

Yhdyskuntajätteen kierrätyksellä vauhtia kiertotalouteen (JÄTEKIVA)

Työpaketti 1.4. Analyysi biojätteen erilliskeräyksen ja käsittelyn kestävyystarkasteluista näkökulmana mahdollisuudet kestävyys- den tehostamiseksi

Tekijät: TkT Antti Niskanen
Di Joni Kemppi

Sisällys

1	Johdanto	4
2	Suomessa tehtyjä biojätteen keräyksen ja käsittelyn elinkaariarviointeja	6
2.1	Jätehuollon elinkaariarvioinnit	6
2.2	Tarkastellut suomalaiset elinkaariarvioinnit	6
2.3	Tarkasteltujen suomalaisten elinkaariarviointien tuloksia	9
2.3.1	Merkittäviä ympäristövaikutuksiin vaikuttavia tekijöitä	9
2.3.2	Merkittäviä kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä	14
2.3.3	Vaihtoehtoisten käsittelytapojen vertailu	17
2.3.4	Vaihtoehtoisten keräysvelvoitteiden vertailu	22
3	Eri tekijöiden vaikutus ympäristövaikutuksiin ja kustannuksiin	33
3.1	Kunnan koko ja väestötiheys	33
3.2	Jäteastioiden tyhjennysvälit	36
3.3	Hyvitykset	40
3.3.1	Korvattava energiantuotanto	40
3.3.2	Energiantuotannon hyötykäyttöasteet	42
3.3.3	Hyvitykset biokaasun ja mädätteen hyödyntämisestä	45
3.4	Keräyksessä käytetty polttoaine	47
3.5	Kimppakeräys	48
3.6	Monilokerokeräys	49
4	Veratilu euroopassa tehtyihin elinkaariarviointeihin	51
4.1	Tarkastellut eurooppalaiset elinkaariarvioinnit	51
4.2	Tarkasteltujen eurooppalaisten elinkaariarviointien tuloksia	52
4.2.1	Life Cycle Assessment of Energy from Waste via Anaerobic Digestion: A UK Case Study	52
4.2.2	Life Cycle Analysis of Incineration Compared to Anaerobic Digestion Followed by Composting for Managing Organic Waste	54
4.2.3	Environmental Assessment of Biowaste Management in the Danish-German Border Region	55
4.2.4	Environmental Performance of Household Waste Management in Europe – an Example of 7 Countries	56
4.2.5	Comparative Life Cycle Assessment of Biowaste to Resource Management Systems – A Danish Case Study	58
4.3	Eroavaisuuksia suomalaisiin vastaaviin elinkaariarviointeihin	60

4.3.1	Erot biojätteen keräyksessä	60
4.3.2	Erot biojätteen käsittelyketjussa ja hyödyntämisessä.....	61
4.3.3	Erot jätteenpoltossa.....	63
5	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	66
6	LÄHTEET	72

1 JOHDANTO

Yhdyskuntajätteen kierrätysasteen nosto viiteenkymmeneen prosenttiin on kirjattu Juha Sipilän hallitusohjelman yhdeksi kärkihankkeeksi. Myös Suomen jäteasetuksessa ja Euroopan unionin jätedirektiivissä on asetettu jäsenmaita sitova yhdyskuntajätteen viidenkymmenen prosentin kierrätystavoite. Direktiivin mukaan tavoitteet tulisi saavuttaa vuoteen 2020 mennessä. Sen sijaan jäteasetuksessa yhdyskuntajätteen kierrätystavoite on asetettu jo vuoden 2016 alkuun. Luonnos valtakunnalliseksi jätesuunnitelmaksi asettaa yhdyskuntajätteen kierrätystavoitteeksi 55 % vuoteen 2023 mennessä. Kiristytävä kierrätystavoite noudattelee EU:n uudistuvan jätedirektiivin linjaa.

Euroopan Unionin jäsenmaita, jotka eivät näytä täyttävän viidenkymmenen prosentin kierrätystavoitetta vuoteen 2020 mennessä, on valittu mukaan niin kutsuttuun Early Warning -hankkeeseen. Suomi on yksi hankkeessa mukana olevista maista. Hankkeen yhtenä tavoitteena on esittää alustavia näkemyksiä käyttöönotettavista ohjauskeinoista kierrätystavoitteen saavuttamiseksi. Euroopan komissio on antanut ehdotuksia keskeisimmiksi kierrätystä lisääviksi toimiksi. Suomessa hankkeen yhtenä tavoitteena on tuottaa tietoa siitä, miten komission ehdottamia yhdyskuntajätteen kierrätystä lisääviä toimia voidaan toteuttaa Suomen oloihin ja lainsäädäntöön sopivalla tavalla.

Jätekira-hankkeen tavoitteena on tuottaa tietoa yhdyskuntajätteen ja erityisesti biojätteen erilliskeräyksen tehostamisen keinoista. Biojätteen erilliskeräyksen tehostamiskeinoja arvioidessa huomioidaan eritoten, miten väestötiheydeltään ja olosuhteiltaan erilaiset alueet tulevat otetuiksi huomioon. Keinot liittyvät sekä kotitalouksien että julkisen ja yksityisen hallinto- ja elinkeinopalveluiden erilliskeräyksen laajentamiseen sekä tehostamiseen.

Lisäksi Jätekira-hankkeessa kootaan tietoa biojätteen erilliskeräystä ja käsittelyä koskevista kestävyystarkasteluista. Koonnilla saadaan selville keskeisimmät tutkitut jätteen keräyksen ja kierrätyksen ympäristö- ja kustannustehokkuuteen vaikuttavat tekijät. Lisäksi tavoitteena on tuottaa jätealan toimijoiden käyttöön kooste käytännön mahdollisuuksista ja tavoista parantaa ympäristö- ja taloussuoriutuvuutta.

Hankkeen tavoitteena on välittää tietoa keskeisille sidosryhmille kuten päättäjille, viranomaisille, jätehuollon julkisille ja yksityisille toimijoille, medialle ja kansalaisille. Hankkeen tuottamaa ehdotusta voidaan käyttää poliittisen päätöksenteon pohjana.

LCA Consulting Oy vastaa hankkeen työpaketin 1.4. toteutuksesta. Tässä työpaketissa keskitytään erityisesti biojätteen erilliskeräyksen ja kierrätyksen ympäristökuormitukseen ja kustannustekijöihin sekä niiden optimointimahdollisuuksiin. LCA Consulting Oy tekee tutkimuksen biojätteen kierrätysasteen nostamisen vaikutuksista keräyksen ja käsittelyn kustannuksiin sekä ympäristökuormitukseen. Työpaketin 1.4 tavoitteena on selvittää, miten biojätteen erilliskeräyksen lisääminen kierrätysasteen nostamiseksi voidaan toteuttaa Suomessa mahdollisimman taloudellisesti ja ympäristötehokkaasti.

Tutkimuksessa selvitetään:

- Mistä biojätteen kierrätyksen ympäristövaikutukset ja kustannukset aiheutuvat?
- Miten biojätteen erilliskeräyksen lisääminen korkeamman kierrätysasteen saavuttamiseksi vaikuttaa ympäristövaikutuksiin ja kustannuksiin?
- Millä toimin biojätteen erilliskeräyksen ja kierrätyksen lisääminen voitaisiin toteuttaa mahdollisimman vähäisin kustannuksin ja ympäristövaikutuksin?
- Millaisilla alueilla ja miten toteutettuna erilliskeräyksen laajentaminen on taloudellisesti toteuttamiskelpoista ja ympäristönsuojelullisesti perusteltua pientalovaltaisilla alueilla?

Työpaketin 1.4. toteutus on kirjallisuustutkimus, jonka aineistona käytetään kotimaisia sekä kansainvälisiä elinkaaritutkimuksia ja -selvityksiä. Lisäksi tutkimuksessa selvitetään kotimaisten case-tutkimusten pohjalta alueellisten tekijöiden merkitystä biojätteen kierrätyksen ympäristövaikutuksille ja kustannuksille. Selvitysten pohjalta nostetaan esiin merkittävimpiä biojätteen kierrätysketjun ympäristökuormitukseen ja kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä sekä mahdollisuuksia niiden pienentämiseen. Tiettyjen tekijöiden osalta tarkastelua on syvennetty mallinnuksen ja laskennan avulla.

2 SUOMESSA TEHTYJÄ BIOJÄTTEEN KERÄYKSEN JA KÄSITTELYN ELINKAARIARVIOINTEJA

Suomessa on tehty useita biojätteen keräykseen ja käsittelyyn liittyviä elinkaariarviointeja. Selvityksiä ovat tehneet asiantuntijaorganisaatiot ja konsulttiyritykset. Myös opinnäytetöissä on tutkittu biojätteen keräystä ja käsittelyä. Tässä selvityksessä tarkastellaan sekä julkisesti saatavilla olevien että LCA Consulting Oy:n tekemien elinkaariselvityksien ympäristövaikutus- ja kustannustuloksia ja tuloksiin vaikuttavia tekijöitä.

2.1 Jätehuollon elinkaariarvioinnit

Elinkaariarviointistandardien (ISO 14040:2006, ISO 14044:2006) mukaan elinkaariarvioinnin ensimmäinen vaihe on tavoitteen ja soveltamisalan määrittäminen. Määrittelyllä pyritään takaamaan, että elinkaariarviointi vastaa parhaalla mahdollisella tavalla kyseessä olevalle selvitykselle asetettuihin tavoitteisiin. Soveltamisalan määrittelyssä tehdään valintoja ja rajauksia tarkasteltavan järjestelmän suhteen. Näiden lisäksi kunkin elinkaariarviointien tavoitteen asettelu, ajallinen kattavuus, käytetyn datan laatu ja tiedon kattavuus vaihtelevat tapauskohtaisesti. Menetelmiin liittyvien tekijöiden lisäksi myös esimerkiksi alueelliset tekijät, kuten jätehuoltomääräykset, jätteenkäsittelytekniikat, lopputuotteiden hyödyntämismahdollisuudet, asukastiheys, asukasmäärät sekä muut tekijät voivat olla merkittävästikin erilaiset eri selvitysten ja tarkastelualueiden välillä.

Edellä mainitut tekijät aiheuttavat eroja elinkaariarviointien tuloksissa. Myös eroavaisuudet menetelmissä vaikuttavat selvitysten tulosten vertailtavuuteen. Lisäksi elinkaariarviointien tavoitteiden asettelu ja määritelly soveltamisala rajoittavat selvitysten käytettävyyttä ja luotettavuutta muissa käyttötarkoituksissa kuin alun perin on määritetty. Edellä mainituista rajoituksista huolimatta, tehtyjä elinkaariarviointeja voidaan kuitenkin hyödyntää myös tässä selvityksessä.

2.2 Tarkastellut suomalaiset elinkaariarvioinnit

Tehdyissä elinkaariarvioinneissa on tyypillisesti arvioitu biojätteen vaihtoehtoisten käsittelymenetelmien tai keräyksen laajentamisen aiheuttamia ympäristövaikutuksia ja osassa myös kustannuksia. Suomessa tehtyjä biojätteen keräyksen ja käsittelyn elinkaariarviointeja on esitetty taulukossa 1. Osassa taulukoituja selvityksiä on tarkasteltu vain biojätteen keräystä tai käsittelyä. Taulukossa 2 on esitetty selvityksessä tarkastellut LCA Consulting Oy:n elinkaariselvitykset.

Taulukko 1: Suomessa tehtyjä biojätteen erilliskeräyksen ja käsittelyn elinkaariarviointeja.

Tekijä	Vuosi	Selvityksen nimi	Selvityksen sisältö
Myllymaa et al., Suomen ympäristökeskus (SYKE)	2008	Jätteiden kierrätyksen ja polton ympäristövaikutukset ja kustannukset – jätehuollon vaihtoehtojen tarkastelu alueellisesta näkökulmasta	Selvityksessä on arvioitu polttokelpoisten jätelajien hyödyntämisen vaihtoehtoja, niiden ympäristö- ja kustannusvaikutuksia sekä näitä määrittäviä tekijöitä. Selvityksessä tarkasteltiin biojätteen lisäksi myös muita jätelajeja. Biojätteen osalta tarkasteltiin biojätteen kompostointia ja mädätystä ja vertailtiin niistä saatuja tuloksia toisiinsa.
Veera Virtavuori, diplomityö YTV:lle (nyk. HSY)	2009	Biojätteen käsittelyvaihtoehdot pääkaupunkiseudulla – Kasvihuonekaasupäästöjen vertailu	Selvityksessä on arvioitu biojätteen käsittelyvaihtoehtojen ja erilaisten erilliskeräyksen laajuuksien vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin Helsingin seudun ympäristöpalvelut- kuntayhtymän (HSY) toimialueella. Käsittelyvaihtoehdot olivat mädätys, kompostointi ja energiahyödyntäminen sekajätteen mukana. Erilliskeräysvaihtoehdot olivat: 1) erilliskeräys väh. 5 huoneiston kiinteistöiltä 2) nykytila, eli erilliskeräys väh. 10 huoneiston kiinteistöiltä 3) erilliskeräysvelvoite väh. 20 huoneiston kiinteistöiltä
Veera Sevander, Finnish Consulting Group (FCG) Oy	2010	Biojätteen erilliskeräyksen elinkaariarvio	Selvityksessä on arvioitu biojätteen erilliskeräysvaihtoehtojen aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä Länsi-Uudenmaan alueella. Vertailtiin vaihtoehtoisia käsittelytapoja biojätteelle (mädätys kolmessa vaihtoehtoisessa kohteessa tai poltto sekajätteen mukana) sekä erilaisia erilliskeräysjärjestelmän laajuuksia. Erilliskeräysvaihtoehdot olivat: 1) erilliskeräys väh. 5 huoneiston kiinteistöiltä 2) erilliskeräys kaikilta kiinteistöiltä 3) ei erilliskeräystä.
Henna Knuutila, Opin- näytettyö Turun seudun jätehuollolle (nykyisin osa Lounais-Suomen Jätehuolto Oy:tä)	2012	Turun seudun biojätehuollon elinkaariselvitys – kasvihuonekaasupäästöjen vertailu	Selvityksessä on arvioitu Turun Seudun Jätehuollon toiminta-alueella syntyviä biojättemääriä sekä erilliskeräysjärjestelmän kattavuuden ja asumistiheyden vaikutusta biojätteen keräyksen ja kuljetuksen kasvihuonekaasupäästöihin. Erilliskeräysvaihtoehdot olivat: 1) erilliskeräys väh. 4 huoneiston kiinteistöiltä 2) erilliskeräys väh. 20 huoneiston kiinteistöiltä 3) ei erilliskeräystä Lisäksi biokaasulle arvioitiin kahden hyödyntämisvaihtoehdon ilmastolämpenemisvaikutusta: hyödyntäminen liikennepolttoaineena ja hyödyntäminen energiantuotannossa.
Sundström et al., Finnish Consulting Group (FCG) Oy ja Suomen ympäristökeskus (SYKE)	2014	Elinkaarimallin kehittäminen HSY:n jätehuollolle	Selvityksessä on arvioitu HSY:lle laaditun elinkaarimallin avulla biojätteen keräyksen ja käsittelyn ympäristövaikutuksia eri erilliskeräysvelvoitteilla: 1) erilliskeräys väh. 5 huoneiston kiinteistöiltä 2) erilliskeräys väh. 10 huoneiston kiinteistöiltä 3) erilliskeräys väh. 20 huoneiston kiinteistöiltä Lisäksi arvioitiin biokaasun hyötykäyttövaihtoehtoja (hyödyntäminen liikennepolttoaineena ja sähkön tuotannossa). Ympäristövaikutuksia arvioitiin kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi happamoitumisen, hiukkasvaikutusten, alailmakehän otsonin muodostumisen ja rehevöitymisen näkökulmasta.
Lotta Toivonen, HSY	2014	Biojätteen kimppakeräyksen ympäristövaikutukset (osana EcoChange Oy:n Biojätteen kimppa- ja aluekeräyksen mahdollisuudet -hanketta)	Arvioitiin biojätteen kimppakeräyksen vaikutuksia biojätteen kertymään sekä keräyksen ja kuljetusten kasvihuonekaasupäästöihin HSY:n toiminta-alueella. Biojätteen käsittelyn ympäristövaikutuksia ei laskettu.

Taulukko 2: LCA Consulting Oy:n tekemiä biojätteen erilliskeräyksen ja käsittelyn elinkaariarviointeja.

Tekijä	Vuosi	Selvityksen nimi	Selvityksen sisältö
LCA Consulting Oy	2015	Biojätteenkäsittelyn elinkaari-mallin (GaBi 6.0) päivitys ja prosessivaihtoehtojen ver-tailu päivitettyä mallia käyt-täen	Selvityksessä on päivitetty HSY:lle aiemmin laadittua biojätteiden käsittelyn GaBi-elinkaari-mallia ja päivi-tetyllä mallilla laskettiin Ämmäsuolla tapahtuvan biojätteiden käsittelyn ympäristövaikutuksia ilmas-tonlämpenemisen, happamoitumisen, hiukkasvaiku-tusten, alailmakehän otsonin muodostumisen ja rehevöitymisen näkökulmista.
LCA Consulting Oy	2016	Erilliskeräyksen optimointi (Lounais-Suomen Jätehuol-lon alueella)	Selvityksessä on arvioitu eri jätelajien (ml. biojätteen) erilliskeräyksen vaihtoehtojen velvoite-rajojen ilmastonlämpenemisvaikutuksia Turun, Raision ja Maskun alueella. Erilliskeräysvaihtoehdot kotitalo-uksien biojätteelle olivat: 1) nykytila, eli erilliskeräys väh. 20 huoneiston kiin-teistöiltä 2) erilliskeräys väh. 10 huoneiston kiinteistöiltä 3) erilliskeräys väh. 5 huoneiston kiinteistöiltä
LCA Consulting Oy	2016	Erilliskeräyksen optimointi (Pirkanmaan Jätehuollon alueella) – Ilmastonläm-penemisvaikutukset	Selvityksessä on arvioitu eri jätelajien (ml. biojätteen) erilliskeräyksen velvoite-rajojen vaikutusta ilmas-tonlämpenemiseen Tampereen, Mänttä-Vilppulan ja Ikaalisten alueella. Erilliskeräysvaihtoehdot kotitalo-uksien biojätteelle olivat: 1) nykytila, eli erilliskeräys väh. 5 huoneiston kiin-teistöiltä 2) erilliskeräys kaikilta kunnan asuinkiinteistöiltä
LCA Consulting Oy	2017	Erilliskeräyksen optimointi (Pirkanmaan Jätehuollon alueella) - Kustannustarkas-telu	Selvityksessä on arvioitu eri jätelajien (ml. biojätteen) erilliskeräyksen velvoite-rajojen vaikutusta jätehuol-toyhtiölle kohdistuviin kustannuksiin Tampereen ja Mänttä-Vilppulan alueella. Erilliskeräysvaihtoehdot kotitalouksien biojätteelle olivat: 1) nykytila, eli erilliskeräys väh. 5 huoneiston kiin-teistöiltä 2) erilliskeräys kaikilta kunnan asuinkiinteistöiltä
LCA Consulting Oy	2017	Erilliskeräyksen optimointi (Jätekukon alueella) – Ilmas-tonlämpenemisvaikutukset ja kustannukset	Selvityksessä on arvioitu eri jätelajien (ml. biojätteen) erilliskeräyksen velvoite-rajojen vaikutusta ilmas-tonlämpenemiseen, kustannuksiin ja jätekertymiin Kaavin, Kuopion, Lieksan, Pieksämäen ja Suonenjoen alueella. Erilliskeräysvaihtoehdot kotitalouksien biojätteelle olivat: 1) nykytila, eli erilliskeräys väh. 10 huoneiston kiin-teistöiltä 2) erilliskeräys vähintään 5 huoneiston kiinteistöiltä 3) erilliskeräys kaikilta taajamakiinteistöiltä kaksilo-keroautolla yhdessä kartongin kanssa
LCA Consulting Oy	2017	Yhdyskuntajätteen keräyk-sen ja käsittelyn elinkaari-arvointi Pohjois-Suomen alueella	Selvityksessä on arvioitu asumisessa syntyvän yhdys-kuntajätteen keräyksen, käsittelyn ja hyötykäytön ilmastonlämpenemisvaikutusta sekä jätekertymiä ja hyötykäyttöasteita Pohjois-Suomen alueella. Asumi-sesta syntyvän biojätteen osalta selvitettiin yhdek-sälle eri esimerkkikunnalle kasvihuonekaasupäästöjä ja kierrätysasteita erilaisilla erilliskeräyksen laajuuk-silla. Erilliskeräysvaihtoehdot olivat: 1) nykytila

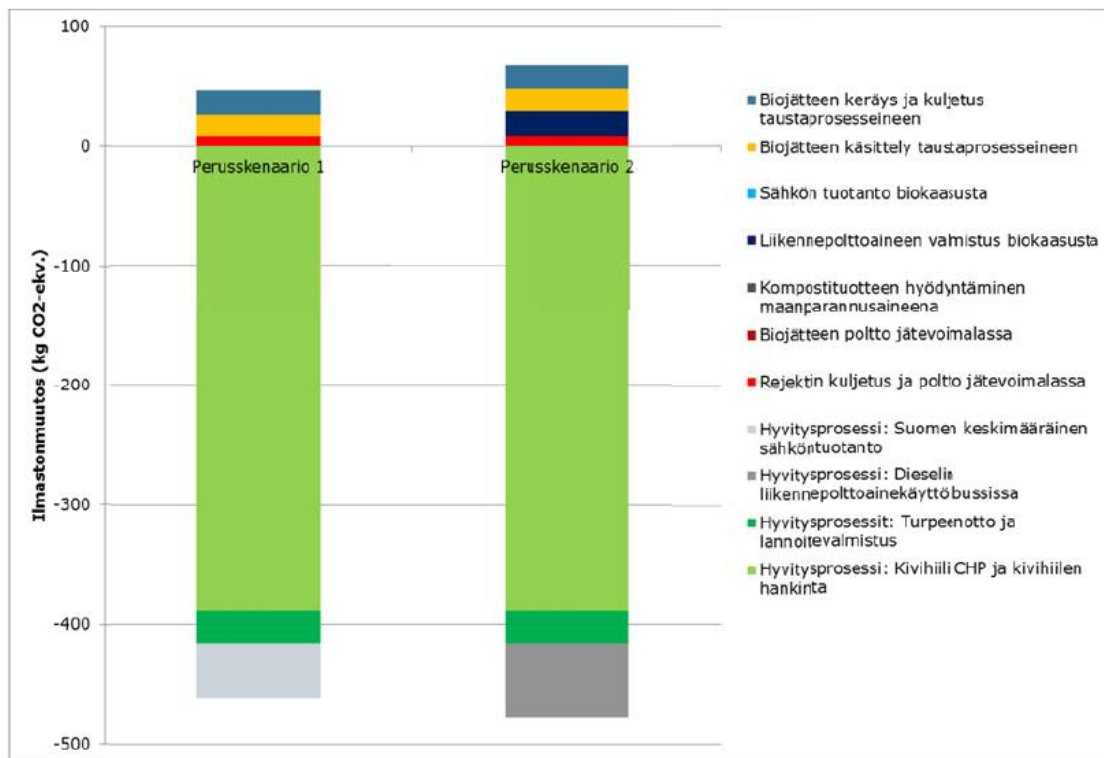
LCA Consulting Oy	2018	Biojätteen kiinteistökeräys ja käsittely pääkaupunkiseudulla – ympäristövaikutus- ja kustannustarkastelu	2) erilliskeräys kaikilta taajamakiinteistöiltä 3) erilliskeräys kaikilta kunnan kiinteistöiltä Selvityksessä on arvioitu biojätteen erilliskeräyksen velvoite- ja vaihtoehtojen sekä vaihtoehtojen keräysmenetelmien vaikutuksia biojättekertymiin, ilmastolämpenemiseen, rehevöitymiseen, happamoitumiseen, ravinteiden kierrätykseen ja kustannuksiin pääkaupunkiseudulla. Erilliskeräysvaihtoehdot olivat: 1) nykytila (erilliskeräys väh. 10 huoneiston kiinteistöiltä) 2) erilliskeräys väh. 5 huoneiston kiinteistöiltä 3) erilliskeräys kaikilta asuin- ja kiinteistöiltä Tarkastellut keräysskenaariot vaihtoehdossa, jossa erilliskeräys laajennettaisiin kaikille kiinteistöille, olivat: 1) monilokerokeräys pienikiinteistöiltä 2) biojäteastian max. tyhjennysvälin pidentäminen kahteen viikkoon 3) vapaaehtoinen kimpakeräysmahdollisuus pienikiinteistöille 4) monilokerokeräys yhdistettynä kahden viikon tyhjennysväliin
-------------------	------	--	---

2.3 Tarkasteltujen suomalaisten elinkaariarviointien tuloksia

2.3.1 Merkittäviä ympäristövaikutuksiin vaikuttavia tekijöitä

Biojätteen keräyksen ja käsittelyn elinkaaren aikana ympäristövaikutuksia syntyy suorina päästöinä keräyksen, kuljetuksen, mädätyksen, kompostoinnin ja polton aikana sekä epäsuorina päästöinä polttoaineiden, prosesseissa tarvittavan energian ja kemikaalien valmistuksessa sekä päästöhyvityksinä, kun biojätteen hyödyntämisellä vältetään esimerkiksi teollisten lannoitteiden, turpeen tai fossiilisten polttoaineiden käyttöä.

Suomalaisten elinkaariarviointien tulosten mukaan suurin yksittäinen kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttava tekijä on biojätteen energiahyötykäytön myötä saavutettavat potentiaaliset päästöhyvitykset. Hyvityksiä saavutetaan, kun biokaasulla korvataan kokonaan tai osittain fossiilisilla polttoaineilla tuotettua energiaa. Kuvassa 1 on esitetty Sundströmin et al. (2014) ilmastolämpenemisaikutustulokset Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymän (HSY:n) alueen kotitalouksissa syntyvästä biojätteestä. Selvityksessä käytetty toiminnallinen yksikkö on yksi tonni biojätettä, josta 33,6 % päätyi erilliskeräykseen ja 66,4 % sekajätteen mukana Vantaan Energialle energiahyödyntämiseen.



Kuva 1. Ilmastonlämpenemisvaikutukset HSY:n alueen kotitalouksissa syntyvää biojätetonnin kohden perusskenaarioissa 1 (sähköntuotanto biokaasusta) ja 2 (biokaasu liikennepolttoaineeksi), velvoiterajalla 10 (Sundström et al. 2014)

Tarkastelluissa selvityksissä, tiheään asutuilla kunnilla biojätteen keräyksen ja kuljetuksen kasvi-huonekaasupäästöt ovat tyypillisesti samaa suuruusluokkaa kuin biojätteen ja lopputuotteiden käsittelystä aiheutuvat kasvi-huonekaasupäästöt. Tämä on myös nähtävissä Sundströmin et al. (2014) tuloksista (Kuva 1). Keräyksen ja kuljetusten päästöt syntyvät pääosin polttoaineen käytön suorista päästöistä ja osin polttoaineen valmistuksesta. Biojätteen käsittelyn eli mädätyksen ja/tai kompostoinnin päästöt syntyvät pääosin laitoksella tarvittavan energian ja polttoaineiden tuotannosta sekä prosessissa syntyvistä päästöistä. Mädätyksessä ilmastonlämpenemisvaikutuksiin vaikuttaa karkaava metaani, jota poistuu yleensä noin 1–2 % tuotetun metaanin määrästä.

