuollosta potentiaalisesti aiheutuvat ympäristövaikutukset jätteen tuotannosta sen loppusijoitukseen asti. Jätehuoltojärjestelmään kuuluvista prosesseista kerätään tiedot käytetyistä luonnonvaroista ja kulutetusta energiasta sekä tuotetuista päästöistä ilmaan, veteen ja maaperään. Elinkaariarvioinnin avulla voidaan myös vertailla eri käsittelyketjujen eroja. Tällöin tarkastelussa ei huomioida ympäristökuormitteita niistä tuotanto- ja kulutusprosesseista, jotka aiheuttavat jätteen syntymisen. Vertailtaessa eri jätehuoltojärjestelmiä, jätteitä tuottavat tuotanto- ja kulutusjärjestelmät eivät ole tutkimuksen kannalta oleellisia, mutta jätteiden määrät ja ominaisuudet on

oltava riittävän tarkasti tiedossa. (Beylot & Villeneuve 2013, 2781; Myllymaa et al. 2008b, 8; Myllymaa et al. 2008a, 16.)

Jätehuollon elinkaariarvioinnissa tavoitteena on arvioida jätteen keräyksen, kuljetuksen, käsittelyn, hyödyntämisen ja loppusijoituksen aiheuttamia kuormitteita jätteen syntyhetkestä eteenpäin. Jätteen hyödyntämisellä – materiaalina tai energiana – saadaan aikaan ympäristöhyötyjä, jotka vähentävät ympäristön kokonaiskuormitusta, mikäli niillä voidaan korvata sellaista prosessia, joka kuormittaisi ympäristöä enemmän. Ympäristöhyötyjä eli hyviksiä ja vältettyjä päästöjä arvioitaessa tarkastelun tulee ulottua jätehuoltojärjestelmän ulkopuolisiin tuotejärjestelmiin, kuten uusien materiaalien valmistusprosessiin tai energiantuotantoprosessiin. (Myllymaa et al. 2008b, 8.)

Toiminnallisena yksikkönä voidaan käyttää tuotettua jätelajitontia, jos kyseessä on jätelajikohtainen tarkastelu. Alueellisissa tarkasteluissa toiminnallisena yksikkönä voidaan käyttää tarkasteltavalla alueella tietynä aikana, esimerkiksi vuoden aikana, syntyneitä jätteiden kokonaismääriä. (Myllymaa et al. 2008b, 9.)

Inventaarioanalyysiä tehtäessä oleellista on käyttää mahdollisuuksien mukaan tarkasteltavasta prosessista peräisin olevaa dataa. Ympäristövaikutusten kannalta merkittävimpiä ovat muun muassa jätteiden energiahyödyntämisessä talteenotetun energian määrä ja laatu, kaatopaikkakaasun tuotannon määrä ja talteenottoaste sekä kierrätettävän jätteen laatu. Jätehuoltojärjestelmän ulkopuolisia prosesseja tulee huomioida tarkastelussa silloin, kun jätteestä tuotetulla energialla tai materiaalilla korvataan jotain muuta vastaavanlaista energiantuotantoa tai materiaalien valmistusta. (Myllymaa et al. 2008b, 10.)

Vaikutusarviointivaiheessa saadut vaikutusluokkaindikaattorien tulokset on mahdollista suhteuttaa tietyn alueen vastaaviin tietoihin normalisoinnin avulla. Esimerkiksi tietyn alueen jätehuoltojärjestelmän ilmastonmuutosvaikutuksia kuvaava lukuarvo voidaan suhteuttaa koko Suomen ilmastonmuutosvaikutuksia kuvaavaan lukuarvoon. Elinkaariarvioinnin viimeisessä vaiheessa eli tulosten tulkintavaiheessa on kiinnitettävä huomiota, että tulokset raportoidaan ymmärrettävinä ja avoimin, jotta tieto tutkimuksen aikana tehdyistä oletuksista, valinnoista ja arvovalinnoista tulee dokumentoitua selkeästi. (Myllymaa et al. 2008b, 10–11.)

Elinkaariarviointi ei ole ennuste todellisista tai tarkoista ympäristövaikutuksista, koska potentiaaliset ympäristövaikutukset ilmaistaan suhteessa vertailtavaan yksikköön ja ympäristötietoja yhdistetään eri paikoista ja ajankohdista. Lisäksi epävarmuutta liittyy aina ympäristövaikutusten mallintamiseen ja osa ympäristövaikutuksista on selkeästi tulevaisuuden vaikutuksia. (SFS-EN ISO 14040:2006, 26.)

6.1 Elinkaaritarkastelu päätöksenteon tukena

Elinkaariarviointia voidaan hyödyntää esimerkiksi ympäristöpolitiikassa ja yritystoiminnan päätöksenteossa, kun pyritään löytämään ympäristön, sosiaalisten ja taloudellisten tekijöiden kannalta mahdollisimman kestäviä ja suotuisia ratkaisuja. Jos vertailtavien elinkaaritarkastelujen tuloksia hyödynnetään päätöksenteossa, on tehtävä valintoja ja priorisointia siitä, mitkä ympäristökuormituksista arvotetaan merkittävimiksi ja minkä vaikutuksen tai vaikutuksien vähentäminen on tavoitteena. Vaikka valintoja ja priorisointia joudutaan tekemään, elinkaaritarkastelulla vältytään siltä, että päätöksenteko perustuisi ainoastaan tiettyyn osaan järjestelmän aiheuttamia ympäristövaikutuksia. (Myllymaa & Dahlbo 2012, 9; Myllymaa et al. 2008b, 36.)

Kun elinkaariarviointia hyödynnetään yhteiskunnalliseen päätöksentekoon, on tarpeellista tarkastella ympäristövaikutusten ohella myös jätehuollon ratkaisujen aiheuttamia elinkaaren aikaisia kustannuksia. Perinteisen kustannuslaskennan avulla ei voida tehokkaasti arvioida tuotteen tai palvelun aiheuttamia kustannuksia ja tuottoja koko elinkaaren ajalta, koska useimmat tuotteen tai palvelun elinkaaren kustannuksista eivät näy vielä tuotteen tai palvelun suunnittelu- ja hankintavaiheessa. (Soukka 2013.)

Elinkaarikustannusten määrittely tarjoaa osana elinkaarivaikutuksia oleellista ja hyödyllistä tietoa jätehuollon eri vaihtoehtojen kannattavuudesta. Kustannusten määrittelyn on noudatettava mahdollisimman tarkasti valittua tuote- tai prosessirajausta, inventaariovaiheen tuloksia ja määritettyjä hyvityksiä. Ympäristövaikutuksille voi kuitenkin olla haasteellista tai jopa mahdotonta määrittää rahallista arvoa, jolloin elinkaarikustannukset jäävät arvioksi ympäristövaikutusten aiheuttamista todellisista kustannuksista. Mikäli elinkaarikustannukset toteutetaan huolellisesti, niitä voidaan käyttää tutkittavien jätehuoltovaihtoehtojen vertailuun. (Myllymaa et al. 2008a, 18–19.)

6.2 Jätehuollon elinkaariarviointeja

Seuraavassa on esitelty muutamia Suomessa ja ulkomailla tehtyjä jätehuoltoalaan liittyviä elinkaariarviointeja. Tutkimuksista on lyhyesti esitelty selvityksen syyt ja tavoitteet sekä saadut tulokset.

6.2.1 Biojätteen erilliskeräyksen elinkaariarvio

FCG Finnish Consultin Group Oy on laatinut vuonna 2010 Rosk'n Roll Oy Ab:lle biojätteen erilliskeräyksen elinkaariarvion, jossa selvitettiin Länsi-Uudenmaan alueen biojätehuollon vaihtoehtoisten toteutustapojen aiheuttamia ilmastonmuutosvaikutuksia. Selvityksessä tarkasteltiin ilmastonmuutosvaikutuksia kasvihuonekaasupäästöinä ja yksikkönä käytettiin hiilidioksidiekvivalenttia. Kasvihuonekaasupäästökomponenteista tarkasteltiin hiilidioksidia (CO₂), metaania (CH₄) ja dityppioksidia (N₂O). (FCG Finnish Consulting Group Oy 2010, 3–4.)

Selvityksessä tarkasteltiin biojätteen käsittelystä aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä neljässä eri käsittelylaitoksessa sekä biojätteen erilliskeräyksestä aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä kolmessa eri laajuudessa. Tarkasteltavia käsittelymenetelmiä olivat mädätys Ämmässuon, Forssan tai Munkkaan biokaasulaitoksessa taikka poltto sekajätteen mukana Vantaalle rakennettavaan arinapolttolaitokseen. Tarkasteltavia biojätteen erilliskeräyslaajuuksia olivat biojätteen erilliskeräys nykyisten jätehuoltomääräysten mukaan (huoneistoja yli viisi tai biojätettä kertyy yli 20 kg viikossa), biojätteen erilliskeräys kaikilta alueen vakituksessa asuinkäytössä olevilta kiinteistöiltä sekä biojätteen erilliskeräyksen lakkauttaminen, jolloin biojäte kerätään sekajätteen mukana energiahyötykäyttöön. Selvityksen lähtötietoina käytettiin tilastotietoja, asiantuntija-arvioita, aikaisempia julkaisuja aiheesta, henkilöhaastatteluja ja ominaispäästökertoimia. (FCG Finnish Consulting Group Oy 2010, 4.)

Biojätteen erilliskeräyksen ajosuoritteita tarkasteltiin keräys- ja kuljetusajoina. Keräysajoa arvioitiin kuljetusurakoitsijoiden ajokirjanpitolietojen avulla ja kuljetusajoa arvioitiin keräilyalueiden etäisyytenä Lohjan Munkkaan jätekeskukselle, jonne kaikki biojäte oletetaan siirtokuormattavan. Biojätteen keräyksestä ja kuljetuksesta aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä arvioitiin keräyksen ja kuljetuksen ajokilometrien ja jäteauton keskimääräisen polttoainekulutuksen perusteella. (FCG Finnish Consulting Group Oy 2010, 8.)

Tarkasteltavista biojätteen erilliskeräysmenetelmistä tehostetussa keräyksessä oletettiin, että biojätettä kerättäisiin kaikilta sekajäteasiakkaiden kiinteistöiltä, ellei kiinteistöllä kompostoida biojätteitä. Tehostetun erilliskeräyksen vaikutuksia biojätteen keräilystä ja kuljetuksesta aiheutuviin kasvihuonekaasupäästöihin arvioitiin alueen nykyisen bio- ja sekajätekeräilyn ja pääkaupunkiseudun biojätteen erilliskeräyksen ajo- ja tyhjennystietojen sekä dieselin ominaispäästöjen avulla. (FCG Finnish Consulting Group Oy 2010, 10–11.)

Viimeisenä biojätteen erilliskeräysmenetelmän tarkasteluna oli biojätteen erilliskeräyksen lakkauttaminen, jolloin biojäte kerättäisiin sekajätteen mukana ja päätyisi Vantaalle jätevoimalaitokselle. Selvityksessä oletettiin, ettei nykyinen erilliskerättävä biojättemäärä aiheuta sekajätteen keräykselle merkittävää keräilyrasitetta. (FCG Finnish Consulting Group Oy 2010, 13.)

Tuloksina keräyskattavuudesta saatiin, että biojätteen erilliskeräyksen lisääminen haja-asutusalueille ympärivuotisesti kerran viikossa kasvattaisi keräys- ja kuljetuspäästöjä kymmenkertaisesti nykyiseen menetelmään nähden. Jos keräys toteutettaisiin tehostetussa erilliskeräyksessä kahden viikon välein, kasvihuonekaasupäästörasitus vähenisi lähes puoleen. Vaikka biojätettä kerättäisiin harvemmin kuin kahden viikon välein, keräyksestä ja kuljetuksesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt nelinkertaistuvat tehostetussa erilliskeräyksessä. (FCG Finnish Consulting Group Oy 2010, 13–14.)

Koko selvityksen tuloksina saatiin, että ilmastonmuutoksen kannalta edullisin vaihtoehto kasvihuonekaasupäästöjen kannalta olisi biojätteen erilliskeräyksen lakkauttaminen, jolloin biojäte kerättäisiin sekajätteen mukana ja kuljetettaisiin polttoon Vantaalle rakennettavalle jätevoimalaitokselle. Biojätteen keräys- ja kuljetusajo osoittautui kaikissa erilliskeräyksen käsittelyketjuissa suurimmaksi kasvihuonekaasupäästöjä aiheuttavaksi tekijäksi. (FCG Finnish Consulting Group Oy 2010, 37.)

6.2.2 Keräyskartongin ympäristövaikutusten elinkaariarviointi

Kiviranta (2009) on pro gradussaan tutkinut pääkaupunkiseudun keräyskartongin ympäristövaikutuksia elinkaariarvioinnin avulla. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten pääkaupunkiseudulla syntynyt keräyskartonki tulisi hyödyntää ja kuinka laajasti erilliskeräystä tulisi toteuttaa, jotta keräyskartongista aiheutuvat ympäristövaikutukset olisivat mahdolli-

simman vähäiset. Tavoitteena oli myös saada tietoa keräyskartongin materiaalikierrätyksen ja energiahyödyntämisen ympäristövaikutusten eroista ja kuvata erityyppisistä kuljetuksista syntyviä ympäristövaikutuksia ja niiden suhdetta toisiinsa. Työn tavoitteena oli myös toimia kartonkikeräyksen järjestämisen suunnittelua tukevana selvityksenä. (Kiviranta 2009, 1.)

Elinkaaritarkasteluun valittiin kolme vaikutusluokkaa, jotka olivat ilmastonmuutos, maaperän rehevöityminen ja hiukkaspäästöt. Ympäristövaikutuksia tarkasteltiin neljän skenaarion avulla. Tutkimuksen skenaariossa 0 tarkasteltiin tilannetta, jossa kartonkia ei erilliskerättäisi lainkaan, vaan kartonki päätyisi sekajätteen mukana polttoon. Skenaariot 1-3 tarkastelivat tilanteita, joissa kartonkia erilliskerättiin aluekeräyksenä ja/tai kiinteistökohtaisena keräyksenä. Skenaariossa 3 tarkasteltiin tilannetta, jossa kartonkia kerättäisiin kaikilta kiinteistöiltä. Tarkastelussa otettiin huomioon myös kartongin keräyksen aiheuttamat päästöt. Tutkimuksessa huomioitiin myös hyvityksiä tuotejärjestelmälle. Keräyskartongin ympäristövaikutusten ja saatujen hyvitysten erotuksena laskettiin skenaarioiden aiheuttamat kokonaisympäristövaikutukset. (Kiviranta 2009, 1, 17, 28–29.)

Tuloksissa kaikki tutkitut skenaariot tuottivat tarkastelluissa vaikutusluokissa ympäristöhyötyjä, eli skenaarioiden kokonaisvaikutusluokat jäivät negatiivisiksi. Saatujen tulosten perusteella ei voitu yksiselitteisesti sanoa, tulisiko keräyskartonki polttaa vai kierrättää, koska tuloksissa ilmeni erisuuntaisia tuloksia. Lisäksi tuloksiin liittyy monia muuttujia, mitkä vaikuttavat käytännön sovellukseen. Esimerkiksi jätteenpolton tuottamat hyvitykset riippuvat siitä, mitä polttoainetta korvataan ja voidaanko tuotettu energia hyödyntää. (Kiviranta 2009, 67–70, 87–88.)

6.2.3 Jätteiden hyödyntämisen ympäristövaikutukset ja kustannukset

Suomen ympäristökeskus on toteuttanut vuosina 2006–2008 tutkimushankkeen ”Polttokelpoisten jätteiden hyödyntäminen ympäristö- ja kustannusvaikutusten kannalta, POLKU -hanke”. Hankkeen tarkoituksena oli toteuttaa polttokelpoisten jätteiden ympäristö- ja kustannusvaikutusten tarkastelu. Tutkimuksen keskeisimpänä tavoitteena oli tuottaa suunnittelua ja päätöksentekoa tukevaa tietoa alueellisille jätehuoltoyhtiöille jätelajien hyödyntämisen vaihtoehdoista ja niiden ympäristö- ja kustannusvaikutuksia aiheuttavista tekijöistä. Yksilöidympänä tavoitteena oli löytää tietyntyyppisille alueille parhaita mahdollisia, mutta

kuitenkin realistisia jätteiden hyödyntämisyjärjestelmiä. Lisäksi tutkimuksessa tarkasteltiin uusien materiaalihyödyntämis-, esikäsitely- ja energiatekniikoiden mahdollisuuksia polttokelpoisten jätteiden jätehuollossa sekä polttokelpoisia jätevirtoja, joista tarkasteluun valittiin yhdyskuntajäteluokkaan kuuluvia jätelajeja, kuten biohajoavia jätteitä ja muoveja. (Myllymaa et al. 2008a, 13.)

Tutkimuksessa tarkasteltiin neljää erityyppistä aluetta, joista kerättiin tietoja elinkeinorakenteista, asukas- ja jätelajimääristä sekä energia- ja materiaalihyödyntämisen suunnitelmista. Tarkastelualueille muodostettiin kaksi tai kolme polttokelpoisten jätelajien hyödyntämistä tarkastelevaa skenaariota, joista yksi painottui jätteiden energiahyödyntämiseen ja toinen materiaalihyödyntämiseen. Valittujen skenaarioiden lähtökohtana oli pyrkimys jätteiden kaatopaikkasijoittamisen vähentämiseen ja jätteiden hyödyntämisen lisäämiseen. Skenaarioiden ympäristö- ja kustannusvaikutuksia arvioitiin elinkaariarvioinnin tapaan. Elinkaaritarkastelu laajennettiin tarkastelemaan myös yhteiskunnallisia kustannusvaikutuksia. (Myllymaa et al. 2008a, 14.)

Tarkasteltaviksi vaikutusluokiksi tutkimukseen valittiin hiukkaspäästöt, myrkyllisyys ihmiselle, maaperän ja vesistöjen ekotoksisuus, otsonin terveysvaikutukset, kasvillisuuden otsonivauriot, maaperän ja vesien rehevöityminen, happamoituminen sekä ilmastonmuutos. (Myllymaa et al. 2008a, 15.)

Tuloksissa voitiin todeta, että polttokelpoisen jätteen hyödyntäminen tuottaa lähes aina ympäristöhyötyjä, joista merkittävimmät liittyvät ilmastonmuutoksen hillitsemiseen. Polton tai kierrätyksen paremmuus riippuu tuotettavista energia- ja materiaali tuotteista sekä ennen kaikkea korvattavasti tuotteista. Tuloksissa ilmeni myös, etteivät elinkaaren aikaisien ympäristövaikutusten kannalta parhaat toimintamallit olleet välttämättä taloudellisesti parhaita vaihtoehtoja, koska ympäristön laadun parantaminen on mahdollista vain kasvatamalla myös kustannuksia. Tästä johtuen poltto- ja kierrätysjärjestelmien vertailussa johdopäätökset vaihtoehtojen paremmuudesta riippuvat siitä, painotetaanko enemmän ympäristövaikutuksia vai kustannuksia. (Myllymaa et al. 2008a, 168.)

6.2.4 Sanomalehden jätehuollon kestävyystarkastelu elinkaariarvioinnin avulla

Suomen ympäristökeskus ja Helsingin yliopisto toteuttivat vuosina 2002–2004 hankkeen ”Elinkaarinäkökulma jätehuollon kestävyys – tapaustarkasteluna sanomalehti”. Hankkeessa perehdyttiin sanomalehden erilaisten jätehuoltovaihtoehtojen ekologisuuteen ja kustannuksiin. Työn tavoitteena oli tuottaa ympäristö- ja kustannustietoa päätöksenteon tueksi sanomalehden jätehuoltovaihtoehdoista pääkaupunkiseudulla. Työssä tarkasteltiin kaikkia tunnettuja päästökomponeentteja. Lisäksi niiden aiheuttamia ympäristövaikutuksia mallinnettiin kolmen eri vaikutusarviointimenetelmän avulla. (Dahlbo et al. 2005, 3, 44–45.)

Ympäristövaikutuksia tarkasteltiin viidessä eri skenaariossa. Tarkasteltavia sanomalehden hyödyntämismuutoksia olivat materiaalikierrätys, kaasutus ja rinnakkaispoltto tai poltto massapolttolaitoksessa, jonka tuottama lämpö hyödynnettiin. Lisäksi tarkasteltiin sekajätteen mukana olevaa keräyspaperia, mikä toimitettiin kaatopaikalle, massapolttolaitokseen tai kaasutukseen ja polttoon tai kompostointiin. (Dahlbo et al. 2005, 78.)

Vaikutusarvioinnissa saatiin vaihtelevia tuloksia. Sanomalehden kaatopaikkasijoitus osoitautui kuitenkin heikoimmaksi vaihtoehdoksi ympäristövaikutusten kannalta. Lisäksi sanomalehden energiahyödyntäminen rinnakkaispoltossa voi olla materiaalihyödyntämistä ja massapolttota parempi vaihtoehto, mikäli rinnakkaispoltolla voidaan korvata kivihiilen käyttöä energiantuotannossa. Eroavaisuudet energia- ja materiaalihyötykäyttömenetelmien välillä jäivät kuitenkin melko pieniksi. (Dahlbo et al. 2005, 85.)

6.2.5 Pohjois-Suomen pakkausjätteiden hyödyntäminen

Suomen ympäristökeskus on laatinut vuonna 2012 selvityksen pakkausjätteiden keräyksen ja hyödyntämistapojen ympäristövaikutuksista ja kustannuksista harvaanasutulla alueella Pohjois-Suomessa elinkaariarvioinnin tapaan. Selvityksen tehtävänä oli tuottaa tietoa pakkausten tuottajavastuun järjestämistä koskevan asetuslaadinnan taustaksi ympäristöministeriön tilauksesta. Ympäristövaikutuksista tarkasteltiin kasvihuonekaasujen aiheuttamaa ilmastomuutosvaikutusta ja fossiilisten ja mineraalisten luonnonvarojen ehtymisvaikutuksia sekä luonnonvarojen osalta arvioitiin puun, soran ja saven käyttöä. Lisäksi selvityksessä tarkasteltiin elinkaaren aikaisia kustannuksia, joita aiheuttaa pakkausjätteiden hyödyn-

tämisketjuista. Kustannustarkastelussa tarkasteltiin vain yhteiskunnalle elinkaaren aikana muodostuneita nettovaikutuksia. (Moliis et al. 2012, 8.)

Tarkastelu toteutettiin jätteen hyödyntämisprosessien osalta olemassa olevan elinkaari pohjaisen tiedon kokoamiseen ja keräys- ja kuljetusvaiheen ympäristövaikutusten määrällistämiseen elinkaariarvioinnin keinoin. Ympäristövaikutusten arvioinnissa käytettiin ReCiPe -vaikutusarviointimallin karakterisointikertoimia. (Moliis et al. 2012, 10.)

Selvityksessä laadittiin kuljetusetäisyysperusteinen mallinnus keräyksen vaikutuksista tarkasteltavalla alueella. Keräyksen mallintamisessa arvioitiin verkostotiheyttä ja erilliskeräyksestä kertyvää jätesaantoa. Elinkaaren muiden vaiheiden vaikutuksia kartoitettiin toteutuneiden elinkaariarviointien ja elinkaari-inventaariotietokannan avulla. Laaditusta keräysjärjestelmämallinnuksesta johdetut ympäristö- ja kustannusvaikutukset rinnastettiin kerättyjen pakkausjätefraktioiden hyödyntämisestä potentiaalisesti saataviin hyötyihin. Tarkastelussa oletettiin, että jäteperäisillä lopputuotteilla tai polttoaineilla voitiin korvata neitseellisiä raaka-aineita. Vaikka tarkastelualueen kuljetusetäisyydet olivat pitkiä haja-asutuksen vuoksi, jätteen keräys- ja siirtovaiheen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt eivät olleet koko elinkaaren kannalta merkittäviä, kun tarkasteluun otettiin mukaan hyvitykset, joita saadaan hyödyntämällä jätettä materiaalina tai energiana. (Moliis et al. 2012, 70.)

Saadut tulokset tukevat jätelain asettamaa etusijajärjestystä, jolla pyritään luonnonvarojen kestäväan käyttöön ja ilmastonmuutoksen hillintään. Tutkimuksen tulokset osoittavat, että yhdyskuntajätteiden kierrätysasteen nostaminen pakkausjätteiden osalta nostetaan kustannustehokkaimmin panostamalla erilliskeräykseen suurimmissa taajamissa ja niiden välisten kuljetusreittien varsilta. Kustannustehokkuuden kannalta pieniä pakkausjätemääriä ei ole kannattavaa hakea pitkien kuljetusmatkojen päästä. Ympäristövaikutusten kannalta taas suotuisaa järjestää jätteenkeräystä pienissäkin taajamissa. (Moliis et al. 2012, 71.)