Harvaan asutuissa kunnissa keräyksen ja kuljetuksen osuus suhteessa kokonaiskasvi-huonekaasupäästöihin on suurempi. Esimerkiksi Mänttä-Vilppulalle lasketuissa elinkaariselvityksen tuloksissa biojätteen keräyksen ilmastonlämpenemisvaikutus (kerättäessä biojätettä kaikilta vähintään 5 huoneiston kiinteistöiltä) oli lähes 2,5-kertainen suurempi kuin biojätteen käsittelyn ilmastonlämpenemisvaikutukset. Vastaavasti Tampereella biojätteen keräyksen aiheuttama ilmastonlämpenemisvaikutus oli noin 64 % biojätteen ja biokaasun käsittelyn ilmastonlämpenemisvaikutuksista. (LCA Consulting Oy 2016b.)

Keräyksen laajuutta määritellään usein kiinteistökeräyksen velvoiterajojen avulla. Velvoiteraja tarkoittaa kiinteistön huoneistojen lukumäärään sidottua raja-arvoa, joka määrittää minkä kokoisilla kiinteistöillä tietyn jätelajin lajittelu on pakollista eli jätelajille on järjestetty kiinteistökohtainen keräys. Viime vuosina tehtyjen elinkaariarviontien tulosten mukaan biojätteen keräyksen velvoite-rajaa kiristettäessä, eli keräystä laajennettaessa, ovat keräyksen päästöt mallinnustulosten mu-

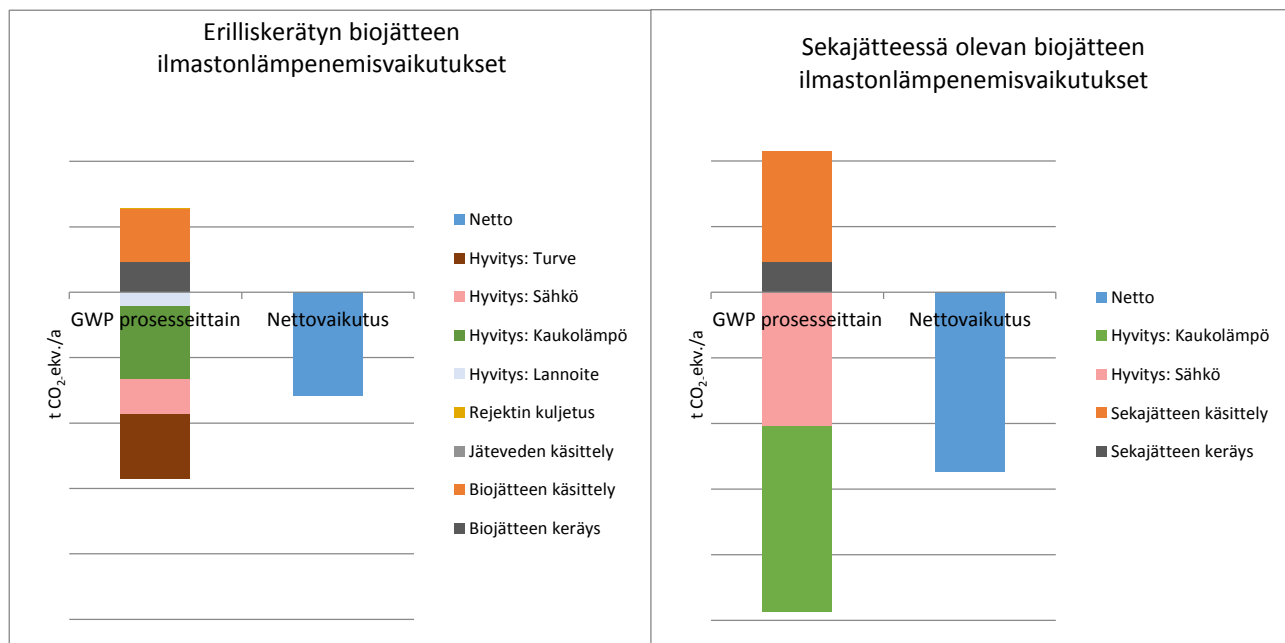
kaan lähes aina kasvaneet enemmän kuin käsittelystä aiheutuvat päästöt. Keräyksen osuus kokonaispäästöistä on harvaan asutuilla alueilla huomattavasti suurempi kuin tiheään asutuilla alueilla. Siten keräyksen osuus kokonaispäästöistä kasvaa voimakkaammin harvaan asutuilla kuin tiheästi asutuilla alueilla, kun velvoiterajaa kiristetään. (LCA Consulting Oy 2016a; LCA Consulting Oy 2016b; LCA Consulting Oy 2017a; LCA Consulting Oy 2017b; LCA Consulting Oy 2017c.)

Myös mädätysjäätännöksen hyötykäyttötapa on vaikutusta selvityksissä laskettuihin kokonaiskasvi-huonekaasupäästöihin ja päästöhyvityksiin. Mikäli mädäte on hyödynnetty pelloilla ravinnekäytössä, mädätteellä on oletettu korvattavan vain teollisia lannoitteita. Mikäli mädäte on kompostoitu ja komposti hyödynnetty mullanvalmistuksessa, on kompostin oletettu korvaavan turvetta. Multatuotteena mädäte ja komposti ovat saaneet huomattavasti suuremmat päästöhyvitykset, kuin jos tuote olisi käytetty lannoitteena ilman tuotteistusta multatuotteeksi. (Virtavuori 2009; Sevander 2010; Knuutila 2012.)

Sundströmin et al. (2014) selvityksessä tarkasteltiin ilmastonlämpenemisen lisäksi myös muita ympäristövaikutuksia. Myös happamoitumisvaikutuksiin, hiukkasvaikutuksiin ja alailmakehän otsonin muodostumiseen merkittävimmin vaikuttanut yksittäinen tekijä oli korvattava energiantuotanto ja siitä saatavissa olevat päästöhyvitykset. Selvityksessä biojätteestä tuotetulla energialla korvattiin kivihiilipohjaista energiantuotantoa. Tällä oletuksella oli merkittävä vaikutus selvityksen tuloksiin. Happamoitumisen, hiukkasvaikutusten sekä alailmakehän otsonin muodostumisen näkökulmasta biojätteen poltosta aiheutui suuremmat päästöt kuin keräyksestä tai biologisesta käsittelystä, mutta kivihiilen korvaamisella saavutettavat päästöhyvitykset olivat kuitenkin vielä näitä vaikutuksia suuremmat. (Sundström et al. 2014.)

Ainoastaan rehevöitymisvaikutuksessa suurinta kontribuutiota kokonaistuloksiin ei aiheuttanut korvattava energiantuotanto, vaan biojätteestä valmistettavalla mullalla korvattava turpeenotto ja lannoitevalmistus. Vain alailmakehän otsonin muodostumisen kannalta keräyksen ja käsittelyn aiheuttama yhteenlaskettu ympäristökuorma oli suurempi kuin saavutetut päästöhyvitykset. (Sundström et al. 2014.)

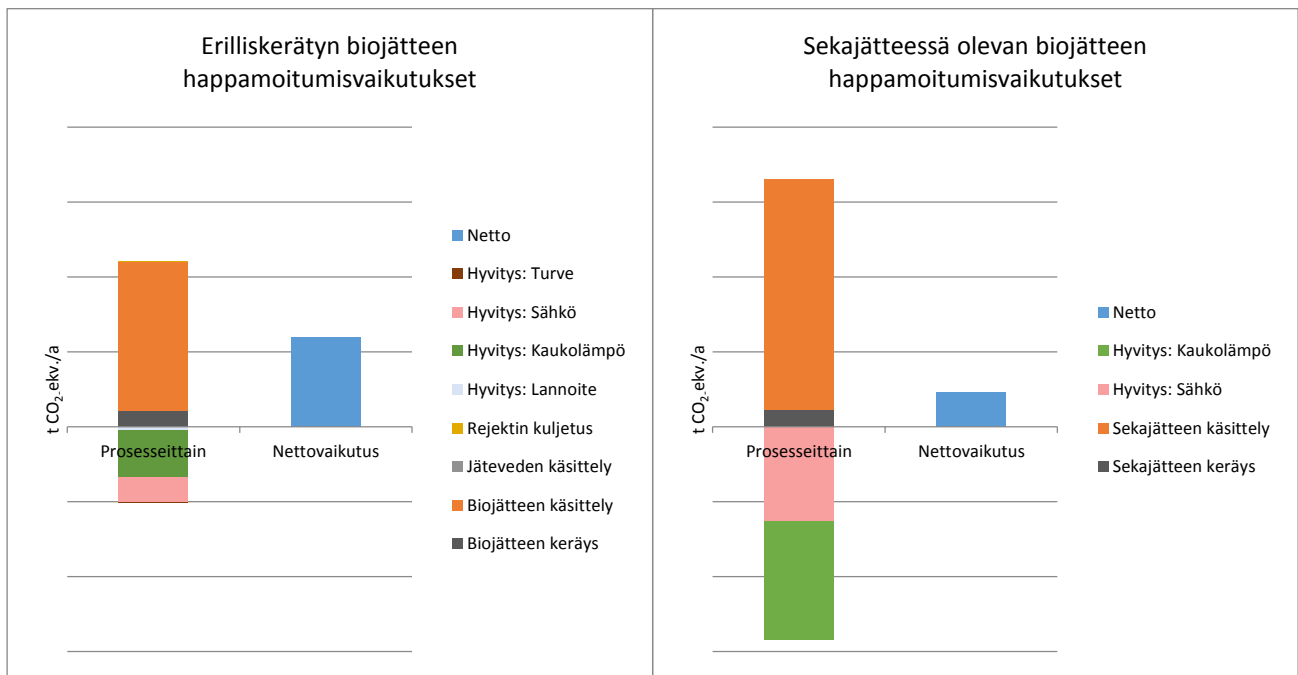
Toisena esimerkkinä käytetään LCA Consulting Oy:n (2018) pääkaupunkiseudun biojätteen keräystä ja käsittelyä tarkastelevaa elinkaariarviointia, jossa ilmastonlämpenemisen lisäksi huomioitiin happamoituminen, rehevöityminen ja ravinteiden kierto. Selvityksessä mallinnettiin pääkaupunkiseudun biojätteiden erilliskeräys ja käsittely sekä erilliskeräämättömän biojätteen polttaminen jätevoimalassa muun sekajätteen joukossa. Selvityksessä laskettiin ympäristövaikutukset ilmastonlämpenemiselle, happamoitumiselle ja rehevöitymiselle. Ilmastonlämpenemisvaikutukset on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Pääkaupunkiseudun erilliskerätyn biojätteen ilmastolämpenemisvaikutukset (vasemmalla) ja sekajätteen seassa olevalle biojätteelle allokoituvat ilmastolämpenemisvaikutukset (oikealla) vaihtoehtoisilla velvoiterajoilla (LCA Consulting Oy 2018).

LCA Consulting Oy:n (2018) laskemat tulokset olivat samansuuntaisia kuin Sundströmin et al. (2014) aiemmat tulokset samalle alueelle. Myös LCA Consulting Oy:n tuloksissa suurin tuloksiin vaikuttava tekijä oli biojätteen energiahyötykäytöllä saavutetut päästöhyvitykset. LCA Consulting Oy:n selvityksessä päästöhyvitykset olivat pienemmät kuin Sundströmin et al. (2014) selvityksessä. LCA Consulting Oy:n selvityksessä käytettiin oletusta, että tuotettu lämmöllä korvattiin Suomen keskimääräistä kaukolämmön tuotantoa, kun jälkimmäisessä hyvitetiin kivihiilellä tuotettua energiaa.

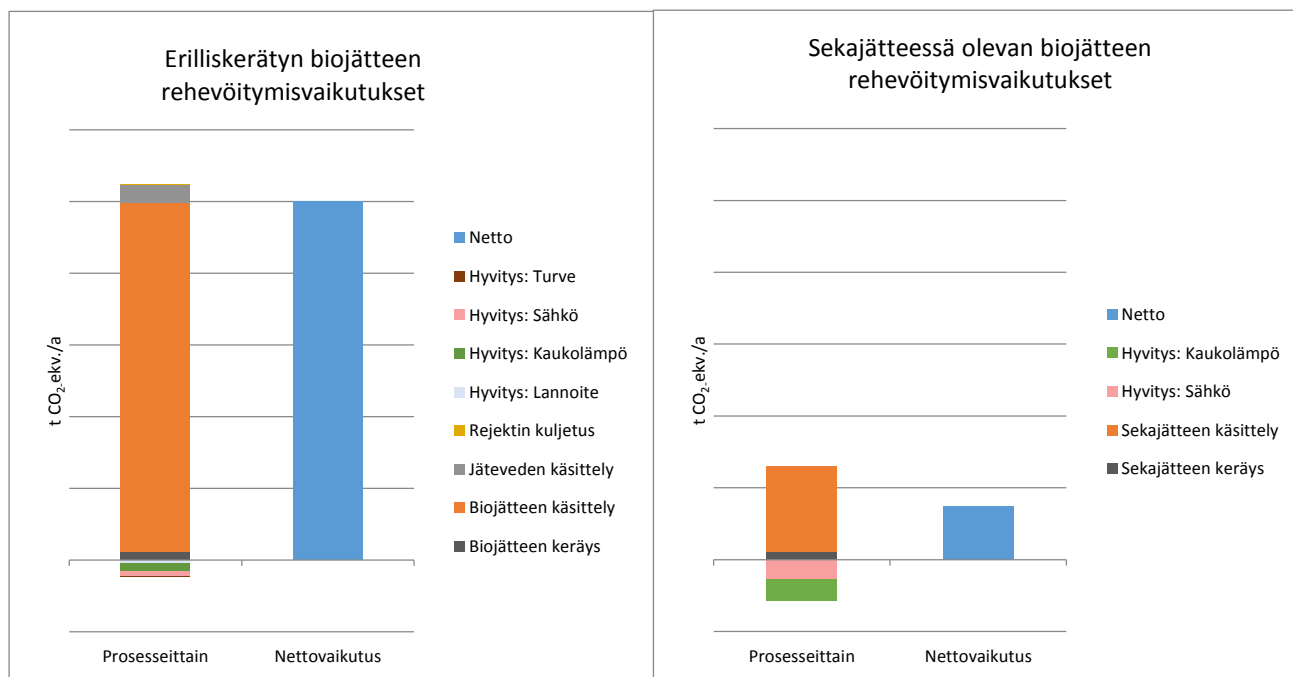
Pääkaupunkiseudun biojätteen happamoitumisvaikutukset on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Pääkaupunkiseudun erilliskerätyn biojätteen happamoitumisvaikutukset (vasemmalla) ja sekajätteen seassa olevalle biojätteelle allokoituvat happamoitumisvaikutukset (oikealla) vaihtoehtoisilla velvoiterajoilla (LCA Consulting Oy 2018).

LCA Consulting Oy:n (2018) selvityksen perusteella biojätteen biologisesta käsittelystä aiheutuneet happamoittavat päästöt olivat suurempia kuin mitä biojätteiden hyödyntämisellä voitaisiin välttää. Suurin selittävä tekijä oli kompostoinnista ilmaan vapautuva ammoniakkipäästö. Vastaavasti myös poltosta aiheutui enemmän happamoittavia päästöjä kuin energiahyödyntämisellä voitiin välttää. (LCA Consulting Oy 2018.) Tulokset erosivat Sundströmin et al. (2014) tuloksista, joissa päästöhyvitykset olivat hieman suuremmat kuin aiheutuneet päästöt. Merkittävä selittävä tekijä oli, että LCA Consulting Oy:n selvityksessä korvattava energia oli vähäpäästöisempää kuin Sundströmin et al. (2014) käyttämä. LCA Consulting Oy:n (2018) selvityksessä myös biojätteiden biologisesta käsittelystä aiheutuvat happamoittavat päästöt olivat huomattavasti suurempia kuin Sundströmin et al. (2014) vastaavat. LCA Consulting Oy:n selvityksessä arvioitiin jälkikompostoinnista vapautuvan enemmän ammoniakkia ilmaan kuin Sundströmin et al. (2014) selvityksessä. Kompostoinnista vapautuvan ammoniakin voidaan todeta vaikuttavan merkittävästi biojätteen käsittelyn happamoitumisvaikutuksiin.

Pääkaupunkiseudun biojätteen rehevöitymisvaikutukset on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Pääkaupunkiseudun erilliskerätyn biojätteen rehevöitymisvaikutukset (vasemmalla) ja sekajätteen seassa olevalle biojätteelle allokoituvat rehevöitymisvaikutukset (oikealla) vaihtoehtoisilla velvoiterajoilla (LCA Consulting Oy 2018).

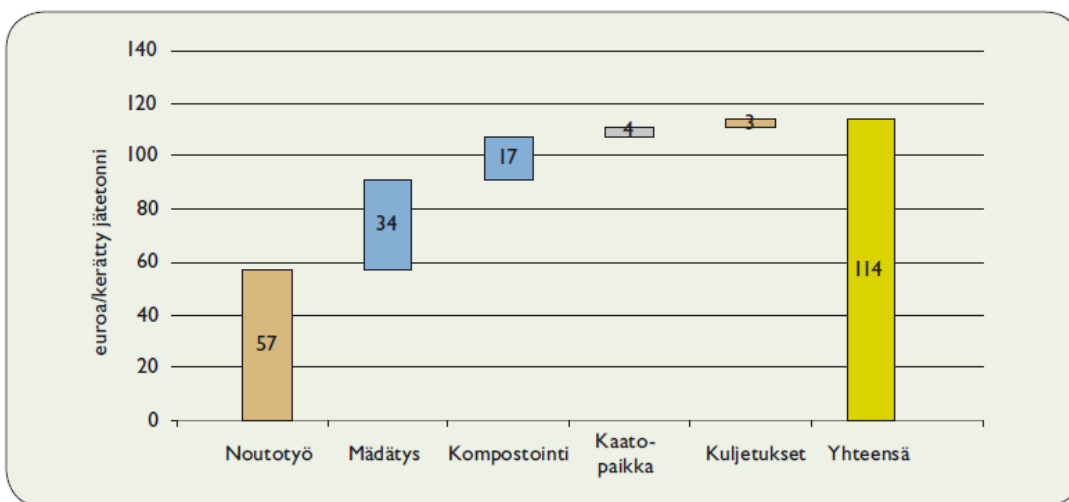
LCA Consulting Oy:n (2018) selvityksen perusteella merkittävien rehevöitymisvaikutuksiin vaikuttava tekijä oli biojätteen käsittelystä aiheutuneet päästöt. Rehevöittäviä päästöjä aiheutuu pääosin typpipäästöistä, jotka syntyvät, kun osa biojätteen sisältämästä tyyppistä vapautuu kompostointiprosessin aikana ilmaan. Sekajätteessä olevan biojätteen rehevöitymisvaikutukset ovat selvityksen mukaan biologisesta käsittelystä aiheutuvia vaikutuksia huomattavasti pienemmät, sillä jätevoimalan typpipäästöt saadaan paremmin talteen kuin biologisen käsittelyn. Myös poltossa rehevöittäviä päästöjä syntyi enemmän kuin energiahyödyntämisellä voitiin välttää. (LCA Consulting Oy 2018.) Tulokset erosivat Sundströmin et al. (2014) selvityksestä, jossa biojätteen käsittelyn rehevöitymisvaikutus oli erittäin pieni. Sundströmin et al. (2014) selvityksessä suurimman rehevöittävän vaikutuksen todettiin aiheutuvan turpeenotolla ja lannoitevalmistuksella. Erilaiset tulokset LCA Consulting Oy:n (2018) ja Sundström et al. (2014) välillä johtuivat erilaisista mallinnuksessa käytetyistä inventaariotiedoista.

2.3.2 Merkittäviä kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä

Biojätteen kierrätyskustannuksia syntyy erilaisista käsittelyn vaatimista investoinneista sekä muutuvista, esimerkiksi jäteastiatyhjennyksiin ja kerättyyn jätemäärään kytköksissä olevista kustannustekijöistä.

Muuttuvia kustannuksia biojätteen elinkaaren aikana syntyy keräyksestä ja biojätteen käsittelystä. Keräysurakoitsijalle maksettava korvaus on usein astiatyhjennysmääriin sidottu kustannus. Lisäksi keräyksestä aiheutuu muita ylimääräisiä kustannustekijöitä. Biojätteen käsittelyn kustannuksia ovat muun muassa henkilöstökulut, energiankulutus, polttoaineenkulutus jne. Vastaavasti tuloja voidaan saada biojätteestä tuotetun biokaasun myynnistä, biokaasulla tuotetun energian tai polttoaineen myynnistä sekä mahdollisesti mädätteen tai kompostin myynnistä sellaisenaan tai loppu- tuotteeksi jalostettuna.

Myllymaan et al. (2008) selvityksessä tarkasteltiin biojätteen hyödyntämisketjun kustannusten jakautumista eri käsittely- ja hyödyntämisvaiheisiin. Laadittu kustannusjakauma on esitetty kuvassa 5.

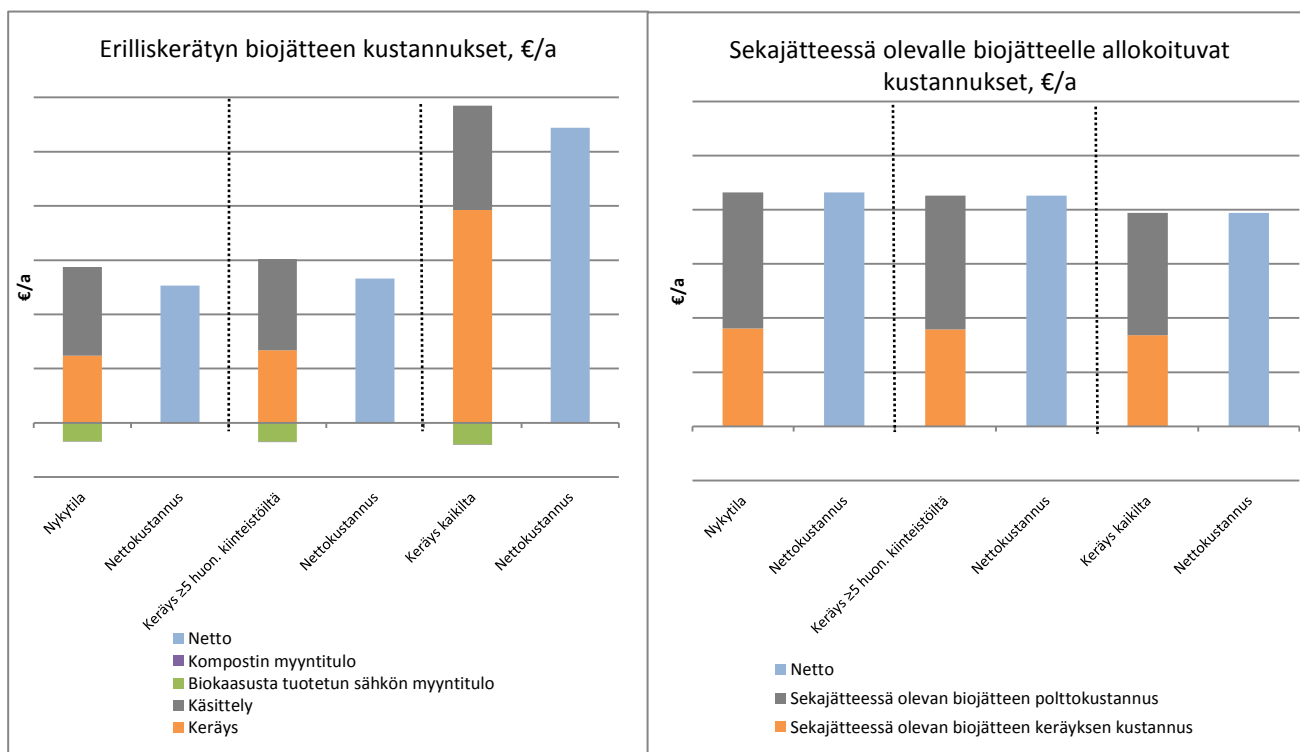


Kuva 5. Biojätteen hyödyntämisketjun kustannusten jakautuminen, kun biojäte mädätetään ja kompostoidaan (Myllymaa et al. 2008).

Myllymaan et al. (2008) tutkimus on julkaistu kymmenen vuotta ennen tämän tutkimuksen valmistumista, joten osa käytetyistä tiedoista ja tehdyistä oletuksista on jo vanhentunut. Esimerkiksi kaatopaikkakustannuksia ei biojätteestä nykyään aiheudu, koska biojätteen kaatopaikkasijoitus on kielletty Suomessa (Vna 331/2013). Tästä huolimatta Myllymaan et al. (2008) tuloksista saadaan suuntaa-antavaa tietoa kustannusten jakautumisesta biojätteen keräyksen ja käsittelyn eri vaiheissa. Näissä selvityksen tuloksissa ei ole esitetty mahdollisia myyntituloja biokaasusta, mädätetuotteesta tai multatuotteesta.

LCA Consulting Oy:n vuonna 2017 toteuttamassa selvityksessä Erilliskeräyksen optimointi Pirkanmaan Jätehuolto Oy:n alueella havaittiin, että Tampereella biojätehuollon nykytilassa (velvoiterajalla 5) biojätteen keräyksen ja kuljetusten kustannukset olivat yli kaksi kertaiset kuin käsittelyn kustannukset (LCA Consulting Oy 2017a). Tämä on suurempi keräyksen ja käsittelyn välinen kustannusten suhdeluku kuin Myllymaan et al. (2008) selvityksessä (Kuva 5). Ero näiden kahden selvityksen tulosten välillä voi johtua käytetyistä lähtöarvoista ja oletuksista sekä erilaisesta keräysalueesta. LCA Consulting Oy:n (2017a) selvityksessä laskettiin biojätteen keräyksen ja kuljetuksen kustannukset myös harvaan asutulle Mänttä-Vilppulalle. Mänttä-Vilppulassa keräyksen ja kuljetuksen kustannukset olivat yli kuusi kertaiset suuremmat kuin biojätteen käsittelyn kustannukset.

LCA Consulting Oy tarkasteli biojätteen keräyksen ja käsittelyn kustannuksia myös pääkaupunkiseudulla HSY:lle laaditussa selvityksessä vuonna 2018. Kustannustulokset on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Pääkaupunkiseudun erilliskerätyn biojätteen kustannukset (vasemmalla) ja sekajätteen seassa olevalle biojätteelle allokoituvat kustannukset (oikealla) vaihtoehtoisilla velvoiterajoilla (LCA Consulting Oy 2018). Kustannukset on esitetty jätehuoltoyhtiölle allokoituvina kustannuksina. Nettokustannus kertoo, kuinka paljon kustannuksia tulee kokonaisuudessaan kompensoida esimerkiksi asukkailta perittävänä jätemaksuina.

Pääkaupunkiseudulla erilliskeräyksestä ja käsittelystä aiheutuneet kustannukset olivat nykytilassa lähes yhtä suuret. Tulos on vastaava kuin Myllymaan et al. (2008) selvityksessä esitetty tulo. Tampereelle lasketut tulokset poikkeavat edellistä, sillä Tampereella keräyksestä aiheutuneet kustannukset olivat huomattavasti biologista käsittelyä suuremmat (LCA Consulting Oy 2017a). Ero johtuu pääosin siitä, että vuoden 2018 selvityksessä HSY:n käsittelykustannuksiin sisältyi myös investointien kuoletus. Lisäksi biojäteastian tyhjennyshinta oli Tampereella suurempi kuin pääkaupunkiseudulla. Erilliskeräystä laajennettaessa yhä useammalle kiinteistölle keräyksen suhteellinen osuus kokonaiskustannuksista kasvaa.

LCA Consulting Oy:n (2018) elinkaariarviointi osoittaa, että biojätteestä saatavien lopputuotteiden eli biokaasun ja mädätteen tai kompostin mynnistä saatavilla tuloilla ei voida kattaa kuin pieni osa keräyksen ja käsittelyn kustannuksista. Kustannukset on katettava muilla tuloilla, pääosin asukkailta perittävillä jätemaksuilla.

Jätteenkeräyksen kustannukset riippuvat paljon siitä, kuinka paljon keräysalueella tehdään astiatyhjennyksiä. Astiatyhjennysten määrä riippuu suoraan keräyspisteiden määrästä ja kuinka usein astiat tyhjenetään. Kun erilliskeräystä laajennetaan, eli velvoiterajaa kiristetään, jäteauto-

jen ajot lisääntyvät ja jäteastiatyhjennysten lukumäärä kasvaa. Tämä lisää keräyksen kustannuksia. Samalla biojätekeräys kasvaa, mikä lisää myös käsittelyn kustannuksia. Toisaalta saatavat myyntitulot lopputuotteista voivat lisääntyä erilliskerättävän biojätekeräyksen kasvaessa. Laajempi keräys vähentää myös biojätteen määrää sekajätteen joukossa, jolloin sekajätteestä maksettava jätevoimalan porttimaksu pienenee.

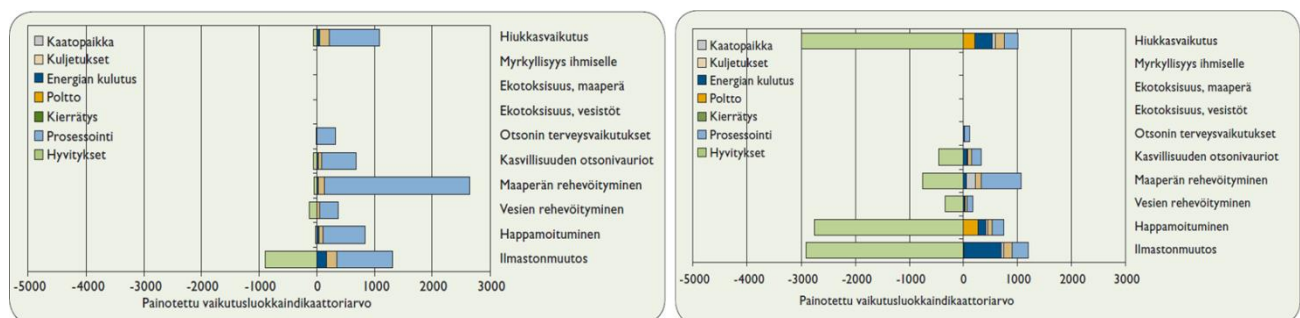
2.3.3 Vaihtoehtoisten käsittelytapojen vertailu

Kotitalouksissa syntyvä biojäte ja laadultaan siihen rinnastettava hallinto-, palvelu- ja elinkeinotoiminnassa syntyvä biojäte voidaan käsitellä lukuisin eri tavoin. Yleisimpiä käsittelymenetelmiä ovat kompostointi, mädätys biokaasulaitoksessa ja poltto jätevoimalassa. Orgaanista ainesta sisältävän materiaalin loppusijoittamista kaatopaikoille on rajoitettu alkaen 1.1.2016 (Vna 331/2013). Valtioneuvoston asetuksen (331/2013) mukaan biojätteen kaatopaikkasijoittaminen ei ole enää mahdollista, joten sitä ei tarkastella tässä selvityksessä.

2.3.3.1 Mädätys ja kompostointi

Ympäristövaikutukset

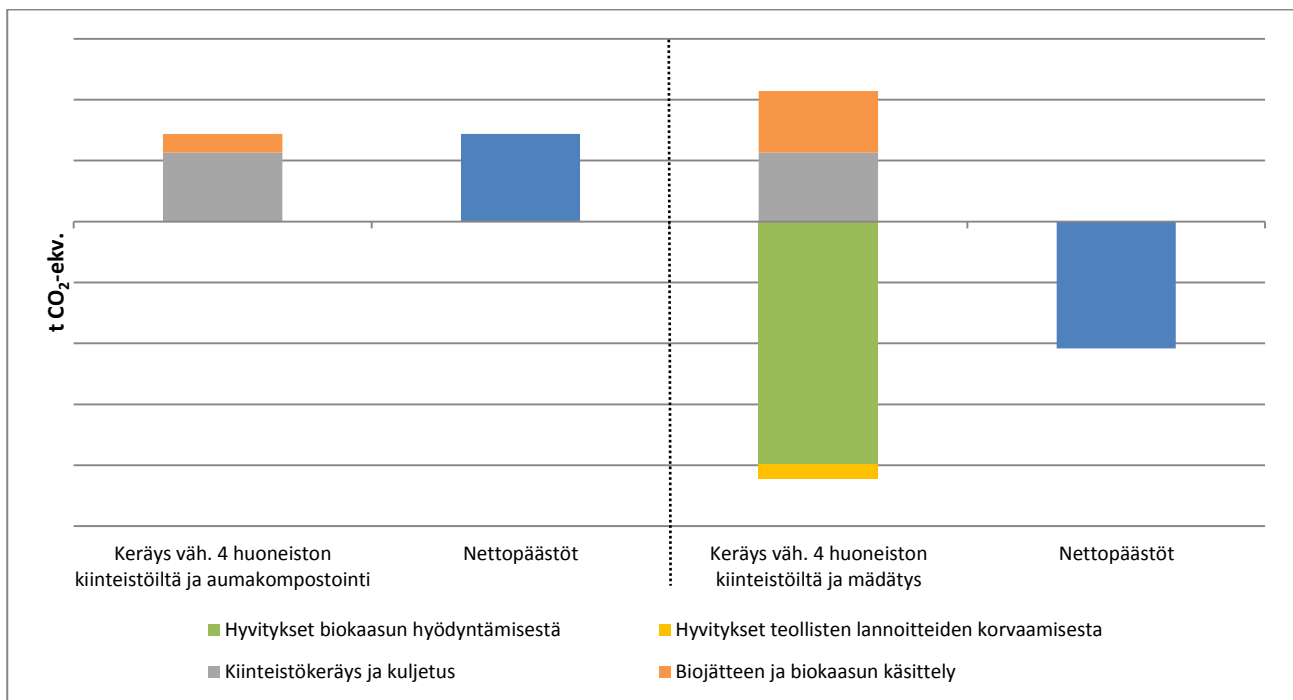
Biojätteiden vaihtoehtoisten käsittelytapojen aiheuttamia ympäristövaikutuksia on arvioitu muun muassa Myllymaan et al. (2008), Virtavuoren (2009) ja Sevanderin (2010) sekä LCA Consulting Oy:n (2015–2018) selvityksissä. Kuvassa 7 on esitetty Myllymaan et al. (2008) ympäristövaikutustuloksia sekä kompostoinnille että mädätykselle.



Kuva 7. Vasemmalla ympäristövaikutukset, kun biojäte kompostoidaan ja lopputuote korvaa viherrakentamisessa käytettyä turvetta. Oikealla ympäristövaikutukset, kun biojäte mädätetään, kompostoidaan ja lopputuotteet hyödynnetään energiantuotannossa ja viherrakentamisessa. (Myllymaa et al. 2008.)

Kuvasta 7 nähdään, että ilmastonmuutoksen, hiukkasvaikutusten, maaperän ja vesistöjen rehevöitymisen, happamoitumisen ja otsonin terveysvaikutusten osalta biojätteen mädätys ja syntyvän mädätteen kompostointi oli Myllymaan et al. selvityksessä pelkkää biojätteen kompostointia parempi vaihtoehto. Merkittävin tekijä oli, että kaikissa lasketuissa ympäristövaikutusluokissa biojätteen mädätyksellä saavutettiin huomattavasti suuremmat päästöhyvitykset kuin kompostoinnilla.

LCA Consulting Oy:n (2017c) Yhdyskuntajätteen keräyksen ja käsittelyn elinkaariarviointi Pohjois-Suomen alueella -selvityksessä arvioitiin, kuinka paljon Perämeren Jätehuolto Oy:n kunnissa syntyvän biojätteen käsittelytavan vaihtaminen nykyisestä aumakompostoinnista biokaasulaitoskäsittelyyn vaikuttaa ilmastonlämpenemisvaikutuksen suuruuteen. Tulokset Tornion osalta on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Tornion biojätteen keräyksen ja käsittelyn ilmastonlämpenemisvaikutus nykytilanteessa (käsittely aumakompostoimalla) ja skenaariossa, jossa biojäte käsiteltäisiin Oulussa biokaasulaitoksella (LCA Consulting 2017d).

Tornion kunnalle lasketuissa tuloksissa keräys- ja käsittelyvaiheiden ilmastonlämpenemisvaikutusten suhteelliset osuudet eroavat jonkin verran Myllymaan et al. (2008) tuloksista (Kuva 7). Erot johtuvat erilaisista tarkastelualueista ja niille ominaisista laskentaparametreista. Molempien selvitysten tuloksista voidaan silti tehdä sama johtopäätös: kompostoinnissa syntyy enemmän päästöjä kuin lopputuotteiden hyödyntämisellä pystytään saavuttamaan päästöhyvityksiä. Sen sijaan mädätyksen lopputuotteiden hyödyntämisellä voidaan välttää enemmän päästöjä kuin keräys- ja käsittely aiheuttavat.

Elinkaariselvityksien perusteella voidaan todeta, että käsittelemällä biojäte biokaasulaitoksella voidaan saavuttaa suuremmat ympäristöhyödyt kuin pelkällä kompostoinnilla. Suurin selittävä tekijä on, että mädätyksellä tuotettu biokaasu voidaan hyödyntää polttoaineena, jolloin vähennetään fossiilisten polttoaineiden valmistuksen ja käytön aiheuttamia päästöjä. Tällä on suuri merkitys, erityisesti ilmastonlämpenemisvaikutusten näkökulmasta.

Biokaasun ja mädätysjäännöksen hyödyntämisessä on myös huomattavia tapauskohtaisia eroja. Tuotettaessa biokaasulla sähköä ja lämpöä, sähkö saadaan usein hyödynnettyä esimerkiksi myymällä se sähköverkkoon tai käyttämällä se omassa toiminnassa. Tuotettua lämpöenergiaa ei kui-

tenkaan saada aina täysin hyödynnettyä. Hyödyntämättä jääneelle lämpöenergialle ei myöskään lasketa päästöhyvityksiä. (Sevander 2010; Sundström et al. 2014).

Kustannukset

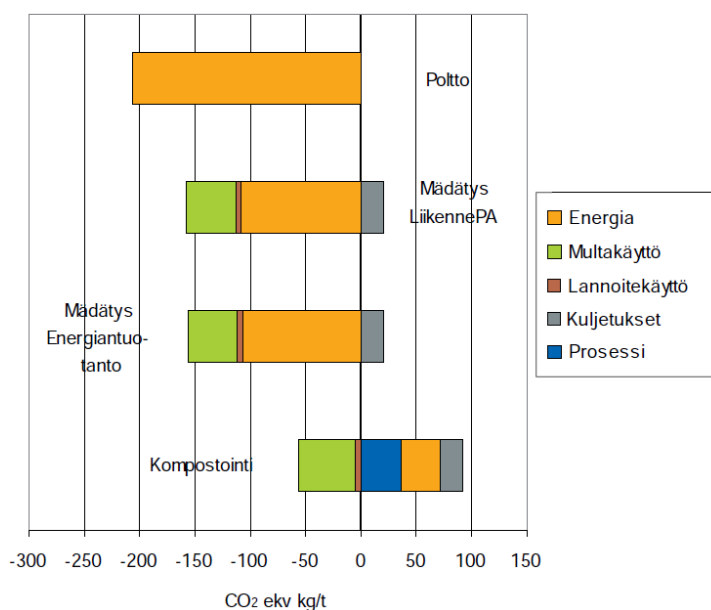
Myllymaan et al. (2008) selvityksessä tarkasteltiin myös kustannuksia vaihtoehtoissa, joissa biojäte kompostoitui suoraan tai mädätettiin ja syntynyt mädäte kompostoitui. Kaikki tarkasteltavat kustannuserät huomioiden biojätteen hyödyntämisketjun kokonaiskustannus oli mädätyksen ja kompostoinnin yhdistelmällä noin 20 % pienempi kuin pelkällä biojätteen kompostoinnilla. Tulos johtui siitä, että mädätyksen käsittelykustannus oli syötetonnin kohden 34 €/t, mikä oli merkittävästi alhaisempi kuin kompostoinnin kustannus 73 €/t. (Myllymaa et al. 2008.)

2.3.3.2 Biologinen käsittely ja poltto

Ympäristövaikutukset

Suurin osa yhdyskuntajätteeksi luokiteltavasta biojätteestä ohjautuu tällä hetkellä sekajätteen mukana polttoon. Tällöin biojätteestä tuotetaan energiaa (sähköä, lämpöä ja höyryä), jolla voidaan korvata muita energiamuotoja ja saada päästöhyvityksiä.

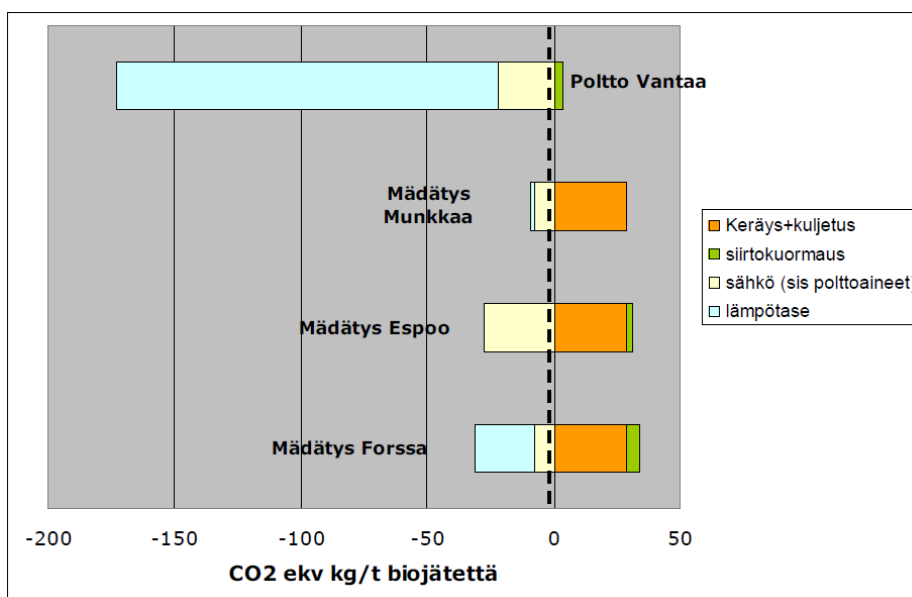
Biojätteen erilliskeräystä ja mädätystä on verrattu sekajätteen mukana tapahtuvaan polttoon esimerkiksi seuraavissa suomalaisissa selvityksissä: Virtavuori (2009), Sevander (2010), Knuutila (2012), Sundström et al. (2014) sekä LCA Consulting Oy (2016a; 2016b; 2017a; 2017b; 2017c; 2018). Kuvassa 9 on esitetty Virtavuoren (2009) vertailevia tuloksia ilmastolämpenemisvaikutusten näkökulmasta poltolle ja mädätykselle sekä kompostoinnille.



Kuva 9. Pääkaupunkiseudun biojätteen käsittelyvaihtoehtojen kasvihuonekaasupäästöt (Virtavuori 2009).

Kuvassa 9 esitetyt Virtavuoren (2009) tulokset ovat samankaltaisia kuin muista suomalaisista elinkaariselvityksistä saadut tulokset. Selvityksissä biojätteen poltolla sekajätteen mukana on saavutettu ilmastolämpenemisen kannalta suuremmat päästöhyödyt kuin erilliskeräyksellä ja mädätyksellä. Virtavuoren (2009), Sevanderin (2010), Knuutilan (2012) ja Sundströmin et al. (2014) selvityksissä on oletettu, että jätevoimalassa biojätteellä tuotetulla energialla on korvattu pääosin fossiilisia polttoaineita, usein kivihiiltä. Tällä oletuksella on ollut merkittävä vaikutus tuloksiin.

Kuvassa 10 on esitetty Sevanderin (2010) vertailevia tuloksia ilmastolämpenemisvaikutusten näkökulmasta poltolle ja vaihtoehtoille mädätysvaihtoehdoille.



Kuva 10. Vaihtoehtoisten biojätteenkäsittelyprosessien aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt käsiteltävää biojätetonnina kohden (Sevander 2010).

Sevanderin (2010) selvityksessä kaikkien mädätysvaihtoehtojen osalta biokaasusta tuotetulle lämmölle ei löytynyt kunnolla kysyntää. Tästä syystä kaikille mädätysvaihtoehdoille keräys ja käsittely aiheuttivat enemmän kasvihuonekaasupäästöjä kuin biokaasun hyödyntämisellä saatiin vältettyä. Kuvassa 10 polttovaihtoehto näyttää mädätysvaihtoehtoihin verrattuna erityisen suotuisalta kasvihuonekaasupäästöjen näkökulmasta. (Sevander 2010.)

Elinkaariselvityksissä biojätteen poltolla on saavutettu suuremmat kasvihuonekaasupäästöhyödyt kuin mädätyksellä, mikäli jätevoimalassa tuotetulle energialle on ollut korkea hyötykäyttöaste ja tuotetulla energialla on korvattu pääosin fossiililla polttoaineilla tuotettua energiaa. Se, millä polttoaineilla korvattava energiantuotanto on selvityksissä oletettu tuotettavan, vaikuttaa merkittävästi aiheutuviin päästöhyvityksiin ja sitä kautta kokonaistuloksiin.

Pariisin ilmastopöytäkirjan, EU:n ilmastotavoitteiden ja kansallisten energia- ja ilmastotavoitteiden johdosta fossiilisten polttoaineiden käytön osuuden pitäisi tulevina vuosina pienentyä energiantuotannossa. Siten energiantuotannosta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt tuotettua energiaa kohden ovat hyvin todennäköisesti huomattavasti alhaisemmat kuin tarkasteltujen elinkaariarvi-

ointien aikana. Näin ollen energiantuotannosta saatavat hyvitykset pienenevät tulevaisuudessa. Joissakin selvityksissä energiatuotannon muutos on huomioitu ja ympäristövaikutuksia on arvioitu vaihtoehtoisille energiatuotantorakenteille.

LCA Consulting Oy:n (2017c) Yhdyskuntajätteen keräyksen ja käsittelyn elinkaariarviointi Pohjois-Suomen alueella -selvityksessä tarkasteltiin tilannetta, jossa Oulun Energian nykyinen pääosin turpeeseen perustuva kaukolämmöntuotanto korvattiin lämmöntuotannolla, jonka päästökerroin vastasi Suomen keskimääräistä kaukolämmön tuotantoa. Tällöin biojätteen mädätyksellä havaittiin saavutettavan suuremmat päästöhyödyt ilmastolämpenemisen näkökulmasta kuin biojätteen poltolla sekajätteen mukana.

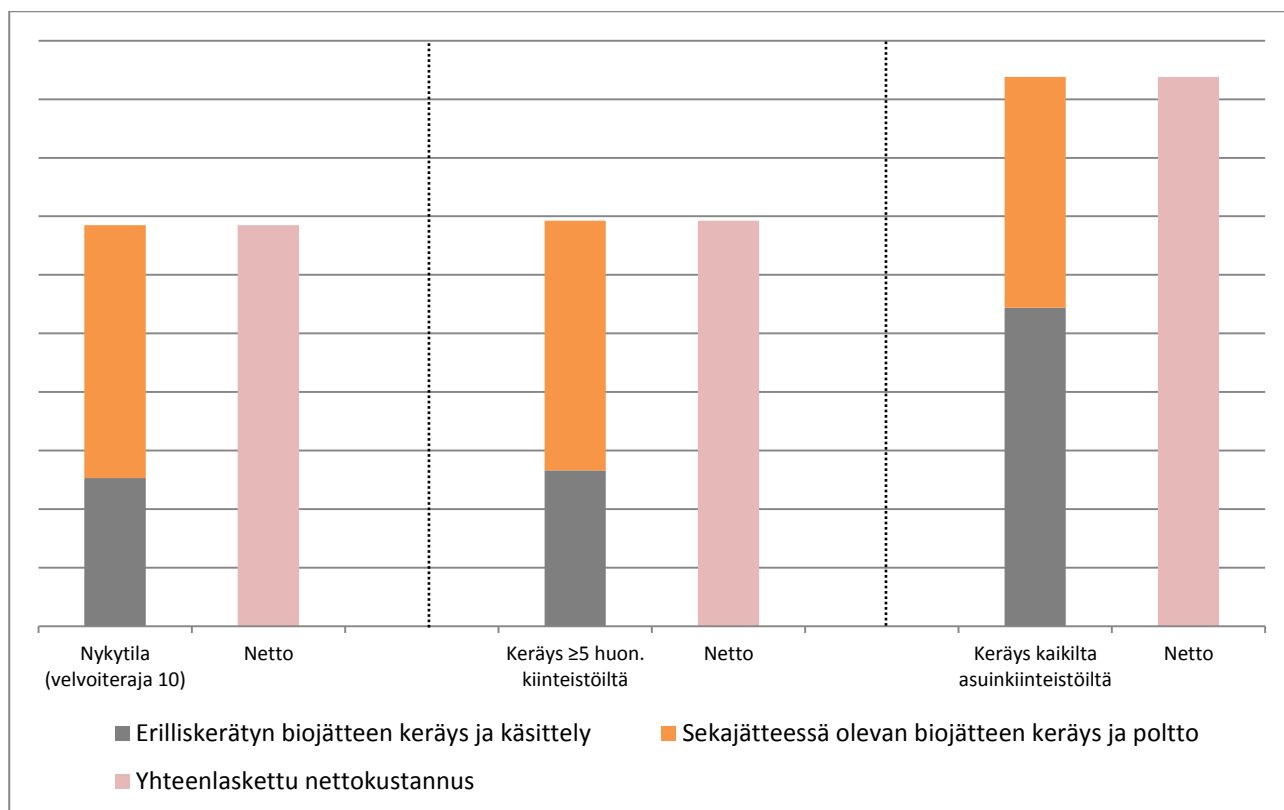
Kemin kaupungin osalta LCA Consulting Oy:n (2017c) selvityksessä tarkasteltiin tilannetta, jossa biojätteen erilliskeräysvelvoite laajennettiin kaikille kunnan kiinteistöille ja biojätteet oletettiin toimitettavan Oulun biokaasulaitokselle mädätykseen. Kun biojätteestä jätevoimalassa ja biokaasulaitoksella tuotetun energian oletettiin korvaavan Suomen keskimääräistä sähkön- ja lämmön- tuotantoa, biojätteen erilliskeräysvelvoitteen laajentaminen jopa kaikille kunnan asuinkiinteistöille tuotti ilmastolämpenemisen näkökulmasta suuremmat ympäristöhyödyt kuin jätteenpolto. (LCA Consulting Oy 2017c.)

Sundströmin et al. (2014) selvityksessä tarkasteltiin ilmastolämpenemisvaikutusten lisäksi myös neljää muuta ympäristövaikutusluokkaa. Näistä viidestä ympäristövaikutusluokasta vain rehevöitymisvaikutusten näkökulmasta biologinen käsittely, eli mädätys ja kompostointi, osoittautui paremmaksi käsittelyvaihtoehdoksi kuin energiahyödyntäminen.

Myös LCA Consulting Oy:n (2018) selvityksessä tarkasteltiin biojätteen erilliskeräystä ja biologista käsittelyä sekä polttoa ilmastolämpenemisen lisäksi myös happamoitumisen ja rehevöitymisen sekä ravinnekierrätyksen näkökulmista. Tässä selvityksessä biojätteen biologisen käsittelyn ja polton ilmastolämpenemisvaikutukset olivat hyvin lähellä toisiaan. Rehevöitymis- ja happamoitusvaikutusten näkökulmasta energiahyödyntäminen osoittautui biologista käsittelyä paremmaksi vaihtoehdoksi. Ravinteiden talteenoton ja kierrätyksen näkökulmasta oli selvää, että biojätteet tulisi ohjata biologiseen käsittelyyn polton sijaan, sillä poltossa ravinteita ei saada talteen. (LCA Consulting Oy 2018.) Sundströmin et al. (2014) ja LCA Consulting Oy:n (2018) tuloksia ei voida suoraan käyttää juuri mädätyksen ja polton vertailuun, sillä Sundströmin selvityksessä 30 % ja LCA Consulting Oy:n selvityksessä 40 % biojätteestä ohjautui mädätyksen sijaan suoraan kompostointiin.

Kustannukset

Myllymaan et al. (2008) selvityksessä todettiin, että biojätteen laitostekompostoinnin yksikkökustannukset kompostoitavaa tonnia kohden olivat yhtä suuria kuin polttolaitosten kustannukset. Myllymaan et al. (2008) selvityksessä tarkasteltiin yhteiskunnallisia kustannuksia. Jätehuoltoyhtiöille kohdistuvia kustannuksia on laskettu esimerkiksi LCA Consulting Oy:n selvityksissä (2016b; 2017a; 2017b; 2018). Kuvassa 11 on esitetty pääkaupunkiseudun biojätteen keräyksen ja käsittelyn kustannuksia tarkastelluilla vaihtoehtoisilla erilliskeräyksen velvoiterajoilla (LCA Consulting Oy 2018).



Kuva 11. Pääkaupunkiseudulta erilliskerätyn biojätteen ja sekajätteessä olevan biojätteen keräys- ja käsittelykustannukset sekä näistä yhteenlasketut kokonaiskustannukset tarkastelluilla keräysvelvoitearajoilla (LCA Consulting 2018).

LCA Consulting Oy:n (2018) selvityksessä erilliskerätyn biojätteen käsittelyn kustannukset laskettiin tilanteelle, jossa biojätettä käsitellään sekä biokaasulaitoksella että kompostointilaitoksella ja jossa jäte lopuksi vielä jälkikompostoidaan. Noin 60 % pääkaupunkiseudun biojätteestä ohjautui mädätykseen ja 40 % suoraan kompostointiin. Nykytilassa suurimman osan, laskennallisesti noin 64 %, pääkaupunkiseudun asukkaiden biojätteistä päätyy sekajätteen seassa polttoon Vantaan Energian jätevoimalaan. Tonnikohtaisesti (€/t käsiteltyä biojätettä) biojätteen erilliskeräyksen ja biologisen käsittelyn kustannukset olivat lähes yhtä suuret kuin sekajätteessä olevalle biojätteelle allokoituvat keräys- ja polttokustannukset.

2.3.4 Vaihtoehtoisten keräysvelvoitteiden vertailu

Keräyksen laajuutta määritellään usein kiinteistökeräyksen velvoitearajojen avulla, jolla määritellään kuinka monen asunnon kiinteistöt kuuluvat erilliskeräyksen piiriin. Kuntakohtaisen velvoitearajan päättää kunkin jätehuoltoalueen jätehuoltoviranomainen jätehuoltomääräyksissä. Koska päätetty velvoitearaja määrittää kuinka paljon kuntakohtaisesti biojätettä kerätään, jätehuoltoalueiden jätehuoltomääräyksillä vaikutetaan suoraan koko Suomen biojätteen kierrätysasteeseen. Taulukoon 3 on kirjattu biojätteen erilliskeräyksen velvoitearajat suomalaisten jätehuoltoyhtiöiden alueella.

Taulukko 3. Kiinteistön huoneistomäärään sidotut biojätteen lajittelu- ja keräysvelvoitteet Suomessa keväällä 2018.