6.2.6 Jätteenpolton ympäristövaikutusten elinkaariarviointi Ranskassa

Beylot ja Villeneuve (2012) ovat tutkineet Ranskassa jätteenpolttolaitoksien ympäristövaikutuksia elinkaariarvioinnin keinoin. Ranskassa oli vuonna 2012 jätteenpolttolaitoksista 85 prosenttia aktiivisessa käytössä, eli yhteensä 110 laitosta. Käytössä olevien jätteenpolttolaitoksien ominaisuuksissa esiintyy paljon vaihtelua. Esimerkiksi laitosten käsittelykapasiteet-

tit vaihtelevat välillä 10 000 – 700 000 tonnia jätettä vuodessa, vanhimmat käytössä olevat laitokset ovat aloittaneet toimintansa 1970-luvulla ja laitosten päästöjen hallinta- ja energiantalteenottoteknologioissa esiintyy vaihtelua. Ympäristövaikutustuloksien lisäksi tutkimuksen tavoitteena oli selvittää korrelaatioita tiettyjen laitosparametrien ja ympäristövaikutuspotentiaalien välillä, jotta voitaisiin tunnistaa keskeisimmät laitosparametrit ympäristövaikutusten arviointiin. (Beylot & Villeneuve 2013, 2781–2782.)

Tutkimuksen toiminnallisena yksikkönä käytettiin yhtä poltettua yhdyskuntajäte tonnia. Tutkittavan järjestelmään sisällytettiin jätteenpolton suorat päästöt ilmaan ja veteen, oheismateriaalien tuotanto ja kulutus, polttoprosessin kiinteiden jäännöksiä (kuten pohjatuuhka, lehtotuuhka ja pesurin lietteet) kuljetukset ja käsittelyt, infrastruktuuri ja kunnossapito. Järjestelmän rajojen ulkopuolelle rajattiin jätteen keräily ja kuljetus sekä laitosten käytöstä poistaminen. Tarkasteltavat ympäristövaikutusluokat olivat ilmastonmuutos, valokeemiallisten hapettimien muodostuminen, hiukkasvaikutukset, maaperän happamoituminen ja vesistöjen rehevöityminen. Ilmastonmuutosvaikutukset laskettiin IPCC:n kertoimien avulla ja loput vaikutusluokat ReCiPe:n avulla. (Beylot & Villeneuve 2013, 2782.)

Tutkimuksen tuloksissa selvisi, että jätteenpolttolaitoksien potentiaalisissa ympäristövaikutuksissa esiintyi melko suurtakin vaihtelua. Jätteenpoltolla saavutettiin ympäristöllisiä etuuksia, mutta myös ympäristöön kohdistuvia rasituksia, riippuen jätteenpolttolaitoksen teknisistä ominaisuuksista ja tutkittavasta ympäristövaikutusluokasta. (Beylot & Villeneuve 2013, 2787.)

6.2.7 Jätteenpolton tehostetun metallien talteenoton elinkaariarviointi

Boesch (et al. 2013) on laatinut elinkaariarviointimallin metallien tehostetulle talteenotolle jätteenpoltossa. Luonnonvaroista on tulossa yhä kalliimpia resursseja ja materiaalien kierrätystä ja talteenottoa on tehostettava entisestään. Materiaalivirtojen sulkeminen on välttämätöntä, jotta luonnonvarojen ehtymistä ja ilmastonmuutosta saadaan hidastettua. Vaikka suora materiaalien kierrätys on saanut paljon huomioita ja teknisesti edistynyttä, joissain maissa potentiaalisten materiaalien talteenotto polttoprosesseista laiminlyödään ja keskittyminen kohdistuu tehokkaaseen energian talteenottoon. (Boesch et al. 2013, 378.)

Tutkimuksessa luotiin elinkaariarviointimalli, jossa jätteenpolton palamisjäännöksestä saadaan tehokkaasti talteenotettua arvokkaita metalleja uusiokäyttöön. Tutkimuksen tavoitteena on tunnistaa ja arvioida jätteenpolttolaitoksen parannusmahdollisuuksia, soveltaa mallia aikaisempiin kierrätys- ja käsittelymenetelmiin ja tunnistaa ympäristön kannalta parhaat käsittelyvaihtoehdot jätteenkäsittelylle. Mallissa tarkasteltu jätteenpolttolaitos sijoitettiin Sveitsiin. (Boesch et al. 2013, 379.)

Tarkastelun toiminnallisena yksikkönä käytettiin yhtä yhdyskuntajätetonna. Tutkittavaan tuotejärjestelmään sisällytettiin jätteiden kuljetus keräyspisteiltä jätteenpolttolaitokselle, jätteenpolttolaitos sekä palamisjäännösten käsittely, kuten hävittäminen ja materiaalien erottaminen. Tuotettu energia käytettiin joko sähkön tai kaukolämmön tuotantoon. Ympäristövaikutuksista tarkasteltiin hiilijalanjälkeä ja uusiutumattomien luonnonvarojen ehtymistä. (Boesch et al. 2013, 379.)

Saatujen tulosten perusteella jätteenpolton palamisjätteiden sisältämien metallien talteenotolla voidaan vähentää hiilidioksidipäästöjä. Lisäksi tulokset osoittivat, että metallien talteenotolla voidaan vähentää uusiutumattomien luonnonvarojen kulutusta. Tutkimuksella voitiin osoittaa, että jätteenpolttolaitoksilla voi olla tärkeä osa materiaalikiertojen tehostamisessa. (Boesch et al. 2013, 382–383.)

7 ENERGIANA HYÖDYNNETTÄVIEN JÄTTEIDEN KERÄYKSEN JA ENERGIAHYÖDYNTÄMISEN ELINKAARITARKASTELU

Työssä tehtiin tutkimuksena elinkaaritarkastelu, joka pyrkii noudattamaan SFS-EN ISO 14044 ja 14040 standardien mukaista elinkaariarviointimenetelmää. Elinkaariarvioinnin tavoitteena oli selvittää energiajätteen erilliskeräyksestä aiheutuvia ympäristövaikutuksia kolmessa eri erilliskeräyslaajuudessa.

Elinkaarimalli rakennettiin GaBi -elinkaarimallinnusohjelmalla. Mallin yksikköprosessit luotiin pääsääntöisesti lähtötietojen, kirjallisuustietojen, tehtyjen oletuksien ja rajauksien perusteella. Joitain GaBi -elinkaarimallinnusohjelman valmiita yksikköprosesseja hyödynnettiin mallin luomisessa. Laskennan aiheuttamia epävarmuuksia pyrittiin selvittämään herkkyystarkastelun avulla.

Elinkaarimallin luomisessa lähdettiin liikkeelle selvittämällä tarkasteltavat jätemäärät sekä tarkasteltava järjestelmä pääpiirteittäin. Sekajätteen määrä selvitettiin Porin Jätehuollon aikaisempien vuosien sekajättemäärien avulla (Räikkönen, sähköpostiviesti 16.5.2014). Erilliskerätylle energijätteelle ei ollut käytettävissä tarkkaa tietoa, joten määrä määritettiin kirjallisuuslähteiden avulla. Tarkasteluajanhetkellä sekajätettä siirto kuormattiin Hangas-suon jätekeskuksella. Erilliskerätystä energijätteestä jalostettiin kierrätyspolttoainetta käsitteilylaitoksella, mikä sijaitsee Porissa. Laskennassa oletettiin, että kierrätyspolttoaineen valmistuksessa muodostunut rejekti hyödynnettiin energiantuotannossa.

Tarkasteluajanhetkellä kierrätyspolttoaine hyödynnettiin pääosin Kauttualla sijaitsevalla Adven Oy:n voimalaitoksella, joka tuottaa prosessihöyryä, sähköä ja lämpöä. Voimalaitoksella on 65 MW:n kiertoleijukattila, jossa poltetaan turvetta, kivihiiltä ja jätepolttoaineita. (Ympäristölupapäätös 4.7.2005, 6.) Elinkaariarvioinnissa tarkasteltiin kierrätyspolttoaineen hyödyntämistä kyseisellä voimalaitoksella.

Elinkaarimallissa sekajätettä hyödynnettiin Vaasassa sijaitsevalla Westenergy Oy Ab:n jätteenpolttolaitoksella. Polttolaitoksella on 67 MW:n arinakattila, jossa poltetaan synty-paikkalajiteltua kotitalouksien, yritysten ja teollisuuden jätteitä (Ympäristölupapäätös 17.6.2009, 5). Kierrätyspolttoaineen valmistuksessa muodostuneen rejektin oletettiin päätyvän myös Westenergyn jätteenpolttolaitokselle. Rejektin osuuden katsottiin olevan melko vähäinen, minkä vuoksi elinkaarimalliin ei rakennettu erillistä energiahyötykäyttökohdetta rejektille.

Elinkaarimallissa tarkasteltiin jätteillä tuotettuja energiamääriä vakioina. Tarkastelussa ei selvitetty alueellisia energiantarpeita, vaan kuinka paljon Porin seudulta kerätyillä energia- ja sekajätteillä voitiin tuottaa lämpöä ja sähköä. Malli rakennettiin siten, että tarkasteltavien energiamäärien tuli pysyä vakioina. Mikäli laitoksille ei tullut riittävästi jätepolttoaineita, lämpöä piti lisäksi tuottaa tavanomaisilla polttoaineilla ja sähköä hankkia valtakunnan sähköverkosta.

7.1 Tutkimuksen tavoitteet ja soveltamisala

Tutkimuksen tavoitteena oli rakennetun elinkaarimallin avulla selvittää energiana hyödynnettävien jätteiden elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia. Porin Jätehuollon liittyttä

Lounaisen Suomen hankintarenkaaseen Porin seudulta kerättävä kunnan vastuulle kuuluva yhdyskuntien tuottama sekajäte tulee päätyämään energiahyötykäyttöön Vaasaan jätteenpolttolaitokselle vuosina 2015–2017. Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään, miten energiajätteen erilliskeräys vaikutti tutkittavaan järjestelmään ja, että voitaisiinko energiajäte hyödyntää sekajätteen mukana Vaasan jätteenpolttolaitoksella. Erilliskeräyksen vaikutuksia tarkasteltiin kolmen skenaarion tarkasteluna.

Tutkimuksen käyttötarkoituksena on toimia Porin seudun jätelautakunnan päätöksentekoa tukevana taustaselvityksenä. Selvitys laadittiin, jotta Porin seudun jätelautakunta saisi käyttöönsä lisätietoja seka- ja energiajätteiden keräyksen ja hyödyntämisen ympäristövaikutuksista.

7.2 Tutkittava tuotejärjestelmä

Tutkimuksessa tarkasteltiin Porin seudulla vuodenaikana kerättyjä sekajätteiden ja energiajätteiden kokonaismääriä. Muut jätejakeet rajattiin tarkastelun ulkopuolelle. Tarkasteltavana ajanjaksona oli yksi vuosi. Tarkasteluun sisällytettiin seuraavat yksikköprosessit:

- seka- ja energiajätteen syntypaikkalajittelu
- sekajätteen kuljetus siirtokuormaukseen
- energiajätteen kuljetus kierrätyspolttoaineen käsittelylaitokselle
- energiajätteen jalostus kierrätyspolttoaineeksi
- sekajätteen kuljetus jätteenpolttolaitokselle
- kierrätyspolttoaineen kuljetus rinnakkaispolttolaitokselle
- kierrätyspolttoaineen valmistuksessa muodostuneen rejektin kuljetus jätteenpolttolaitokselle
- jätepolttoaineiden polttoprosessit
- palamisprosessissa muodostuneiden kiinteiden jätteiden kuljetukset käsittelylaitoksille ja kaatopaikoille
- sähkön ja lämmön tuotanto jätepolttoaineilla
- korvaavan kaukolämmön tuotanto tavanomaisilla polttoaineilla
- korvaavan sähkön hankinta valtakunnan sähköverkosta.

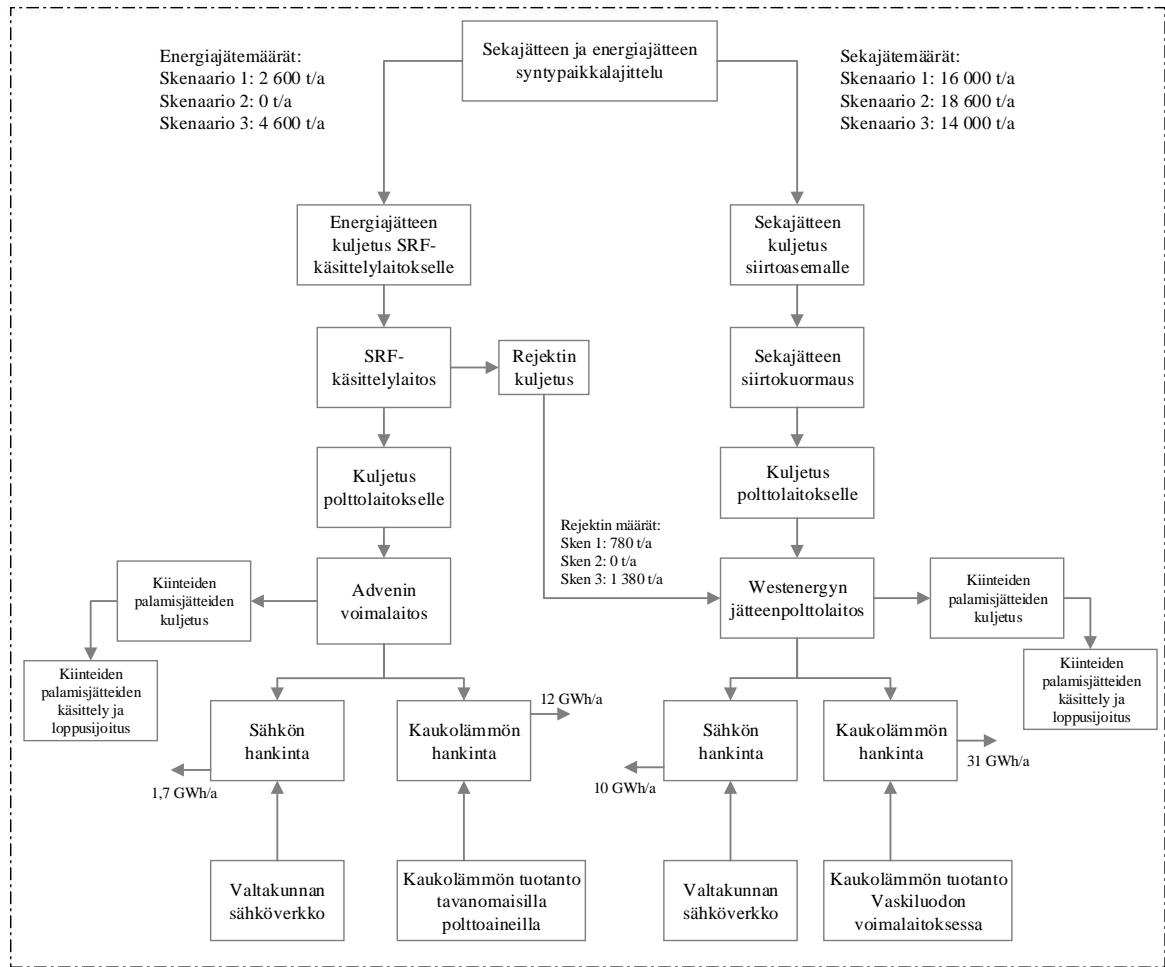
Tarkasteltavan tuotejärjestelmän ulkopuolelle rajattiin kaikki jätteitä tuottavat prosessit, syntypaikkalajittelun energiankulutus (kuten energiajätteiden huuhtelun veden kulutus) ja laitosten rakentaminen, ylläpito sekä käytöstä poistaminen. Lisäksi voimalaitosten palamisprosesseissa muodostuneista kiinteistä jätteistä tarkasteltiin vain niiden käsittelyä ja sijoittamista kaatopaikalle. Tarkastelusta rajattiin pois palamisjätteiden sisältämien metallien talteenotto- ja hyötykäyttöprosessit sekä palamisjätteiden kaatopaikkasijoittamisen aiheuttamat ympäristövaikutukset.

Elinkaariarvio toteutettiin kolmen skenaarion tarkasteluna. Skenaarioissa tarkasteltiin kolme eri vaihtoehtoa energiajätteen erilliskeräykselle Porin seudulla. Ensimmäisessä skenaariossa (skenaario 1) tarkasteltiin energiajätteen erilliskeräystä nykyisillä jätehuoltomääräyksillä. Energiajätettä erilliskerätään tällä hetkellä Porissa, Harjavallassa, Kokemäellä, Nakkilassa sekä Ulvilassa, ja erilliskeräyksen piiriin kuuluvat ne kiinteistöt, joissa on kymmenen tai sitä enemmän huoneistoja taikka energiajätettä kertyy yli 20 kg viikossa (taulukko 1).

Toisessa skenaariossa (skenaario 2) tarkasteltiin tilannetta, jossa lakkautettaisiin kokonaan kotitalouksien ja muu kunnan vastuulle kuuluvan energiajätteen erilliskeräys ja kaikki energiana hyödynnettävät jätteet kerättäisiin sekajätteenä.

Kolmannessa skenaariossa (skenaario 3) tarkasteltiin tilannetta, jossa energiajätteen erilliskeräystä tehostettaisiin. Erilliskeräys laajennettaisiin koskemaan kaikkia yhteistyöalueen kuntia ja erilliskeräyksen piiriin kuuluisivat kaikki ne kiinteistöt, joissa on viisi tai sitä enemmän huoneistoja taikka energiajätettä muodostuu yli 20 kg viikossa.

Kuvassa 13 on vielä esitetty tuotejärjestelmään sisällytetyt yksikköprosessit, tarkastelun rajat sekä skenaarioiden jätemäärät. Kuvassa esitettyjen jäte- ja energiamäärien muodostuminen on selvitetty kappaleissa 7.3.1 ja 7.3.3.



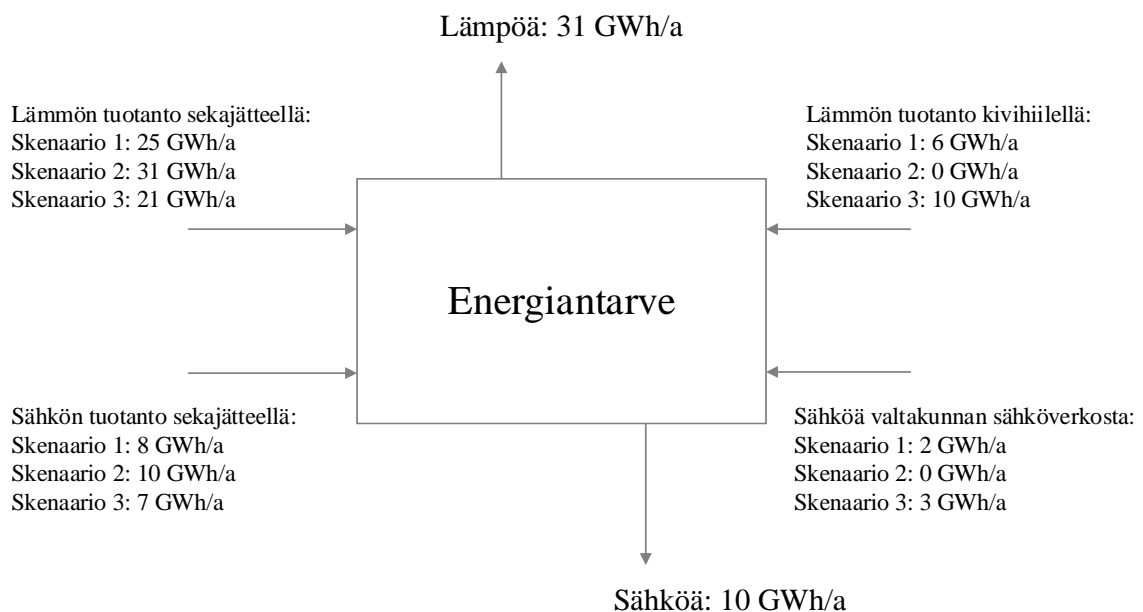
Kuva 13. Tarkasteltava tuotejärjestelmä ja tuotejärjestelmän rajat.

Laskenta toteutettiin siten, että tarkasteltavat sähkön ja kaukolämmön tuotannot pysyivät vakioina. Jätteenpolttolaitoksella tuotettiin tarkastelun maksimijättemäärästä saatavissa oleva määrä sähköä ja lämpöä silloin, kun energiajätteen erilliskeräys lakkautettiin ja kaikki tarkastelun jäte kerättiin sekajätteenä ja ne päätyivät kokonaisuudessaan jätteenpolttolaitokselle (skenaario 2). Mikäli energiajätettä erilliskerättiin, jätteenpolttolaitos ei pystynyt tuottamaan riittävästi energiaa, jolloin kaukolämmön tuotantoa piti korvata toisella voimalaitoksella ja sähköä hankkia valtakunnan sähköverkosta. Vaasassa kaukolämmön tuotanto jakautui vuonna 2013 kuvan 14 mukaan.



Kuva 14. Kaukolämmön tuotanto Vaasassa vuonna 2013 (Vaasan sähkö 2013).

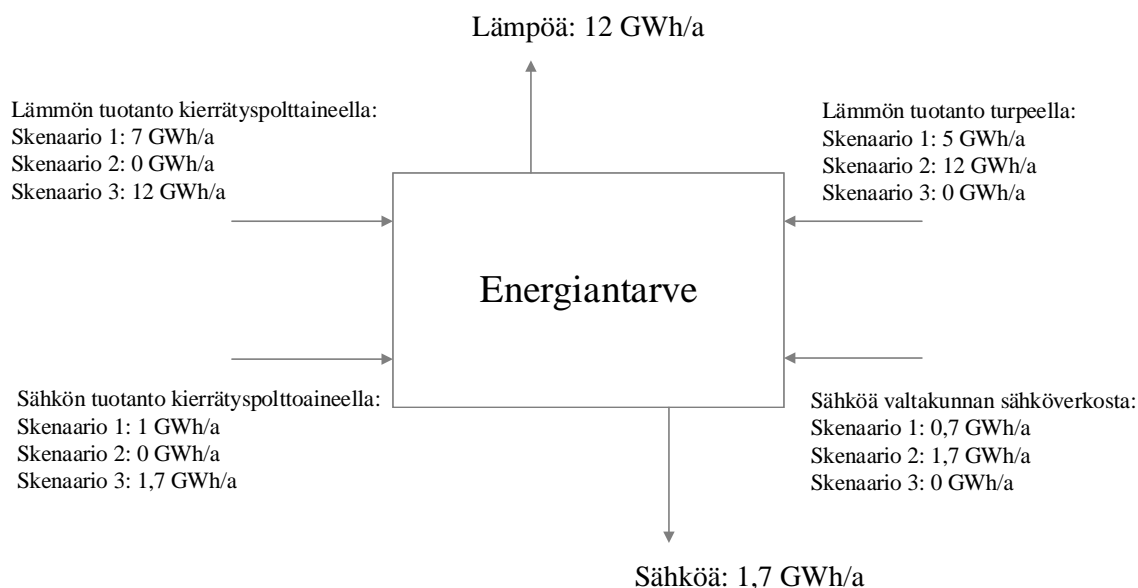
Laskennassa oletettiin, että korvaava kaukolämpö tuotettiin Vaskiluodon voimalaitoksella. Laitos käyttää pääpolttoaineena kivihiiltä (Ympäristölupapäätös 23.12.2008, 1). Kuvassa 15 on esitetty energiatase sekajätteellä tuotetun sähkön ja lämmön sekä korvaavien lämmön- ja sähkönhankintamuotojen osalta.



Kuva 15. Jätteenpolttolaitoksen sähkön ja lämmön hankinnan energiatase.

Vastaavasti rinnakkaispolttolaitoksella pystyttiin tuottamaan tarkasteltava energiamäärä silloin, kun energiajätettä kerättiin tarkastelun enimmäismäärä, eli energiajätettä erilliske-rättiin tehostetusti (skenaario 3). Muissa skenaarioissa energiajätteestä valmistettu kierrätyspolttoaine ei riittänyt tuottamaan tarkasteltavaa energiamäärää, jolloin kaukolämpöä piti tuottaa tavanomaisilla polttoaineilla ja sähköä hankkia valtakunnan sähköverkosta. Koska energiajätteet päätyivät energiahyötykäyttöön rinnakkaispolttolaitokselle, voitiin laskennassa olettaa, että korvaava kaukolämpö tuotettiin samalla voimalaitoksella. Laskennassa oletettiin kierrätyspolttoaineiden korvaavan turpeen käyttöä, koska sen osuus laitoksen

tavanomaisten polttoaineiden polttoainejakaumassa on merkittävin (Ympäristölupapäätös 4.7.2005, 9). Kuvassa 16 on vielä esitetty lämmön ja sähkön hankinnan energiatase, kun rinnakkaispolttolaitoksella tuotetaan energiaa kierrätyspolttoaineella ja turpeella.



Kuva 16. Rinnakkaispolttolaitoksen sähkön ja lämmön hankinnan energiatase.

Tutkimuksen toiminnalliseksi yksiköksi valittiin tarkastelun maksimisekajätämäärällä ja -energiajätämäärällä tuotettujen maksimienergiamäärien summa, eli paljonko tarkastelussa sekajätteellä voitiin enimmillään tuottaa energiaa ja paljonko energiajätteellä voitiin enimmillään tuottaa energiaa. Tutkimuksessa tarkasteltaviksi ympäristövaikutusluokiksi valittiin ilmastonmuutos, happamoituminen ja rehevöityminen. Ilmastonmuutos valittiin tutkimukseen, koska jätehuolto aiheutti vuonna 2012 noin kolme prosenttia Suomen kasvihuonekaasupäästöistä (Tilastokeskus 2014a). Happamoituminen valittiin tarkasteluun, koska siitä aiheutuu haittaa erityisesti pohjoisilla seuduilla sijaitseville karuille vesistöille ja maa-alueille, joita Suomesta löytyy. Lisäksi rehevöityminen aiheuttaa suurta haittaa Suomen vesistöille, erityisesti merialueille. Ilmansaasteista kulkeutuu rehevöittävää tyyppiä vesistöihin jopa noin neljäsosa kokonaisuormasta. Muun muassa tieliikenne ja energiantuotanto aiheuttavat näitä ilman kautta kulkeutuvia tyyppikuormia. (Nordkalk 2014; Kaartokallio et al. 2012.) Ympäristövaikutusten karakterisointimallina käytettiin CML 2001 - Nov. 2010 -menetelmää.

Tässä tarkastelussa tehtiin oletus, että jätteet hyödynnetään energiana. Todellisuudessa jätteet voivat päätyä muuhunkin hyötykäyttöön vuoden 2017 jälkeen, jolloin alkaa Lounai-

sen Suomen hankintarenkaan kilpailuttama toinen, pidemmän ajanjakson sopimuskausi. Vuosille 2015–2017 on kuitenkin päätetty, että Porin seudulta kerätyt hankintarenkaan kilpailutukseen kuuluvat jätteet päätyvät energiahyötykäyttöön.

7.3 Laskentatietojen määrittäminen

Laskentaa ja elinkaarimallin rakentamista varten pyrittiin käyttämään paikkakuntakohtaista tietoa mahdollisuuksien mukaan, mutta laskennassa jouduttiin jonkin verran käyttämään keskiarvotietoja tarkemman tiedon puuttuessa. Esimerkiksi sekajätteen ja energiajätteen koostumuksista ei ollut saatavilla paikkakuntakohtaista tutkimustietoa, minkä vuoksi laskennassa on käytetty kirjallisuuslähteitä koostumuksien arviointiin.

7.3.1 Syntypaikkalajittelu ja jätteiden kuljetukset

Hangassuon jätekeskuksella vastaanotettiin vuosina 1998–2008 kunnan vastuulle kuuluvaa yhdyskuntien tuottamaa sekajätettä reilu 30 000 tonnia vuodessa. Vuosina 2009–2011 vastaanotetun sekajätteen määrä oli noin 20 000 tonnia vuodessa ja vuonna 2012 sekajättemäärä laski noin 14 500 tonniin. Sekajätteen määrä pieneni melko reilusti vuonna 2012, koska osa kunnan vastuulle kuuluvasta sekajätteestä ohjautui yksityisten yritysten käsiteltäväksi. (Räikkönen, sähköpostiviesti 16.5.2014.) Edellisten vuosien jätemäärien perusteella voidaan kuitenkin olettaa, että kunnan vastuulle kuuluvan jätteen määrä tulee pienenemään. Laskennassa oletettiin sekajätteen vuotuisen määrän olevan noin 16 000 tonnia. Lukuarvossa pyrittiin huomioimaan myös yritysten käsittelyyn menevän jätteen määrää.

Nykyisillä jätehuoltomääräyksillä energiajätteen erilliskeräyksen piiriin kuuluu yhteensä viisi kuntaa, joissa energiajätettä tulee erilliskerätä kaikilla kiinteistöillä, joissa on kymmenen tai sitä enemmän huoneistoa taikka, jos energiajätettä yli 20 kg viikossa (taulukko 1). Taulukossa 8 on esitetty erilliskeräyksen piiriin kuuluvissa kunnissa asuvien asukkaiden lukumäärät sekä erilliskerätyn energiajätteen määrä nykyisillä jätehuoltomääräyksillä.

Taulukko 8. Erilliskerätyn energijätteen määrä nykyisillä keräysvelvoitteilla, kun energijätteen erilliskeräyksen piiriin kuuluvat ne kiinteistöt, joissa on kymmenen tai enemmän huoneistoja. (A: Tilastokeskus 2013a.)

| Kunta | Erilliskeräyksen piiriin kuuluvat asukkaat ^A | Erilliskerätty energijäte [t/a] |
|-----------------|---|---------------------------------|
| Harjavalta | 1 440 | 126 |
| Kokemäki | 558 | 49 |
| Nakkila | 391 | 35 |
| Pori | 25 993 | 2 295 |
| Ulvila | 1 328 | 117 |
| Yhteensä | 29 710 | 2 622 |

Energijättemäärän laskennassa oletettiin, että yksi asukas tuottaa noin 500 kg yhdyskuntajätettä vuodessa (Tilastokeskus 2012; Tilastokeskus 2013c). Tästä määrästä noin 70 prosenttia on kunnan vastuulle kuuluvaa jätettä (HE 199/2010, 19). Oletettiin, että yhdyskuntajätteestä noin 50 prosenttia on energijätettä (Ekholm et al. 2005, 12; Alakangas 2000, 110–111). Erilliskeräysvelvoitteesta huolimatta voidaan olettaa, että kaikki asukkaat eivät erilliskerää energijätettä. Laskennassa tehtiin oletus, että 50 prosenttia asukkaista lajittelisi energijätteen. Tällöin esimerkiksi Harjavallassa erilliskerätyn energijätteen määräksi muodostuisi

$$m_{\text{energiäjäte}} = 1\,440 \text{ as} \cdot 500 \frac{\text{kg}}{\text{as} \cdot \text{a}} \cdot 70\% \cdot 50\% \cdot 50\% = 126\,000 \frac{\text{kg}}{\text{a}} = 126 \frac{\text{t}}{\text{a}}.$$

Edellä esitetyillä oletuksilla energijätteen määräksi koko alueella saatiin noin 2 600 tonnia vuodessa.

Skenaariossa 3 tarkasteltiin tilannetta, jossa energijätteen erilliskeräystä tehostettaisiin. Tarkastelussa erilliskeräys laajennettiin kaikkiin Porin Jätehuollon yhteistyöalueen kuntiin ja energijätteen erilliskeräysvelvoite olisi kaikilla kiinteistöillä, joissa on viisi tai sitä enemmän huoneistoja tai, jos energijätettä kertyy yli 20 kg viikossa. Taulukossa 9 on esitetty kunnittain erilliskeräyksen piiriin kuuluvat asukaslukumäärät sekä muodostuvat energijättemäärät.

Taulukko 9. Teoreettinen erilliskerätyn energiajätteen määrä, kun erilliskeräys laajennetaan kaikkiin yhteistyöalueen kuntiin ja erilliskeräyksen piiriin kuuluvat kaikki kiinteistöt, joissa on viisi tai enemmän huoneistoa. (A: Tilastokeskus 2013a.)

| Kunta | Erilliskeräyksen piiriin kuuluvat asukkaat^A | Erilliskerätty energiajäte [t/a] |
|-----------------|---|---|
| Harjavalta | 2 652 | 281 |
| Kokemäki | 1 389 | 147 |
| Nakkila | 877 | 93 |
| Pori | 34 134 | 3 616 |
| Ulvila | 3 107 | 329 |
| Luvia | 301 | 32 |
| Merikarvia | 406 | 43 |
| Pomarkku | 319 | 34 |
| Siikainen | 206 | 22 |
| Yhteensä | 43 391 | 4 597 |

Jälleen voidaan olettaa, että keräysveloitteesta huolimatta, kaikki eivät lajittele energiajätettä. Erilliskeräyksen tehostamisen oletettiin kuitenkin lisäävän lajitteluaktiivisuutta. Erilliskeräystä tehostettaisiin muun muassa lisäämällä tiedottamista, neuvontaa ja erilaisia keräystepauksia. Oletettiin, että tehostamisen myötä noin 60 prosenttia asukkaista lajittelee energiajätettä. Tällöin energiajätteen määräksi saataisiin noin 4 600 tonnia vuodessa.

Jätteiden kuljetusetäisyyksiä arvioitiin Google Maps -karttapalvelun avulla. Rekkakuljetuksien aiheuttamien ympäristövaikutuksien arvioinnissa käytettiin GaBi -elinkaarimallinnusohjelman valmiita yksikköprosesseja rekkakuljetuksille ja dieselin valmistukselle.

7.3.2 Sekajätteen siirtokuormaus ja kierrätyspolttoaineen valmistus

Tarkasteluajanhetkellä vain sekajätettä siirtokuormattiin Hangassuon jätekeskuksella. Laskennassa oletettiin, että siirtokuormauksessa ei tapahdu hävikkiä. Energiajäte päätyi syntypaikkalajittelusta suoraan kierrätyspolttoaineen käsittelylaitokselle, joka sijaitsee Porissa (Porin Jätehuolto 2011, 8). Myös mallintamisessa käytettiin tätä järjestelyä.

Kierrätyspolttoaineen valmistuksessa oletettiin muodostuvan rejktiä 30 prosenttia ja loput 70 prosenttia saataisiin valmista kierrätyspolttoainetta (Arffman et al. 2003, 38). Lisäksi laskennassa oletettiin, että rejkti hyödynnettiin jätteenpolttolaitoksella. Koska rejktin

määrä jäi melko pieneksi, laskennassa tehtiin oletus, että rejekti päätyy samalle jätteenpolttolaitokselle, jossa sekajätettä hyödynnetään.

7.3.3 Jätteiden energiahyödyntäminen polttolaitoksilla

Tutkimuksessa tarkasteltiin sekajätteiden energiahyödyntämistä Vaasan jätteenpolttolaitoksella ja energiajätteistä valmistetun kierrätyspolttoaineen energiahyödyntämistä Kauttuan rinnakkaispolttolaitoksella. Tarkastelussa sekajätteet kuljetettiin suoraan siirtokuormauksesta jätteenpolttolaitokselle ja energiajätteet kuljetettiin kierrätyspolttoaineen valmistuslaitokselta suoraan rinnakkaispolttolaitokselle. Kuljetusmatkoja arvioitiin Google Maps -karttapalvelun avulla ja kuljetuksien laskennassa käytettiin GaBi -elinkaarimallinnusohjelman valmiita yksikköprosesseja maantiekuljetukselle. Voimalaitosten yksikköprosessien rakentamiseen kerättiin tietoja laitosten verkkosivuilta ja kirjallisuuslähteistä. Energiantuotannon laskennassa käytettiin laitosten vuosihyötysuhteita, joilla pyrittiin huomioimaan energiatarpeen vaihtelu vuoden aikana. Taulukossa 10 on esitetty tarkasteltujen laitosten vuosihyötysuhteet.

Taulukko 10. Jätteenpolttolaitoksen ja rinnakkaispolttolaitoksen vuosihyötysuhteet. (A: Westenergy Oy Ab 2013; B: Anttila 2011, liite II)

| Laitosten vuosihyötysuhteet | Jätteenpolttolaitos Westenergy Oy Ab ^A | Rinnakkaispolttolaitos Adven Oy ^B |
|--------------------------------------|--|---|
| Sähkön tuotannon vuosihyötysuhde [%] | 18 | 10 |
| Lämmön tuotannon vuosihyötysuhde [%] | 54 | 67 |

Laskennassa sekajätteen lämpöarvo muuttui sen mukaan, missä laajuudessa energiajätettä erilliskerättiin, koska energiajätteen energiasisältö vaikutti myös sekajätteen lämpöarvoon. Taulukossa 11 on esitetty laskennassa sekajätteelle käytetyt lämpöarvot skenaarioittain. Liitteessä I on esitetty lämpöarvojen määrittäminen.

Taulukko 11. Sekajätteen lämpöarvot tarkastelun skenaarioissa.

| Skenaario | Sekajätteen alempi lämpöarvo saapumistilassa [MJ/kg] |
|--------------------------|---|
| Nykyinen erilliskeräys | 10,63 |
| Ei erilliskeräystä | 11,24 |
| Tehostettu erilliskeräys | 10,0 |

Kuten taulukosta 11 nähdään, sekajätteen lämpöarvo heikkenee, mitä enemmän energiajätettä erilliskerätään. Laskennassa käytettiin pelkälle sekajätteelle lämpöarvoa 10 MJ/kg, energiajätteelle lämpöarvoa 15 MJ/kg ja rejektille 5 MJ/kg. Kierrätyspolttoaineen lämpöarvoksi saatiin 19,3 MJ/kg. Laskennassa käytetyt lämpöarvot ovat saapumistilaisten polttoaineiden alempia lämpöarvoja. Taulukossa 12 on esitetty laskennassa käytettyjä jätepolttoaineiden sekä tutkimuksessa tarkasteltujen tavanomaisten polttoaineiden päästökertoimia.

Taulukko 12. Jätepolttoaineiden kasviuonekaasupäästökertoimet (IPCC 2006, 17; Tilastokeskus 2014b).

| Polttoaine | CO₂ [kg/TJ] | CH₄ [kg/TJ] | N₂O [kg/TJ] |
|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Kierrätyspolttoaine | 31 800 | 30 | 4 |
| Yhdyskunta-/sekajäte | 40 000 | 30 | 4 |
| Turve | 106 000 | 1 | 1,5 |
| Kivihiili | 98 300 | 1 | 1,5 |
| Maakaasu | 64 200 | 3 | 0,6 |

Tutkimuksen elinkaariarvioinnissa energiantuotantoa tarkasteltiin ainoastaan Porin seudulta kerättyjen seka- ja energiajätteiden osalta. Elinkaarimallissa ei siis tarkasteltu alueellisia energiantuotantotarpeita vaan, kuinka paljon Porin seudulta kerätyllä seka- ja energiajätteillä voitiin tuottaa energiaa.

Kuten edellä kappaleessa 7.2 kuvattiin, elinkaarimalli rakennettiin siten, että tarkasteltavan energiamäärän tuli pysyä vakiona. Jätteenpolttolaitoksen kaukolämmöntuotannon vajetta korvattiin Vaskiluodon kivihiilivoimalaitoksen kaukolämmön tuotannolla ja rinnakkaispolttolaitoksella kierrätyspolttoaineiden käyttövajetta korvattiin turpeen käytöllä. Molempien laitosten sähkön tuotannon vajetta korvattiin keskimääräisellä kotimaisella verkkosähköllä. Keskiarvosähköön päädyttiin, koska tarkasteluajanjaksona oli yksi vuosi. Korvattavan kivihiilen ja turpeen päästökertoimet on esitetty taulukossa 12. Laskennassa käytettiin turpeelle lämpöarvoa 9,6 MJ/kg ja kivihiilelle 24,8 MJ/kg (Alakangas 2000, 154). Molemmat lämpöarvot ovat saapumistilaisten polttoaineiden tehollisia lämpöarvoja.

7.3.4 Polttoprosessien kiinteät jätteet

Tutkimuksessa tarkasteltiin palamisprosessien kiinteitä jätteitä pohjakuonan, lentotuhkan ja savukaasujen puhdistusjätteiden (APC -jätteen) osalta. Palamisjätteiden tarkastelu rajattiin jätteiden kaatopaikkasijoittamiseen.

Tarkasteltavassa jätteenpolttolaitoksessa oli käytössä arinakattila. Arinapolttolaitoksilla pohjakuonaa muodostuu noin 22,5–30 prosenttia kattilaan syötetyn jätteen määrästä. Lentotuhkaa muodostuu noin 2 prosenttia ja APC -jätteitä noin 1,2–2 prosenttia jätteen määrästä. (Koivunen 2007, 19–20.) Palamisprosessin kiinteät jätteet on luokiteltu vaarallisiksi jätteiksi niiden koostumuksien vuoksi. (Ekokem 2014, 16, 24.)

Ekokem-Palvelu Oy vastaa tällä hetkellä Westenergyn jätteenpolttolaitoksessa muodostuvien kattilatuhkan ja savukaasujen puhdistusjätteen vastaanotosta, kuljetuksesta ja käsittelystä (Ekokem 2014, 3). Kattilatuhkaa ja APC -jätteitä vastaanotetaan Ekokem-Palvelu Oy:n Porin Peräkorven teollisuusjätteen käsittelykeskuksella. Lisäksi kattilatuhkaa vastaanotetaan Kouvolan Keltakankaan käsittelykeskuksella. Polttoprosessin jätteet käsitellään stabiloimalla ja kiinteyttämällä. Stabilointiin käytetään sementtiä, sementtimäisiä seosaineita sekä nestemäisiä komponentteja. Kiinteytykseen käytettyä sementtiä tarvitaan noin 300 kg tonnia jätettä kohden ja sementtikiinteytyksessä käytettäviä lisäaineita noin 300 kg tonnia jätettä kohden. (Koivunen 2007, 56–57.)

Stabiloitu kattilatuhka ja APC -jäte voidaan sijoittaa käsittelykeskusten vaarallisen jätteen kaatopaikoille. (Ekokem 2014, 16, 31). Tarkastelussa oletettiin, että kattilatukat ja APC -jätteet käsitellään ja loppusijoitetaan Porin käsittelylaitoksella. Tarkastelussa ei arvioitu loppusijoittamisen aiheuttamia ympäristövaikutuksia.

Tarkasteltavalla rinnakkaispolttolaitoksella käytettiin leijukerroskattilaa. Leijupoltossa muodostuu tuhkaa vähemmän kuin arinapoltossa, koska leijukerroskattilaan menevästä jätteestä on jalostettu kierrätyspolttoainetta ja sen palamistekniset ominaisuudet ovat paremmat kuin massapolttona poltetun sekajätteen ominaisuudet. Leijupoltossa pohjakuonaa muodostuu noin 2 prosenttia polttoon syötetyn jätteenpolttoaineen määrästä. Lentotuhkan määrä on noin 2,5 prosenttia jätteen määrästä. Lentotuhkaa muodostuu hieman enemmän leijukerroskattilassa kuin arinakattilassa. APC -jätteiden määrä on noin 1,5 prosenttia polttoon syötetyn jätteen määrästä. (Koivunen 2007, 20.)

Kauttuan rinnakkaispolttolaitoksella muodostuvat palamisprosessin kiinteät jätteet päätyvät Satakierto Oy:n Hallavaaran jätekeskukselle, jonne on vuonna 2011 valmistunut tuhkien loppusijoitukseen suunniteltu tuhkakenttä. Tuhkakenttä toimii palamisjätteiden välivarastona. (Satakierto Oy 2013; Ympäristölupapäätös 8.2.2013, 2.) Mallissa palamisjätteiden

tarkastelu rajattiin kaatopaikkasijoittamiseen, eikä kaatopaikkasijoittamisen aiheuttamia ympäristövaikutuksia tai tuhkien hyödyntämisprosesseja huomioitu tarkastelussa.

7.4 Laskennan herkkyystarkastelut

Tutkimuksessa tehtiin kolme herkkyystarkastelua. Koska vuoden 2017 jälkeen Lounaisen Suomen hankintarenkään tekemän kilpailutuksen myötä Porin seudulta kerätyt kilpailutuksen piiriin kuuluvat jätteet voidaan hyödyntää energiana myös muualla kuin Vaasan jätteenpolttolaitoksella, herkkyystarkastelussa selvitettiin jätteenpolttolaitoksen vaikutusta tuloksiin. Muuttujina laskennassa olivat laitoksen energiantuotannon hyötysuhteet, etäisyys siirtoasemaan nähden sekä paikalliseen kaukolämmön tuotantoon käytetyt polttoaineet.

Herkkyystarkastelussa selvitettiin myös poltettavien jätteiden lämpöarvojen vaikutuksia laskennan tuloksiin sekä kierrätyspolttoaineen valmistuksessa muodostuvan rejektin hyötykäytön vaikutuksia. Laskennassa oletettiin, että muodostunut rejekti hyödynnettiin energiana jätteenpolttolaitoksella, joten herkkyystarkastelussa selvitettiin, miten tulokset muuttuvat, jos rejektiä ei hyödynnetä energiana, vaan se sijoitettaisiin kaatopaikalle.

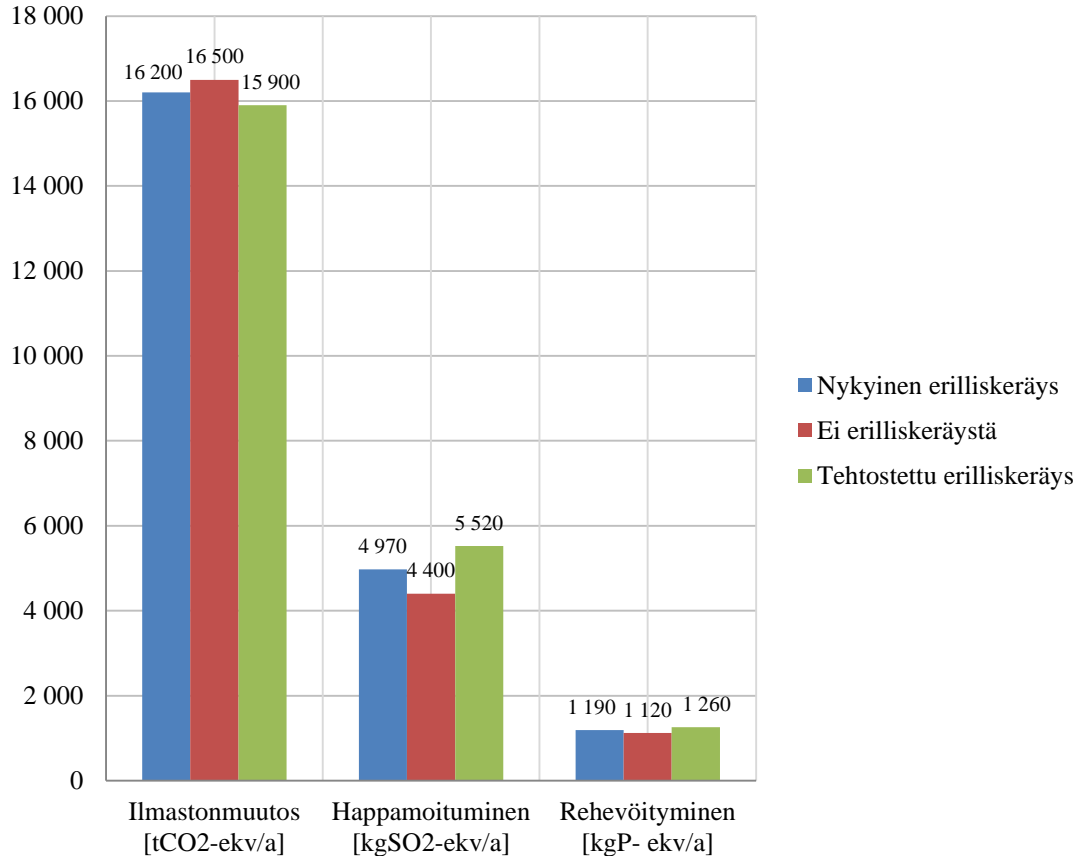
8 TUTKIMUKSEN TULOKSET

Tutkimuksessa arvioitiin elinkaaren aikaisia vaikutuksia ympäristönäkökulmien sekä taloudellisten ja sosiaalisten näkökulmien kannalta. Työssä painotettiin kuitenkin ympäristönäkökulmien tarkastelua. Taloudellisia näkökulmia pohdittiin vain Porin seudun asukkailla koituvien jäteastioiden tyhjennyskustannuksien kannalta ja sosiaalisia vaikutuksia pohdittiin vain sanallisesti.