Jätehuoltoyhtiö	Velvoiteraja	Jätehuoltoyhtiö	Velvoiteraja
Botniasrosk Oy Ab	ei määritelty	Millespakka Oy	kaikki kiinteistöt
Ekorosk Ab Oy	kaikki kiinteistöt	Mustankorkea Oy	kaikki kiinteistöt
Ekokymppi	kaikki kiinteistöt	Napapiirin Residuum Oy	≥ 5
Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy	kaikki kiinteistöt	Nurmijärven kunta	≥ 5
Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä	≥ 10	Perämeren Jätehuolto Oy	≥ 4
Jämsän Jätehuolto liikelaitos	≥ 5	Pirkanmaan Jätehuolto Oy	≥ 5
Jätekuikko Oy	≥ 5	Porin Jätehuolto	≥ 5
Keski-Savon Jätehuolto liikelaitoskuntayhtymä	≥ 5	Puhas Oy	≥ 3
Kiertokapula Oy	≥ 5	Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy	≥ 10
Kiertokaari Oy	≥ 4	Rauman seudun jätehuoltolaitos	kaikki kiinteistöt
Kymenlaakson Jäte Oy	≥ 3	Rosk'n'Roll Oy Ab	≥ 5
Lakeuden Etappi Oy	≥ 5	Sammakkokangas Oy	kaikki kiinteistöt
Lapin Jätehuolto kuntayhtymä	ei määritelty	Savonlinnan Seudun Jätehuolto Oy	kaikki kiinteistöt
Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy	≥ 5	Stormossen Ab Oy	≥ 5
Lounais-Suomen Jätehuolto Oy	≥ 10	Vestia Oy	≥ 10
Metsäsairila Oy	≥ 4	Ylä-Savon Jätehuolto Oy	≥ 5

Huom. Biojätteen osalta "kaikki kiinteistöt" ei välttämättä sisällä biojätteen erilliskeräystä kaikilta kiinteistöiltä, koska kiinteistöt voivat usein vapautua kiinteistökeräyksestä kompostoimalla itse biojätteensä.

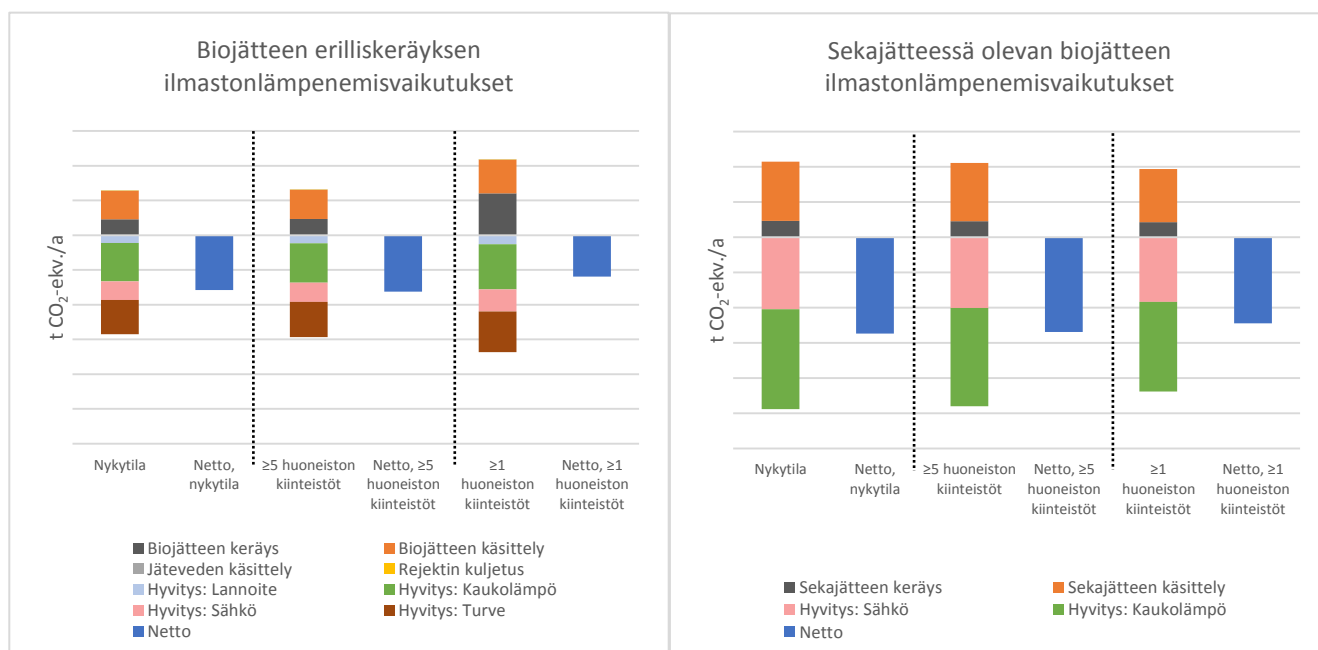
Kahden jätelaitoksen toimialuetta lukuun ottamatta biojätteen lajittelu- ja erilliskeräysvelvoitteelle on asetettu jokin velvoiteraja. Useilla alueilla biojätteen lajitteluvuote koskee kaikkia asuinkiinteistöjä. Tällöin kiinteistön tulee joko kuulua järjestettyyn biojätteen keräysverkkoon tai ilmoittaa jätehuoltoyhtiölle kompostoivansa biojätteensä itse. Suurista jätehuoltoyhtiöistä HSY, Lounais-Suomen Jätehuolto Oy:llä, Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy:llä ja Vestia Oy:llä keräysvelvoite koskee vähintään 10 huoneiston kiinteistöjä, eli niissä on korkeampi velvoiteraja kuin valtaosassa muuta Suomea.

2.3.4.1 Ympäristövaikutukset

Aiemmin esitettyssä taulukossa 1 listattiin Suomessa tehtyjä biojätteen elinkaariarviointeja, joista useissa on tarkasteltu, millaisia ympäristövaikutuksia biojätteen erilliskeräyksen velvoiterajojen muuttamisella olisi erilaisilla alueilla Suomessa. Aiemmin tässä selvityksessä todettiin, että suomalaisissa elinkaariselvityksissä biojätteen poltto sekajätteen mukana on usein osoittautunut ympäristövaikutuksiltaan paremmaksi vaihtoehdoksi kuin erilliskeräys ja biologinen käsittely. Mahdollis-

simman väljällä keräysvelvoitteella kasvihuonekaasupäästöjen kokonaistase on ollut parempi kuin tilanteessa, jossa keräysvelvoitetta on kiristetty. (Virtavuori 2009; Savander 2010; Knuutila 2012; Sundström et al. 2014; LCA Consulting Oy 2016a-2018.) Sundströmin et al. (2014) selvityksessä havaittiin, että rehevöitymisen näkökulmasta velvoiterajalla 5 saavutettiin suuremmat hyödyt kuin velvoiterajoilla 10 tai 20 (Sundström et al. 2014).

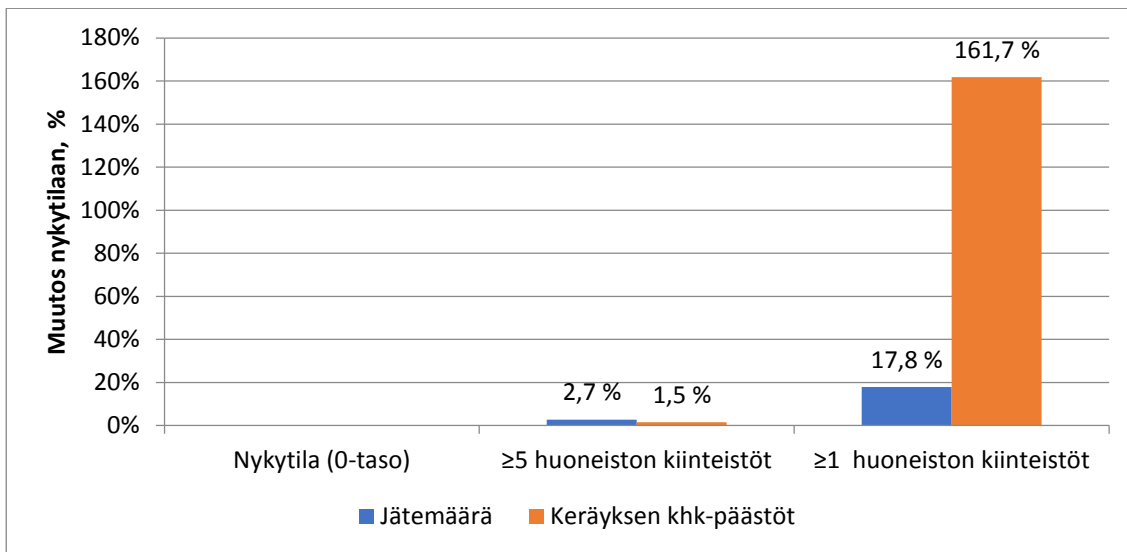
Kuvassa 12 on esitetty LCA Consulting Oy:n (2018) selvityksessä lasketut ilmastolämpenemisvaikutukset pääkaupunkiseudun biojätteiden keräykselle ja käsittelylle eri velvoiterajoilla.



Kuva 12. Pääkaupunkiseudun erilliskerätyn biojätteen ilmastolämpenemisvaikutukset (vasemmalla) ja sekajätteen seassa olevalle biojätteelle allokoituvat ilmastolämpenemisvaikutukset (oikealla) vaihtoehtoisilla velvoiterajoilla (LCA Consulting Oy 2018).

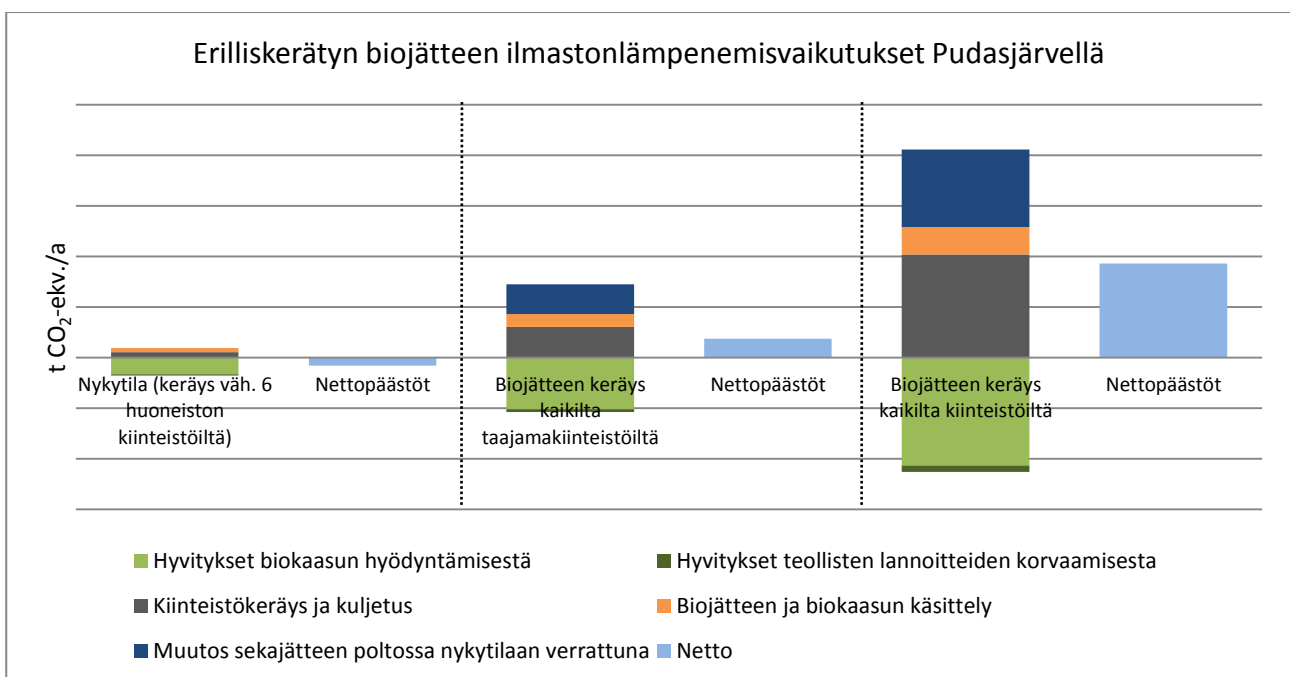
Pääkaupunkiseudulla 5-9 huoneiston kiinteistöjen osuus kaikista kiinteistöistä on hyvin pieni. Tällöin biojätteen erilliskeräyksen laajentaminen vähintään 5 huoneiston kiinteistöille ei lisää merkittävästi biojätteen saantoa, eikä myöskään muuta merkittävästi ympäristövaikutuksia nykytilaan verrattuna. Laajennettaessa keräys kaikille asuin-kiinteistöille keräyksen kasvihuonekaasupäästöt kasvavat huomattavasti enemmän kuin erilliskerätyn biojätteen hyödyntämisellä voidaan saavuttaa päästöhyvityksiä. Tällöin velvoiterajalla 1 (keräys kaikilta kiinteistöiltä) ympäristövaikutukset ovat nykytilaa ja velvoiterajaa 5 suuremmat eikä biojätteen erilliskeräyksen laajentaminen ole ilmastolämpenemisen näkökulmasta perusteltua. (LCA Consulting Oy 2018.)

LCA Consulting Oy:n (2018) selvityksen perusteella erilliskeräyksen velvoiterajan laajentaminen kaikille kiinteistöille kasvatti keräyksestä aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä nykytilaan nähden lähes kolminkertaisiksi. Erilliskerätyn biojätteen määrä ja siihen korreloivat päästöhyvitykset eivät kuitenkaan kasvaneet samassa suhteessa. Tätä eroa on havainnollistettu kuvassa 13, jossa esitetään miten erilliskerätyn biojätteen määrä ja keräyksestä aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt kasvavat suhteessa toisiinsa velvoiterajaa kiristettäessä.



Kuva 13. Pääkaupunkiseudun biojättemäärässä ja erilliskeräyksen päästöissä tapahtuva muutos kiristettäessä nykyistä velvoiterajaa (≥10 huon. kiinteistöt) velvoiterajalle 5 ja velvoiterajalle 1. Nykytilalle lasketut biojättemäärät ja keräyksen kasvihuonekaasupäästöt on määritetty 0-tasoksi. (LCA Consulting Oy 2018)

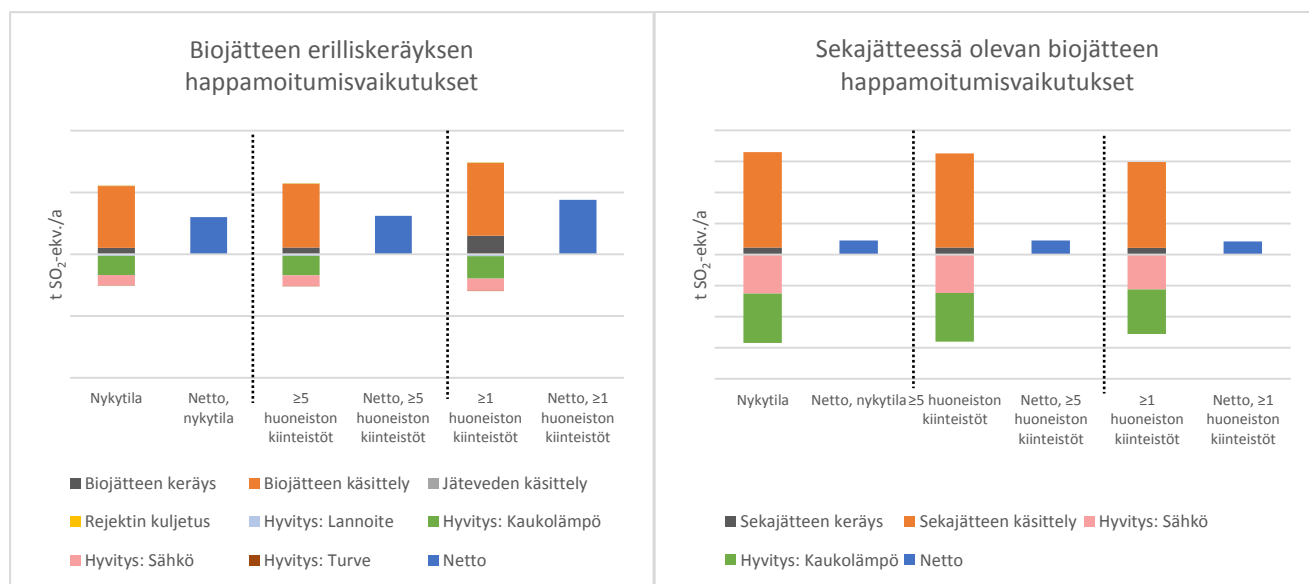
Kuva 13 havainnollistaa, että keräyksestä aiheutuvat päästöt kasvavat merkittävästi suhteessa kerätyn biojätteen määrään, mikäli keräystä laajennetaan koskemaan myös omakotitaloja (LCA Consulting Oy 2016–2017). Harvaan asutuissa, pientalovaltaisissa kunnissa keräyksen päästöt kasvavat suhteellisesti vielä huomattavasti pääkaupunkiseutua enemmän. Tästä esimerkkinä kuvassa 14 on esitetty noin 8 000 asukkaan Pudasjärven eri laajuisten erilliskeräysvaihtoehtojen vaikutukset. Pudasjärvellä biojätteen erilliskeräys laajennettiin nykytilasta (velvoiteraja 6) kaikille kunnan taajamakiinteistöille ja vaihtoehtoisesti kaikille kunnan kiinteistöille. Pudasjärvi on harvaan asuttu kunta, jonka asukastiheys on noin 1,43 as./km². (LCA Consulting Oy 2017c.)



Kuva 14. Erilliskerätyn biojätteen ilmastonlämpenemisvaikutukset Pudasjärvellä vaihtoehtoisilla erilliskeräyksen laajuuksilla (LCA Consulting Oy 2017c).

Selvityksen tuloksen perusteella erilliskeräyksen laajentaminen kaikille Pudasjärven taajamakiinteistöille kasvattaisi keräyksen kasvihuonekaasupäästöjä lähes kuusinkertaiseksi nykytilaan verrattuna. Tällöin erilliskerätyn biojätteen määrä kasvoi noin 3,8-kertaiseksi. Vastaavasti erilliskeräyksen laajentaminen kaikille kiinteistöille kasvatti keräyksen kasvihuonekaasupäästöjä lähes 20-kertaiseksi, samalla kun erilliskerätyn biojätteen määrä kasvoi noin kahdeksankertaiseksi nykytilaan verrattuna. (LCA Consulting Oy 2017c.) Vastaavia tuloksia saatiin myös Mänttä-Vilppulalle, jonka asukastiheys on noin 19 as./km². Biojätteen erilliskeräyksen laajentaminen kaikille asuinkiinteistöille kasvatti keräyksen päästöjä noin 14-kertaiseksi nykytilasta Mänttä-Vilppulassa. (LCA Consulting Oy 2017a.)

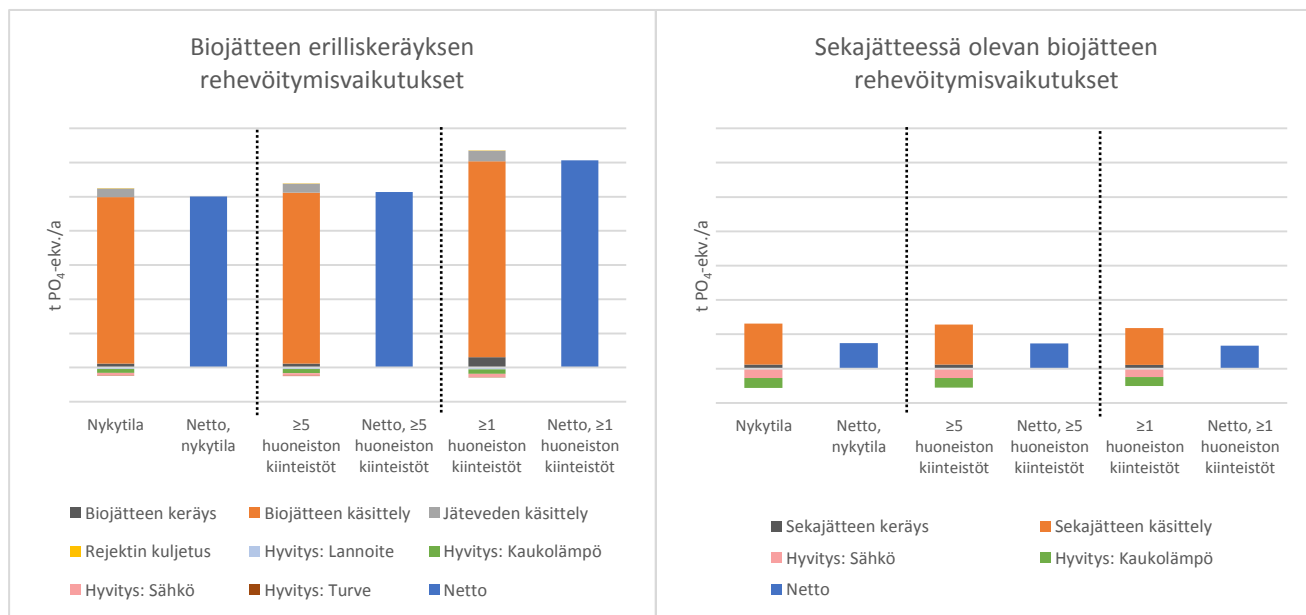
LCA Consulting Oy laski HSY:lle toteutetussa selvityksessä (2018) vaihtoehtoisten velvoiterajojen vaikutuksia myös rehevöitymisen ja happamoitumisen näkökulmista. Selvityksessä lasketut happamoitusvaikutukset pääkaupunkiseudun biojätteiden keräykselle ja käsittelylle vaihtoehtoisilla velvoiterajoilla on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. Pääkaupunkiseudun erilliskerätyn biojätteen happamoitusvaikutukset (vasemmalla) ja sekajätteen seassa olevalle biojätteelle allokoituvat happamoitusvaikutukset (oikealla) vaihtoehtoisilla velvoiterajoilla (LCA Consulting Oy 2018).

Pääkaupunkiseudulla myös happamoittavien päästöjen kokonaismäärä kasvoi, kun biojätteen erilliskeräysvelvoite laajennettiin kaikille asuinkiinteistöille. Siten myöskään happamoitusvaikutusten näkökulmasta erilliskeräyksen laajentaminen kaikille kiinteistöille ei ole perusteltua. (LCA Consulting Oy 2018.)

LCA Consulting Oy:n (2018) selvityksessä lasketut pääkaupunkiseudun biojätteen keräyksen ja käsittelyn rehevöitymisvaikutukset vaihtoehtoisilla velvoiterajoilla on esitetty kuvassa 16.



Kuva 16. Pääkaupunkiseudun erilliskerätyn biojätteen rehevöitymisvaikutukset (vasemmalla) ja sekajätteen seassa olevalle biojätteelle allokoituvat rehevöitymisvaikutukset (oikealla) vaihtoehtoisilla velvoiterajoilla (LCA Consulting Oy 2018).

Myös rehevöittävien päästöjen kokonaismäärä kasvaisi, jos biojätteen erilliskeräysvelvoite laajennettaisiin kaikille asuinkiinteistöille. Rehevöitymisvaikutusten näkökulmasta erilliskeräyksen laajentaminen kaikille kiinteistöille ei siis olisi kannattavaa. Keräyksellä olisi rehevöitymisen näkökulmasta hyvin pieni kontribuutio. Tuloksiin merkittävimmin vaikuttava tekijä oli kompostoinnista vapautuvat typpipäästöt, joiden määrä kasvoi velvoiterajoja kiristettäessä. (LCA Consulting Oy 2018.)

Erityisesti ilmastolämpenemisen näkökulmasta biojätteen polttoa puoltavat ympäristövaikutustulokset ovat pääosin johtuneet jätteenpoltolla saavutetuista merkittävistä päästöhyvityksistä, kun saadulla uusiutuvalla energialla on oletettu korvattavan fossiilisilla polttoaineilla tuotettua energiaa. Useissa suomalaisissa elinkaariselvityksissä on tiedostettu korvattavaan energiantuotantoon ja sitä kautta vältettyihin päästöihin liittyvien laskentaoletusten merkittävä vaikutus tuloksiin. Näissä

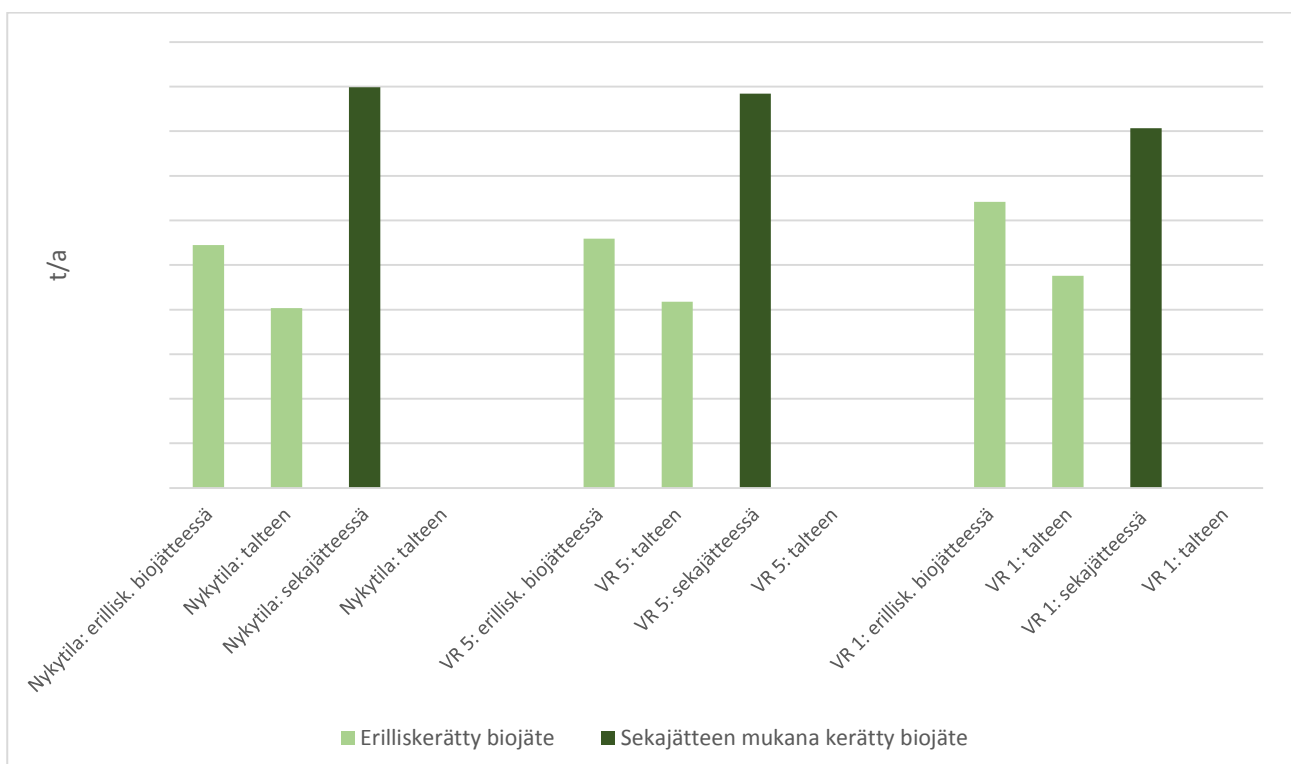
tapauksissa olisi relevanttia tarkastella, millaisia tuloksia saataisiin, jos korvattaisiin puhtaasti fossiililla polttoaineilla tuotetun energian sijaan osittain fossiililla polttoaineilla tuotettua energiaa.