8.1 Ympäristövaikutusten tulokset

Tarkasteltavien skenaarioiden ympäristövaikutuksia arvioitiin kolmessa vaikutusluokassa, jotka olivat ilmastonmuutos, happamoituminen ja rehevöityminen. Kuvaan 17 on koottu skenaarioiden ympäristövaikutukset tarkasteltavissa vaikutusluokissa. Kuvaselitteissä *nykyinen erilliskeräys* tarkoittaa skenaarioita 1, jossa energiajätteen erilliskeräystä ei muutettu nykytilanteesta, *ei erilliskeräystä* tarkoittaa skenaarioita 2, jossa energiajätteen erilliske-

räys lakkautettiin ja *tehostettu erilliskeräys* tarkoittaa skenaarioita 3, jossa tarkasteltiin energiajätteen erilliskeräyksen tehostamisen vaikutuksia.



Kuva 17. Ympäristövaikutukset skenaarioittain.

Kuten kuvasta 17 ilmenee, kaikissa tarkasteltavissa vaikutusluokissa skenaarioiden välillä esiintyy jonkin verran vaihtelua, mutta tulosten väliset erot eivät ylitä 20 prosenttia. Saatujen tulosten mukaan eniten ilmastonmuutosvaikutuksia aiheutuisi skenaariosta 2, jossa tarkasteltiin energiajätteen erilliskeräyksen lakkauttamisen aiheuttamia vaikutuksia. Vähiten tarkastelun mukaan aiheutuisi ilmastonmuutosvaikutuksia skenaariosta 3, jossa tarkasteltiin energiajätteen tehostetun erilliskeräyksen aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Toisaalta skenaarioiden välinen eroavaisuus on vain noin 600 tonnia CO₂-ekvivalenttia, mikä tarkoittaa noin neljän prosentin eroa. Merkittävimmät happamoitusvaikutukset aiheutuvat skenaariossa 3 ja pienimmät skenaariossa 2. Eroa tulosten välillä on noin 1 120 kg SO₂-ekvivalenttia, eli noin 20 prosenttia. Vastaavasti myös rehevöitymisvaikutusluokassa suurimmat vaikutukset aiheutuvat saatujen tulosten mukaan skenaariossa 3 ja pienimmät skenaariossa 2. Tulosten välinen ero on noin 140 kg P -ekvivalenttia, eli noin 11 prosenttia.

Sekä happamoitumis- että rehevöitymisvaikutusluokassa tehostetun erilliskeräyksen aiheuttamat lisääntyneet kuljetukset aiheuttivat jonkin verran enemmän ympäristövaikutuksia toisiin skenaarioihin verrattuna. Lisäksi korvaavan sähkön hankinta valtakunnan sähköverkosta aiheutti eroa tuloksiin. Skenaariossa 3 korvaavaa sähköä jouduttiin hankkimaan eniten vertailtavista skenaarioista (kuvat 15 ja 16).

Taulukkoon 13 on vielä koottu esimerkkinä kaikkien skenaarioiden ilmastomuutosvaikutukset yksikköprosesseittain. Taulukossa on esitetty yksikköprosessien prosentuaaliset osuudet skenaarioiden kokonaispäästövaikutuksista.

Taulukko 13. Ilmastomuutosvaikutusten muodostuminen yksikköprosesseittain kaikissa skenaarioissa.

| Yksikköprosessi | Nykyinen erilliskeräys | Ei erilliskeräystä | Tehostettu erilliskeräys |
|--|------------------------|--------------------|--------------------------|
| Jätteenpolttolaitos | 45,1 % | 53,1 % | 38,7 % |
| Rinnakkaispolttolaitos | 7,3 % | 0,0 % | 13,2 % |
| Korvaava kaukolämmöntuotanto | 38,8 % | 40,1 % | 37,8 % |
| Korvaava sähkö valtakunnan sähköverkosta | 3,9 % | 2,6 % | 4,9 % |
| Kuljetukset | 3,9 % | 3,8 % | 4,0 % |
| Kierrätyspolttoaineen valmistus | 0,5 % | 0,0 % | 0,9 % |
| Loput | 0,4 % | 0,4 % | 0,4 % |
| Yhteensä | 100 % | 100 % | 100 % |

Kuten taulukosta 13 nähdään, merkittävimmät ilmastomuutosta aiheuttavat yksikköprosessit ovat energiantuotannon yksikköprosessit. Jätteiden polttoprosessien päästövaikutukset muodostavat kaikissa tarkasteltavissa skenaarioissa reilu 50 prosenttia kaikista päästöistä. Myös korvaavien lämmön ja sähkön tuotantojen yksikköprosessit aiheuttavat merkittäviä päästöjä, erityisesti korvaavan kaukolämmön tuotannosta muodostuu kaikissa skenaarioissa vajaa 40 prosenttia kokonaispäästöistä. Kuljetuksien osuus muodostuviin päästöihin jää kaikissa skenaarioissa pieneksi, noin neljän prosentin osuudeksi. Muiden yksikköprosessien päästövaikutukset jäivät alle yhden prosenttiyksikön.

8.2 Energiajätteen erilliskeräyksen kustannusvaikutukset asukkaan näkökulmasta

Tutkimuksen elinkaaren aikaisia taloudellisia vaikutuksia arvioitiin ainoastaan alueen asukkaille aiheutuvien jäteastioiden tyhjennyskustannuksien kannalta. Tutkimuksessa ei

tehty laajaa taloudellisten vaikutusten arviointia, koska laajan tarkastelun ei katsottu oleellisesti hyödyttävän työn tilaajaa.

Laskennassa tarkasteltiin erilliskeräyksen kustannusvaikutuksia erimerkkikiinteistön avulla. Tarkastelu toteutettiin kiinteistölle, jossa nykyisillä jätehuoltomääräyksillä olisi voimassa energiajätteen erilliskeräys (kiinteistöt, joissa on kymmenen tai sitä enemmän huoneistoja, taulukko 1). Tarkasteluun valittiin 25 huoneiston kiinteistö. Kustannuslaskennan tarkempi eteneminen on esitetty liitteessä II.

Tuotettujen jätemäärien ja asukaslukumäärien perusteella, alueella muodostuu sekajätettä noin 124 kg ja energiajätettä noin 88 kg asukasta kohden vuodessa. Tarkasteltavan kiinteistön asukkaat tuottaisivat tällöin sekajätettä noin 107 kg ja energiajätettä noin 76 kg viikossa, yhteensä 183 kg viikossa.

Koska tarkasteltavassa kiinteistössä oli useampia huoneistoja, oletettiin, että kiinteistöllä on käytössä 660 litran jäteastiat. Taulukossa 14 on esitetty jäteastioiden tilavuudet sekä sekajätteen ja energiajätteen tiheydet, joiden avulla on laskettu, paljonko 660 litran jäteastioihin mahtuu enimmillään jätteitä.

Taulukko 14. Jäteastioihin sijoitettava enimmäismäärä jätettä (A: Teirasvuo 2010, 36).

| | Jäteastian tilavuus [m³] | Jätteen tiheys [kg/m³]^A | Jäteastian jätettä [kg] |
|--------------------|--|--|--------------------------------|
| Sekajäte | 0,66 | 86,6 | 57,2 |
| Energiajäte | 0,66 | 81,3 | 53,7 |

Laskennassa oletettiin, että kiinteistöllä olisi käytössä kaksi astiaa sekä sekajätteelle että energiajätteelle, koska kiinteistön viikoittaiset jätemäärät eivät mahdu yhteen astiaan. Oletettiin, että astioiden tyhjennysväli olisi kerran viikossa, jolloin tyhjennyskertoja olisi 52 kertaa vuodessa. Mikäli energiajätteen erilliskeräys ei olisi voimassa, kiinteistöllä tulisi olla neljä sekajäteastiaa, joiden tyhjennysväli olisi kerran viikossa. Toisaalta, kiinteistöllä voisi olla myös kaksi sekajäteastiaa, joiden tyhjennysväli olisi tällöin kaksi kertaa viikossa.

Porin seudulla sekajäteastian yksittäinen tyhjennyskustannus on 10,65 € ja energiajäteastian tyhjennyskustannus 7,57 € (Lehti, sähköpostiviesti 14.4.2014). Edellä esitetyillä oletuksilla energiajätteen erilliskeräyksen ollessa voimassa erimerkkikiinteistön sekajäteastioiden tyhjennyskustannukset vuodessa olisivat 1 108 € ja energiajäteastioiden tyhjennyskustannukset

nukset 787 €, yhteensä 1 895 € vuodessa. Mikäli energiajätteen erilliskeräys ei olisi voimassa ja kiinteistöllä ei lajiteltaisi energiajätettä, sekajäteastioiden vuotuiset tyhjennyskustannukset olisivat 2 215 € vuodessa.

Edellä esitetyn laskentaperiaatteen mukaan, kiinteistön asukkaille olisi edullisempaa lajitella energiajätettä kuin kerätä jätteet sekajätteenä. Kustannuseroa menetelmien välillä on noin 320 € vuodessa, eli noin 14 prosenttia. Tämä tarkoittaa kuitenkin vain noin 7 € eroa vuodessa huoneistoa kohden. Tulos on kuitenkin samansuuntainen ilmastonmuutosvaikutuksien osalta, eli kannustava lajittelemaan energiajätteitä.

8.3 Energiajätteen erilliskeräykseen liittyviä sosiaalisia vaikutuksia

Kurkela ja Saarman (2012) ovat opinnäytetyössään selvittäneet Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy:n asiakastyytyväisyyttä vuonna 2011. Työssä selvitettiin muun muassa halukkuutta erilliskerätä energiajätettä. Kyselyyn vastaajista noin 20 prosentilla oli mahdollisuus lajitella energiajätettä, mutta lähes 70 prosenttia vastaajista olisi kuitenkin ollut valmis lajittelemaan energiajätteen. Vastaajista noin 10 prosenttia ei lajittelisi energiajätettä, jos taloyhtiössä olisi siihen mahdollisuus. Kyselyssä vastaajat saivat myös avoimesti kertoa, millaisia palveluita he haluaisivat alueensa jätehuoltoyhtiön kehittävän. Yksi useimmiten esille nousseista kehitysehdotuksista oli energiajätteen kerääminen. Vastaajat kokivat energiajätteen erilliskeräyksen ja mahdollisuuden erilliskeräykseen tärkeänä. (Kurkela & Saarman 2012, 46–47.)

Peltonen (2012) on osana opinnäytetyötään toteuttanut asiantuntijahaastattelun liittyen energiajätteen erilliskeräykseen. Opinnäytetyössä haastateltiin Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy:n palvelupäällikköä sekä käsittelypäällikköä, Lahti Energian viestintäjohtajaa, Pakkausalan Ympäristörekisteri Oy -tuottajayhteisöjen yhteistyöorganisaation toimitusjohtajaa sekä Tampereen teknillisen yliopiston muovitekniikan professoria. Haastattelussa kysyttiin muun muassa kannattaisiko kotitalouksissa syntyvän energiajätteen erilliskeräystä lisätä ja millaisia esteitä energiajätteen erilliskeräykseen voi liittyä. Asiantuntijoiden mielipiteet erilliskeräyksen lisäämisestä jakautuivat. Osa vastaajista piti erilliskeräyksen lisäämistä kannattavana asiana ja toiset eivät kannattaneet erilliskeräyksen lisäämistä. Perusteluja vastaväitteille olivat sekajätteen hyödyntäminen energiana sekä turhien kuljetusten lisää-

tyminen. Erilliskeräykseen liittyviä ongelmia nähtiin aiheutuvan mahdollisesti syntypaikkalajittelussa, erityisesti haitallisten aineiden joutuminen energiajätteen joukkoon. Energiajätteen erilliskeräyksen lisääminen koko Suomeen nähtiin mahdollisena ja koettiin, että energiajätteen erilliskeräyksestä saatavat hyödyt jäävät helpompien ratkaisujen, kuten massapolton, varjoon. (Peltonen 2012, 28–29.)

Kuluttajille suunnatun kyselytutkimuksen tuloksista nähdään, että kuluttajat kokevat energiajätteen erilliskeräyksen tärkeänä asiana. Toisaalta asiantuntijahaastattelun mukaan energiajätteen syntypaikkalajitteluun voi liittyä ongelmia, mikä heijastuu saatavan kierrätyspolttoaineen laatuun. Energiajätteen erilliskeräyksen lakkauttaminen ja polttokelpoisen sekajätteen kerääminen voi helpottaa syntypaikalla tapahtuvien erehdysten muodostumista, mutta erilliskeräyksen lakkauttaminen voidaan kokea kuluttajien keskuudessa negatiivisena asiana. Mikäli päädyttäisiin lakkauttamaan energiajätteen erilliskeräys, tulisi alueen asukkaita tiedottaa asiasta paljon ja perustella heille riittävän kattavasti, miksi lakkauttaminen olisi kannattavaa. Toisaalta kuluttajille suunnatun kyselytutkimuksen tuloksista nähdään myös, että energiajätteen erilliskeräyksen tehostaminen voitaisiin kokea positiivisena asiana. Tällöin kuitenkin syntypaikoilla tapahtuvien lajitteluvirheiden riski voisi kasvaa erilliskerääjien määrän kasvaessa. Lisäksi tulee huomioida, että kyselytutkimukset teetettiin Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy:n toiminta-alueella. Kyselytutkimusten vastauksissa voisi ilmetä joitain eroavaisuuksia, jos vastaavanlaiset kyselytutkimukset teetettäisiin Porin Jätehuollon toiminta-alueella.

8.4 Herkkyystarkastelujen tulokset

Herkkyystarkastelussa selvitettiin muutaman muuttujan avulla, miten laskennan tulokset muuttuvat ja vaikuttavatko ne edellä saatuihin tuloksiin merkittävästi. Herkkyystarkastelun tuloksia verrattiin edellä kappaleessa 7.2 määritettyyn lähtötilanteeseen.

8.4.1 Jätteenpolttolaitoksen vaikutus tuloksiin

Vertailtavaksi jätteenpolttolaitokseksi valittiin Tampereelle rakenteilla oleva Tammervoiman hyötyvoimalaitos, jonka on määrä valmistua vuoden 2016 alkupuolella. Laitoksen valintaan vaikutti sijainti Poriin nähden. Laskennassa oletettiin Tammervoiman energian-

tuotannon korvaavan maakaasun käyttöä Naistenlahden voimalaitoksella (Ympäristölupapäätös 15.12.2005, 7; Tampereen Sähkölaitos 2013). Taulukkoon 15 on koottu herkkyyss-tarkastelun muuttuja-arvoja. Taulukkoon koottiin myös vertailtavan Vaasan Westenergyn jätteenpolttolaitoksen tietoja.

Taulukko 15. Vertailtaviin jätteenpolttolaitoksiin vuosihyötysuhteet sekä etäisyydet siirtoasemalta. (A: Westenergy Oy Ab 2013; B: Ympäristölupapäätös 28.2.2013, 7; C: Google Maps -karttapalvelu.)

| Laskenta-arvoja | Westenergyn jätevoimalaitos | Tammervoiman jätevoimalaitos |
|---|-----------------------------|------------------------------|
| Sähkön tuotannon vuosihyötysuhde [%] | 18 ^A | 19 ^B |
| Lämmön tuotannon vuosihyötysuhde [%] | 54 ^A | 57 ^B |
| Etäisyys siirtoasemalta [km] ^C | 212 | 126 |

Vertailtujen polttolaitosten vuosihyötysuhteet eroavat toisistaan melko vähän. Merkittävimmät eroavaisuudet ovat laitosten etäisyys siirtoasemalta sekä paikallisen kaukolämmön tuotannossa korvattava polttoaine. Maakaasun lämpöarvona laskennassa käytettiin arvoa 49,2 MJ/kg (Alakangas 2000, 142). Maakaasun päästökertoimet on esitetty aiemmin taulukossa 12.

Taulukkoon 16 on koottu herkkyyss-tarkastelussa vertailtujen jätteenpolttolaitosten ympäristövaikutukset skenaarioittain.

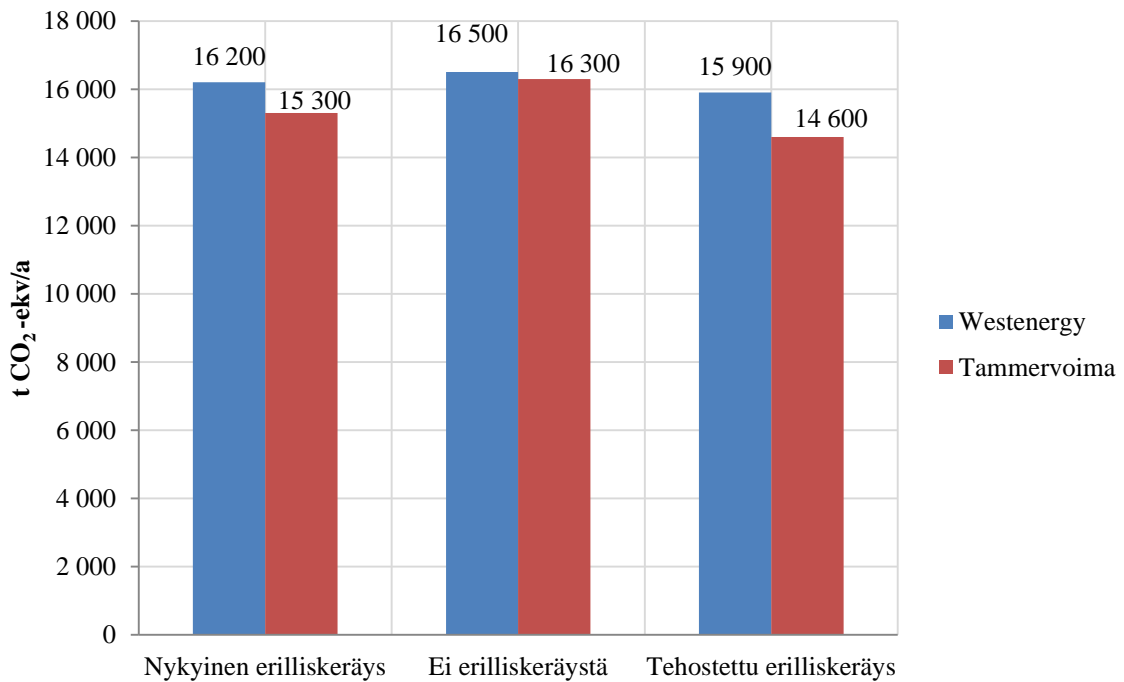
Taulukko 16. Herkkyyss-tarkastelun tulokset vaihtoehtoisille jätteenpolttolaitoksille.

| | Nykyinen erilliskeräys | Ei erilliskeräystä | Tehostettu erilliskeräys |
|---|------------------------|--------------------|--------------------------|
| Ilmastonmuutos [t_{CO2-ekv}/a] | | | |
| Westenergyn jätteenpolttolaitos | 16 200 | 16 500 | 15 900 |
| Tammervoiman jätteenpolttolaitos | 15 300 | 16 300 | 14 600 |
| Happamoituminen [kg_{SO2-ekv}/a] | | | |
| Westenergyn jätteenpolttolaitos | 4 970 | 4 400 | 5 520 |
| Tammervoiman jätteenpolttolaitos | 4 120 | 3 470 | 4 730 |
| Rehevöityminen [kg_{P-ekv}/a] | | | |
| Westenergyn jätteenpolttolaitos | 1 190 | 1 120 | 1 260 |
| Tammervoiman jätteenpolttolaitos | 970 | 910 | 1 050 |

Taulukon 16 tulosten mukaan Tammervoiman jätteenpolttolaitoksesta näyttäisi aiheutuvan pienemmät ympäristövaikutukset kuin Westenergyn jätteenpolttolaitoksesta. Tuloksiin vaikuttavat laitosten sijainnit suhteessa siirtoasemaan sekä korvaavan kaukolämmön tuo-

tantoon käytetty tavanomainen polttoaine. Kuten taulukossa 12 ilmeni, maakaasun hiilidioksidipäästökerroin on jonkin verran pienempi kuin kivihiilen päästökerroin. Laskennassa oletettiin Tammervoiman lämmön tuotannon korvaavan maakaasun käyttöä ja Westenergin lämmön tuotannon korvaavan kivihiilen käyttöä.

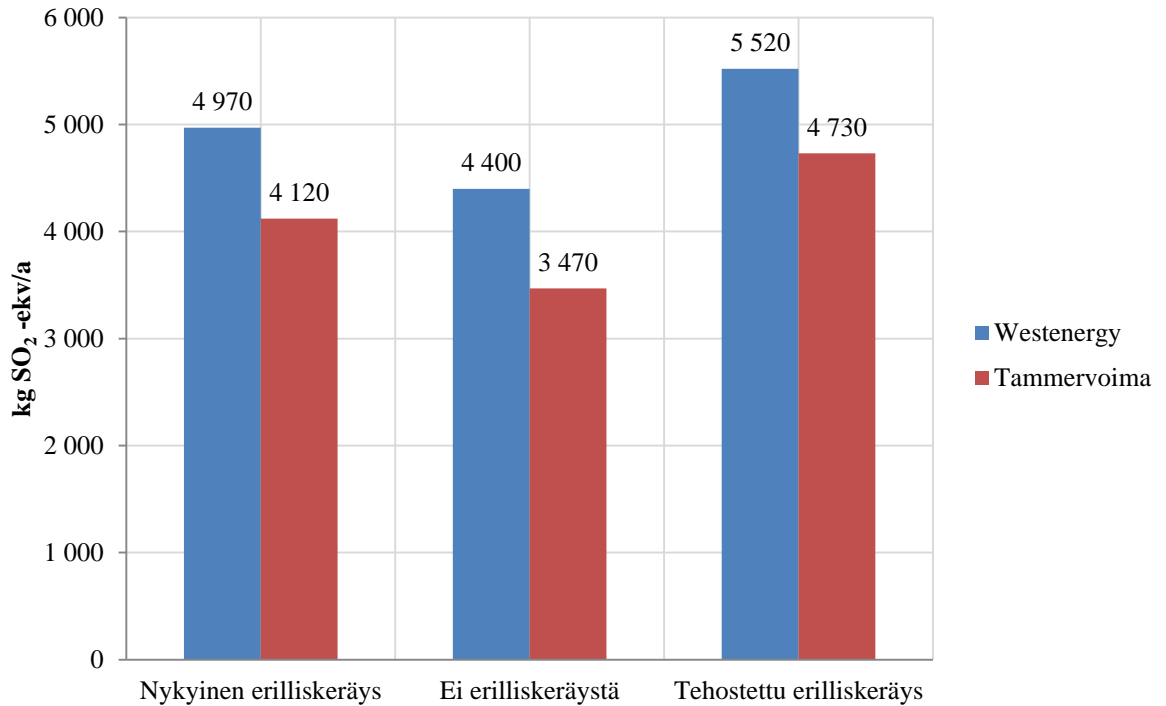
Kuvassa 18 on esitetty vertailtavien jätteenpolttolaitosten ilmastonmuutosvaikutukset kaikissa kolmessa skenaariossa. Tarkasteltua rinnakkaispolttolaitosta ei vertailussa muutettu.