Tehdyissä selvityksissä on harvoin esimerkiksi herkkyystarkastelun avulla selvitetty, miten korvattavan polttoaineen muuttaminen vähäpäästöisemmäksi vaikuttaisi saatuihin tuloksiin. On hyvä huomioida, että tulevaisuudessa uusiutuvien energiantuotantomuotojen osuutta pyritään lisäämään, jolloin ympäristövaikutuslaskennan tulokset voivat muuttua nykyisistä.

2.3.4.2 Ravinteiden kierrätys

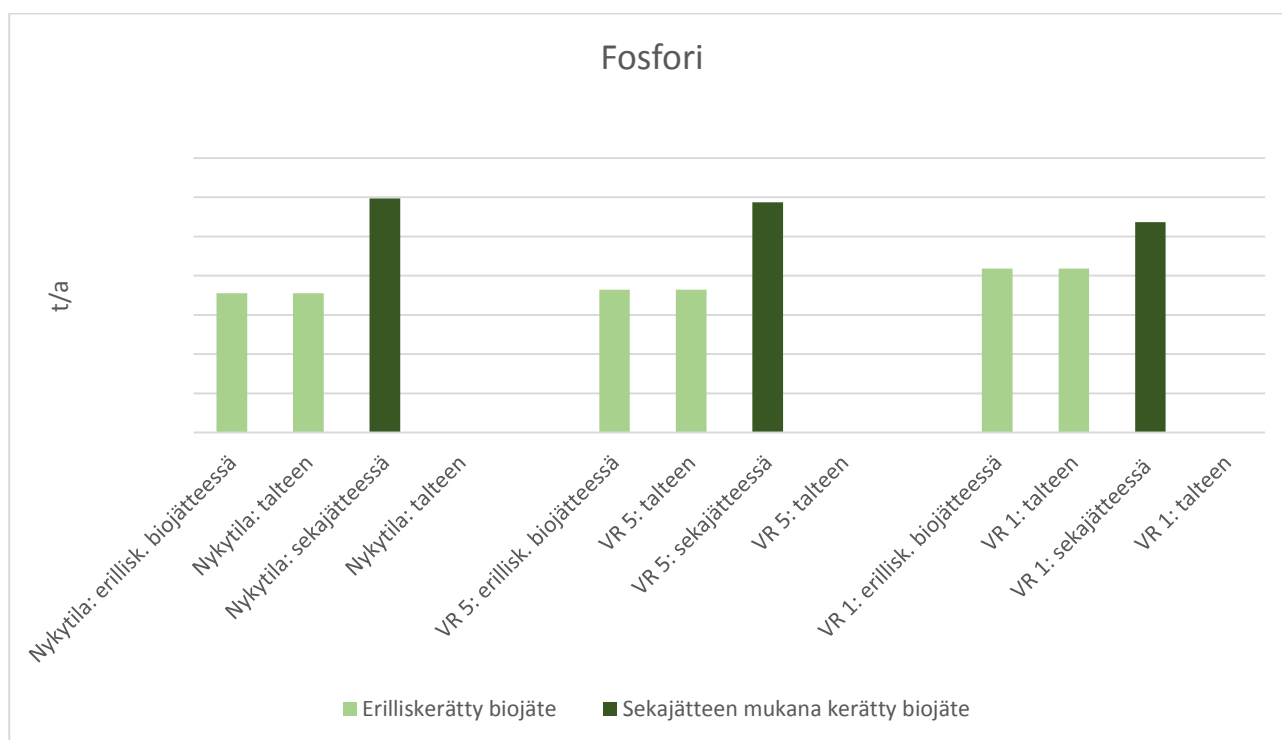
Biojätteiden keräystä ja käsittelyä on tarkasteltu usein ilmastonlämpenemisen näkökulmasta. Ilmastonlämpenemisen lisäksi selvityksissä olisi hyvä huomioida myös muita ympäristönäkökulmia, joista erityisesti biojätteen käsittelyn yhteydessä olisi tärkeää huomioida myös ravinteiden talteenotto ja kierrätys. Yksi maapallon suurista ympäristöuhkista on ravinteiden – erityisesti fosforivarantojen – ehtyminen. Siten fosforia olisi tärkeää saada talteen myös jätehuoltotoimien kautta. Myös ravinteiden ohjautuminen väärin kohteisiin, kuten vesistöihin, aiheuttaa turhaa ympäristökuormitusta, ja sitä voitaisiin välttää tehokkaammalla ravinteiden kierrätyksellä.

Ravinteiden kierrätystä on harvoin huomioitu elinkaariselvityksissä. LCA Consulting Oy toteutti HSY:lle (2018) elinkaariselvityksen yhteydessä laskennan biojätteessä olevien ravinteiden talteenotosta ja häviöstä eri keräysvaihtoehdoilla. Laskennassa hyödynnettiin HSY:lle erikseen tehtyä KOMBI-ravinnemallia. Kuvassa 17 on esitetty ravinnelaskennan tulokset tyyppille.



Kuva 17. Typen kierrätys erilliskerätyssä biojätteessä ja sekajätteen mukaan päätyvässä biojätteessä (LCA Consulting Oy 2018).

Kuvassa 18 on vastaavasti esitetty ravinnelaskennan tulokset fosforille.



Kuva 18. Fosforin kierrätys erilliskerätyssä biojätteessä ja sekajätteen mukaan päätyvässä biojätteessä (LCA Consulting Oy 2018).

LCA Consulting Oy:n selvityksen (2018) mukaan biologisella käsittelyllä suurin osa biojätteen sisältämästä kokonaistypestä saadaan otettua talteen ja hyödynnettyä ravinteena palauttamalla typpi takaisin kierto. Jos biojätettä erilliskerättäisiin pääkaupunkiseudulla kaikilta kiinteistöiltä, tyyppiä voitaisiin saada vuodessa talteen noin 36 tonnia enemmän kuin nykytilassa. Nykytilassa kotitalouksissa syntyvän biojätteen tyyppiä saadaan talteen arviolta noin 200 tonnia vuodessa. Selvityksessä ei huomioitu pienikiinteistöjä, jotka kotikompostoivat omat biojätteensä, joten talteen saatava typenmäärä voi olla vähäisempi kuin 200 tonnia.

Biologisella käsittelyllä lähes kaikki biojätteen sisältämästä fosforista voidaan saada talteen ja hyödyntää edelleen ravinteena. Jos biojätteen erilliskeräys laajennettaisiin pääkaupunkiseudulla kaikil-

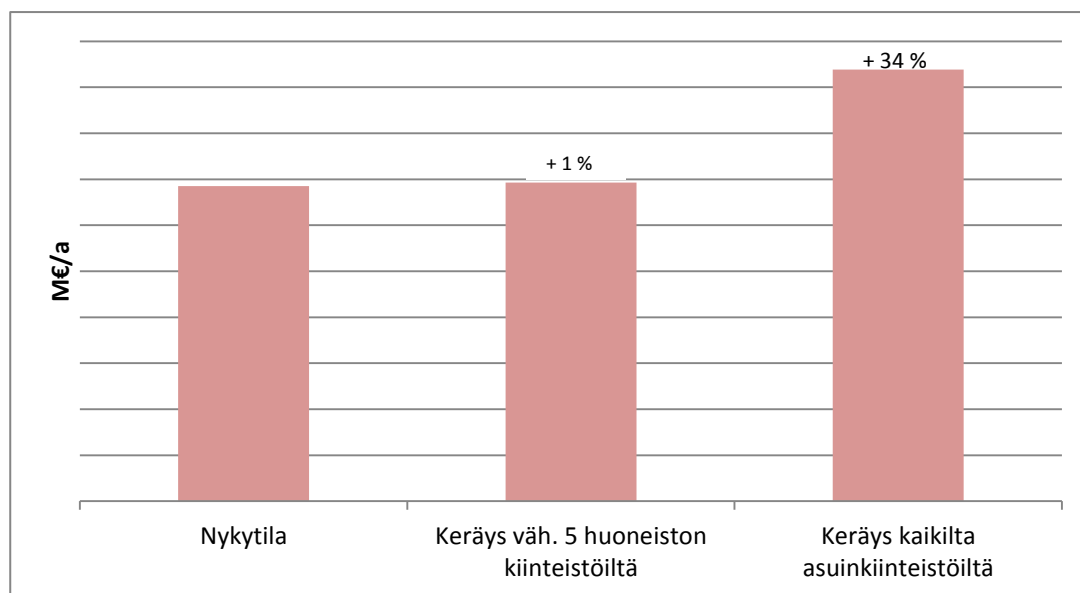
le asuinkiinteistöille, vuosittain biojätteestä talteenotetun fosforin määrä voisi kasvaa noin 6 tonnia nykytilasta. Nykytilassa kotitalouksissa syntyvän biojätteen fosforia saadaan talteen arviolta noin 35 tonnia vuodessa. Todellinen talteen saatu määrä lienee arvioitua pienempi, koska kotikompostoitavat pienkiinteistöjä ei laskennassa huomioitu.

Sekajätteen mukana polttoon päätyviä ravinteita ei yleensä saada kierrätettyä, kuten kuvista 17 ja 18 nähdään. Ravinnekierrätyksen näkökulmasta biojätteiden erilliskeräys ja biologinen käsittely on suositeltava vaihtoehto sen sijaan, että biojäte ja sen sisältämät ravinteet ohjautuisivat sekajätteen mukana polttoon.

2.3.4.3 Kustannukset

LCA Consulting Oy:n tekemissä biojätteen elinkaariselvityksissä (LCA Consulting 2017a, 2017b & 2018) on tarkasteltu ympäristövaikutusten lisäksi myös kustannuksia. LCA Consulting Oy:n kustannuselvitykset ovat jätehuoltoyhtiöiden tilaamia, joten kustannuksia on tarkasteltu jätehuoltoyhtiöiden näkökulmasta. Sen sijaan Myllymaa et al. (2008) selvityksessä kustannustarkastelu toteutettiin yhteiskunnallisten kokonaiskustannusten näkökulmasta.

Kuvassa 19 on esitetty HSY:lle lasketut biojätteen keräyksen ja käsittelyn kustannukset, jos nykyistä velvoiterajaa (keräys vähintään 10 huoneiston kiinteistöiltä) kiristettäisiin (LCA Consulting Oy 2018). Kuva 19 sisältää erilliskerätyn biojätteen keräyksestä ja käsittelystä sekä sekajätteessä olevan biojätteen keräyksestä ja poltosta aiheutuvat yhteenlasketut kokonaiskustannukset.

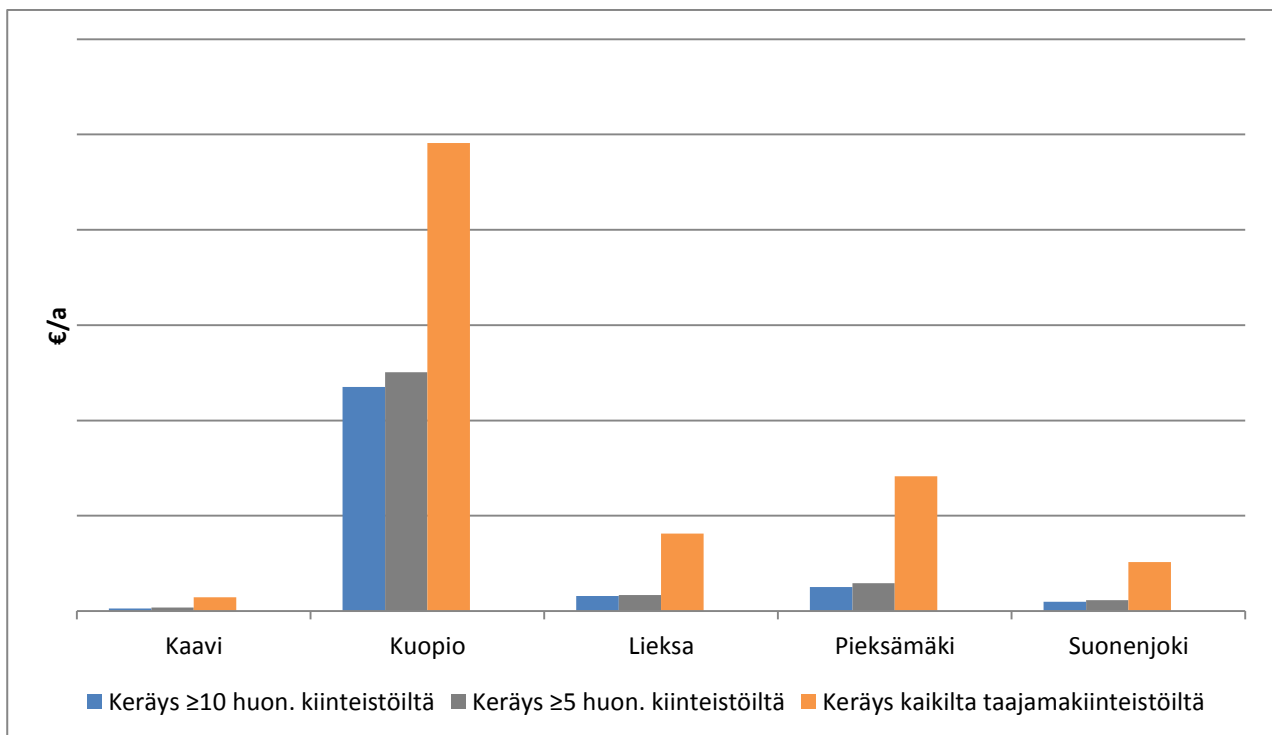


Kuva 19. Pääkaupunkiseudulta erilliskerätyn ja sekajätteessä olevan biojätteen yhteenlasketut kokonaiskustannukset tarkastelluilla keräysvelvoiterajoilla. Nykytila tarkoittaa erilliskeräyksen velvoiterajaa 10 sisältäen vapaaehtoisesti keräykseen liittyneet kiinteistöt. (LCA Consulting Oy 2018.)

Mikäli biojätteen erilliskeräysvelvoite laajennettaisiin pääkaupunkiseudulla kaikille asuinkiinteistöille, kokonaiskustannukset kasvaisivat noin 37 % nykyisestä. Kustannuslisäys aiheutuisi pääasias-

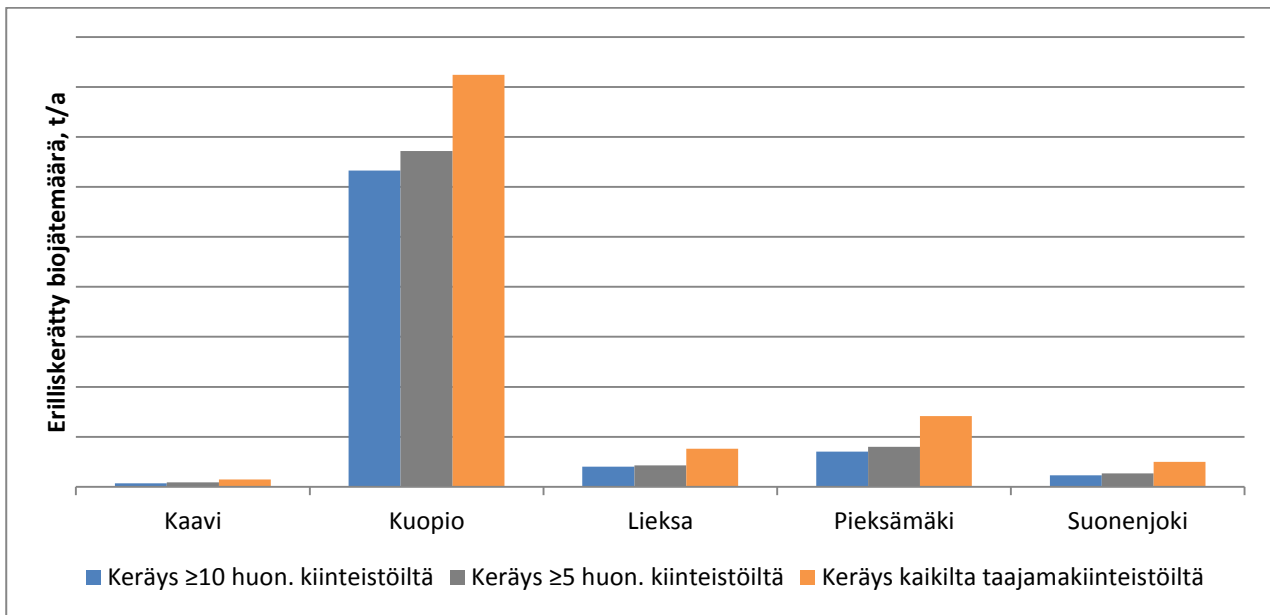
sa kustannusten kasvusta biojätteen erilliskeräyksessä, joka kasvoi yli kolminkertaiseksi nykytilasta. Biojättekertymän lisäys olisi vain noin 20 % nykytilasta. Siten kustannukset kasvaisivat suhteessa enemmän kuin biojättesaanto. (LCA Consulting Oy 2018.)

Myös Jätekuukko Oy:n toimialueen valituille kunnille tehtiin kustannustarkastelua vaihtoehtoisille keräyksen velvoiterajoille (LCA Consulting Oy 2017b). Selvityksessä silloista biojätteen keräysvelvoiterajaa (keräys vähintään 10 huoneiston kiinteistöiltä) verrattiin tilanteisiin, joissa biojätettä kerättäisiin vähintään 5 huoneiston kiinteistöiltä sekä tilanteeseen, jossa biojätettä kerättäisiin kaikilta taajamakiinteistöiltä kaksilokeroautolla yhdessä kartongin kanssa. Velvoiterajavaihtoehtojen tulokset tarkastelukunnille on esitetty kuvassa 20.



Kuva 20. Kaavin, Kuopion, Lieksan, Pieksämäen ja Suonenjoen alueilta erilliskerätyn biojätteen kustannukset tarkastelluilla keräysvelvoiterajoilla. Kustannuksissa on huomioitu biojätteen keräyksen ja käsittelyn kustannus sekä sekajätteessä tapahtuva muutos nykytilaan nähden. (LCA Consulting 2017b.)

Tarkastelluissa kunnissa kustannusten muutos keräyksen nykytilasta (velvoiteraja 10) velvoiterajaan 5 ei olisi merkittävä, sillä tarkastelluissa kunnissa on vähän 5-9 huoneiston kiinteistöjä. Sen sijaan laajennettaessa biojätteen keräys kaikille taajamakiinteistöille, kustannuslisäys olisi merkittävä nykytilaan verrattuna. Mitä pienempi ja omakotitalovaltaisempi kunta, sitä enemmän keräyksen kustannukset kasvaisivat suhteessa nykytilaan. (LCA Consulting Oy 2017b.) Kuvassa 21 on esitetty, mikä vaikutus kyseisillä velvoiterajoilla olisi erilliskerätyyn biojättekertymään.



Kuva 21. Kaavin, Kuopion, Lieksan, Pieksämäen ja Suonenjoen alueilta erilliskerätyt biojättemäärät tarkastelluilla keräysvelvoiterajoilla. (LCA Consulting 2017b.)

Kuvista 20 ja 21, joissa verrataan keskenään keräys- ja käsittelykustannuksia sekä erilliskerättyjä jätemääriä, huomataan jälleen, että kustannukset kasvavat suhteessa huomattavasti enemmän kuin erilliskerätyt biojättemäärät, kun keräys laajennetaan myös pientaloille.

Biojätteen keräyksen ja käsittelyn kustannustarkastelu on tehty myös Pirkanmaan alueen esimerkiksi Tampereelle ja Mänttä-Vilppulalle. Kyseisten kuntien osalta tarkasteltiin, miten kokonaiskustannukset muuttuisivat, jos biojätteen erilliskeräysvelvoite laajennettaisiin nykyisestä (keräys vähintään viiden huoneiston kiinteistöiltä) kunnan kaikille asuinkiinteistöille. Tampereella keräys- ja käsittelykustannukset kasvaisivat yli kolminkertaisiksi nykytilaan nähden, mutta erilliskerätyn biojätteen määrä kasvaisi vain noin 1,4-kertaiseksi. Mänttä-Vilppulassa, jossa huomattavasti suurempi osa asukkaista asuu omakotitaloissa kuin Tampereella, kustannukset kasvaisivat yli 20-kertaisiksi nykytilaan verrattuna. Mänttä-Vilppulassa erilliskerätyn biojätteen määrä kasvaisi vain noin seitsemänkertaiseksi. Suhteellinen biojätteen saannon kasvu on Mänttä-Vilppulassa suuri, sillä nykytilassa keräysvelvoitteen kattaessa vähintään 5 huoneiston kiinteistöt, keräysvelvoitteen kuuluvia kiinteistöjä on melko vähän. (LCA Consulting Oy 2016b; LCA Consulting Oy 2017a.)

Selvitykset ovat osoittaneet, että erilliskeräyksen velvoiterajaa kiristettäessä kustannukset kasvavat biojätteen osalta huomattavasti enemmän kuin muiden jätelajien. Tämä johtuu siitä, että hajuhaittojen ehkäisemiseksi biojäteastialle on jätehuoltomääräyksissä asetettu lyhemmät vähimmäistyhjennysvälit kuin muille hyötyjätelajeille, eli metallille, lasille, kartongille, paperille ja muoville. Muiden hyötyjätelajien tyhjennys voidaan optimoida jäteastian kertymän mukaan toisin kuin biojätteen. Useimmilla jätehuoltoalueilla biojäte tulee kesäaikaan tyhjentää vähintään kerran viikossa. Joillakin alueilla, esimerkiksi pääkaupunkiseudulla, sama tyhjennysväli pätee sekä kesällä että talvella. Useimmiten talvella tyhjennysväli on kuitenkin 2 viikkoa. Lyhyt tyhjennysväli lisää biojätteen tyhjennyksiin liittyviä kustannuksia merkittävästi, kun myös pienkiinteistöjä liittyy erilliskeräyksen piiriin.

3 ERI TEKIJÖIDEN VAIKUTUS YMPÄRISTÖVAIKUTUKSIIN JA KUSTANNUKSIIN

Tässä luvussa tarkastellaan, millä toimin biojätteen erilliskeräyksen ja kierrätyksen lisääminen voitaisiin toteuttaa mahdollisimman kestävästi ja kustannustehokkaasti. Luvussa selvitetään myös sitä, miten eri tekijät muuttavat biojätteen keräyksen ja käsittelyn ympäristövaikutuksia ja kustannuksia. Näitä tekijöitä on tunnistettu aiemmissa elinkaariselvityksissä. Tässä luvussa esitetään toteutetut herkkyystarkastelut näiden tekijöiden merkittävyydestä. Tarkastelussa hyödynnetään LCA Consulting Oy:n tekemiä alueellisia jätteen keräyksen ja käsittelyn elinkaarimalleja. Näiden mallien avulla voidaan selvittää eri tekijöiden muutosten merkitystä biojätehuollon ympäristövaikutuksille ja kustannuksille.

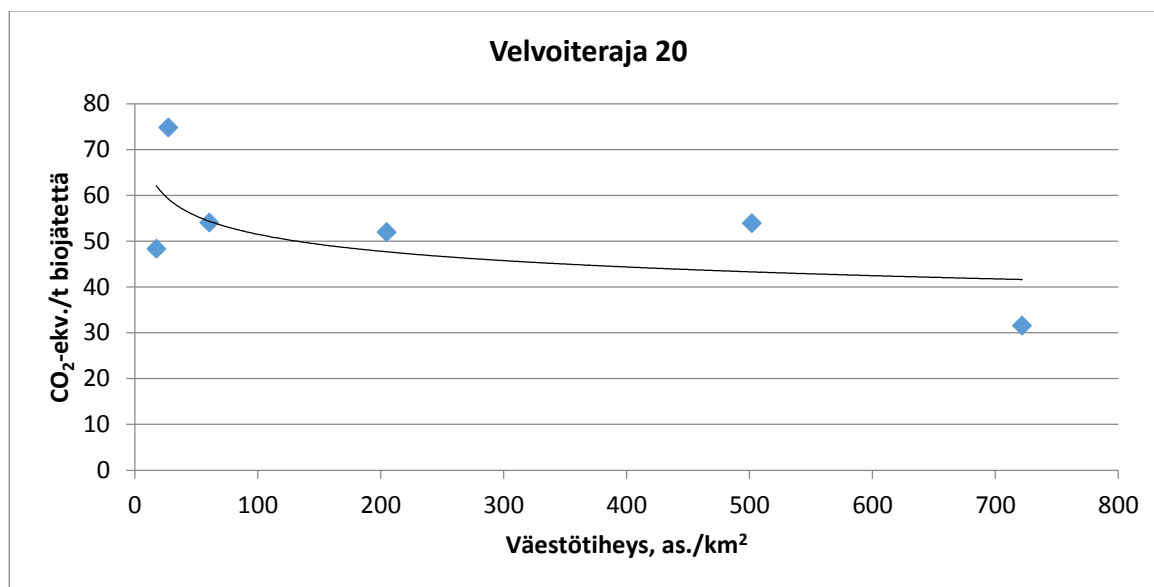
3.1 Kunnan koko ja väestötiheys

Elinkaariselvityksissä biojätteen keräystä ja käsittelyä tarkastellaan aina tietyn kohdealueen alueelta syntyvälle biojätteelle. LCA Consulting Oy:n useissa selvityksissä (LCA Consulting Oy 2015, 2016a, 2016b, 2017a, 2017b & 2017c) sekä Knuutilan (2012) selvityksessä on tarkasteltu erilliskeräyksen velvoiterajan muuttamisen vaikutuksia kuntakohtaisesti. Näiden selvitysten tulosten avulla voidaan arvioida erilaisten tekijöiden, kuten asukastiheys ja rakennuskanta, vaikuttavuutta ympäristökuormitukseen ja kustannuksiin. Useissa selvityksissä (LCA Consulting Oy 2018; Sevander 2010; Sundström et al. 2014; Virtavuori 2009) tulokset on laskettu suoraan koko jätehuoltoyhtiön toimialueelle, kuten HSY:n toimialueen kunnille (LCA Consulting Oy 2018; Sundstrom et al. 2014; Virtavuori 2009) tai Rosk'n'Roll Oy Ab:n toimialueen kunnille (Sevander 2010).

On tiedossa, että keräysvelvoitetta kiristettäessä keräysajoa tulee enemmän. Kun keräykseen liitetään myös haja-asutusalueella sijaitsevia kiinteistöjä, siirtymämatkat keräyspisteiltä toiselle kasvavat harvaan asutulla seudulla huomattavasti pidemmiksi kuin kaupunkien tiiviillä taajama-alueilla. Tällöin myös keräyksen päästöt kerättyä biojätetonnina kohden usein kasvavat.

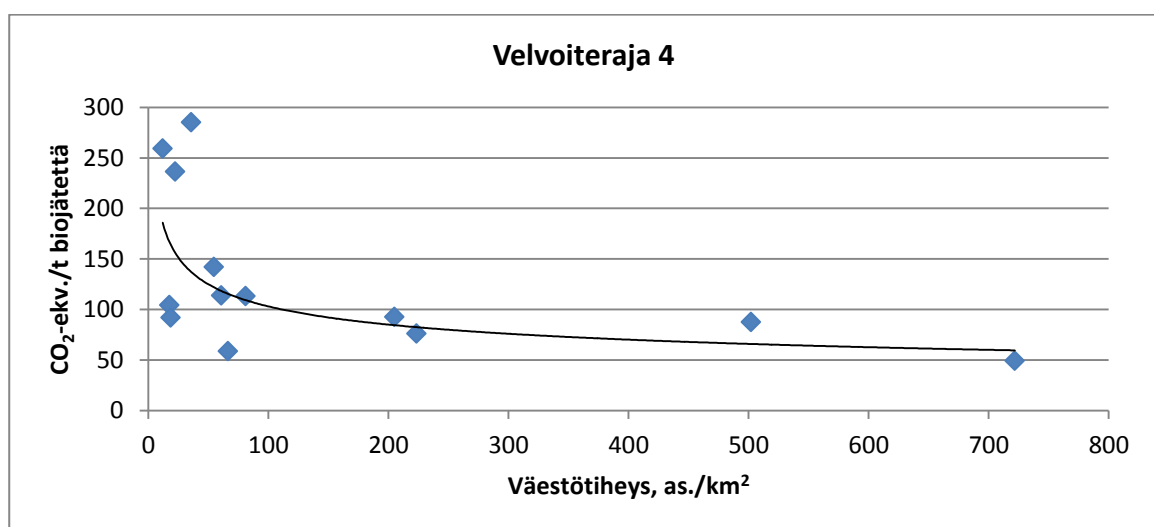
Tässä selvityksessä väestötiheyden yhteyttä biojätteen keräyksen kasvihuonekaasupäästöihin erilaisilla keräysvelvoiterajoilla tarkasteltiin tehtyjen elinkaariarviointien pohjalta. Kuvissa 22-25 esitetään, miten keräyksen päästöt korreloivat väestötiheyden kanssa.