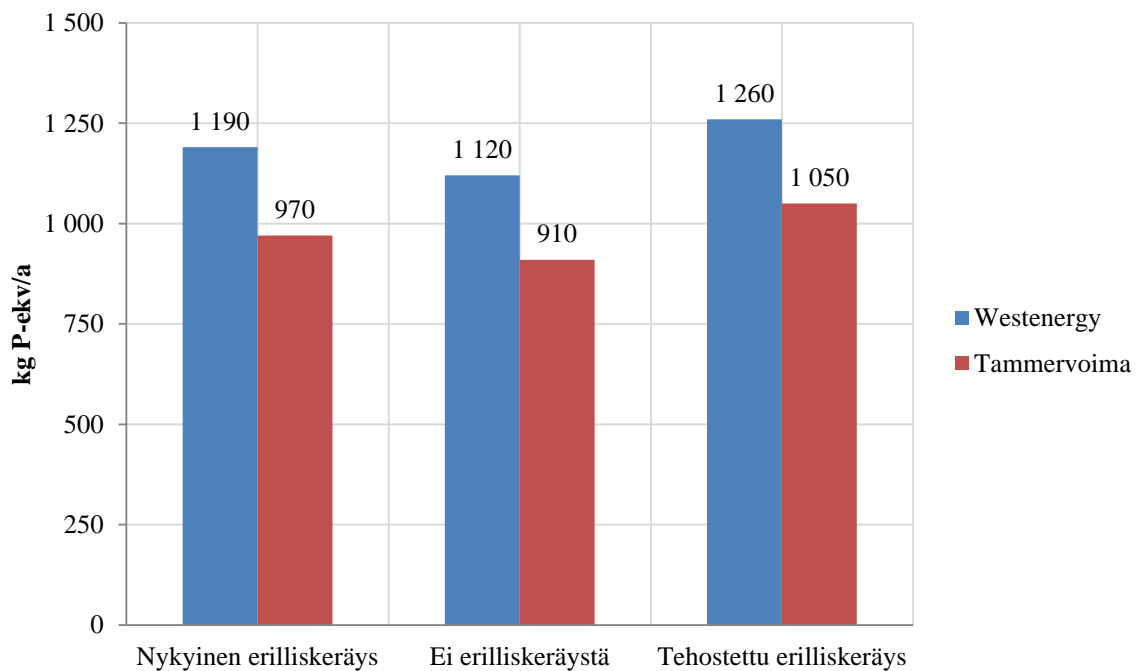
Kuva 18. Vertailtujen jätteenpolttolaitosten ilmastonmuutosvaikutukset skenaarioittain.

Tammervoiman ilmastonmuutosvaikutukset jäävät jonkin verran pienemmiksi verrattaessa Westenergin jätteenpolttolaitokseen. Toisaalta erot jätteenpolttolaitoksien välillä kaikissa skenaarioissa jäivät alle kymmenen prosentin. Erilliskeräyksen lakkauttaminen näyttäisi aiheuttavan suurimmat päästövaikutukset molemmissa jätteenpolttolaitosvaihtoehdoissa, mutta erilliskeräyksen lakkauttaminen näyttäisi tulosten mukaan aiheuttavan suhteessa suuremmat päästövaikutukset Tammervoimaa tarkasteltaessa. Tulos selittyy korvattavilla tavanomaisilla polttoaineilla. Koska Tammervoiman energiantuotannon oletettiin korvaavan maakaasun käyttöä, on maakaasun käyttö päästökertoimien perusteella suotuisampaa energiantuotannossa kuin turpeen, jota rinnakkaispolttolaitoksen oletettiin käyttävän energiantuotannossa. Tällöin turpeen korvaaminen energijätteestä valmistetulla kierrätyspolt-

toaineella näyttäisi aiheuttavan suurimmat ympäristölliset hyödyt. Kuvissa 19 ja 20 on vielä esitetty vertailtujen jätteenpolttolaitoksien happamoitumista ja rehevöitymistä aiheuttavat vaikutukset.



Kuva 19. Vertailtujen jätteenpolttolaitoksien happamoitumista aiheuttavat vaikutukset skenaarioittain.



Kuva 20. Vertailtujen jätteenpolttolaitosten rehevöitymistä aiheuttavat vaikutukset skenaarioittain.

Molemmissa vaikutusluokissa vaihtoehtoisista jätteenpolttolaitoksista sekajätteiden hyödyntäminen Vaasassa sijaitsevalla Westenergyn jätteenpolttolaitoksella aiheutti enemmän happamoitumis- ja rehevöitymisvaikutuksia kuin vertailtu Tampereelle rakentuva Tammervoiman jätteenpolttolaitos. Eroa tulosten välillä oli noin 15–20 prosenttia. Liitteessä III on vielä esitetty vertailtujen jätteenpolttolaitoksien ympäristövaikutukset skenaarioittain.

8.4.2 Jätepolttoaineiden lämpöarvon vaikutus tuloksiin

Herkkyystarkastelussa vertailtiin jätteiden lämpöarvojen vaikutuksia tutkimuksen tuloksiin. Sekajätteen lämpöarvoksi valittiin 11 MJ/kg ja energiajätteelle 16 MJ/kg. Energiajätteestä valmistetun kierrätys polttoaineen lämpöarvoksi saatiin 20,7 MJ/kg. Lämpöarvot ovat tehollisia lämpöarvoja polttoaineen saapumistilassa. Taulukossa 17 on esitetty herkkyystarkastelun lämpöarvot sekajäteosuudelle. Lämpöarvot on määritetty samalla periaatteella kuin liitteessä I esitetty laskenta.

Taulukko 17. Herkkyystarkastelun lämpöarvot skenaarioittain.

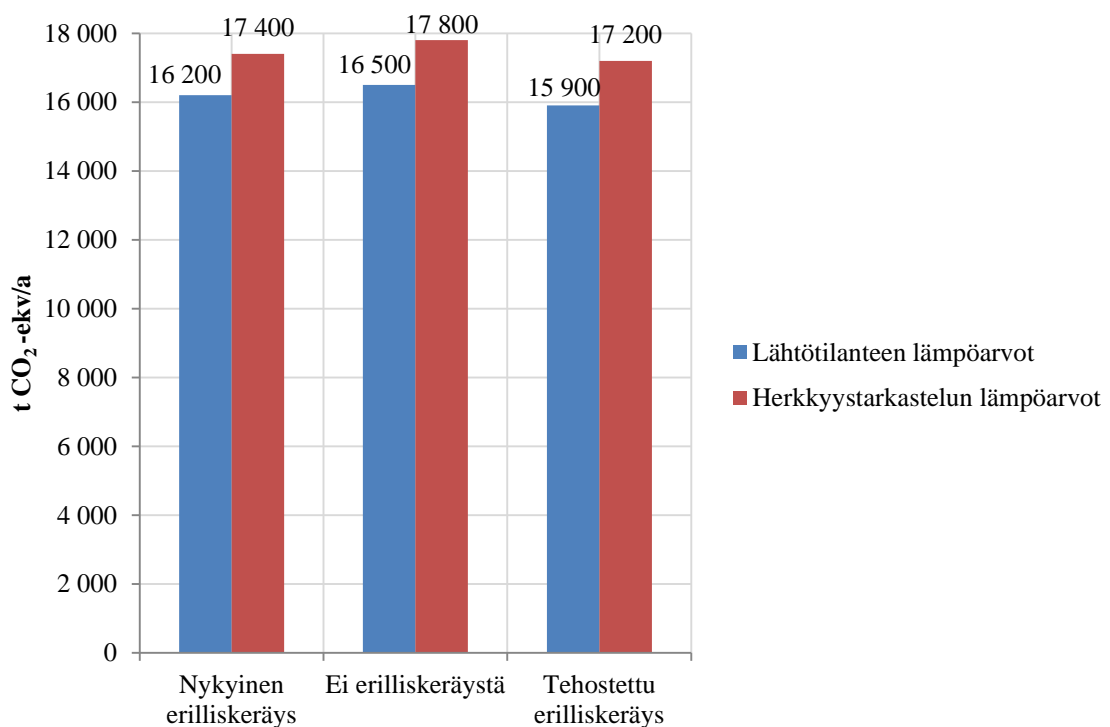
| Skenaario | Sekajätteen alempi lämpöarvo saapumistilassa [MJ/kg] |
|--------------------------|---|
| Nykyinen erilliskeräys | 11,6 |
| Ei erilliskeräystä | 12,2 |
| Tehostettu erilliskeräys | 11,0 |

Taulukkoon 18 on koottu tarkastelun alkuperäisillä lämpöarvoilla (taulukko 11) saadut tulokset sekä herkkyystarkasteluun muunnetuilla lämpöarvoilla (taulukko 17) saadut tulokset skenaarioittain.

Taulukko 18. Herkkyystarkastelun tulokset jätteiden lämpöarvojen muuttamiselle.

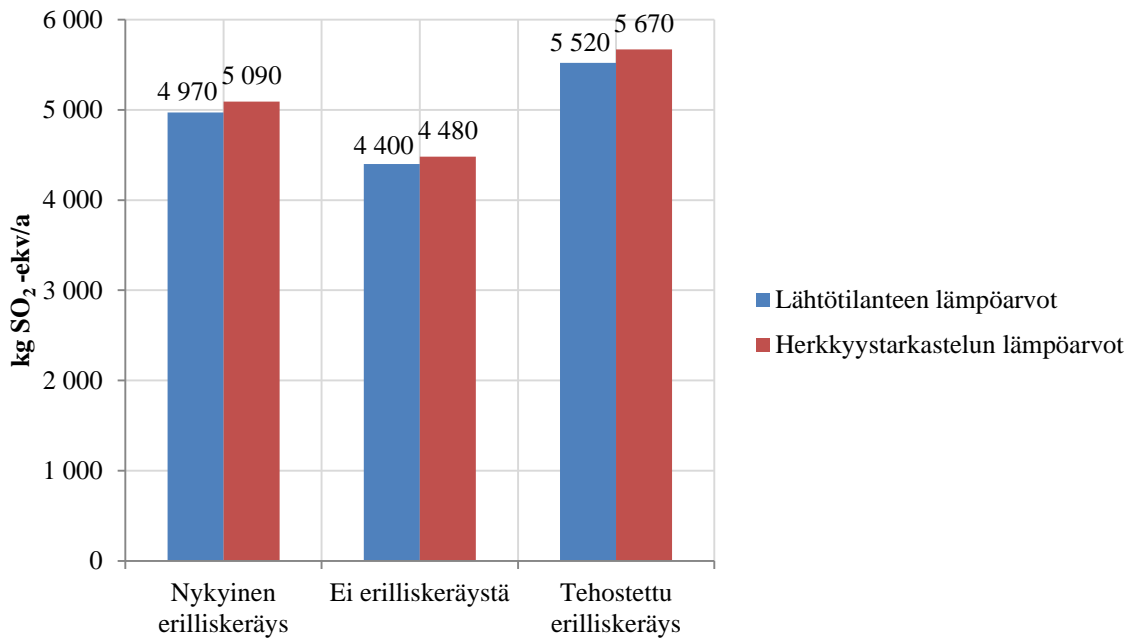
| | Nykyinen erilliskeräys | Ei erilliskeräystä | Tehostettu erilliskeräys |
|---|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Ilmastonmuutos [t_{CO2-ekv/a}] | | | |
| Lähtötilanteen lämpöarvot | 16 200 | 16 500 | 15 900 |
| Herkkyystarkastelun lämpöarvot | 17 400 | 17 800 | 17 200 |
| Happamoituminen [kg_{SO2-ekv/a}] | | | |
| Lähtötilanteen lämpöarvot | 4 970 | 4 400 | 5 520 |
| Herkkyystarkastelun lämpöarvot | 5 090 | 4 480 | 5 670 |
| Rehevöityminen [kg_{P-ekv/a}] | | | |
| Lähtötilanteen lämpöarvot | 1 190 | 1 120 | 1 260 |
| Herkkyystarkastelun lämpöarvot | 1 220 | 1 150 | 1 300 |

Lämpöarvojen kohottaminen lisäsi ympäristövaikutuksia muutamia prosentteja, mutta ei vaikuttanut ympäristövaikutuksien suuruksien järjestykseen skenaarioissa. Kuvassa 21 on esitetty vielä esimerkkinä ilmastonmuutosvaikutukset skenaarioittain lähtötilanteen ja herkkyystarkastelun lämpöarvoilla.

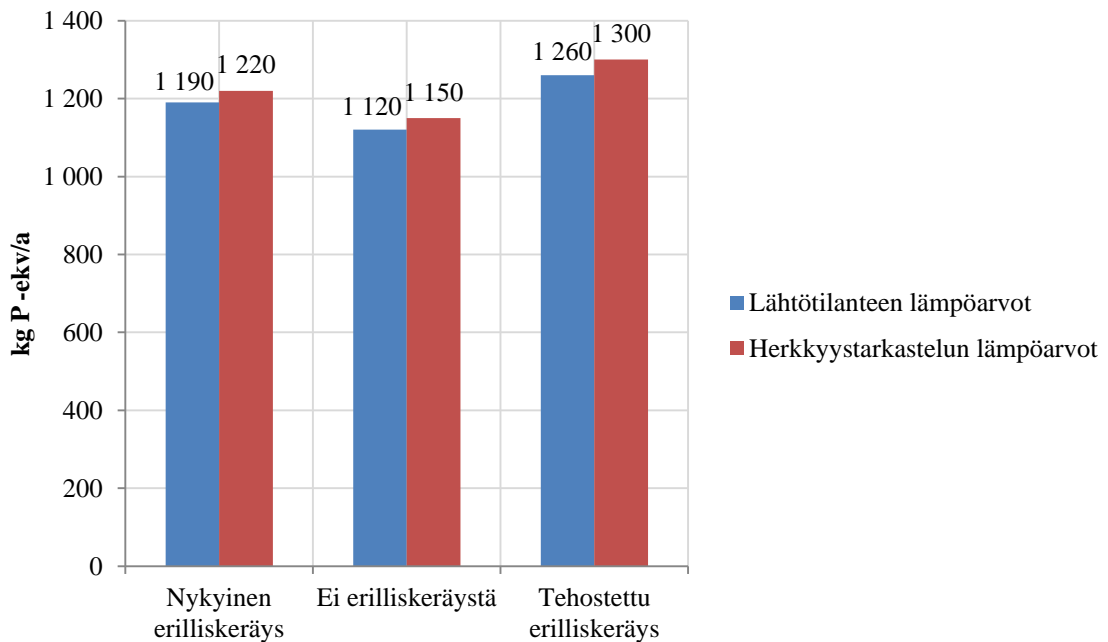
**Kuva 21.** Lämpöarvojen herkkyystarkastelu ilmastonmuutosvaikutusluokassa.

Lämpöarvoa kasvattamalla ilmastonmuutosvaikutukset kasvoivat noin seitsemän prosenttia, koska laskennassa saadut päästövaikutukset määräytyivät jätteiden energiasisällön mukaan. Lämpöarvojen muuttaminen ei kuitenkaan vaikuttanut skenaarioiden päästövaikutuk-

sien järjestykseen, jolloin skenaarioista 2 aiheutui suurimmat päästövaikutukset ja skenaarioista 3 pienimmät päästövaikutukset lämpöarvojen muuttamisesta huolimatta. Kuvissa 22 ja 23 on vielä esitetty vertailluilla lämpöarvoilla saadut happamoitumista ja rehevöitymistä aiheuttavat vaikutukset.



Kuva 22. Lämpöarvojen herkkyystarkastelu happamoitusvaikutusluokassa.



Kuva 23. Lämpöarvojen herkkyystarkastelu rehevöitymisvaikutusluokassa.

Lämpöarvojen kohottaminen lisäsi herkkyytarkastelun happamoitumisvaikutuksia noin kaksi prosenttia ja rehevöitymisvaikutuksia noin kolme prosenttia. Liitteessä IV on vielä esitetty lämpöarvojen herkkyytarkastelun tulokset skenaarioittain.

8.4.3 Rejektin hyötykäytön vaikutus tuloksiin

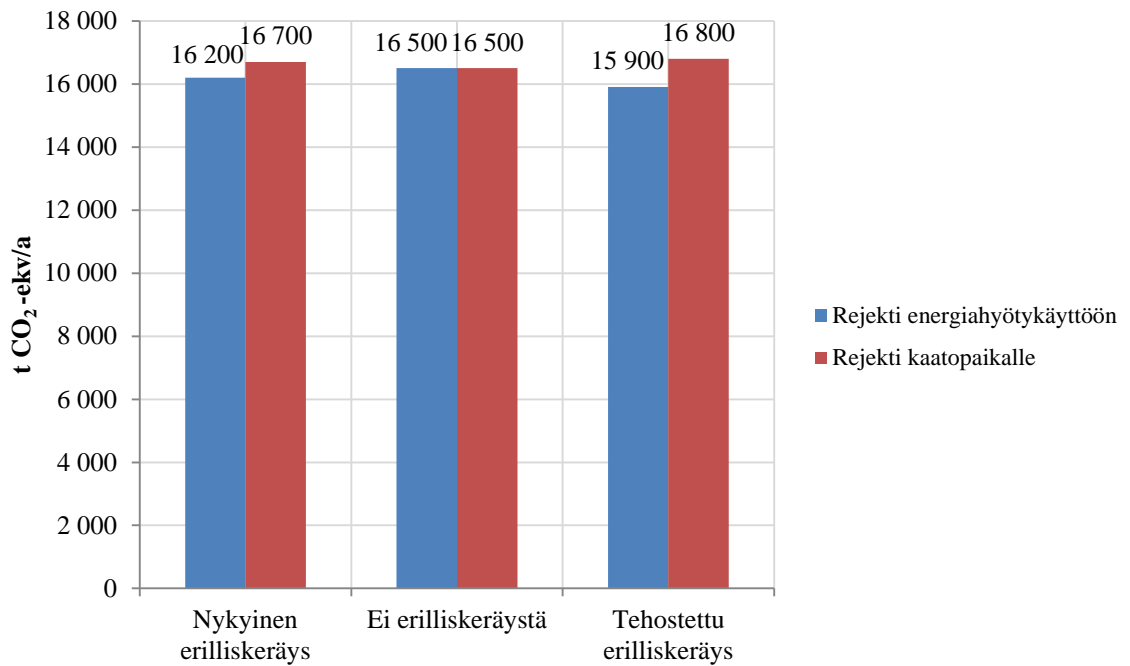
Laskennan perusoletuksena oli, että kierrätyspolttoaineen valmistuksen yhteydessä muodostunut rejekti hyödynnettiin energiana, koska vuonna 2016 voimaan astuvan kaatopaikkakiellon myötä rejektiä ei voida sijoittaa enää kaatopaikalle. Herkkyytarkastelussa selvitettiin, miten tulokset muuttuisivat, jos rejektiä ei hyödynnettäisi energiana, vaan se loppusijoitettaisiin kaatopaikalle. Laskennassa oletettiin rejektin päätyvän Porissa sijaitsevan Hangassuon kaatopaikalle, koska kierrätyspolttoaineen valmistus tapahtui myös Porissa. Laskennassa oletettiin rejektin kuiva-aineen sisältävän biokemiallisesti hajoavaa hiiltä noin 20 prosenttia, josta noin 50 prosenttia muodosti kaatopaikkakaasuja ja loput 50 prosenttia varastoituu kaatopaikalle (Tuhkanen 2002, 19–20). Kaatopaikkakaasun oletettiin sisältävän noin 50 prosenttia metaania ja 40 prosenttia hiilidioksidia (Tchobanoglous et al. 1993, 382). Kaatopaikkakaasun keräysasteeksi oletettiin 60 prosenttia (Niskanen 2012). Kerätyt kaatopaikkakaasut oletettiin poltettavan soihdussa. Taulukossa 19 on esitetty skenaarioittain, miten rejektin kaatopaikkasijoittaminen vaikutti herkkyytarkastelun tuloksiin.

Taulukko 19. Rejektin kaatopaikkasijoittamisen vaikutukset.

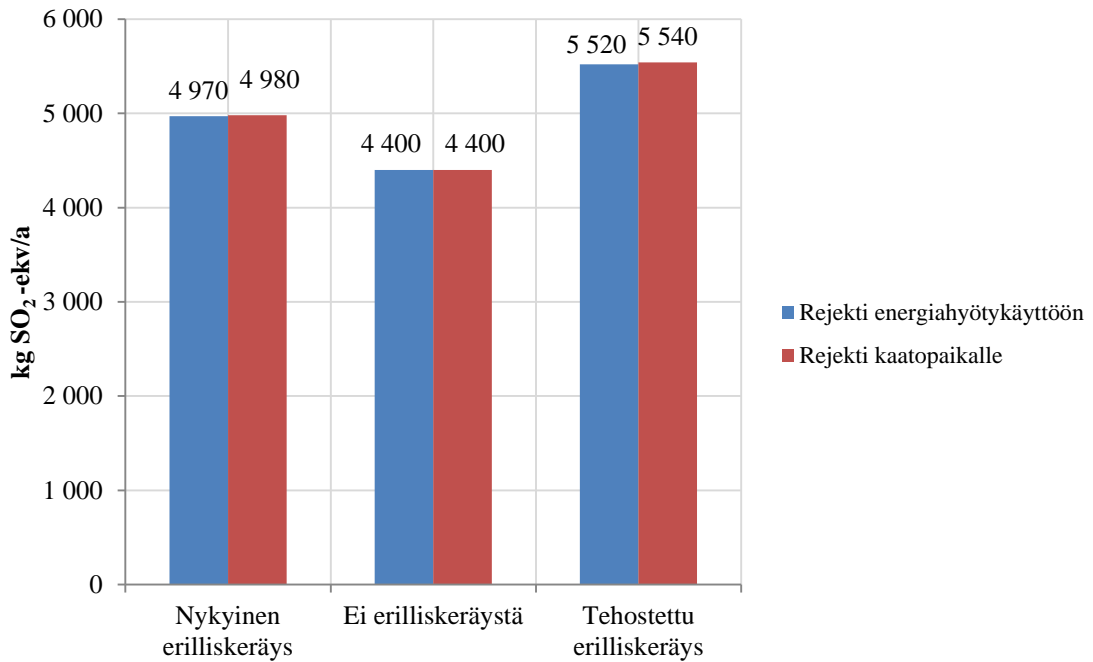
| | Nykyinen erilliskeräys | Ei erilliskeräystä | Tehostettu erilliskeräys |
|--|-------------------------------|---------------------------|---------------------------------|
| Ilmastonmuutos [t_{CO₂-ekv/a}] | | | |
| Rejekti energiahyötykäyttöön | 16 200 | 16 500 | 15 900 |
| Rejekti kaatopaikalle | 16 700 | 16 500 | 16 800 |
| Happamoituminen [kg_{SO₂-ekv/a}] | | | |
| Rejekti energiahyötykäyttöön | 4 970 | 4 400 | 5 520 |
| Rejekti kaatopaikalle | 4 980 | 4 400 | 5 540 |
| Rehevöityminen [kg_{P-ekv/a}] | | | |
| Rejekti energiahyötykäyttöön | 1 190 | 1 120 | 1 260 |
| Rejekti kaatopaikalle | 1 150 | 1 120 | 1 200 |

Kaatopaikkasijoittaminen tulosten perusteella näytti aiheuttavan hieman suuremmat ilmastomuutosvaikutukset kuin rejektin energiahyödyntäminen. Rejektin määrä tarkastelussa jäi kuitenkin melko pieneksi, joten herkkyytarkastelun tuloksien eroavaisuudet olivat vain

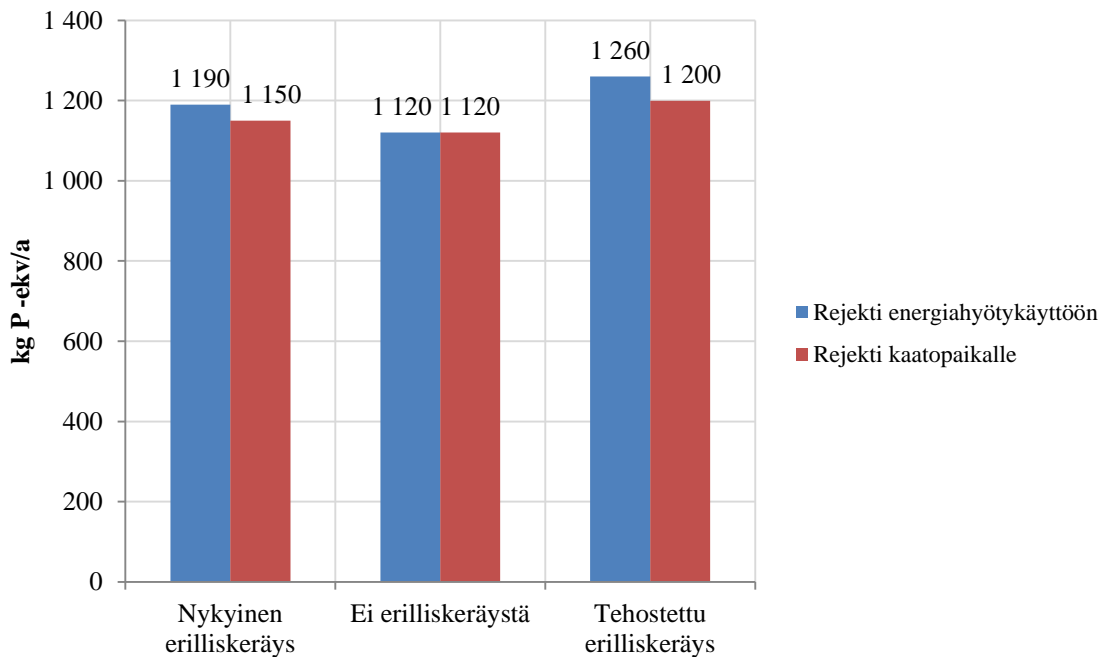
noin 3–5 prosenttia. Herkkyystarkastelu muutti kuitenkin tuloksia siten, että skenaariosta 2 aiheutui pienimmät päästövaikutukset ja skenaariosta 3 suurimmat. Rejektin hyötykäyttö näyttäisi siis vaikuttavan siihen, mikä skenaarioista aiheutti vähiten ympäristövaikutuksia. Kuvassa 24–26 on esitetty ympäristövaikutukset skenaarioittain rejektin energiahyödyntämisen vaikutukselle.



Kuva 24. Rejektin energiahyödyntämisen herkkyystarkastelu ilmastonmuutosvaikutusluokassa.



Kuva 25. Rejektin energiahyödyntämisen herkkyystarkastelu happamoitumisvaikutusluokassa.



Kuva 26. Rejektin energiahyödyntämisen herkkyystarkastelu rehevöitymisvaikutusluokassa.

Tarkastelussa rejektin kaatopaikkasijoittamisen merkittävimmät ympäristövaikutukset esiintyvät ilmastonmuutosvaikutusluokassa, koska tarkastelussa huomioitiin ainoastaan kaatopaikkakaasujen muodostuminen hiilidioksidin ja metaanin osalta. Tarkastelussa ei huomioitu kaatopaikalla esimerkiksi muodostuvien suotovesien vaikutuksia. Skenaarion 2

tuloksiin rejektin energiahyötykäyttö ei vaikuta, koska skenaariossa 2 rejektiä ei muodostunut ollenkaan. Liitteessä V on vielä esitetty rejektin kaatopaikkasijoittamisen herkkyyss-tarkastelun tulokset skenaarioittain.

8.5 Tulosten tulkinta ja virheanalyysi

Tutkimuksessa ei saatu yksiselitteisiä tuloksia siitä, miten energiana hyödynnettävien jät-teiden keräys ja hyödyntäminen olisi kannattavinta toteuttaa. Saatujen tulosten mukaan tutkitussa tapauksessa energijätteen erilliskeräyksellä voidaan vähentää ilmastonmuutos-vaikutuksia. Toisaalta erilliskeräyksen lakkauttaminen vähentäisi happamoitumista ja re-hevöitymistä aiheuttavia vaikutuksia. Energijätteen erilliskeräys myös kustannusten kan-nalta näyttäisi olevan suotuisaa asukkaiden näkökulmasta. Erilliskeräys laskee jonkin verran jäteastioiden tyhjennyksistä aiheutuvia kustannuksia.

Saatuihin tuloksiin vaikuttavat laskennassa tehdyt oletukset ja rajaukset. Esimerkiksi tut-kimuksessa tarkasteltiin vain kolmea ympäristövaikutusluokkaa eikä kaikkia tunnettuja ympäristövaikutusluokkia. Laskennassa tehtiin oletus, että tarkasteltava rinnakkaispoltto-laitos säilyi samana. Laitos voi kuitenkin todellisuudessa vaihtua, mikä taas voisi muuttaa tutkimuksen tulosjakaamaa. Lisäksi rinnakkaispolttolaitoksella oletettiin korvattavan tur-peen käyttöä. Todellisuudessa voimalaitoksen polttoainejakaamaan sisältyy muun muassa kivihiiltä, polttoöljyä sekä jätepolttoaineita. Laskennassa tehtiin myös oletus, että mikäli jätteenpolttolaitokselle ei saatu riittävästi sekajätettä tuottamaan energiaa, kaukolämmön tuotantoa korvattiin paikallisella voimalaitoksella. Todellisuudessa jätteenpolttolaitos voisi saada korvaavaa jätepolttoainetta muualta, jolloin tavanomaisilla polttoaineilla tuotettua energiantuotantoa ei tarvitsisi lisätä. Laskennassa pyrittiin huomioimaan energiantuotanto-tarpeen vaihtelua tarkasteluajanjaksolla käyttämällä voimalaitosten vuosihyötysuhteita teknisten hyötysuhteiden sijaan.

Polttoprosessien kiinteiden palamisjätteiden tarkastelu rajattiin kaatopaikalle sijoittamiseen eikä niiden vaikutuksia kaatopaikalla arvioitu tutkimuksessa. Rajaus saattaa vaikuttaa jon-kin verran tutkimuksen tuloksiin, mutta realistista vaikutusta on vaikea arvioida. Lisäksi herkkyyss-tarkastelussa rejektin kaatopaikkasijoittamisesta arvioitiin vain kaatopaikkakaa-sun muodostumista ja muut kaatopaikkasijoittamisen vaikutukset rajattiin tarkastelun ulko-puolelle.

Tutkimuksessa ei myöskään huomioitu vaihtoehtoa, jossa energiajäte ja sekajäte edelleen erilliskerättäisiin, mutta ne noudettaisiin samalla ajoneuvolla ja noutokerralle. Markkinoilla on nykyään saatavilla monilokeroisia jäteautoja, joilla mahdollistuu useamman erilliskerätyn jätelajin noutaminen.

Oletusten ja rajoitusten lisäksi virhettä tuloksiin on voinut muodostua laskennan aikaisista virheistä. Elinkaarimallia varten rakennettiin paljon itse yksikköprosesseja, joten niiden luomisessa on voinut tapahtua inhimillisiä virheitä, vaikka tarkastuskertoja olikin lukuisia. Esimerkiksi energiataseilla on pyritty tarkistamaan, että mallissa ei ole päässyt tapahtumaan energian häviämistä tai sen lisääntymistä. Lisäksi tulokset on siirretty elinkaarimallinnusohjelmasta erilliseen taulukkolaskentaohjelmaan. Myös tietojen siirtovaiheessa on voinut tapahtua inhimillisiä virheitä.

9 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tavoitteena oli laatia elinkaariarviointiin perustuva tutkimus, jossa selvitettiin energiana hyödynnettävien jätteiden keräyksestä ja hyödyntämisestä aiheutuvia ympäristövaikutuksia Porin seudulla. Tarkasteluun sisällytettiin kunnan vastuulle kuuluvien sekajätteiden ja erilliskerättyjen energiajätteiden tarkastelu syntypaikkalajittelusta energiahyötykäyttöön. Tutkimuksen tavoitteena oli vertailla pelkän sekajätteen energiahyötykäytön aiheuttamia ympäristövaikutuksia sekajätteen ja erilliskerätyn energiajätteen energiahyötykäytön ympäristövaikutuksiin.

Tutkimuksessa tarkasteltiin tilannetta, jossa kunnan vastuulle kuuluvasta erilliskeräystä energiajätteestä valmistettiin kierrätyspolttoainetta, joka hyödynnettiin Kauttualla sijaitsevalla voimalaitoksella. Kunnan vastuulle kuuluva yhdyskuntien tuottama sekajäte hyödynnettiin tarkastelussa energiana Vaasassa sijaitsevassa jätteenpolttolaitoksessa.

Tutkimuksen elinkaarimalli rakennettiin lähtötietojen, laskennassa tehtyjen oletusten ja rajoitusten mukaan. Elinkaarimalliin sisällytettiin seka- ja energiajätteiden syntypaikkalajittelut, jätteiden kuljetukset, energiajätteen jalostus kierrätyspolttoaineeksi, energiantuotannon yksikköprosessit sekä palamisjätteiden kuljetukset ja käsittelyt. Järjestelmässä vertailtiin kolmea eri skenaarioita, joissa muunneltiin energiajätteen erilliskeräystä. Ensimmäi-

sessä skenaariossa tarkasteltiin energiajätteen erilliskeräyslaajuutta tarkasteluajanhetkellä voimassa olleilla jätehuoltomääräyksillä. Toisessa skenaariossa tarkasteltiin energiajätteen erilliskeräyksen lakkauttamista ja kolmannessa skenaariossa tarkasteltiin tehostettua erilliskeräystä. Lisäksi tutkimuksessa arvioitiin energiajätteen lajittelusta aiheutuvia kustannuksia asukkaan näkökulmasta. Tutkimuksessa tehtiin muutamia herkkyystarkasteluja, joilla arvioitiin tutkimuksen epävarmuutta.

Toteutetun tutkimuksen tulosten perusteella energiajätteen erilliskeräyksestä aiheutuvat vaikutukset eivät osoittautuneet yksiselitteisiksi. Tuloksien mukaan energiajätteen erilliskeräyksellä voitiin tuottaa ilmastonmuutosta hillitseviä vaikutuksia. Toisaalta taas erilliskeräyksen lakkauttamisesta aiheutui vähemmän happamoitumis- ja rehevöitymisvaikutuksia.

Herkkyystarkastelu osoitti, että jätteenpolttolaitoksen valinnalla voi olla vaikutuksia muodostuviin ympäristövaikutuksiin. Tulokset riippuvat kuitenkin siitä, millaisilla polttoaineilla tuotettua energiaa jätteenpolttolaitoksen oletetaan korvaavan. Lisäksi herkkyystarkastelussa selvisi, että rejektin hyötykäytöllä on vaikutuksia tarkastelun tuloksiin. Mikäli rejekti voitiin hyödyntää energiantuotannossa, energiajätteen erilliskeräys oli ympäristövaikutusten osalta kannattavaa. Mikäli rejektiä ei voitu hyödyntää ja se jouduttiin sijoittamaan kaatopaikalle, energiajätteen erilliskeräyksen lakkauttaminen osoittautui ympäristövaikutusten osalta kannattavaksi.

Kustannusarviossa selvitettiin energia- ja sekajäteastioiden tyhjennyskustannuksia esimerkiksi avulla. Arviossa pyrittiin selvittämään aiheutuuko erilliskeräyksestä enemmän kustannuksia kuin pelkän sekajätteen keräämisestä. Esimerkin tuloksissa selvisi, että asukkaille tuli jonkin verran edullisemmaksi lajitella energiajäte erikseen. Energiajätteen erilliskeräys näyttäisi tulosten perusteella hillitsevän sekä ilmastonmuutosvaikutuksia että alentavan kustannusvaikutuksia.

Energiajätteen erilliskeräyksen kokonaisvaikutuksiin vaikuttavat myös sosiaaliset vaikutukset. Toteutetun kyselytutkimuksen mukaan kuluttajat kokevat energiajätteen erilliskeräyksen tärkeäksi ja lajittelumahdollisuuksia haluttaisiin parantaa entisestään (Kurkela & Saarman 2012, 46–47). Kyselytutkimuksen toteuttaminen Porin Jätehuollon toiminta-alueella antaisi todellista tietoa siitä, miten paikalliset kuluttajat suhtautuvat energiajätteen

erilliskeräykseen ja miten he kokisivat erilliskeräyksen lakkauttamisen, mikäli se katsottaisiin kannattavaksi vaihtoehdoksi.

Vaikka Suomeen on rakentumassa paljon uutta jätteenpolttokapasiteettia ja sekajätteen massapoltto on alkanut yleistyä, kierrätyspolttoaineiden rinnakkaispolttaminen tavanomaisten polttoaineiden ohella on edelleen tehokas menetelmä hyödyntää hyvälaatuisia jätteitä energiantuotannossa. Sekä kierrätyspolttoaineen rinnakkaispolttoon että sekajätteen massapolttoon liittyy hyviä ja heikkoja ominaisuuksia. Ratkaisuja tehtäessä, siitä, kumpi menetelmistä soveltuu paremmin käytettäväksi, on tarkasteltava kokonaisuutta eikä niinkään yksittäisiä vaikutuksia.

LÄHTEET

2008/98/EY. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 19.11.2008 jätteistä ja tietyn direktiivin kumoamisesta.

Ahonen, Hanna-Mari. 2006. Kioton hankemekanismit ja jätehuoltosektori - tietopaketti yrityksille [verkkodokumentti]. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 20/2006. ISBN 952-11-2288-9 (PDF). [viitattu 17.4.2014]. Saatavissa:

https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38733/SY20_2006_Kioton_hankem.pdf?sequence=1

Ajanko, Sirke; Moilanen, Antero ja Juvonen, Juhani. 2005. Jätteiden syntypaikkalajittelu - järjestelmän ja käsittelytekniikan vaikutus kierrätyspolttoaineen laatuun [verkkodokumentti]. VTT Tiedotteita. Espoo: Otamedia Oy 2005. [viitattu 25.2.2014]. Saatavissa:

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2005/T2317.pdf>

Alakangas, Eija. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia [verkkodokumentti]. VTT Tiedotteita. Espoo: Otamedia Oy 2000. [viitattu 18.1.2013] Saatavissa:

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf>

Anttila, Lauri. 2011. Sekajätettä ja energijätettä polttavien jätteenpolttolaitosten energiantuotannon hyötysuhteet [verkkodokumentti]. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2011. [viitattu 27.3.2014]. Kandidaatintyö, LUT Energia, Ympäristötekniikka. Saatavissa:

http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/74579/kandi_lauri_anttila.pdf?sequence=1

Arffman, Mika; Aatamila, Marjaleena; Tervo, Jarmo; Janka, Pentti ja Kymäläinen, Jari. 2003. KELPO 2 -hankkeen loppuraportti: Kierrätyspolttoaineiden energiakäytön järjestäminen Pohjois-Savossa [verkkodokumentti]. Kuopio: Pohjois-Savon ammattikorkeakoulu. [viitattu 24.4.2014]. Saatavissa:

http://portal.savonia.fi/img/amk/sisalto/teknologia_ja_ymparisto/ymparistotekniikka/KELPO2loppuraportti.pdf

Beylot, Antoine ja Villeneuve, Jacques. 2013. Environmental impacts of residual Municipal Solid Waste incineration: A comparison of 110 French incinerators using a life cycle

approach. Waste Management. Vol. 33. no. 12, s. 2781–2788. Saatavissa: Elsevier-tietokanta. Vaatii käyttöoikeudet.

Boesch, Michael E.; Vadenbo, Carl; Saner, Dominik; Huter, Christoph ja Hellweg, Stefanie. 2013. An LCA model for waste incineration enhanced with new technologies for metal recovery and application to the case of Switzerland. Waste Management. Vol. 34. no. 2, s. 378–389. Saatavissa: Elsevier-tietokanta. Vaatii käyttöoikeudet.

CEWEP. Confederation on European Waste-to-Energy Plants. Waste-to-Energy in Europe in 2011 [verkkodokumentti]. [viitattu 17.1.2014]. Saatavissa: http://www.cewep.eu/information/data/studies/m_1167

CEWEP. Municipal waste treatment in 2012 [verkkodokumentti]. [viitattu 30.3.2014]. Saatavissa: http://www.cewep.eu/information/data/graphs/m_1217

Ekholm, Esa; Korkala, Riikka ja Nummela, Esa. 2005. Jätelaitosyhdistys ry. REF -laitosten tarve- ja toimivuusselvitys [verkkodokumentti]. Jaakko Pöyry Infra. Julkaistu 31.3.2005. [viitattu 29.4.2014]. Saatavissa: http://www.jly.fi/REF-laitosselvitys_loppuraportti.pdf

Dahlbo, Helena; Laukka, Jari; Myllymaa, Tuuli; Koskela, Sirkka; Tenhunen, Jyrki; Seppälä, Jyri; Jouttijärvi, Timo ja Melanen, Matti. 2005. Waste management options for discarded newspaper in the Helsinki Metropolitan Area [verkkodokumentti]. Suomen ympäristökeskus. Helsinki: Edita Prima Oy. 2005. ISBN 952-11-1957-8 (PDF). [viitattu 5.12.2013]. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40384/FE_752.pdf?sequence=1

Ekokem. 2014. Westenergy Oy Ab. Mustasaaren jätteenpolttolaitoksen kattilatuhkan ja savukaasupuhdistusjäte. Selvitys tuhkien ominaisuuksista ja haitallisuudesta ympäristölle [verkkodokumentti]. Julkaistu 18.2.2014. [viitattu 9.4.2014]. Saatavissa: <http://www.westenergy.fi/img/Selvitys%20tuhkien%20ominaisuuksista.pdf>

FCG Finnish Consulting Group Oy. 2010. Biojätteen erilliskeräyksen elinkaariarvio [verkkodokumentti]. Rosk 'n Roll Oy Ab. [viitattu 5.12.2013]. Saatavissa: <http://www.roskroll.fi/@Bin/2019170/Bioj%C3%A4tteen%20elinkaarianalyysi%20korjattu%2015%206%202010.pdf>

Forssell, Olli. 2011. Energiajätteen laatututkimus Kujalan jätekeskuksessa [verkkodokumentti]. Lahti: Lahden ammattikorkeakoulu 2011. [viitattu 11.2.2014]. Opinnäytetyö, Ympäristötekniikka, Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Saatavissa: http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/38381/Forssell_Olli.pdf?sequence=1

Harjavallan kaupungin yleiset jätehuoltomääräykset. 2011. [verkkodokumentti]. Julkaistu 1.1.2011. [viitattu 16.1.2014]. Saatavissa: <http://www.harjavalta.fi/@Bin/2038504/J%C3%A4tehuoltom%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ykset.pdf>

HE 199/2010. Hallituksen esitys Eduskunnalle jätelaiksi ja eräiksi siihen liittyviksi laeiksi.

Helsingin seudun ympäristöpalvelut. Uuden jätevoimalan käyttöönotto lähestyy [HSY:n www-sivu]. Julkaistu 9.1.2014. [viitattu 26.1.2014]. Saatavissa: http://www.hsy.fi/ajankohtaista/uutisarkisto/2014/Sivut/uuden_jatevoimalan_kayttoonotto_lahestyy.aspx

Horttanainen, Mika. 2012a. Esikäsittely laitoksella, käsittelyprosessit. Kiinteiden päästöjen hallinta -kurssin luennot [verkkoympäristö]. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 2012. [viitattu 29.11.2013]. Saatavissa: Suojattu verkko, vaatii salasanan.

Horttanainen, Mika. 2012b. Jätteen energiahyötykäyttö. Kiinteiden päästöjen hallinta -kurssin luennot [verkkoympäristö]. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 2012. [viitattu 29.11.2013]. Saatavissa: Suojattu verkko, vaatii salasanan.

Horttanainen, Mika. 2012c. Syntypaikkalajittelu, keräily ja kuljetus. Kiinteiden päästöjen hallinta -kurssin luennot [verkkoympäristö]. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 2012. [viitattu 25.2.2014]. Saatavissa: Suojattu verkko, vaatii salasanan.

Huhtinen, Markku; Kettunen, Arto; Nurminen, Pasi ja Pakkanen, Heikki. 2004. Höyrykattilatekniikka. 6. Painos. Helsinki: Edita, 2004. ISBN 951-37-3360-2.

Hynynen, Johanna. 2008. Jätehuollon palvelutason vaikutukset kotitaloudessa syntyvän sekajätteen koostumukseen [verkkodokumentti]. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu. 2008. [viitattu 8.1.2014]. Ympäristötekniikan koulutusohjelman insinöörityö. Saatavissa: http://www.jly.fi/jatekukko_lajittelututkimus.pdf

IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 2 Energy. Stationary Combustion [verkkodokumentti]. Institute for Global Environmental Strategies. Japan. ISBN 4-88788-032-4. [viitattu 3.3.2014]. Saatavissa: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf

Jätelaitosyhdistys ry. 2013a. Energiahyödyntäminen Euroopassa [Jätelaitosyhdistyksen www-sivu]. [viitattu 25.2.2014]. Saatavissa: <http://www.jly.fi/energia6.php?treeviewid=tree3&nodeid=6>

Jätelaitosyhdistys ry. 2013b. Energiahyödyntäminen Suomessa [Jätelaitosyhdistyksen www-sivu]. [viitattu 25.2.2014]. Saatavissa: <http://www.jly.fi/energia5.php?treeviewid=tree3&nodeid=5>

Jätelaitosyhdistys ry. 2013c. Jäte energiaksi [Jätelaitosyhdistyksen www-sivu]. [viitattu 30.11.2013]. Saatavissa: <http://www.jly.fi/energia1.php?treeviewid=tree3&nodeid=1>

Jätelaitosyhdistys ry. 2013d. Jätteiden kaasutus ja kaasun poltto [Jätelaitosyhdistyksen www-sivu]. [viitattu 30.11.2013]. Saatavissa: <http://www.jly.fi/energia35.php?treeviewid=tree3&nodeid=35>

Jätelaitosyhdistys ry. 2014a. Jätteenkäsittely. [Jätelaitosyhdistyksen www-sivu]. [viitattu 17.4.2014]. Saatavissa: <http://www.jly.fi/jateh3.php?treeviewid=tree2&nodeid=3>

Jätelaitosyhdistys ry. 2014b. Kuljetukset. [Jätelaitosyhdistyksen www-sivu]. [viitattu 17.4.2014]. Saatavissa: <http://www.jly.fi/jateh2.php?treeviewid=tree2&nodeid=2>

Jätelaki (646/2011)

Jäteverolaki (1126/2010)

Kaartokallio, Hermanni; Knuutila, Seppo; Pitkänen, Heikki; Ekholm, Petri; Kotilainen, Pekka ja Saloniemi, Aira. 2012. Rehevoityminen [Itämeriportaalin www-sivu]. [Julkaistu 29.11.2012]. [viitattu 14.4.2014]. Saatavissa: http://www.itameriportaali.fi/fi/tietoa/uhat/rehevoityminen/fi_FI/rehevoityminen/

Kiviranta, Maarit. 2009. Pääkaupunkiseudun keräyskartongin ympäristövaikutusten elinkaariarviointi [verkkodokumentti]. Helsinki: YTV Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuus-

kunta. 2009. [viitattu 4.12.2013]. Saatavissa:

http://www.hsy.fi/jatehuolto/Documents/Julkaisut/kerayskartongin_ymparistovaikutusten_elinkaariarviointi_2009.pdf

Koivunen, Kirsi. 2007. Jätteenpolton tuhkien käsittelytekniikoiden ympäristövaikutukset [verkkodokumentti]. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 2007. [viitattu 2.5.2014]. Diplomityö, Energia- ja ympäristötekniikan osasto. Saatavissa:

<http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/29991/TMP.objres.658.pdf?sequence=1>

Kokemäen kaupungin yleiset jätehuoltomääräykset. 2011. [verkkodokumentti]. Julkaistu 1.6.2011. [viitattu 16.1.2014]. Saatavissa:

<http://www.kokemaki.fi/@Bin/45039/Kokem%C3%A4en+kaupungin+j%C3%A4tehuoltom%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ykset+2011.pdf>

Koskinen, Joni. 2006. Jätteen rinnakkaispolton rooli ja rajaehdot Suomen jätestrategiassa [verkkodokumentti]. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 15/2006. Helsinki. ISBN 952-11-2434-2 (PDF). [viitattu 4.3.2014]. Saatavissa: http://www.ymparisto.fi/FI/Ymparisto/Jatteet/Valtakunnallinen_jatesuunnitelma

Kuntaliitto. Kunnalliset jätehuoltomääräykset [Kuntaliiton www-sivu]. Päivitetty 17.12.2010. [viitattu 10.12.2013]. Saatavissa:

<http://www.kunnat.net/fi/asiantuntijapalvelut/tyty/jatehuolto/jatehuoltomaaraykset/Sivut/default.aspx>

Kurkela, Sanni ja Saarman, Annika. 2012. Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy:n asiakastytyväisyys 2011 [verkkodokumentti]. Forssa: Hämeen ammattikorkeakoulu 2012. [viitattu 9.5.2014]. Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö, Kestävän kehityksen koulutusohjelma. Saatavissa:

https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/40219/Kurkela_Sanni_Saarman_Annika.pdf?sequence=1

Lahti Energia. 2012. Lahti Energian Kymijärvi II-voimalaitos on Vuoden ilmastoteko 2011. [Lahti Energian www-sivu]. [viitattu 30.11.2013]. Saatavissa:

<http://www.lahtienergia.fi/ymparisto/kymijaarvi-ii-voimalaitos-on-vuoden-ilmastoteko>

Lehtovirta, Jaana. 2012. Lahti Energian uusi voimalaitos Kymijärvi II [verkkodokumentti]. [viitattu 17.3.2014]. Saatavissa:

http://www.maakaasu.fi/sites/default/files/pdf/esitykset/20120510_kevatkokous/lehtovirta.pdf

Lohiniva, Elina; Sipilä, Kai; Mäkinen, Tuula ja Hietanen, Lassi. 2002. Jätteiden energia-käytön vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin [verkkodokumentti]. VTT Tiedotteita. Espoo: Otamedia Oy. ISBN 951-38-5890-1 (PDF). [viitattu 17.4.2014]. Saatavissa:

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2139.pdf>

Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy. Yhdyskuntajätteen hyödyntämiskäytännön kilpailutus käynnistyi [verkkodokumentti]. Julkaistu 8.5.2013. [viitattu 22.1.2014]. Saatavissa:

http://www.lhj.fi/UserFiles/lhj/File/Tiedote_%20yhdyskuntajätteen%20hyotykyttohankinta.pdf

Luvian kunnan yleiset jätehuoltomääräykset. 2007. [verkkodokumentti]. Julkaistu 1.6.2007. [viitattu 16.1.2014]. Saatavissa:

http://www.luvia.fi/fileadmin/tiedostot/palvelut/ymparistotoimi/Luvian_kunnan_yleiset_jat_ehuoltomaaraykset_2007.pdf

Moliis, Katja; Teerioja, Nea ja Ollikainen, Markku. 2009. Ennuste yhdyskuntajätteen kehityksestä vuoteen 2030. SUSWASTE -hankkeen esiselvitys [verkkodokumentti]. Helsinki: Helsingin yliopisto 2009. [viitattu 5.5.2014]. Saatavissa:

http://www.jly.fi/ennuste_ykkehityksesta.pdf

Moliis, Katja; Dahlbo, Helena; Retkin, Risto ja Myllymaa, Tuuli. 2012. Pohjois-Suomen pakkausjätteiden hyödyntäminen. Elinkaaren aikaiset ympäristö- ja kustannusvaikutukset [verkkodokumentti]. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 26/2012. Helsinki. ISBN 978-952-11-4118-8 (PDF). [viitattu 5.12.2013]. Saatavissa:

https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41395/YMra26_2012_Pakkausjatteiden_hyodyntaminen_FINAL_FINAL.pdf?sequence=1

Montané, Daniel; Abelló, Sónia; Farriol, Xavier ja Berruoco, César. 2013. Volatilization characteristics of solid recovered fuels (SRFs). Fuel Processing Technology. Vol. 113, no. 14, s. 90–96. Saatavissa: Elsevier-tietokanta. Vaatii käyttöoikeudet.