Kuvassa 22 on esitetty väestötiheyden vaikutus biojätteen erilliskeräyksen kasvihuonekaasupäästöihin velvoiterajalla 20. Kuvan tulokset perustuvat kuuden eri kunnan tai kuntayhdistelmän tuloksiin. (Knuutila 2012.)



Kuva 22. Väestötiheyden vaikutus biojätteen keräyksen kasvihuonekaasupäästöihin velvoiterajalla 20 (Knuutila 2012).

Kuvassa 23 on esitetty väestötiheyden vaikutus biojätteen erilliskeräyksen kasvihuonekaasupäästöihin velvoiterajalla 4. Kuvan tulokset perustuvat 13 eri kunnan tai kuntayhdistelmän tuloksiin. (Knuutila 2012 & LCA Consulting Oy 2017c.)



Kuva 23. Väestötiheyden vaikutus biojätteen erilliskeräyksen kasvihuonekaasupäästöihin velvoiterajalla 4 (Knuutila 2012 & LCA Consulting Oy 2017c).

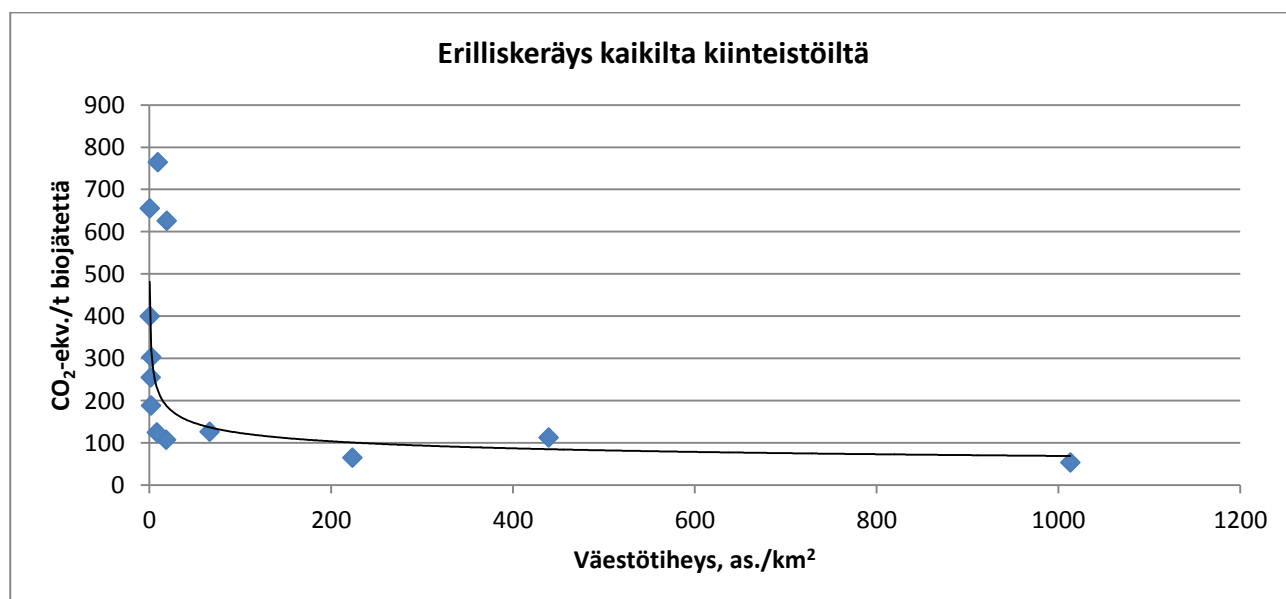
Erilliskeräys kaikilta taajamakiinteistöiltä

CO₂-ekv./t biojätettä

Väestötiheys, as./km²

Väestötiheys, as./km ²	CO ₂ -ekv./t biojätettä
0	260
2	220
5	160
8	140
10	110
15	110
20	115
25	95
40	55
70	105
225	65

Kuvassa 25 on esitetty väestötiheyden vaikutus biojätteen erilliskeräyksen kasvihuonekaasupäästöihin tilanteessa, jossa biojätettä erilliskerättäisiin kaikilta asuinalueista. Kuvan tulokset perustuvat 13 eri kunnalle sekä pääkaupunkiseudulle laskettuihin tuloksiin. (LCA Consulting Oy 2016b, 2017c & 2018.)



35

Kuvista 22-25 on havaittavissa selkeä yhteys alueen väestötiheyden ja keräyksen päästöjen välillä. Korrelaatio ei ole merkittävä suurilla velvoiterajoilla (esimerkiksi kun kerätään vähintään 20 huoneiston kiinteistöiltä), mutta velvoiterajaa pienennettäessä alueelliset erot eri kuntien välillä kasvavat. Tämä johtuu pääosin ajomatkasta, joka jäteauton on kuljettava yhtä biojätetonnin varten.

Kuvasta 25 nähdään, että sellaisissa kunnissa, joissa kunnan keskimääräinen väestötiheys on esimerkiksi alle 10 as./km², erilliskeräyksen laajentaminen kaikille kiinteistöille voi johtaa tilanteeseen, jossa yhden biojätetonnin keräämiseksi jäteauto voi aiheuttaa yli 200 kg:n suuruisen hiilidioksidipäästön. Biojätteen mädättämisellä saadut kasvihuonekaasupäästöhyvitykset vaihtelevat välillä 20-300 kg CO₂-ekv./biojätetonnin. Tällöin jo pelkästä keräyksestä aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt voivat ylittää kierrätyksellä saavutettavat päästöhyödyt. On huomioitavaa, että todellisuudessa on mahdollista, että merkittävä osa pientalokiinteistöistä kompostoisi itse biojätteensä. Tämä vähentäisi keräysajoa huomattavasti.

Väestötiheyttä ei kuitenkaan tule pitää ainoana määrävänä tekijänä, sillä myös muut tekijät vaikuttavat aiheutuviin päästöihin. Kuten kuvista 3–6 nähdään, eri kuntien tuloksissa on hajontaa, mikä aiheutuu muun muassa kuntien erilaisista jätehuoltomääräyksistä jätteenkeräyksen suhteen sekä erilaisesta rakennuskannasta. Kerrostaloalueilta saadaan vähäisellä keräysajolla kerättyä usean ihmisen tuottamat jätteet, kun taas omakotitaloalueilta saadaan yhdellä pysähdyksellä vain yhden asunnon jätteet. Väestötiheys kuvaa asukkaiden lukumäärän pinta-alan suhteen, eikä sitä, miten asukkaat ovat kunnassa sijoittuneet. Pienen väestötiheyden kunnissa voi olla tiiviisti asuttu taajama-alue. Näillä taajama-alueilla on usein paljon kerrostaloja, joista jätteet voidaan saada kerättyä tehokkaasti ilman suurta ympäristökuormitusta. Tiiviiden taajamien ulkopuolella taas voi olla laajoja alueita, joissa asukkaita on erittäin vähän.

3.2 Jäteastoiden tyhjennysvälit

Alueellisissa jätehuoltomääräyksissä on määritelty kullekin jätehuoltoalueelle jäteastian ajallisesti pisin sallittu tyhjennysväli. Biojäteastian pisin tyhjennysväli on usein lyhempi kuin muille jätejakeille hajuhaittojen vuoksi. Taulukossa 4 on esitetty biojäteastoiden pisimmät tyhjennysvälit eri jätehuoltoyhtiöiden alueilla. Esitetyt tyhjennysvälit koskevat kiinteistöjen pintakeräysastioita. Syväkeräysastioille on useilla jätehuoltoalueilla määritelty oma tyhjennysväli.

Taulukko 4. Ajallisesti pisin väli biojäteastian tyhjennykselle eri jätehuoltoyritysten toiminta-alueilla. Tyhjennysväli on erikseen kesäajalle ja talviajalle. Kesä- ja talviajan määritelmä on aluekohtainen. Usein kesäajaksi on määriteltä ajanjakso 1.5.–30.9. Taulukossa kesäajan tyhjennysväli on ilmoitettu ensin (kesäaika / talviaika).

Jätehuoltoyritys	Pisin väli tyhjennykselle (kesä/talvi)	Jätehuoltoyritys	Pisin väli tyhjennykselle (kesä/talvi)
Botniasrosk Oy Ab	ei erilliskeräysvelvoitetta	Millespakka Oy	2 / 2 vkoa
Ekorosk Ab Oy	2 / 2 vkoa	Mustankorkea Oy	1–2 / 1–4*** vkoa
Kainuun jätehuollon kuntayhtymä (Ekokymppi)	1–2* / 3 vkoa	Napapiirin Residuum Oy	2 / 2 vkoa
Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy	1 / 2 vkoa	Nurmijärven kunta	1 / 1 vkoa
HSY:n jätehuolto	1 / 1 vkoa	Perämeren Jätehuolto Oy	2 / 4 vkoa
Jämsän Jätehuolto liikelaitos	1 / 2 vkoa	Pirkanmaan Jätehuolto Oy	1 / 2 vkoa
Jätekuukko Oy	1 / 2 vkoa	Porin Jätehuolto	1 / 2 vkoa
Keski-Savon Jätehuolto liikelaitos kuntayhtymä	2 / 4 vkoa	Puhas Oy	1 / 2 vkoa
Kiertokapula Oy	1 / 2 vkoa	Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy	2 / 2 vkoa
Kiertokaari Oy	1 / 2 vkoa	Rauman seudun jätehuoltolaitos	1 / 2 vkoa
Kymenlaakson Jäte Oy	1–2 / 2** vkoa	Rosk'n'Roll Oy Ab	1 / 2 vkoa
Lakeuden Etappi Oy	1 / 2 vkoa	Sammakkokangas Oy	2 / 4 vkoa
Lapin Jätehuolto kuntayhtymä	ei erilliskeräysvelvoitetta	Savonlinnan Seudun Jätehuolto Oy	1 / 4 vkoa
Loimi-Hämeen Jätehuolto Oy	1 / 2 vkoa	Stormossen Ab Oy	2 / 2
Lounais-Suomen Jätehuolto Oy	2 / 2 vkoa	Vestia Oy	1 / 2
Metsäsairila Oy	2 / 4 vkoa	Ylä-Savon Jätehuolto Oy	1 / 2

* Ekokymppillä on määriteltä tyhjennysvälit erikseen 1–3 huoneiston kiinteistöille ja muille kiinteistöille. Kesäaikaan pisin tyhjennysväli on 1–3 huoneiston kiinteistöille 2 viikkoa ja muille 1 viikko.

** Kymenlaakson Jätteellä 1–5 huoneiston kiinteistöille pisin tyhjennysväli on kesäaikaan 2 viikkoa, muille 1 viikko.

*** Mustankorkealla on määriteltä pisimmät tyhjennysvälit erikseen 1–4 huoneiston, 5–9 huoneiston ja ≥10 huoneiston kiinteistöille sekä kesä- että talviaikaan. Pientalokiinteistöille pisin tyhjennysväli on 2 / 4 viikkoa.

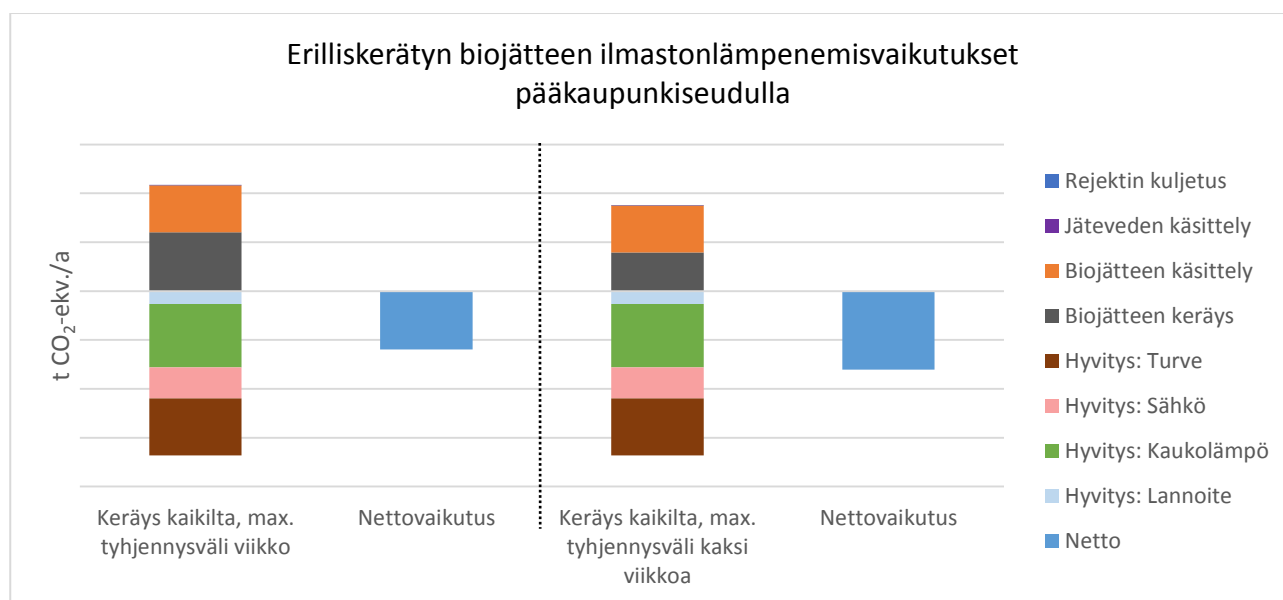
Biojäteastian vähimmäistyhjennysvälit voivat vaihdella suuresti alueittain. Yleisin biojäteastialle määriteltä pisin tyhjennysväli on kesällä yksi viikko ja talvella kaksi viikkoa. Harvimmillaan tyhjennysvälit ovat kesällä kaksi viikkoa ja talvella neljä viikkoa. Tiheintä tyhjennys on pääkaupunkiseudulla (HSY:n toimialueella) ja Nurmijärven kunnassa, joissa biojäteastia tulee kiinteistön koosta riippumatta tyhjentää vähintään kerran viikossa.

Pientalokiinteistöillä biojäteastian tyhjennys kerran viikossa johtaa käytännössä usein tilanteeseen, jossa astia ei ehdi täyttyä tyhjennysten välissä. Yksi omakotitalossa asuva ihminen lajittelee biojätettä keskimäärin 40 kg/a (KIVO 2017). Neljänhenkinen perhe lajittelee biojätettä tällöin laskennallisesti noin 160 kg/a. Tällöin viikoittainen astiatyhjennyspaine olisi vain hieman yli 3 kg/tyhjennys.

Biojäteastian tyhjennysvälillä on todettu olevan merkittävä vaikutus sekä ympäristökuormitukseen että keräyksen kustannuksiin. Pohjois-Suomeen tehdyssä elinkaariselvityksessä (LCA Consulting Oy 2017c) laskettiin biojätteen erilliskeräyksen ja käsittelyn kasvihuonekaasupäästöjä vaihtoehdossa,

jossa erilliskeräys laajennettaisiin kaikille taajamakiinteistöille. Kemissä biojätteen erilliskeräyksen kasvihuonekaasupäästöjen arvioitiin olevan noin 67 kg CO₂-ekv./t biojätettä. Oulussa vastaava arvo oli 104 kg CO₂-ekv./t biojätettä, vaikka Oulun taajamat ovat tiheämmin asuttuja kuin Kemissä. Syynä tulokseen oli, että Kemissä pientalokiinteistöjen biojäteastiat voidaan tyhjentää kesällä kahden viikon ja talvella neljän viikon välein, kun taas Oulussa biojäteastia tyhjennetään kesällä viikon ja talvella kahden viikon välein.

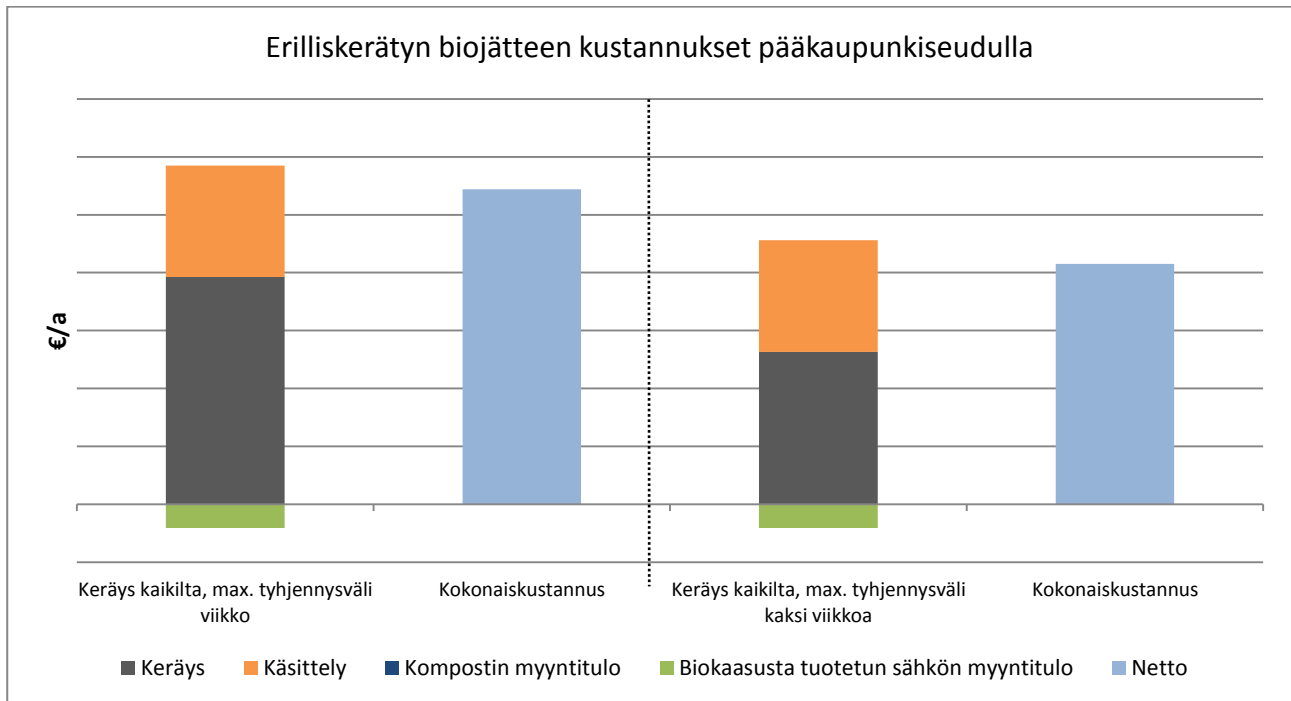
HSY:lle toteutetussa elinkaariselvityksessä (LCA Consulting Oy 2018) laskettiin ympäristövaikutuksia ja kustannuksia vaihtoehdolle, jossa biojätteen erilliskeräys laajennettaisiin kaikille HSY:n toimialueen asuinkiinteistöille. Nykyisten jätehuoltomääräysten mukaisesti biojäteastia tulee tyhjentää vähintään kerran viikossa. Tilannetta verrattiin vaihtoehtoon, jossa biojäteastian pisimmäksi tyhjennysväliksi asetettiin kaksi viikkoa. Kuvassa 26 on esitetty ilmastonlämpenemisvaikutukset HSY:n toimialueelta erilliskerätylle biojätteelle molemmilla tyhjennysväleillä.



Kuva 26. Biojäteastian tyhjennysvälin vaikutus biojätteen ilmastonlämpenemisvaikutuksiin pääkaupunkiseudulla, jos erilliskeräysvelvoite koskisi kaikkia asuinkiinteistöjä (LCA Consulting Oy 2018).

Tilanteessa, jossa biojätettä erilliskerättäisiin kaikilta pääkaupunkiseudun kiinteistöiltä, keräyksen aiheuttamia päästöjä saataisiin pienennettyä kokonaisuudessaan noin 34 %, jos pisin tyhjennysväli olisi kaksi viikkoa yhden viikon sijaan. Vaikutus keräyksen kasvihuonekaasupäästöjen määrään olisi merkittävä.

Kuvassa 27 on esitetty aiheutuvat kustannukset vaihtoehtoisilla biojäteastian tyhjennysväleillä HSY:n toimialueella.



Kuva 27. Biojäteastian tyhjennysvälin vaikutus erilliskerätyn biojätteen kustannuksiin pääkaupunkiseudulla, jos erillis-keräysvelvoite koskisi kaikkia asuinkiinteistöjä (LCA Consulting Oy 2018).

Vastaavasti myös keräyskustannuksia voitaisiin pienentää noin 33 % harventamalla biojäteastian pisintä tyhjennysväliä kahteen viikkoon. On huomioitavaa, että pidempi tyhjennysväli vaikuttaisi lähinnä pienikiinteistöihin. Suurissa kiinteistöissä biojätettä muodostuu niin paljon, että biojäteastia tulee joka tapauksessa tyhjentää vähintään viikoittain. Pääkaupunkiseudulla yli 80 % ihmisistä asuu ≥ 10 huoneiston kiinteistöissä, ja alueella on suhteessa enemmän huoneistomäärältään suuria kiinteistöjä kuin valtaosalla muista Suomen jätehuoltoalueista. Alueilla, joissa suuri osa ihmisistä asuu omakotitaloissa, tyhjennysvälin vaikutus biojätekeräyksen kokonaiskustannuksiin ja keräyksen päästöihin on vielä suurempi kuin pääkaupunkiseudulla. (LCA Consulting Oy 2018.)

Huolena biojätteen tyhjennysvälin pidentämisessä on ollut mahdollisesti syntyvät hajuhaitat. Asiaa tiedusteltiin niiltä jätehuoltoyhtiöiltä, jotka sallivat biojäteastian kahden viikon tyhjennysvälin ke-säaikaan ja talvella jopa neljän viikon tyhjennysvälin. Näistä Mustankorkea Oy:n ja Sammakkokangas Oy:n edustajat eivät ole pitäneet kyseisiä tyhjennysvälejä ongelmallisina. Jätehuoltoyhtiöille ei ole tullut valituksia hajuista kuin hyvin harvoissa tapauksissa. Pienenä haasteena pidettiin sen si-jaan jäteastioiden jäätymistä kylmimpinä talviaikoina. (Martikainen, Nyberg & Rahinanti 2018).

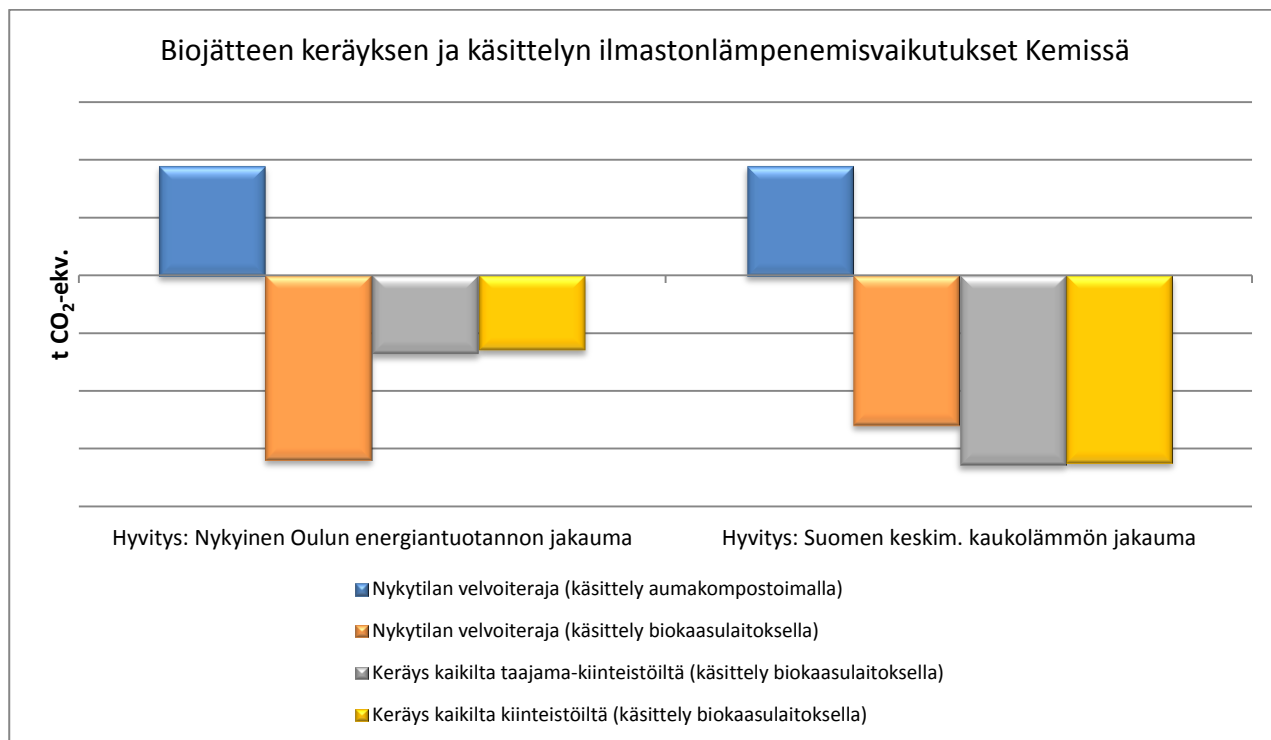
3.3 Hyvitykset

3.3.1 Korvattava energiantuotanto

Kuten aiemmin luvussa 2 tuli ilmi, korvattavan energiantuotannon valinnalla on merkittävä vaikutus biojätteen hyödyntämisen ympäristövaikutuksiin. Suomessa tehtyjen tutkimusten pohjalta todettiin, että mikäli biojätettä hyödynnetään energiantuotannossa, jolla korvataan pääosin fossiililla polttoaineilla tuotettua energiaa, biojätteen poltolla saavutetaan ilmastonlämpenemisen näkökulmasta suuremmat hyödyt kuin biologisella käsittelyllä, eli mädätyksellä tai kompostoinnilla. Tämä on usein tilanne monilla alueilla Suomessa, mikä tulee todennäköisesti muuttumaan tulevaisuutena, kun hiilineutraalit energianlähteet korvaavat fossiilisia polttoaineita. Koko valtakunnan tasolla on tavoitteena saavuttaa vuoteen 2050 mennessä 80–95 %:n päästövähennykset vuoden 1990 tasoon verrattuna (VNS 2016)

Suomessa tehtyjen biojätteen elinkaariarviontien ympäristövaikutuslaskennassa on käytetty yleensä tarkastelualueella selvityksen toteutushetkellä korvattavaa energiantuotantoa. Herkkyystarkastelua ei yleensä ole tehty siitä, miten muutokset alueen energiantuotannon polttoainekaumassa vaikuttaisivat tuloksiin tai missä vaiheessa kierrätys kääntyisi energiahyödyntämistä paremmaksi vaihtoehdoksi.