Motenjo, Cristina; Costa, Carlos; Ramos, Pedro ja del Carmen Márquez, María. 2010. Analysis and comparison of municipal solid waste and reject fraction as fuels for incineration plants. *Applied Thermal Engineering*. Vol. 31. no. 13, s. 2135–2140. Saatavissa: Elsevier-tietokanta. Vaatii käyttöoikeudet.

Myllymaa, Tuuli; Tohka, Antti; Dahlbo, Helena ja Tenhunen, Jyrki. 2006. Ympäristönäkökulmat jätteen hyödyntämisessä energiana ja materiaalina [verkkodokumentti]. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 12/2006. ISBN 952-11-2391-5 (PDF) [viitattu 29.11.2013]. Saatavissa:

https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39707/SYKEra_12_2006.pdf?sequence=1

Myllymaa, Tuuli; Moliis, Katja; Tohka, Antti; Isoaho, Simo; Zevenhoven, Maria; Ollikainen, Markku ja Dahlbo, Helena. 2008a. Jätteiden kierrätyksen ja polton ympäristövaikutukset ja kustannukset – jätehuollon vaihtoehtojen tarkastelu alueellisesta näkökulmasta [verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen ympäristökeskuksen julkaisuja 39/2008. ISBN 978-952-11-3235-3 (PDF) [viitattu 9.12.2013] Saatavissa:

https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38383/SY_39_2008_1-119.pdf?sequence=1

Myllymaa, Tuuli; Moliis, Katja; Tohka, Antti; Rantanen, Pirjo; Ollikainen, Markku ja Dahlbo, Helena. 2008b. Jätteiden kierrätyksen ja polton käsittelyketjujen ympäristökuormitus ja kustannukset. Inventaarioraportti [verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen ympäristökeskuksen julkaisuja 28/2008. ISBN 978-952-11-3251-3 (PDF) [viitattu 16.12.2013].

Saatavissa:

https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/39792/SYKEra_28_2008.pdf?sequence=1

Myllymaa, Tuuli ja Dahlbo, Helena. 2012. Elinkaariarviointien käyttö Suomen jätehuollon ympäristövaikutusten tarkastelussa [verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen ympäristökeskuksen julkaisuja 24/2012. ISBN 978-952-11-4104-1 (PDF). [viitattu 4.12.2013]. Saatavissa: [http://www.ym.fi/fi-](http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Julkaisut/Raportteja_RA/YMra242012_Elinkaariarviointien_kaytto_S%284475%29)

[FI/Ajankohtaista/Julkaisut/Raportteja_RA/YMra242012_Elinkaariarviointien_kaytto_S%284475%29](http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Julkaisut/Raportteja_RA/YMra242012_Elinkaariarviointien_kaytto_S%284475%29)

Nakkilan kunnan yleiset jätehuoltomääräykset. 2011. [verkkodokumentti]. Julkaistu 1.1.2011. [viitattu 16.1.2014]. Saatavissa:

http://www.nakkila.fi/asiakirjat/pub/%7B29ED6498-B720-4A83-A559-4B53E8A63012%7D_J%C3%A4tehuoltom%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ykset%201.1.2011%20alkaen.pdf

Niskanen, Antti. 2012. Kaatopaikkakaasun keräys. Kiinteiden päästöjen hallinta -kurssin luennot [verkkoympäristö]. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 2012. [viitattu 28.4.2014]. Saatavissa: Suojattu verkko, vaatii salasanan.

Nordkalk. 2014. Happamoituminen [Nordkalkin www-sivu]. [viitattu 14.4.2014]. Saatavissa: <http://www.nordkalk.fi/default.asp?viewID=730>

Peltonen, Marja. 2012. Loimi-Hämeen jätehuolto Oy:n keräämän energiajätteen tarkastelun ja energiajätteen tulevaisuudennäkymien kartoittaminen [verkkodokumentti]. Forssa: Hämeen ammattikorkeakoulu 2012. [viitattu 11.2.2014]. Ammattikorkeakoulun opinnäyte-työ, Kestävän kehityksen koulutusohjelma. Saatavissa: http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/44112/Peltonen_Marja.pdf?sequence=1

Pohjolan Voima. Rauman Voima investoi polttoaineen vastaanottoon ja vaihtaa nimensä [Pohjolan Voiman www-sivu]. Julkaistu 27.6.2013. [viitattu 20.1.2014]. Saatavissa: http://www.pohjolanvoima.fi/yritys/media/uutiset/203/rauman_voima_investoi_polttoaineen_vastaanottoon_ja_vaihtaa_nimensa

Pomarkun kunnan yleiset jätehuoltomääräykset. 2007. [verkkodokumentti]. Julkaistu 1.8.2007. [viitattu 16.1.2014]. Saatavissa: <http://217.149.61.187/asiakaskuvat/1/J%C3%A4tehuoltom%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ykset%20pdf..pdf>

Porin Jätehuolto. 2013. Toimintakertomus ja tilinpäätös vuodelta 2012 [PDF-dokumentti, yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Riikka-Liisa Säikkö.

Porin Jätehuolto. Kuljetusjärjestelmät [Porin Jätehuollon www-sivu]. Päivitetty 26.10.2012. [viitattu 25.2.2014]. Saatavissa: <http://www.pori.fi/porinjatehuolto/kuljetusjarjestelma.html>

Porin Jätehuolto. Vuosikertomus 2011 [verkkodokumentti]. [viitattu 21.1.2014].

Saatavissa:

http://www.pori.fi/material/attachments/hallintokunnat/porinjatehuolto/6Az9osO4P/Porin_Jatehuolto_vuosikertomus11.pdf

Porin Jätehuolto. Toiminta-ajatus. [Porin Jätehuollon www-sivu]. Päivitetty 22.1.2014. [viitattu 3.3.2014]. Saatavissa: <http://www.pori.fi/porinjatehuolto/>

Porin kaupungin yleiset jätehuoltomääräykset. 2010. [Porin Jätehuollon www-sivu]. Julkaistu 1.4.2010. [viitattu 16.1.2014]. Saatavissa: <http://www.pori.fi/porinjatehuolto/jatehuoltomaaraykset.html>

Pöyry. 2013. Rouskis Oy. Seka- ja energiajätteen lajittelututkimus [verkkodokumentti]. Julkaistu 27.5.2013. [viitattu 11.2.2014]. Saatavissa: http://www.rouskis.fi/sites/rouskis.fi/files/uploads/Pdf-tiedostot/Yhtio/yhtio_lajittelututkimus_raportti.pdf

Raiko, Risto; Saastamoinen, Jaakko; Hupa, Mikko ja Kurki-Suonio, Ilmari. 2002. Poltto ja palaminen. 2. painos. Helsinki: International Flame Research Foundation - Suomen kansallinen osasto, 2002. ISBN 951-666-604-3.

Rauman Seudun Jätehuoltolaitos. 2013. Raumalla siirrytään energiajätteen erilliskeräykseen. [Rauman Jätehuoltolaitoksen www-sivu]. [viitattu 21.1.2014]. Saatavissa: <http://www.rauma.fi/jatehuolto/>

Riikinvoima Oy. Jätteistä energiaa voimalaitoksiin. [Riikinvoiman www-sivu]. [viitattu 9.3.2014]. Saatavissa: <http://www.riikinvoima.fi/ekovoimalaitos/fi/ekovoimalaitos/index.php>

Räikkönen, Tarja. Porin Jätehuolto. 2014. Hangassuon jäteaseman loppusijoitetut jätteet 1998–2013 [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Riikka-Liisa Säikkö. Lähetetty 16.5.2014.

Räikkönen, Tarja. Porin Jätehuolto. 2014. Porin kierrätyskeskus. Jäteraportti [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Riikka-Liisa Säikkö. Lähetetty 28.4.2014.

Salo, Anne. Porin Jätehuolto. 2014. Hangassuon jätekeskus, lajittelupisteen energijäte 2013 [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Riikka-Liisa Säikkö. Lähetetty 28.4.2014.

Salo, Anne. Porin Jätehuolto. 2014. Tarkkailuraportti 2012, Hangassuon jätekeskus. Porin Jätehuolto. [yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Riikka-Liisa Säikkö. Lähetetty: 14.2.2014

Satakierto Oy. 2013. Vuosikertomus 2012 [verkkodokumentti]. [viitattu 17.5.2014]. Saatavissa: <http://ejulkaisut.huima.com/v2/Main.php?MagID=9&MagNo=25>

SFS-EN 15359. 2011. Kiinteät kierrätyspolttoaineet. Vaatimukset ja luokat. Helsinki: Suomenstandardoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 14040. 2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. 2. painos. Helsinki: Suomenstandardisoimisliitto SFS.

SFS-EN ISO 14044. 2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja. Helsinki: Suomenstandardoimisliitto SFS.

Siikaisten kunnan yleiset jätehuoltomääräykset. 2008. [verkkodokumentti]. Julkaistu 1.1.2008. [viitattu 16.1.2014]. Saatavissa: <http://www.siikainen.fi/images/pdf/tekninenlautakunta/jateh01012008.pdf>

Soukka, Risto. 2013. Elinkaarikustannuslaskennan esittely. Julkaistu 10.2.2013. Advanced course in life cycle assessment -kurssin luennot [verkkoympäristö]. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Saatavissa: Suojattu verkko, vaatii salasanan.

Sten, Sirje ja Mauno, Ulla 2009. Etelä- ja Länsi-Suomen jätasuunnitelma vuoteen 2020 [verkkodokumentti]. Suomen ympäristö 43/2009 -julkaisu. ISBN 978-952-11-3663-4 (PDF) [viitattu 14.1.2014] Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38011/SY_43_2009.pdf?sequence=1

Tampereen Sähkölaitos. 2013. Kaukolämmön alkuperä [Tampereen Sähkölaitoksen www-sivu]. [viitattu 16.4.2014]. Saatavissa: <https://www.tampereensahkolaitos.fi/kaukolampojaahdytysjamaakaasu/kaukolampo/kauko1%C3%A4mm%C3%B6n%20alkuper%C3%A4/Sivut/default.aspx#.U2vtw6KZxqM>

Tchobanoglous, George; Theisen, Hillary ja Vigil, Samuel. 1993. Integrated solid waste management. Engineering Principles and Management Issues. McGraw-Hill, Inc. ISBN 0-07-112865-4.

Teirasvuo, Niina. 2010. Syntypaikkalajitellun sekajätteen lajittelututkimus Mikkelin seudulla [verkkodokumentti]. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 2010. [viitattu 8.4.2014]. Kandidaatintyö, LUT Energia, Ympäristötekniikka. Saatavissa: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/69663/nbnfi-fe201104291476.pdf?sequence=3>

Teirasvuo, Nina. 2011. Syntypaikkalajitellun sekajätteen koostumuksen sekä palamisteknisten ominaisuuksien selvitys Etelä-Karjalan alueella [verkkodokumentti]. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto 2011. [viitattu 7.1.2014]. Diplomityö, LUT Energia, Ympäristötekniikka. Saatavissa: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/69663/nbnfi-fe201104291476.pdf?sequence=3>

Tilastokeskus. 2012. Taulukot tilastossa: Väestöennuste. Väestöennuste 2012 iän ja sukupuolen mukaan 2012–2060, kokomaa [Tilastokeskuksen www-sivu]. Päivitetty 28.9.2012. [viitattu 4.4.2014]. Saatavissa: http://pxweb2.stat.fi/database/StatFin/vrm/vaenn/vaenn_fi.asp

Tilastokeskus. 2013a. Taulukot tilastossa: Asunnot ja asuinolot. Asuntokunnat koon ja asunnon talotyypin mukaan 1985–2012 [Tilastokeskuksen www-sivu]. Päivitetty 22.5.2013. [viitattu 4.4.2014]. Saatavissa: http://pxweb2.stat.fi/database/StatFin/asu/asas/asas_fi.asp

Tilastokeskus 2013b. Taulukot tilastossa: Asunnot ja asuinolot. Asuntokunnat ja asuntoväestö asuntokunnan koon, huoneluvut ja talotyypin mukaan 2005–2012 [Tilastokeskuksen www-sivu]. Päivitetty 22.5.2013. [viitattu 25.4.2014]. Saatavissa: http://pxweb2.stat.fi/database/StatFin/asu/asas/asas_fi.asp

Tilastokeskus. 2013c. Yhdyskuntajätteen poltto kasvoi liki miljoonaan tonniin [Tilastokeskuksen www-sivu]. Julkaistu 26.11.2013. [viitattu 6.1.2014]. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/jate/2012/jate_2012_2013-11-26_tie_001_fi.html

- Tilastokeskus. 2014a. Taulukot tilastossa: Kasvihuonekaasupäästöt Suomessa [Tilastokeskuksen www-sivu]. Päivitetty 15.4.2014. [viitattu 9.5.2014]. Saatavissa: http://193.166.171.75/database/statfin/ymp/khki/khki_fi.asp
- Tilastokeskus. 2014b. Polttoaineluokitus 2014. [Tilastokeskuksen www-sivu]. Päivitetty 5.2.2014. [viitattu 3.3.2014]. Saatavissa: http://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html
- Tuhkanen, Sami. 2002. Jätehuollon merkitys Suomen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä [verkkodokumentti]. VTT Tiedotteita. Helsinki: Edita Oyj. ISBN 951-38-5896-0 (PDF). [viitattu 28.4.2014]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2142.pdf>
- Turun Seudun Jätehuolto Oy. 2014. Pitkän aikavälin hyötykäyttö selviää ensi syksynä [Turun Seudun Jätehuolto Oy:n www-sivu]. Julkaistu 22.1.2014. [viitattu 26.1.2014]. Saatavissa: <https://www.tsj.fi/fi/uutiset/hankintarengas/>
- Työ- ja elinkeinoministeriö. 2012. Selvitys jätteen energiakäytöstä ja päästökaupasta [verkkodokumentti]. Pöyry Management Consulting Oy. [viitattu 9.12.2013] Saatavissa: http://www.tem.fi/files/33506/Selvitys_jatteen_eneriakaytosta_ja_paastokaupasta_25.6.2012.pdf
- Ulvilan kaupungin jätehuoltomääräykset. 2007. [verkkodokumentti]. Julkaistu 1.6.2007. [viitattu 16.1.2014]. Saatavissa: http://www.ulvila.fi/asiakirjat/pub/%7BE3B98F07-39B5-4539-9F9B-D809189FF64A%7D_J%E4tehuoltom%E4%E4r%E4ykset2011.pdf
- Vaasan Sähkö. 2013. Tuotanto [Vaasan Sähkön www-sivu]. [viitattu 8.5.2014]. Saatavissa: <http://www.vaasansahko.fi/FI/Sisalto/Pages/Tuotanto.aspx>
- Van Caneghem, J.; Brems, A.; Lievens, P.; Block, C.; Billen, P.; Vermeulen, I.; Dewil, R.; Baeyens, J. ja Vandecasteele, C. 2012. Fluidized bed waste incinerators: Design, operational and environmental issues. Progress in Energy and Combustion Science. Vol. 38. no. 4, 551–582. Saatavissa: Elsevier-tietokanta. Vaatii käyttöoikeudet.
- Vesanto, Petri. 2006. Jätteenpolton parhaan käytettävissä olevan tekniikan (BAT) vertailuasiakirjan käyttö suomalaisessa toimintaympäristössä [verkkodokumentti]. Suomen ympäristökeskus 27/2006. Helsinki: Edita Prima Oy. 2006. ISBN 952-11-2309-5 (PDF) [viitattu

11.12.2013]. Saatavissa:

https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38712/SY_27_2006.pdf?sequence=3

Vesanto, Petri; Hiltunen, Matti; Moilanen, Antero; Kaartinen, Tommi. Laine-Ylijoki, Jutta; Sipilä, Kai ja Wilén, Carl. 2007. Kierrätyspolttoaineiden ominaisuudet ja käyttö [verkkodokumentti]. VTT Tiedotteita. Helsinki: Edita Prima Oy. ISBN 978-951-38-6973-1 (PDF) [viitattu 29.11.2013] Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2416.pdf>

Vna 2.5.2013/332 Valtioneuvoston asetus jätteistä annetun valtioneuvoston asetuksen muuttamisesta

Vna 2.5.2013/331 Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista

Vna 14.2.2013/151 Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta

Vna 19.4.2012/ 179 Valtioneuvoston asetus jätteistä

Westenergy Oy Ab. 2013. Westenergy Oy Ab:n jätteenpolttolaitos. Yhteenvetoraportti.

Vuosi 2013 [verkkodokumentti]. [viitattu 2.5.2014]. Saatavissa:

http://www.westenergy.fi/img/2013%20Westenergy%20Oy%20Ab_Yhteenvetoraportti.pdf

Westenergy Oy Ab. 2014. Laitos. [Westenergyn www-sivu]. [viitattu 27.3.2014]. Saatavissa: <http://www.westenergy.fi/?l=fi&p=2&text=Laitos>

Yan, Rong; Liang, Daivid Tee ja Tsen, Leslie. 2005. Case studies - Problem solving in fluidized bed waste fuel incineration. Energy Conversion and Management. Vol. 46, no. 7-8, s. 1165–1178. Saatavissa: Elsevier-tietokanta. Vaatii käyttöoikeudet.

Ympäristölupapäätös 4.7.2005. Entisen Länsi-Suomen ympäristölupaviraston ympäristölupapäätökset 2005 [verkkodokumentti]. Dnro LSY-2004-Y-208. [viitattu 15.4.2014]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/fi->

[FI/Asiointi_ja_luvat/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa/Entisen_LansiSuomen_ymparistolupavirasto%2826416%29](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_ja_luvat/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa/Entisen_LansiSuomen_ymparistolupavirasto%2826416%29)

Ympäristölupapäätös 15.12.2005. Entisen Länsi-Suomen ympäristölupaviraston ympäristölupapäätökset 2005 [verkkodokumentti]. Dnro LSY-2004-Y-207. [viitattu 16.4.2014]. Saa-

tavissa: <http://www.ymparisto.fi/fi->

FI/Asiointi_ja_luvat/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa/Entisen_LansiSuomen_ymparistolupavirasto%2826416%29

Ympäristölupapäätös 23.12.2008. Entisen Länsi-Suomen ympäristölupaviraston ympäristölupapäätökset 2008 [verkkodokumentti]. Dnro LSY-2008-Y-175. [viitattu 5.3.2014]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/fi->

FI/Asiointi_ja_luvat/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa/Entisen_LansiSuomen_ymparistolupavirasto%2826414%29

Ympäristölupapäätös 17.6.2009. Entisen Länsi-Suomen ympäristölupaviraston ympäristölupapäätökset 2009 [verkkodokumentti]. Dnro LSU-2008-Y-586 (111). [viitattu 9.4.2014]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/fi->

FI/Asiointi_ja_luvat/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa/Entisen_LansiSuomen_ymparistokeskuksen_y%2826505%29

Ympäristölupapäätös 8.2.2013. Aluehallintovirasto. Ympäristölupapäätökset 2013 [verkkodokumentti]. Dnro ESAVI/153/04.08/2011. [viitattu 17.5.2014]. Saatavissa: http://www.avi.fi/documents/10191/56814/esavi_paatos_31_2013_1-2013-02-08.pdf

Ympäristölupapäätös 28.2.2013 Aluehallintovirasto. Ympäristölupapäätökset 2013 [verkkodokumentti]. Dnro LSSAVI/236/04.08/2011. [viitattu 28.3.2014]. Saatavissa: http://www.avi.fi/documents/10191/56864/lssavi_paatos_23_2013_1_2013_2_28.pdf

Ympäristölupapäätös 4.10.2013. Aluehallintovirasto. Ympäristölupapäätökset 2013 [verkkodokumentti]. Dnro ESAVI/187/04.08/2013. [viitattu 5.2.2014]. Saatavissa: http://www.avi.fi/documents/10191/56814/esavi_paatos_192_2013_1.pdf/cf5091be-9b0c-4038-b311-437824a064d6

Ympäristöministeriö. 2014. Jätealan lainsäädännön kokonaisuudistus. [Ympäristöministeriön www-sivu]. Päivitetty 21.1.2014. [viitattu 22.1.2014]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/fi-> FI/Ymparisto/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Ymparistonsuojelun_valmisteilla_oleva_lainsaadanto/Jatealan_lainsaadannon_kokonaisuudistus/Jatealan_lainsaadannon_kokonaisuudistus%283614%29

Tarkastelun skenaarioiden lämpöarvojen määrittäminen

| | |
|-------------------------|-----------|
| Tarkasteltava jätemäärä | 18600 t/a |
| Määrästä sekajätettä | 14000 t/a |
| Määrästä energiajätettä | 4600 t/a |

| | |
|----------------------|------|
| Sekajätteen osuus | 75 % |
| Energiajätteen osuus | 25 % |

Oletetaan:

| | |
|---|----------|
| Sekajätteen tehollinen lämpöarvo käyttötilassa | 10 MJ/kg |
| Energiajätteen tehollinen lämpöarvo käyttötilassa | 15 MJ/kg |
| Rejektin tehollinen lämpöarvo käyttötilassa | 5 MJ/kg |

Kierrätyspolttoaineen valmistus:

| | |
|------------------------------|------|
| Kierrätyspolttoaineen saanto | 70 % |
| Rejektia muodostuu | 30 % |

| | |
|---|-------------|
| Kierrätyspolttoaineen teholliseksi lämpöarvoksi saadaan | 19,29 MJ/kg |
|---|-------------|

Skenaario 1

| | |
|--------------------------------|----------|
| Energiajätettä erilliskerätään | 2600 t/a |
|--------------------------------|----------|

| | |
|------------------------------|-----------|
| Sekajätteeksi jää | 16000 t/a |
| Sekajätteessä energiajätettä | 2000 t/a |

| | |
|----------------------|---------|
| Sekajätteen osuus | 87,50 % |
| energiajätteen osuus | 12,50 % |

| | |
|--|-------------|
| Sekajätteen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa | 10,63 MJ/kg |
|--|-------------|

Skenaario 2

| | |
|--|-------------|
| Kokonaisjättemäärän tehollinen lämpöarvo saapumistilassa | 11,24 MJ/kg |
|--|-------------|

Skenaario 3

| | |
|--------------------------------|----------|
| Energiajätettä erilliskerätään | 4600 t/a |
|--------------------------------|----------|

| | |
|------------------------------|-----------|
| Sekajätteeksi jää | 14000 t/a |
| Sekajätteessä energiajätettä | 0 t/a |

| | |
|----------------------|---------|
| Sekajätteen osuus | 100,0 % |
| energiajätteen osuus | 0,0 % |

| | |
|--|----------|
| Sekajätteen tehollinen lämpöarvo saapumistilassa | 10 MJ/kg |
|--|----------|

Energiajätteen erilliskeräyksen vaikutukset kustannuksiin

Jätemäärien muodostuminen

| | |
|---|-----------------------------|
| Koko alueella asukkaita | 128 572 |
| Alueella muodostuu sekajätettä | 16 000 t/a |
| Erilliskeräykseen kuuluu asukkaita | 29 710 |
| Erilliskerätty energiajättemäärä | 2 600 t/a |
| Yksi asukas tuottaa alueella sekajätettä | 0,124 t/as/a 124 kg/as/a |
| Yksi asukas tuottaa alueella energiajätettä | 0,088 t/as/a 88 kg/as/a |

Esimerkkikiinteistö

| | |
|---------------------------|---------------------------|
| Huoneistoja kiinteistössä | 25 |
| Asukkaita huoneistossa | 1,8 (Tilastokeskus 2013b) |
| Asukkaita kiinteistössä | 45 |

Kiinteistön vuotuiset jätemäärät

| | |
|----------------|------------|
| Sekajätettä | 5 600 kg/a |
| Energiajätettä | 3 938 kg/a |
| Yhteensä | 9 538 kg/a |

Kiinteistön viikoittaiset jätemäärät

| | |
|----------------|------------|
| Sekajätettä | 107 kg/vko |
| Energiajätettä | 76 kg/vko |
| Yhteensä | 183 kg/vko |

Kiinteistön jäteastioiden tilavuus

| | | |
|-----------------------|------------------------|------------------------|
| Sekajätteen tiheys | 660 litraa | |
| Energiajätteen tiheys | 86,6 kg/m ³ | (Teirasvuoto 2010, 36) |
| | 81,3 kg/m ³ | |

Jäte astioihin mahtuu jätettä

| | |
|-------------|---------------|
| Sekajäte | 57,2 kg/astia |
| Energiajäte | 53,7 kg/astia |

Astioita tarvitaan kiinteistöllä

Erilliskeräys voimassa

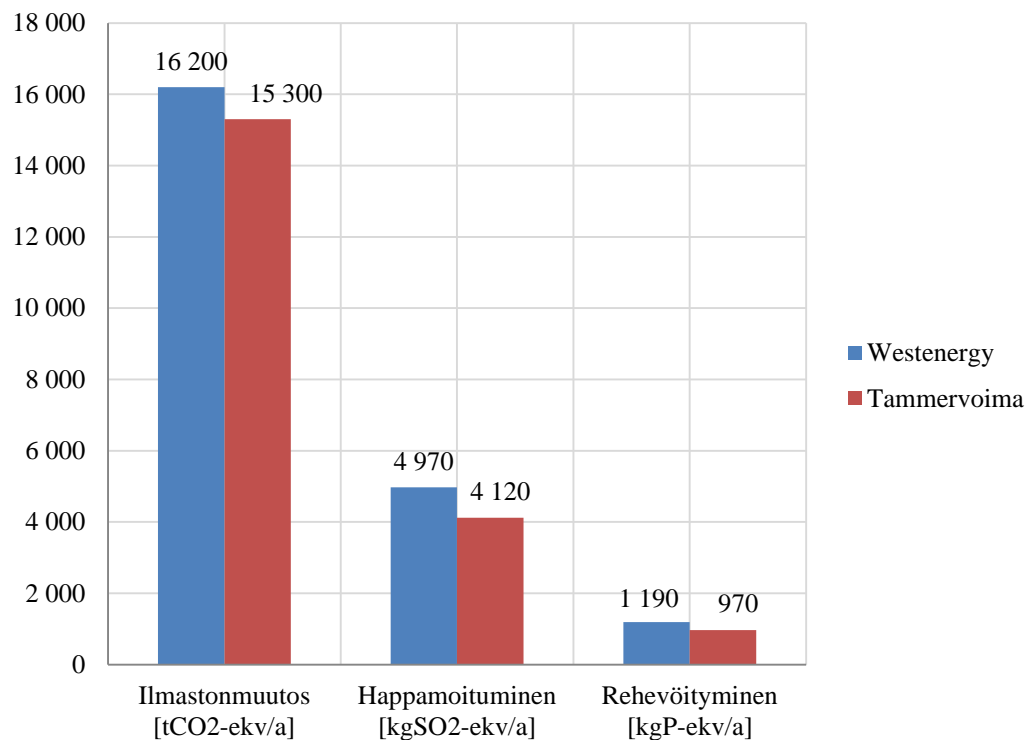
| | |
|---------------------|-------|
| Sekajäteastioita | 2 kpl |
| Energiajäteastioita | 2 kpl |

Erilliskeräys ei voimassa

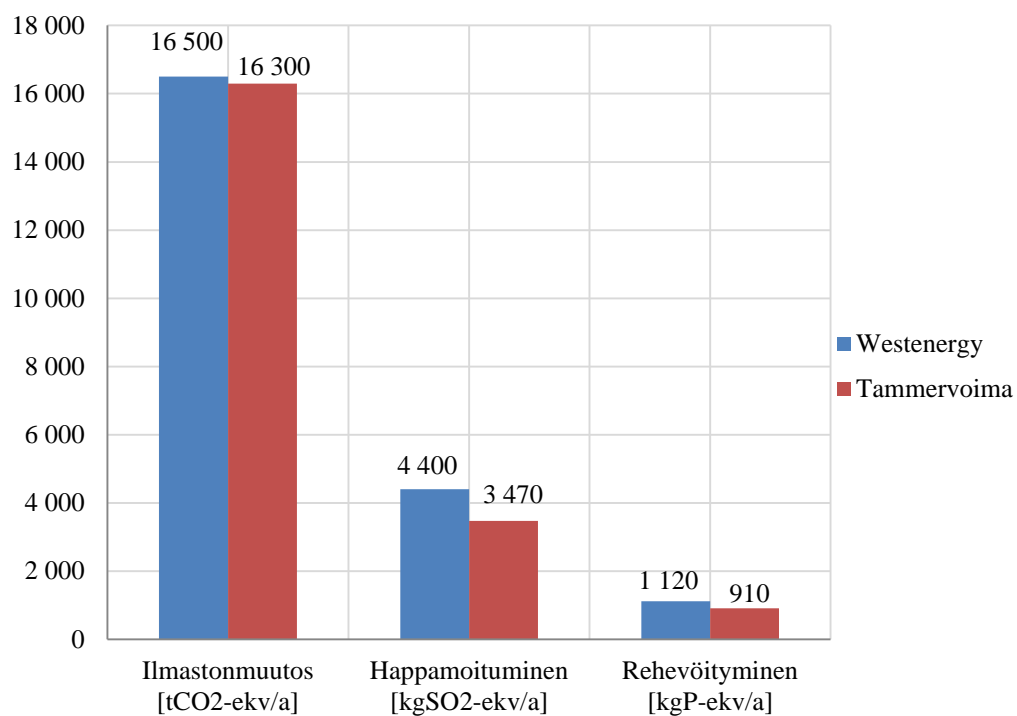
| | |
|------------------|-------|
| Sekajäteastioita | 4 kpl |
|------------------|-------|

Herkkyystarkastelu:
Jätteenpolttolaitoksen vaikutukset

Skenaario 1 (energiajätteen erilliskeräys nykyisillä jätehuoltomääräyksillä)

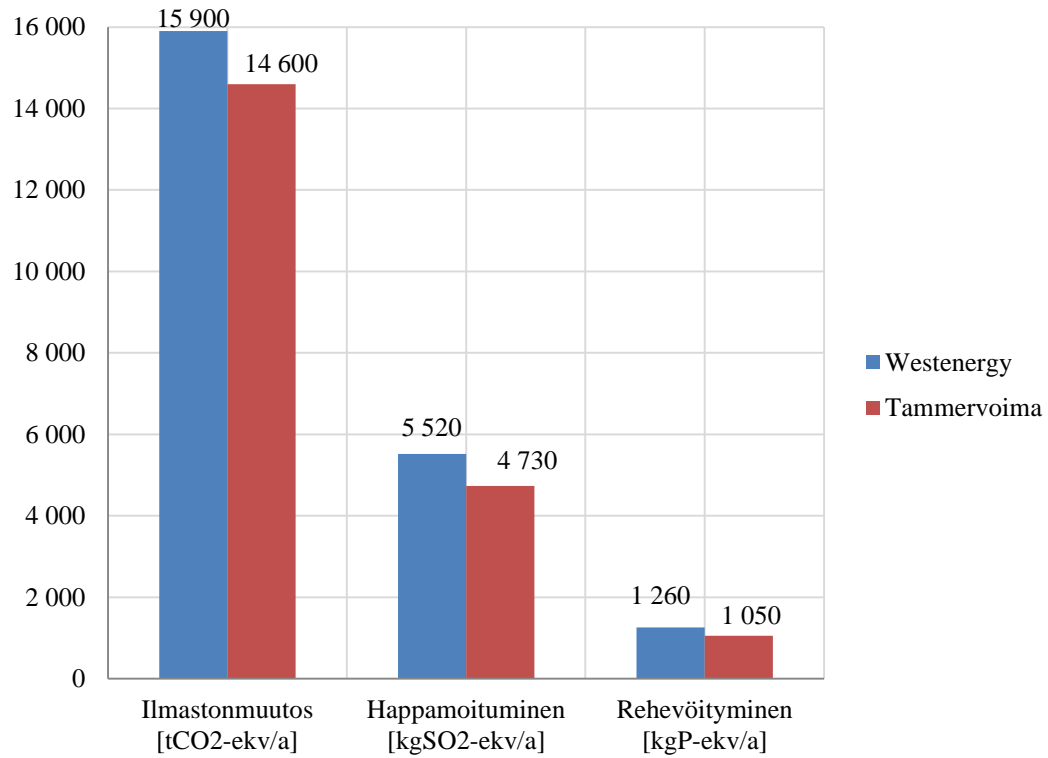


Skenaario 2 (energiajätteen erilliskeräyksen lakkauttaminen)



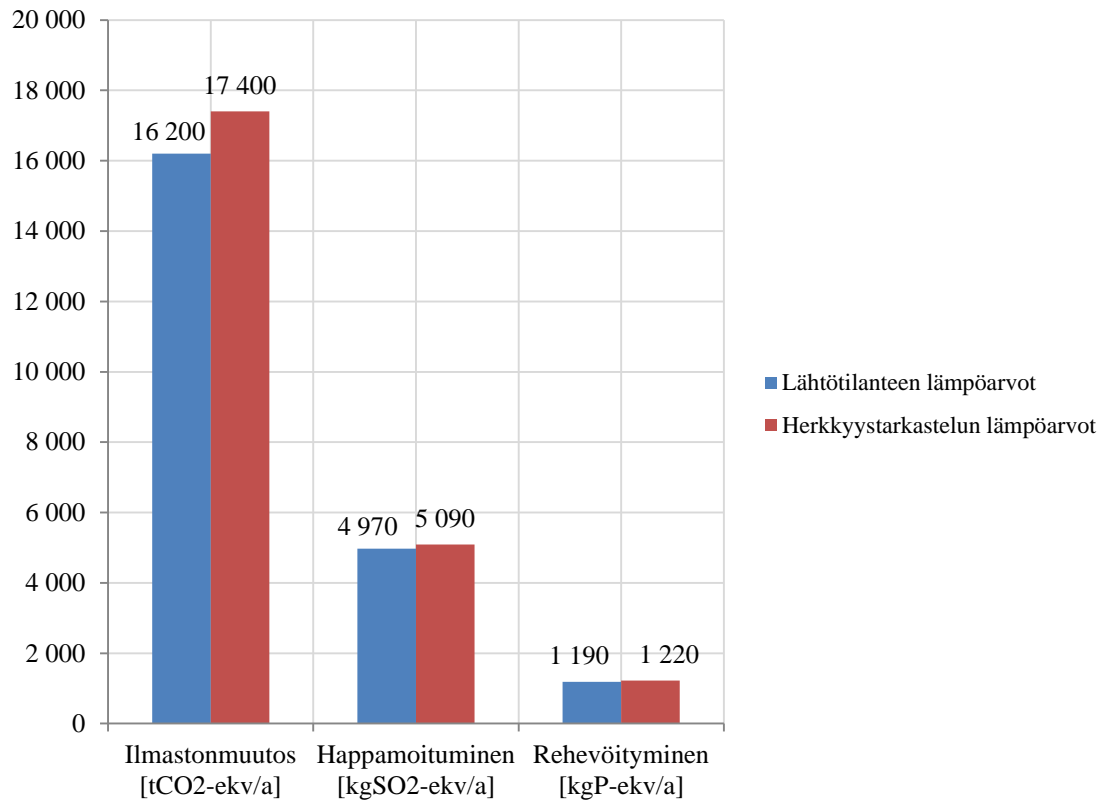
Herkkyystarkastelu:
Jätteenpolttolaitoksen vaikutukset

Skenaario 3 (tehostettu energiajätteen erilliskeräys)

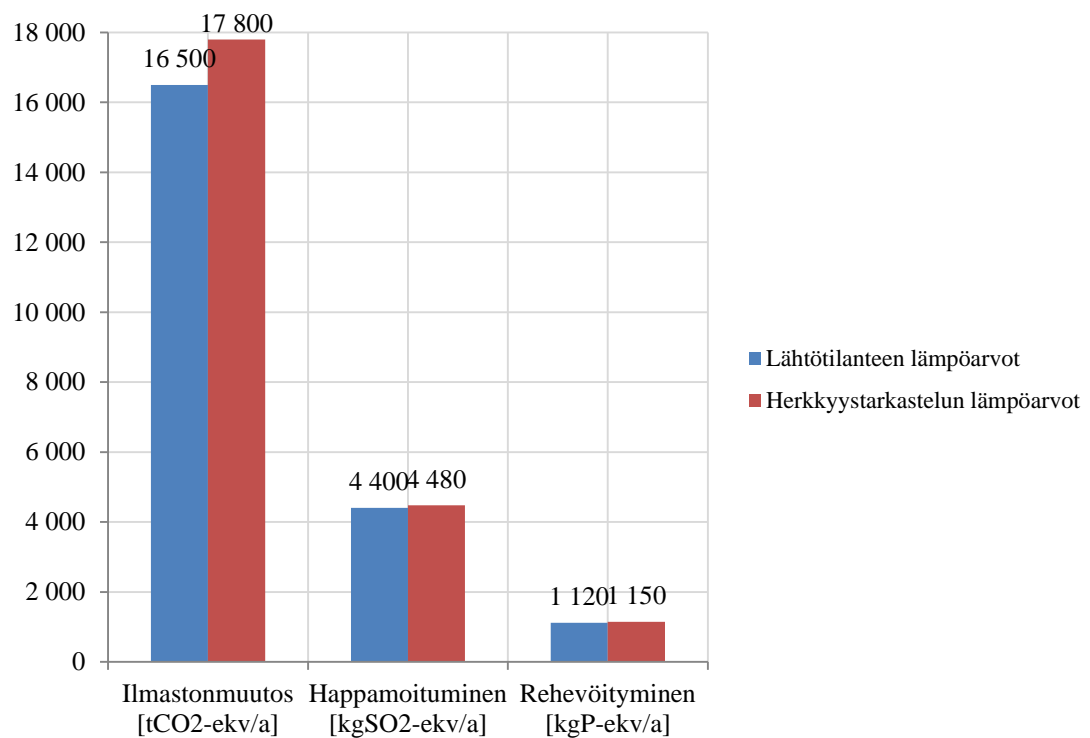


Herkkyystarkastelu:
Lämpöarvojen muuttamisen vaikutukset

Skenaario 1 (energiajätteen erilliskeräys nykyisillä jätehuoltomääräyksillä)

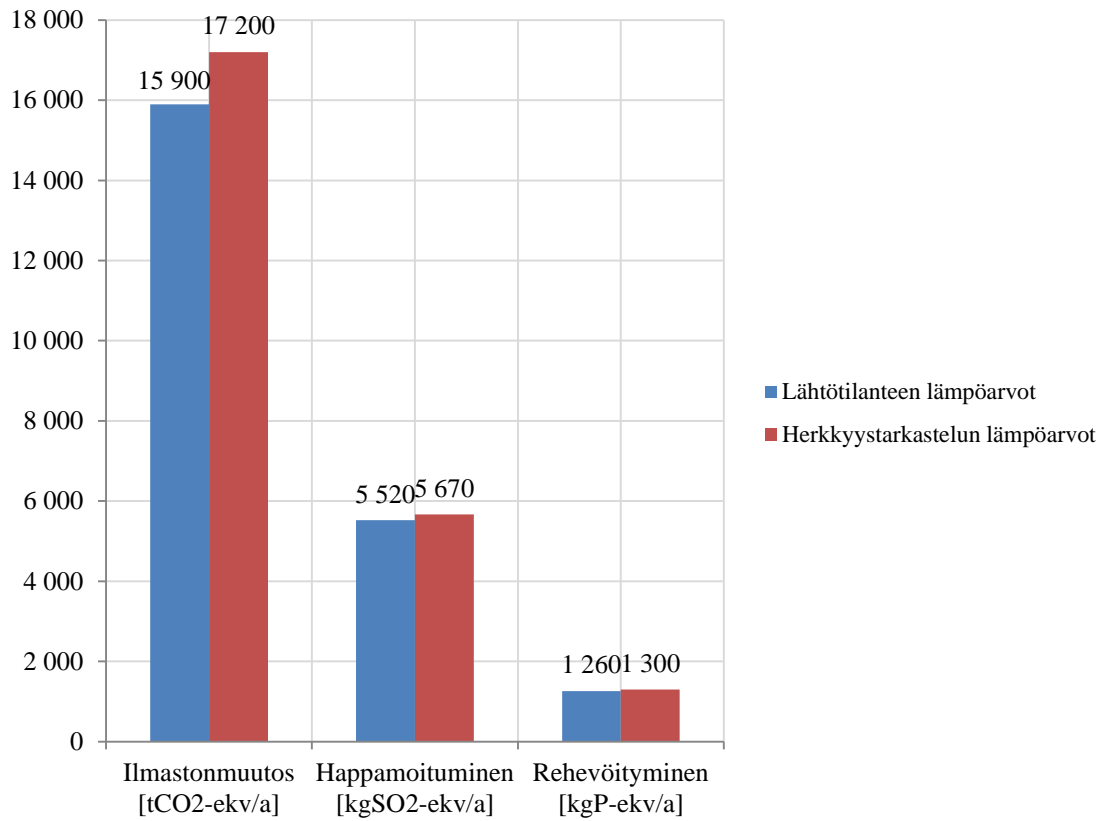


Skenaario 2 (energiajätteen erilliskeräyksen lakkauttaminen)



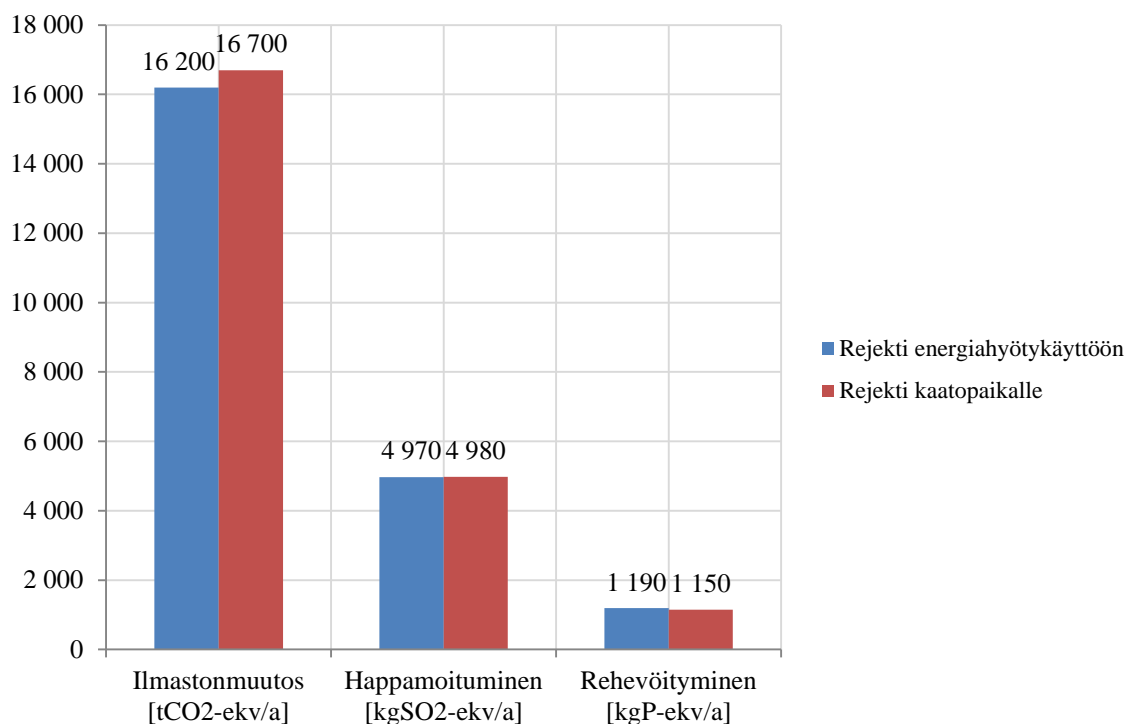
Herkkyystarkastelu:
Lämpöarvojen muuttamisen vaikutukset

Skenaario 3 (tehostettu energiajätteen erilliskeräys)

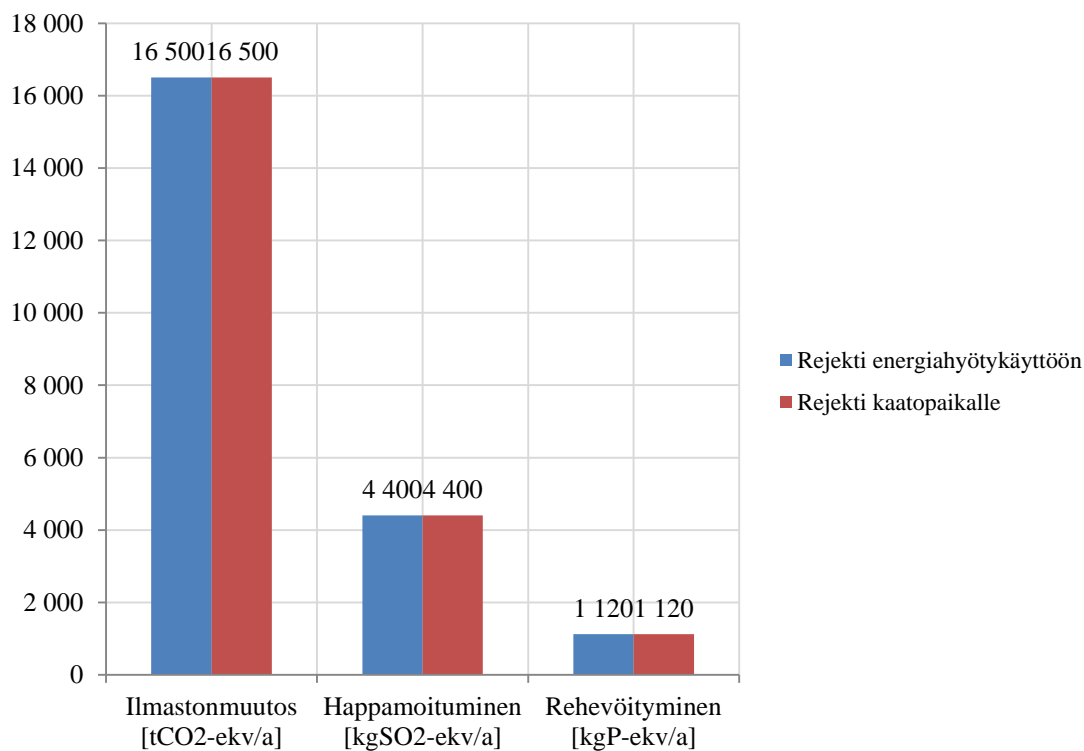


Herkkyystarkastelu:
Rejektin kaatopaikkasijoittamisen vaikutukset

Skenaario 1 (energiajätteen erilliskeräys nykyisillä jätehuoltomääräyksillä)



Skenaario 2 (energiajätteen erilliskeräyksen lakkauttaminen)



Herkkyystarkastelu:
Rejektin kaatopaikkasijoittamisen vaikutukset

Skenaario 3 (tehostettu energiajätteen erilliskeräys)