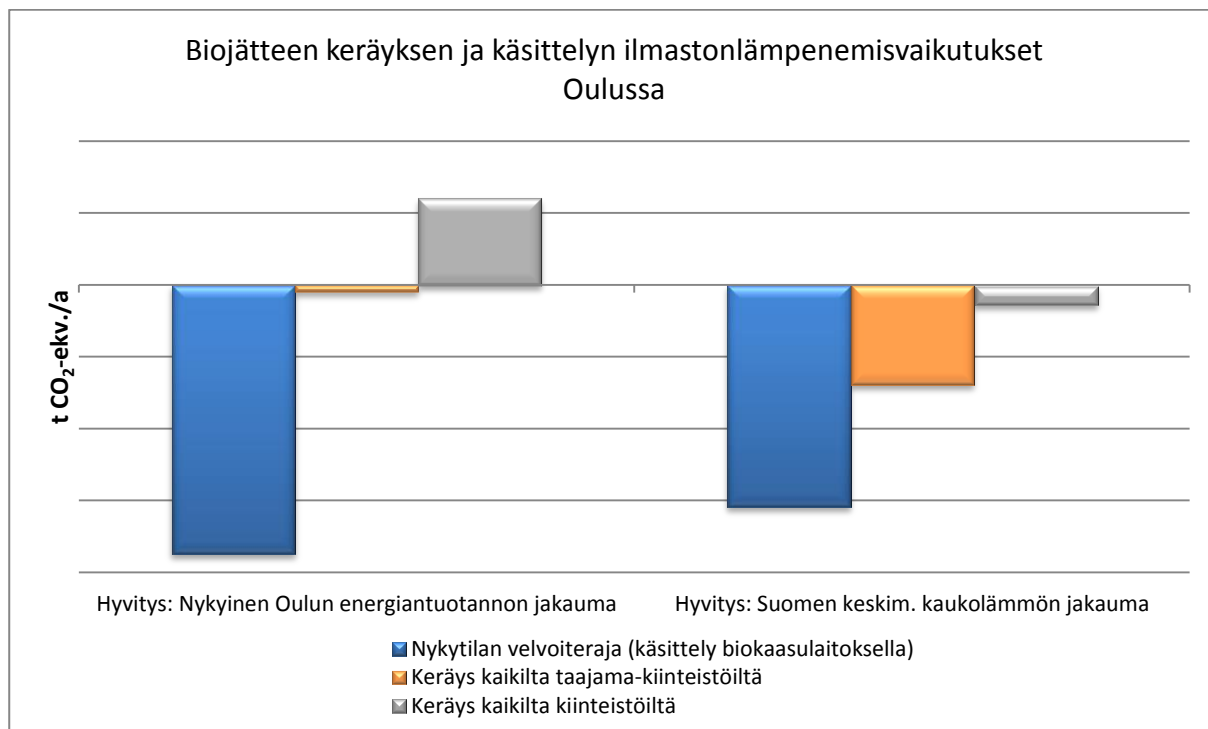
Pohjois-Suomeen toteutetussa elinkaariselvityksessä (LCA Consulting Oy 2017c) tarkasteltiin herkkyystarkastelun kautta, miten energiantuotannon polttoainekauma vaikutti saatuihin tuloksiin ilmastonlämpenemisen näkökulmasta. Nykytilassa sekajätteen mukana kerättävällä biojätteellä tuotetulla energialla korvattiin pääosin turvetta alueellisessa energiantuotannossa. Kuten useassa muussakin elinkaariselvityksessä, biojätteen erilliskeräyksen velvoiteajan kiristäminen nykytilasta ei lisännyt ilmastonlämpenemisen näkökulmasta ympäristöhyötyjä, vaan päinvastoin. Tilanne kuitenkin muuttuisi merkittävästi, jos korvattava turvepohjainen energiantuotanto vaihdettaisiin vastaamaan Suomen keskimääräistä kaukolämmöntuotannon polttoainekaumaa. Kemin kaupungille lasketut tulokset on esitetty kuvassa 28. (LCA Consulting Oy 2017c.)



Kuva 28. Energiantuotannon polttoainejakauman vaikutus Kemin biojätteen keräyksen ja käsittelyn ilmastolämpenemisvaikutukseen. Nykytilan (sininen palkki) tuloksessa on huomioitu vain biojätteen erilliskeräyksen, käsittelyn ja hyödyntämisen ilmastolämpenemisvaikutus. Vaihtoehtoisten velvoiterajojen tuloksissa on huomioitu sekä erilliskeräyksessä biojätteessä että sekajätteen mukaan päätyvässä biojätteessä tapahtuva muutos. (LCA Consulting Oy 2017c.)

Kuten kuvasta 28 nähdään, tulosten keskinäinen järjestys muuttuisi hyvitettävän energiantuotannon muuttuessa. Oulun energiantuotannon nykytilanteessa ilmastolämpenemisen osalta parhaimpaan tulokseen päästäisiin nykyisellä velvoiterajalla. Jos Oulun energiantuotanto vastaisi keskimääräistä Suomalaista kaukolämmön tuotantoa, aiheuttaisi keräyksen laajentaminen kaikille kiinteistöille pienimmän ilmastolämpenemisvaikutuksen. Korvattaessa lämmöllä pääosin turvetta biojätteen poltto olisi ilmastolämpenemisen näkökulmasta mädätystä parempi vaihtoehto. Keräysvelvoitteen kiristäminen pienikiinteistöille vähentäisi saavutettuja ympäristöhyötyjä. Korvattaessa lämmöllä Suomen keskimääräistä energiaa biojätteen mädätys osoittautui paremmaksi vaihtoehtoksi kuin poltto, jolloin keräysvelvoitteen laajentaminen pienikiinteistöille kasvattaisi saavutettuja ympäristöhyötyjä. Korvattavaa energiantuotantoa muutettaessa keräyksen laajentaminen pientalokiinteistöille saisi aikaan nykyistä velvoiterajaa (keräys vähintään 4 huoneiston kiinteistöiltä) suuremmat ympäristöhyödyt siitäkin huolimatta, että keräyksen päästöt kasvaisivat. Keräys kaikilta taajamakiinteistöiltä -vaihtoehdon ja keräys kaikilta kiinteistöiltä -vaihtoehdon välillä ei ollut huomattavaa eroa, sillä Kemissä taajamien ulkopuolella olevia kiinteistöjä on vain vähän. (LCA Consulting Oy 2017c.)

Samanlainen herkkyystarkastelu tehtiin myös Oululle ja Rovaniemelle. Oululle tehty herkkyystarkastelu on esitetty kuvassa 29.



Kuva 29. Energiantuotannon polttoainejakauman vaikutus Oulun biojätteen keräyksen ja käsittelyn ilmastonlämpenemisvaikutukseen. Nykytilan (sininen palkki) tuloksessa on huomioitu vain biojätteen erilliskeräyksen, käsittelyn ja hyödyntämisen ilmastonlämpenemisvaikutus. Vaihtoehtoisten velvoiterajojen tuloksissa on huomioitu sekä erilliskerätyssä biojätteessä että sekajätteen mukaan päätyvässä biojätteessä tapahtuva muutos. (LCA Consulting Oy 2017c.)

Oulun, samoin kuin Rovaniemen, velvoiterajavaihtoehtojen keskinäinen järjestys ilmastonlämpenemisvaikutuksen näkökulmasta ei muuttunut samalla tavoin kuin Kemissä korvattavaa energiantuotantoa vaihdettaessa. Suurimpana selittävänä tekijänä oli pidempi biojäteastian tyhjennysväli Kemissä kuin Oulussa tai Rovaniemellä. Tämä korostaa aiemmin esitetyn pisimmän tyhjennysvälin merkitystä. Lisäksi, toisin kuin Oulussa ja Rovaniemellä, Kemissä on keskitetysti kilpailutettu jätteenkeräys, josta on osoitettu aiheutuvan kiinteistönhaltijoiden kilpailuttamaa jätteenkeräystä pienemmät keräyksen päästöt (Sinkonen 2017).

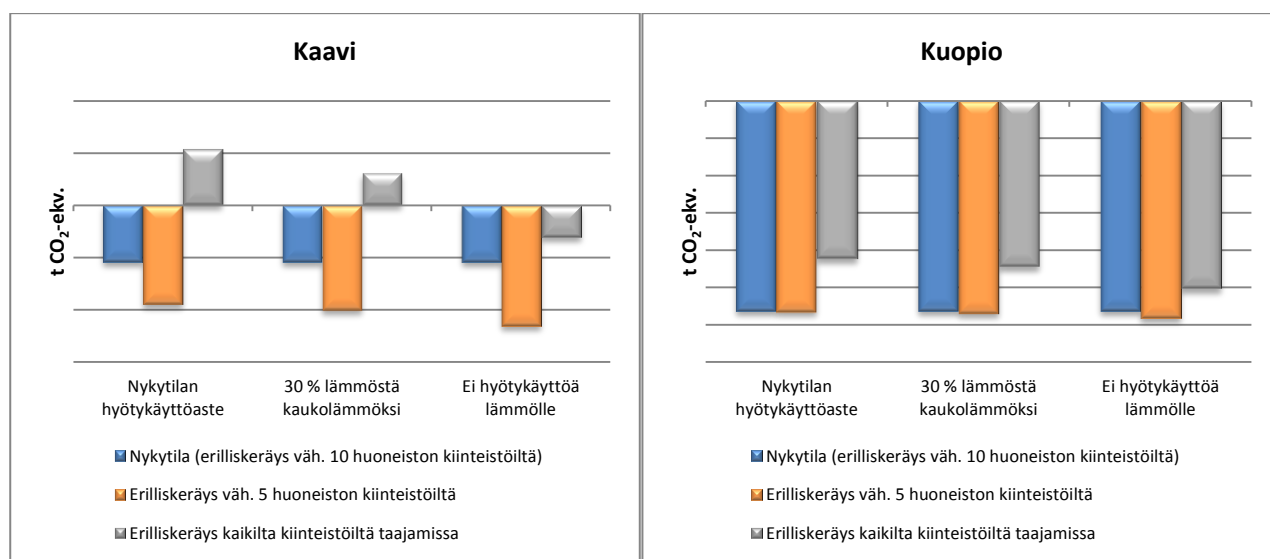
3.3.2 Energiantuotannon hyötykäyttöasteet

Suomessa jätteenpolto ei ole vain jätteen hävittämistä, vaan jätevoimalat ovat energiantuotantolaitoksia. Suomen jätevoimaloissa energiaa saadaan tuotettua ja hyödynnettyä hyvällä hyötysuhteella. Esimerkiksi Vantaan Energian jätevoimalassa jätteen energiasisällöstä parhaimmillaan yli 90 % saadaan hyödynnettyä sähkönä ja kaukolämpönä (Vantaan Energia 2018). Pohjoisen sijaintinsa takia Suomessa on suuren osan vuodesta kysyntää sähköä lisäksi myös lämmölle, joten tuotettua lämpöä ei tarvitse ajaa hukkalämpönä ilmaan tai veteen.

Tarkastelluissa suomalaisissa elinkaariselvityksissä energiantuotannon hyötysuhteina jätevoimaloissa on käytetty mahdollisimman todenmukaisia, laitoksissa toteutuneita hyötysuhteita sähkölle ja lämmölle. Yleisesti käytetty jätevoimalan hyötykäyttöaste on selvityksissä ollut 85 %, josta sähköä on 25–38 % ja loput 62–75 % on lämpöä. (LCA Consulting 2016a–2017c; Knuutila 2012; Sevan-der 2010; Sundström et al. 2014; Virtavuori 2009.)

Kaikkea jätevoimalassa tuotettua energiaa ei aina saada hyödynnettyä yhtä tehokkaasti kuin tarkastelluissa suomalaisissa elinkaariselvityksissä on oletettu. Jätevoimala voi sijaita alueella, jossa kaikelle tuotetulle energialle ei ole riittävästi kysyntää. Myös vuodenajat ja lämpötilaerot vuodenaikojen välillä määrittävät, miten paljon kaukolämmölle on kysyntää. LCA Consulting Oy:n elinkaari-
rimallien avulla selvitettiin, miten ilmastonlämpenemisvaikutustulokset muuttuisivat, kun jätevoimalassa tuotetun energian määrää pienennettäisiin käytetystä oletusarvosta. Kyseinen herkkyys-
tarkastelu tehtiin neljälle erilaiselle kunnalle: Kaaville, Kemille, Kuopiolle ja Oululle.

Kaavin ja Kuopion sekajätteet poltetaan Leppävirralla sijaitsevassa Riikinvoiman ekovoimalaitoksessa. Laitoksen hyötysuhde on parhaimmillaan 88–91 %, kun laitoksen tuottama lämpö saadaan kokonaisuudessaan hyödynnettyä. Todellisessa tilanteessa kaikkea vuositason tuotettua kaukolämpöä ei saada hyödynnettyä. Tällöin laitoksen kokonaishyötysuhde on vuositason hieman yli 60 % (hyötysuhde lämmölle noin 41 %). (AVI Itä-Suomi 2013; LCA Consulting Oy 2017b; Riikinvoima Oy 2018) Kaavin ja Kuopion osalta elinkaariarvioinnin tulokset laskettiin uudelleen tilanteessa, jossa lämpöä saataisiin hyödynnettyä vain 30 % sekä tilanteelle, jossa lämpöä ei hyödynnettäisi lainkaan. Tulokset ovat nähtävillä kuvassa 30.

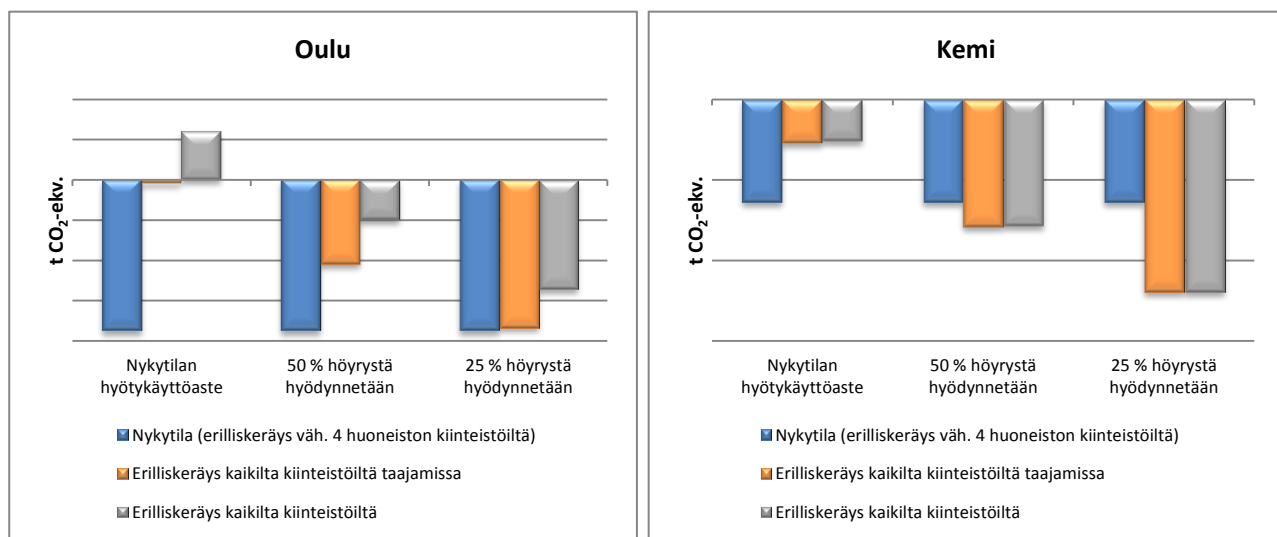


Kuva 30. Jätevoimalassa tuotetun lämmön hyötykäyttöasteen vaikutus Kaavin ja Kuopion biojätteen hyödyntämisen ilmastonlämpenemisvaikutuksiin. Nykytilan tuloksessa (sininen palkki) on huomioitu vain biojätteen keräyksen, käsittelyn ja hyödyntämisen ilmastonlämpenemisvaikutus. Vaihtoehtoisten velvoitearvojen tuloksissa on huomioitu sekä erilliskerätyssä biojätteessä että sekajätteen mukana päätyvässä biojätteessä tapahtuva muutos nykytilaan verrattuna. (LCA Consulting Oy 2017b.)

Herkkyystarkastelun perusteella jätevoimalassa tuotetun lämmön hyötykäyttöasteella on merkittävä vaikutus ilmastonlämpenemisvaikutuksiin Kaavissa ja Kuopiossa. Vaikutus ei kuitenkaan ollut niin suuri, että se olisi muuttanut tarkasteltujen keräysvelvoitteiden keskinäistä paremmuusjärjestystä. Biojätteen keräys kaikilta taajamakiinteistöiltä toisi Kuopiossa ilmastonlämpenemisen näkökulmasta lähes yhtä suuret ympäristöhyödyt kuin keräys nykytilassa (velvoitearvo 10), mikäli jätevoimalassa tuotetulle lämmölle ei olisi lainkaan kysyntää. Jos erilliskeräysvelvoite laajennettaisiin koskemaan myös taajamien omakotitaloja, kasvaisivat keräyksen kasvihuonekaasupäästöt

kuitenkin niin suuriksi, että saavutetut ympäristöhyödyt jäisivät pienemmiksi kuin velvoiterajoilla 5 ja 10.

Kemin ja Oulun sekajätteet poltetaan Laanilan ekovoimalaitoksessa Oulussa. Oulun Energia hyödyntää jätteistä tuotetusta energiasta omassa käytössä alle 10 % kaukolämmön tuotantoon, loput myydään korkeapaine- ja prosessihöyrynä muille hyödyntäjille. Laskennassa käytettiin Ekovoimalaitoksen ympäristöraportin tuotantolukujen perusteella laskettua kokonaishyötykäyttöastetta, joka on 82 %. (Oulun Energia 2016; LCA Consulting Oy 2017c.) Höyryllä oletettiin korvattavan vaihtoehtoisia polttoaineita höyryntuotannossa (61-prosenttisesti turvetta). Oulun ja Kemin osalta arvioitiin, miten höyryn hyötykäyttöaste muuttaisi ilmastonlämpenemisvaikutuksia. Tulokset laskettiin uudelleen tilanteelle, jossa 50 % höyrystä saataisiin hyödynnettyä sekä tilanteelle, jossa vain 25 % höyrystä saataisiin hyödynnettyä. Tulokset ovat nähtävillä kuvassa 31.



Kuva 31. Jätevoimalassa tuotetun lämmön hyötykäyttöasteen vaikutus Oulun ja Kemin biojätteen hyödyntämisen ilmastonlämpenemisvaikutuksiin. Nykytilan tuloksissa (sininen palkki) on huomioitu vain biojätteen keräyksen, käsittelyn ja hyödyntämisen ilmastonlämpenemisvaikutus. Vaihtoehtoisten velvoiterajojen tuloksissa on huomioitu sekä erilliskerätyssä biojätteessä että sekajätteen mukaan päätyvässä biojätteessä tapahtuva muutos. (LCA Consulting Oy 2017c.)

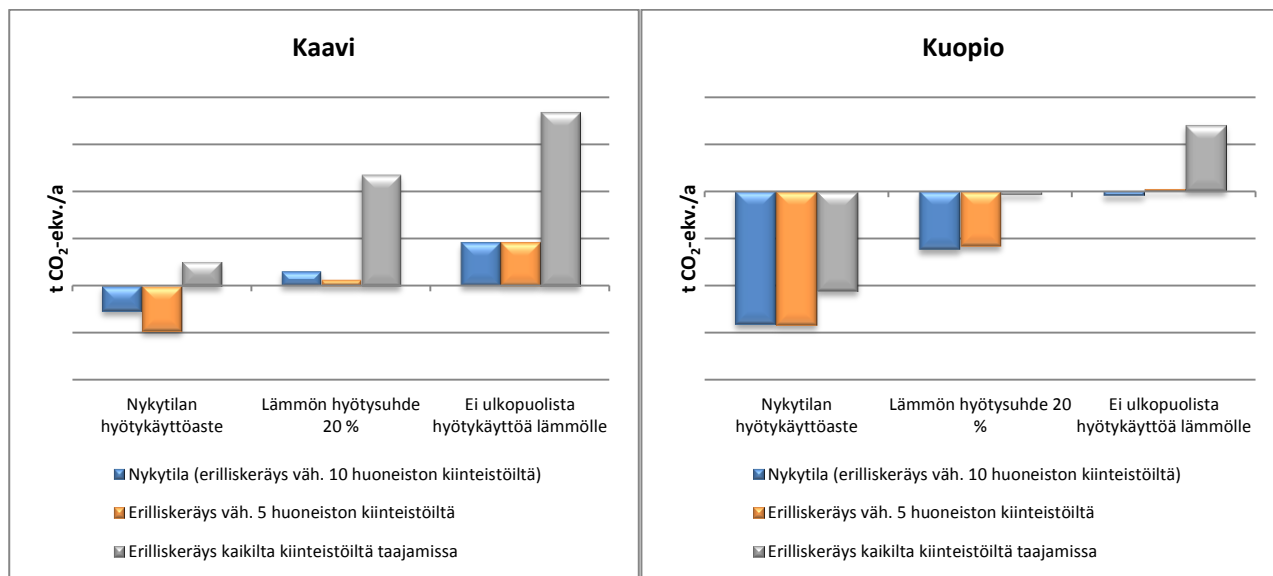
Myös Oulun ja Kemin tapauksissa jätevoimalassa tuotetun energian hyötykäyttöasteilla oli merkittävä vaikutus ilmastonlämpenemisvaikutuksiin. Mikäli vain 25 % jätevoimalan höyrystä saataisiin hyödynnettyä, Oulussa biojätteen keräyksen ja käsittelyn kokonaisvaikutukset ilmastonlämpenemisen näkökulmasta olisivat lähes samat kerättäessä kaikilta taajamakiinteistöiltä kuin kerättäessä nykytilan velvoiterajoilla (vähintään neljän huoneiston kiinteistöiltä). Keräyksen laajentaminen kaikille kiinteistöille (myös haja-asutusalueille) lisäsi keräyksen kasvihuonekaasupäästöjä niin paljon, että nettomääräiset ympäristöhyödyt pienenevät merkittävästi. Kemissä vastaavasti biojätteen keräyksen laajentaminen myös pientalokiinteistöille oli ilmastonlämpenemisen näkökulmasta nykytilaa (velvoiteraja 4) parempi vaihtoehto jo tilanteessa, jossa 50 % jätevoimalan höyrystä saatiin hyödynnettyä. Vaikka höyrystä saataisiin hyödynnettyä vain 25 %, olisivat erilliskeräyksen laajentamisella saavutetut hyödyt silti nykyiseen velvoiterajaan nähden merkittäviä. Kemin tilanteen merkittävimpana erona Ouluun, Kuopioon ja Kaaviin verrattuna on biojäteastian pidempi tyhjennysväli, joka on Kemissä kaksi kertaa harvempi kuin muissa tarkastelluissa kunnissa.

3.3.3 Hyvitykset biokaasun ja mädätteen hyödyntämisestä

Biojätteen elinkaariselvityksissä ainakaan ilmastonlämpenemisen näkökulmasta ei ole ollut suurta merkitystä sillä, hyödynnetäänkö biokaasu energiantuotannossa vai liikennepolttoaineena. (Knuutila 2012; Sundström et al. 2014; Virtavuori 2009.) Aiemmin luvussa 2 todettiin, että biokaasun hyödyntäminen ja siitä saatavat päästöhvitykset ovat biojätteen elinkaaren vaiheista selvästi suurin yksittäinen vaikuttaja. Tärkeää siis on, että biokaasu saadaan ylipäänsä hyödynnettyä tehokkaasti ja että sillä saadaan korvattua fossiilisia polttoaineita.

Erityisesti Sevanderin (2010) selvityksen tuloksista käy ilmi, miten tärkeää biokaasun energiasisällön mahdollisimman tehokas hyödyntäminen on. Selvityksessä vertailtiin kolmea vaihtoehtoista käsittelypaikkaa Länsi-Uudenmaan biojätteille. Jokaisessa vaihtoehdossa kuitenkin vain pieni osa biokaasusta tuotetusta lämmöstä saatiin hyödynnettyä. Tämän johdosta biokaasusta saadut päästöhvitykset olivat vain 9–35 kg CO₂-ekv./t biojätettä. Sevanderin selvityksessä korvattava sähkö vastasi keskimääräistä pohjoismaista sähköntuotantorakennetta. (Sevander 2010.) Suomalaisissa elinkaariselvityksissä jo pelkästään biojätteen keräyksen päästöt ovat olleet Suomen suurissa kaupungeissa luokkaa 20–50 kg CO₂-ekv./t biojätettä (Knuutila 2012; LCA Consulting Oy 2015, 2016a, 2016b, 2017b, 2017c & 2018; Sevander 2010; Virtavuori 2009).

LCA Consulting Oy:n elinkaarimallien avulla selvitettiin, miten ilmastonlämpenemisvaikutukset muuttuvat, kun biokaasulla tuotetun energian hyödyntämisastetta pienennetään. Kyseinen herkkyystarkastelu tehtiin kahdelle erilaiselle kunnalle, Kuopiolle ja Kaaville. Selvityksessä oletettiin alun perin, että noin 40 % biokaasun energiapotentiaalista saadaan hyödynnettyä lämpönä ja noin 38 % sähköinä. Vaikutukset laskettiin uudelleen tilanteelle, jossa lämpöä saataisiin hyödynnettyä vain 20 % ja tilanteelle, jossa lämpöä ei saataisi hyödynnettyä prosessin oman lämmöntarpeen lisäksi lainkaan. Herkkyystarkastelun tulokset on esitetty kuvassa 32.



Kuva 32. Biokaasulla tuotetun lämmön hyötykäyttöasteen vaikutus Kaavin ja Kuopion biojätteen hyödyntämisen ilmastolämpenemisvaikutuksiin. Nykytilan tuloksessa (sininen palkki) on huomioitu vain biojätteen keräyksen, käsittelyn ja hyödyntämisen ilmastolämpenemisvaikutus. Vaihtoehtoisten velvoiterajojen tuloksissa on huomioitu sekä erilliskerätyssä biojätteessä että sekajätteen mukaan päätyvässä biojätteessä tapahtuva muutos. (LCA Consulting Oy 2017b.)

Kuvan 32 perusteella voidaan todeta sama kuin Sevanderin (2010) selvityksessä: biokaasun hyötykäyttöasteella on merkittävä vaikutus biojätteen mädätyksen kasvihuonekaasupäästötaseisiin. Kaavissa velvoiterajoilla 10 ja 5 biojätteen erilliskeräyksellä ja kierrätyksellä saavutetut nettomääräiset ympäristöhyödyt muuttuivat nettomääräiseksi ympäristökuormaksi, kun lämmön hyötysuhdetta pienennettiin. Kuopiossakin, jossa keräyksen päästöt kerättyä biojätetonna kohden ovat pienemmät kuin Kaavissa, biojätteen erilliskeräyksellä ja mädätyksellä saavutetut nettomääräiset päästöhyödyt olivat vain hieman suuremmat kuin keräyksestä ja käsittelystä aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt.

Biokaasulaitoksella syntyvän mädätteen hyötykäytöllä on todettu olevan usean ympäristövaikutuksen, kuten ilmastolämpenemisvaikutuksen, näkökulmasta huomattavasti pienempi vaikutus kuin biokaasun hyötykäytöllä. Toisaalta ravinteiden kierrätyksen näkökulmasta mädätteen hyötykäytöllä on biokaasun tuotantoon verrattuna erittäin merkittävä vaikutus, sillä suurin osa biojätteen sisältämistä ravinteista jää mädätteeseen.

Ilmastolämpenemisen näkökulmasta suurimmat päästöhyvitykset on saatu, kun mädätteestä valmistetulla kompostilla on vältetty turvetta mullanvalmistuksen raaka-aineena. Vältetystä turpeen käytöstä saadut kasvihuonekaasupäästöhyvitykset ovat olleet selvityksestä riippuen 29–50 kg CO₂-ekv./t biojätettä. Teollisten lannoitteiden valmistuksen välttämällä on todettu olevan suhteellisen pieni ilmastolämpenemisvaikutus, yleensä noin 5 kg CO₂-ekv./t biojätettä.

Vastaavasti biokaasun hyödyntämisellä vältetyt kasvihuonekaasupäästöt ovat olleet yli 100 kg CO₂-ekv./t biojätettä, mikäli biokaasu on saatu hyödynnettyä tehokkaasti. Hyödynnettäessä biokaasu liikennepolttoaineena kasvihuonekaasupäästöhyvitykset ovat olleet 88–177 kg CO₂-ekv./t biojätettä. Hyödynnettäessä biokaasu energiantuotannossa kasvihuonekaasupäästöhyvitykset ovat olleet

9–170 kg CO₂-ekv./t biojätettä, tarkemmin 9–35 kg CO₂-ekv./t, kun lämpöä ei ole saatu kunnolla hyödynnettyä ja 87–170 kg CO₂-ekv./t, kun myös lämpö on saatu hyödynnettyä tehokkaasti. (Knuutila 2012; LCA Consulting Oy 2015, 2016a, 2016b, 2017b, 2017c, 2018; Myllymaa et al. 2008; Sevander 2010.) Sundströmin et al. (2014) selvityksessä rehevöitymisvaikutusten näkökulmasta merkittävin yksittäinen tekijä oli turpeen otolla ja käytöllä vältetyt päästöt, joita vältettiin mädätteestä tuotetun kompostin hyötykäytöllä.

3.4 Keräyksessä käytetty polttoaine

Suurimmassa osassa Suomea keräävät jäteautot käyttävät polttoaineenaan dieseliä. Diesel on fossiilinen polttoaine, ja sen käytöstä syntyy päästöjä noin 2,7 kg CO₂-ekv./litra (LIPASTO 2018). Aiemmin todettiin, että biojätteen keräyksestä ja kuljetuksesta aiheutuvien päästöjen merkitys korostuu erityisesti, kun erilliskeräystä laajennetaan myös pienkiinteistöille. Keräyksen ja kuljetuksen päästöihin luonnollisesti vaikuttaa merkittävästi, mitä polttoainetta keräävät jäteautot käyttävät.

Taulukkoon 5 on koottu elinkaariarvioinneissa arvioituja polttoaineen kulutuksia kerättyä biojätetonnin kohden erilaisilla alueilla sekä näistä lasketut keskiarvot. Erot eri selvitysten välillä samoilla velvoiterajoilla johtuvat erilaisista mallinnetuista kohdealueista ja laskentaan käytetystä polttoaineenkulutusdatasta.

Taulukko 5. Elinkaariselvityksissä arvioituja polttoaineen (dieselin) kulutuslukemia kerättyyn biojättemäärään suhteutettuna.

Velvoiteraja	Lähde	Dieselin kulutuksen vaihteluväli (litraa/t biojätettä)	Dieselin kulutus keskimäärin (litraa/t biojätettä)
Keräys väh. 20 huoneiston kiinteistöiltä	Knuutila (2012)	10–24	17
	Sundström et al. (2014)	7,7	7,7
	Virtavuori (2009)	6,5	6,5
Keräys väh. 10 huoneiston kiinteistöiltä	LCA Consulting (2016–2017)	8–29	22
	Sundström et al. (2014)	7,9	7,9
	Virtavuori (2009)	7,4	7,4
Keräys väh. 5 huoneiston kiinteistöiltä	LCA Consulting (2016–2018)	8–54	28
	Sevander (2010)	10,6	10,6
	Sundström et al. (2014)	8,1	8,1
	Virtavuori (2009)	8,7	8,7
Keräys väh. 4 huoneiston kiinteistöiltä	Knuutila (2012)	16–91	47
	LCA Consulting (2016–2017)	19–29	24
Keräys kaikilta taajamakiinteistöiltä	LCA Consulting (2016–2018)	17–83	43
Keräys kaikilta kiinteistöiltä	LCA Consulting (2016–2018)	18–243	99
	Sevander (2010)	76,7	76,7

Yksi ympäristöystävällinen vaihtoehto keräysajon polttoaineeksi olisi biokaasu. Biokaasulla jätteenkeräys voitaisiin toteuttaa hiilineutraalisti. Yhdestä biojätetonnista saadaan biokaasua määrä, joka vastaa energiasisällöltään 50–160 litraa dieseliä (Kymäläinen & Pakarinen 2015), riippuen bio-

jätteen ominaisuuksista. Keskimäärin yhdestä biojätetonnista saatavan biokaasun voidaan olettaa vastaavan noin 100 litraa dieseliä.

Näiden kulutuslukujen perusteella voidaan todeta, että biojätteen keräys voitaisiin lähes kaikkialla toteuttaa omavaraisesti, käyttämällä polttoaineena vain jäteautojen itse keräämää biojätettä. Biokaasua jäisi usein vielä myös muun kaasuautokannan, esimerkiksi muita jätelajeja keräävien jäteautojen käyttöön, mikäli myös näitä muutettaisiin kaasukäyttöisiksi.

Biokaasun hyödyntäminen liikennepolttoaineena ei ole ainoastaan ilmastonlämpenemisen kannalta hyvä vaihtoehto, vaan biokaasu on myös muista ympäristönäkökulmista yksi ympäristöystävällisimmistä polttoaineista. Siirtyminen dieselistä ja bensiinistä biokaasuun vähentää myös rikki-, typi- ja hiilivetypäästöjä sekä pienhiukkasia. (Stormossen 2018.)

Knuutilan (2012) selvityksen mukaan biokaasun hyödyntämisellä liikennepolttoaineena voidaan ilmastonlämpenemisen näkökulmasta saavuttaa suurempia ympäristöhyötyjä kuin hyödyntämisellä polttoaineena energian tuotannossa. Ympäristön kannalta biokaasun hyödyntämistä liikennepolttoaineena puoltavat erityisesti tilanteet, joissa biokaasulle ei ole hyödyntämiskohteita suoraan energiana, jolloin kaasun energiapotentiaalia menee hukkaan. Sevanderin (2010) mukaan osa biokaasulla tuotetusta lämmöstä saadaan usein käytettyä biokaasulaitoksen ja ympäröivien rakennusten lämmitykseen, mutta suurin osa lämmöstä on hukkaenergiaa. Liikennepolttoaineena kaikki tuotettu biokaasu saataisiin hyödynnettyä, mikäli alueella on vain tarpeeksi kaasuautoja. Maakaasun veroiseksi jalostettu biokaasu on myös mahdollista jakaa maakaasuverkon kautta käyttöön. Maakaasuverkon täytyy sijaita kohtuullisen etäisyyden päässä biokaasulaitoksesta. Saadaanko biokaasulla tuotettua lämpöä tai biokaasusta jalostettua liikenne polttoainetta kaikissa tapauksissa ja kuinka paljon hyödynnettyä, on tapauskohtaista.

3.5 Kimppakeräys

Mikäli biojätteen erilliskeräysvelvoite asetetaan kattamaan myös pientalokiinteistöt, voidaan tarvittavia astiatyhjennyksiä vähentää perustamalla biojäteastiakimppoja. Kimppakeräyksessä, jota toteuttavat usein pienikiinteistöt, asukkaat käyttävät naapurin tai naapureiden kanssa yhteisiä keräysastioita. Kustannukset jaetaan kimppakeräystä käyttävien asukkaiden kesken. Kuten alaluvussa 3.2 todetaan, yksi perhe ei yleensä ehdi tuottaa biojätettä tarpeeksi astiatyhjennysten välissä, jotta biojäteastia täyttyisi. Kimppakeräyksellä astiatyhjennyspainoa saadaan lisättyä ja jätettä keräävän urakoitsijan suorittamia tyhjennyskertoja vähennettyä. Tyhjennyskertojen määrän vähentymisellä säästetään aikaa, kustannuksia ja polttoainetta.

Omakotitalojen kimppakeräys biojätteelle on Suomessa käytössä tai sitä on kokeiltu useilla eri alueilla. Vuonna 2014 biojätekimppoja oli yhteensä koko maassa noin 1900. Eniten niitä oli muodostettu Mustankorkea Oy:n, Pirkanmaan Jätehuolto Oy:n ja Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy:n alueilla. Kimpoissa on ollut mukana keskimäärin 3 – 5 taloutta. (Runsten 2014.) Runstenin (2014) selvityksessä todetaan, että jätelaitokset pitävät kimppakeräyksen ongelmina muun muassa kuljetusmat-

koja keräyspisteisiin, keräyspaikkojen siisteyttä, kuljetuksista aiheutuvia päästöjä, puutteellista lajittelua, vapaamatkustajia ja ihmisten asenteita astian jakamisen suhteen.

Toivonen (2014) laski osana EcoChange Oy:n Biojätteen alue- ja kimppakeräystutkimus-hanketta kimppakeräyksen ympäristövaikutuksia pääkaupunkiseudulla. Selvityksessä muun muassa arvioitiin ilmastonlämpenemisvaikutusta tilanteelle, jossa biojätteen erilliskeräysvelvoite määrätään kaikille pääkaupunkiseudun kiinteistöille, sekä samalle tilanteelle sillä erolla, että kaikki 1–3 huoneiston kiinteistöt muodostavat kimpat, joissa on mukana keskimäärin 4 kiinteistöä. Tulosten perusteella kimppakeräysvaihtoehdolla saavutettiin vain 2 % pienemmät keräyksen kasvihuonekaasupäästöt kuin kunkin kiinteistön omista astioista kerättäessä. Velvoiterajalla 1 (ilman kimppoja) keräyksen ja kuljetusten kasvihuonekaasupäästöt kasvoivat nykytilasta selvityksen mukaan noin 16 %, kun vastaavasti kimppojen kanssa kasvu oli noin 14 %. (Toivonen 2014.)

LCA Consulting Oy laski HSY:lle (2018) kimppakeräyksen vaikutuksia biojätekeräyksen päästöihin ja kustannuksiin teoreettisessa tilanteessa, jossa biojätteen erilliskeräys laajennettaisiin kaikille asuinkiinteistöille. Selvityksessä arvioitiin, että 5 % pienekiinteistöistä (1-4 huoneiston kiinteistöistä) voisi osallistua biojätekimppoihin. Arvio perustui Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy:n (EKJH:n) toimialueella toteutuneiden kimppojen määrään. Tulosten perusteella keräyksen ilmastonlämpenemisvaikutuksia, happamoitusvaikutuksia ja rehevöitymisvaikutuksia saatiin pienennettyä noin 7–10 % verrattuna tilanteeseen, jossa biojätteet kerättäisiin jokaiselta kiinteistöltä erikseen. Keräyskustannuksia saatiin vastaavasti pienennettyä hieman yli 3 %.

Mikäli biojätekimppoja saataisiin muodostettua paljon, voisi niillä vähentää keräyksen päästöjä merkittävästi. Haasteellista kimppojen osalta on kuitenkin ollut saada muodostettua vapaaehtoisuuteen perustuvia kimppoja. Kiertokapula Oy:n kimppakeräyskokeilussa vuonna 2012 pyyntöjä lähetettiin 300 taloudelle ja näistä 24 taloutta eli 8 % saatiin mukaan maksuttomaan kimppakeräyskokeiluun. Monet kokeiluun osallistuneista talouksista eivät kuitenkaan olleet valmiita maksamaan biojätteiden keräyksestä kokeilun jälkeen. Pääkaupunkiseudulla vuonna 2013 tehdyssä kimppakeräyskokeilussa saatiin muodostettua vain kaksi kimppaa, yksi Käpylästä ja toinen Kumpulasta. Pääkaupunkiseudun osalta todettiin, että suuri osa pientalokiinteistöistä kompostoi jo itse biojätteensä ja lopuista valtaosa ei ollut halukas osallistumaan kimppakeräykseen. Uusien kimppojen muodostaminen myös muualla on ollut haasteellista. (Runsten 2014.)

3.6 Monilokerokeräys

Yksi vaihtoehto saada jätteenkeräyksen kokonaispäästöjä pienennettyä on käyttää monilokeroautoja. Monilokerokeräyksen ajatuksena on kerätä useita jätelajeja (vähintään kahta) samaan kyytiin, jolloin keräysajo oletusarvoisesti vähenee verrattuna tilanteeseen, jossa jokainen jätelaji on haettava erikseen omaan, yhtä jätelajia keräävään jäteautoon. Monilokerokeräystä voidaan toteuttaa lukuisin eri tavoin: Tavallisia keräyslokeroastioita voidaan tyhjentää keräävään ajoneuvoon, jossa on kaksi tai useampia lokeroita eri jätelajeille. Keräyspisteillä voidaan käyttää monilokeroastioita, jolloin jokainen lokero tyhjenetään jäteajoneuvossa omiin lokeroihin. Yhdessä kerättävien jätelajien määrä voi vaihdella ajoneuvosta riippuen. Tavallisesti lokeroita on monilokerokeräyksessä

kahdesta neljään. Myös kerättävät jätelajit voivat vaihdella tapauskohtaisesti. Usein lähes samaan keräysrytmiin kuuluvia jätelajeja, kuten metallia ja lasia, kerätään yhdessä monilokerokeräyksenä. Koska keräystavat vaihtelevat, tämän selvityksen yhteydessä ei voida yleispätevästi päätellä sitä, kuinka paljon monilokerokeräyksellä voidaan pienentää jätteenkeräyksen päästöjä ja kustannuksia. Erilaisia vaihtoehtoja erilaisilla keräysalueilla tulisi tarkastella tapauskohtaisesti erikseen.

LCA Consulting Oy tarkasteli HSY:lle laaditussa selvityksessä (2018), miten monilokerokeräys vaikutti pääkaupunkiseudun biojätekeräyksen päästöihin ja kustannuksiin. Monilokerokeräystä tarkasteltiin teoreettisessa tilanteessa, jossa biojätteen erilliskeräys laajennettaisiin kaikille asuinkiinteistöille ja 1-4 huoneiston kiinteistöiltä biojäte kerättäisiin monilokerokeräyksen yhdessä sekajätteen, metallin ja muovin kanssa. Monilokerokeräyksen päästöt allokoitiin vain biojätteen ja sekajätteen kesken, metallia ja muovia ei huomioitu. Suuremmissa (yli neljän huoneiston) kiinteistöissä keräys oletettiin suoritettavan edelleen perinteisillä yhden lokeron jäteautoilla. (LCA Consulting Oy 2018.)

HSY:lle tehdyssä selvityksessä biojätteelle allokoituvat päästöt pienenevät monilokerokeräyksellä noin 14 % verrattuna tilanteeseen, jossa biojäte kerättiin myös pienikiinteistöiltä perinteisellä yksilokerokeräyksellä. Monilokerokeräyksessä muiden jätelajien keräystiheys määräytyi biojätteen keräyksen mukaan, ja sille pisin tyhjennysväli oli viikko. Tästä syystä esimerkiksi sekajätetyhjennyksiä tuli pienikiinteistöiltä tehdä enemmän kuin yksilokerokeräyksessä, mikä aiheuttaa turhaa ympäristökuormitusta. Monilokerokeräyksessä myös jäteauto täyttyy nopeammin, sillä säiliöiden tilavuudet ovat pienempiä kuin perinteisissä yksilokeroisissa pakkaavissa jäteautoissa. Siten tyhjennysajoja, jolloin jäteauton kuorma käydään tyhjentämässä purkupaikkaan, tuli tehdä yksilokerokeräystä useammin. Vastaavasti keräyskustannuksissa laskettiin säästettävän noin 6 %. Kustannussäästö ei ollut merkittävä, sillä monilokeroastian tyhjennyshinta oli moninkertainen perinteiseen 240 litran biojäte- tai sekajäteastiaan verrattuna. (LCA Consulting Oy 2018.)

4 VERATILU EUROOPASSA TEHTYIHIN ELINKAARIARVIOINTEIHIN

Tämän selvityksen yhteydessä tarkasteltiin viittä muissa Euroopan maissa kuin Suomessa tehtyjä biojätteen keräyksen ja käsittelyn elinkaariarviointeja ja niitä vertailtiin suomalaisiin biojätteen elinkaariarviointeihin. Tarkastelun pohjalta pyrittiin vastaamaan seuraaviin kysymyksiin:

1. Onko suomalaisissa elinkaariselvityksissä toteutettu jotain eri tavoin kuin muualla Euroopassa?
2. Miksi suomalaisten – päinvastoin kuin joidenkin muualla Euroopassa tehtyjen – elinkaariarviointien mukaan biojätteen poltto vaikuttaa tietyissä tapauksissa olevan ympäristön kannalta hyödyllisempää kuin biologinen käsittely?

4.1 Tarkastellut eurooppalaiset elinkaariarviointit

Tässä selvityksessä tarkastellut, muualla Euroopassa tehdyt, biojätteen elinkaariselvitykset on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Muualla Euroopassa tehtyjä elinkaariarviointoja.

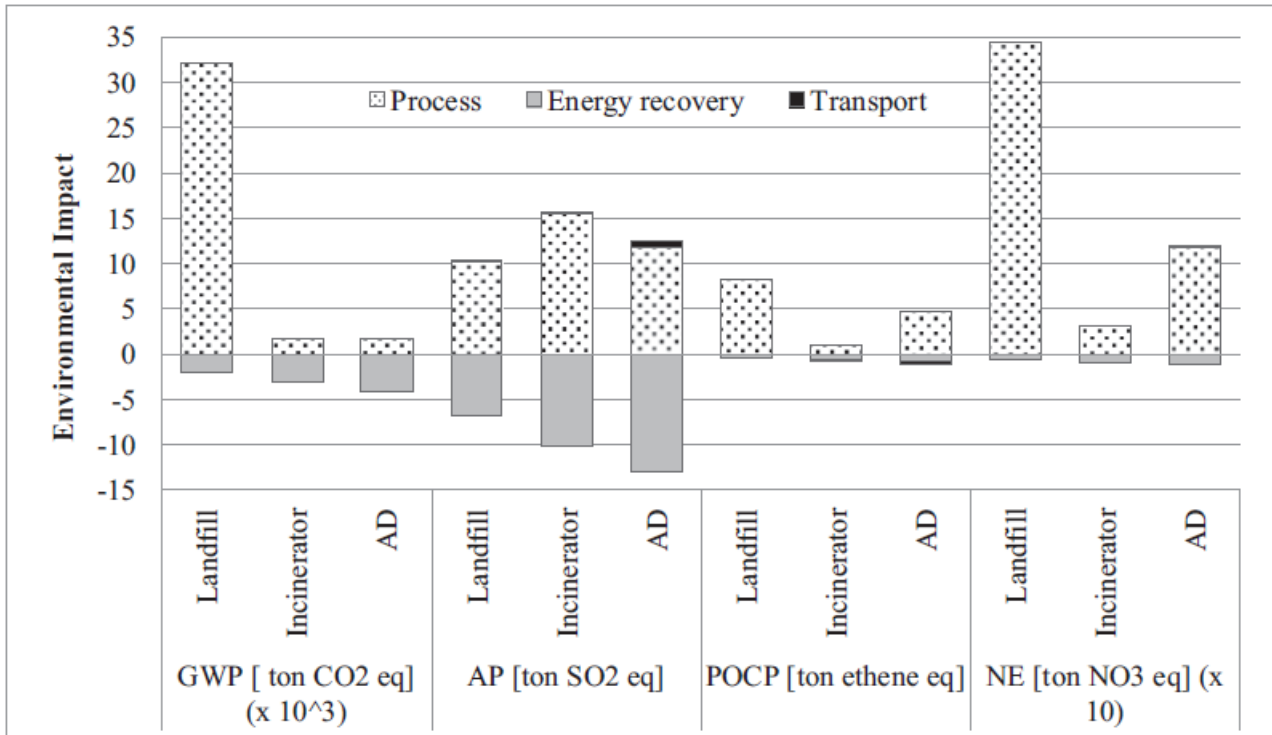
Tekijät(t)	Vuosi:	Aihe/otsikko	Mitä selvityksessä on tutkittu
Evangelisti et al.	2013	Life cycle assessment of energy from waste via anaerobic digestion: A UK case study	Tutkimuksessa on arvioitu ja vertailtu kolmen vaihtoehdon biojätteen käsittelytavan ympäristövaikutuksia Lontoon alueella: 1) kaatopaikkasijoitus, 2) jätteenpoltto energian talteenotolla, 3) anaerobinen mädätys biokaasun CHP-hyödyntämisellä.
Di Maria et al.	2014	Life cycle analysis of incineration compared to anaerobic digestion followed by composting for managing organic waste: the influence of system components for an Italian district	Tutkimuksessa on arvioitu ja vertailtu biojätteen polton ja anaerobisen mädätyksen ympäristövaikutuksia Italian 24 000 asukkaan kaupungissa. Ympäristövaikutuksia arvioitiin kahdeksassa eri ympäristövaikutusluokassa, kahdella vaihtoehdolla skenaariolla biojätteen lajittelutehokkuudelle: 1) 0 %: kaikki biojätteet poltetaan sekajätteen mukana, 2) 52 %: yli puolet biojätteistä erilliskerätään ja mädätetään, jonka jälkeen mädänte kompostoidaan.
Jensen et al.	2016	Environmental assessment of biowaste management in the Danish-German border region	Tutkimuksessa on arvioitu ja mallinnettu biojätteen käsittelyketjut Tanskan ja Saksan rajan läheisyydessä olevan ja yhteistyötä tekevän viiden jätehuoltoyhtiön alueelta.
Thomsen et al.	2016	Comparative life cycle assessment of biowaste to resource management systems – A Danish case study	Tutkimuksessa on arvioitu, miten biojätteiden käsittelyn aiheuttamat ympäristövaikutukset muuttuvat, kun Tanskan nykyisestä polttoon perustuvasta käsittelystä siirrytään kohti biologista käsittelyä (mädätystä), eli biojätteistä tuotettaisiin biokaasua ja ravinteita.
Bassi et al.	2017	Environmental performance of household waste management in Europe – an example of 7 countries	Tutkimuksessa on arvioitu ja mallinnettu yhdyskuntajätteen jätehuoltojärjestelmiä seitsemässä eri Euroopan maassa: Saksassa, Tanskassa, Ranskassa, Iso-Britanniassa, Italiassa, Puolassa ja Kreikassa. Tutkimuksessa tarkasteltiin, miten paljon kansallinen konteksti vaikuttaa jätehuoltojärjestelmän ympäristövaikutuksiin.

4.2 Tarkasteltujen eurooppalaisten elinkaariarviointien tuloksia

4.2.1 Life Cycle Assessment of Energy from Waste via Anaerobic Digestion: A UK Case Study

Evangelistin et al. (2013) selvityksessä vertailtiin biojätteelle kolmea vaihtoehtoa käsittelytapaa: kaatopaikkasijoitusta kaatopaikkakaasun talteenotolla ja sähköntuotannolla, biojätteen polttoa

CHP-tuotannolla (yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto) sekä anaerobista mädätystä CHP-tuotannolla ja orgaanisten ravinteiden talteenotolla. Käsittelytapoja arvioitiin neljän eri ympäristövaikutusluokan näkökulmista. Tutkimusten tulokset on esitetty kuvassa 33.



Kuva 33. Biojätteiden kaatopaikkasijoituksen, polton ja mädätyksen vertailu ilmastolämpenemisen (GWP), happamoitumisen (AP), alailmakehän otsonin muodostumisen (POCP) ja rehevöitymisen (NE) näkökulmista (Evangelisti et al. 2013).

Evangelistin et al. (2013) mukaan biojätteen kaatopaikkasijoitus oli, ainakin ilmastolämpenemisen, alailmakehän otsonin muodostumisen ja rehevöitymisvaikutusten näkökulmasta selvästi muita käsittelytapoja huonompi vaihtoehto. Vastaavasti polton ja mädätyksen tulokset olivat lähempänä toisiaan. Tulosten perusteella biojätteen mädätyksellä saavutettiin ilmastolämpenemisen ja happamoitumisen näkökulmasta suuremmat nettomääräiset ympäristöhyödyt kuin jätteenpoltolla. Alailmakehän otsonin muodostumisen ja rehevöitymisen näkökulmasta mädätys puolestaan aiheutti suuremman nettomääräisen ympäristökuorman kuin poltto. Nettomääräinen ilmastolämpenemisvaikutus oli mädätysvaihtoehdossa noin -2300 tonnia CO₂-ekv./a, eli noin -65 kg CO₂-ekv./tonni erilliskerättyä biojätettä. Vastaavasti polttovaihtoehdossa nettomääräinen ilmastolämpenemisvaikutus oli noin -1500 tonnia CO₂-ekv./a, eli noin -42 kg CO₂-ekv./tonni poltettua biojätettä.

Mädätyksen ja polton keskinäinen paremmuusjärjestys ei ollut selvä, vaikka mädätyksellä tuotetun biokaasun energia saatiin hyödynnettyä yli 80-prosenttisesti ja jätteenpoltolla jätteen energiasisältö saatiin hyödynnettyä vain 30-prosenttisesti. (Evangelisti et al. 2013.)

4.2.2 Life Cycle Analysis of Incineration Compared to Anaerobic Digestion Followed by Composting for Managing Organic Waste

Di Maria & Micale (2014) vertailivat selvityksessään biojätteen polttoa ja anaerobista mädätystä kahdeksan eri ympäristövaikutusluokan näkökulmasta. Tarkastelun kohteena oli 24 000 asukkaan alue Italiassa. Toiminnallinen yksikkö oli yksi tonni biojätettä ja vaihtoehtoina tarkasteltiin sekä tilannetta, jossa kaikki biojäte poltettaisiin sekajätteen mukana sekä tilannetta, jossa biojäte erilliskerättäisiin (52 %:n lajittelutehokkuudella) ja mädätettäisiin biokaasulaitoksella. Vertailun tulokset on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Biojätteen keräyksen ja käsittelyn ympäristövaikutustulokset tilanteessa, jossa kaikki biojäte päätyi sekajätteen mukana polttoon (SS 0 %) sekä tilanteessa, jossa 52 % biojätteestä lajiteltiin ja käsiteltiin biologisesti mädättämällä ja edelleen kompostoimalla mädänte (Di Maria & Micale 2014).

Impact category	Unit	%SS	
		0	52
Abiotic depletion potential (ADP)	kg Sb eq/tonne	-1.068	-0.431
Global warming potential (100) (GWP ₁₀₀)	kg CO ₂ eq/tonne	-122.9	180.9
Ozone layer depletion potential (OLDP)	kg CFC-11 eq/tonne	-6.55E-06	-3.08E-06
Human toxicity potential (HTP)	kg 1,4-DB eq/tonne	12.73	-12.86
Terrestrial ecotoxicity potential (TEP)	kg 1,4-DB eq/tonne	-0.049	-0.004
Photochemical ozone creation potential (POCP)	kg C ₂ H ₄ /tonne	-0.017	0.054
Acidification potential (AP)	kg SO ₂ eq/tonne	-0.380	0.170
Eutrophication potential (EP)	kg PO ₄ eq/tonne	0.031	0.630

Di Marian & Micalen (2014) tulosten perusteella biojätteen mädätys ja mädätteen kompostointi oli polttoa parempi vaihtoehto vain yhdessä ympäristövaikutusluokassa: ihmisiin kohdistuvissa toksisuusvaikutuksissa. Uusiutumattomien luonnonvarojen ehtymisen, ilmastolämpenemisen, otsonikerroksen ohentamisen, maaperän toksisuusvaikutusten, alailmakehän otsonin muodostumisen, happamoitumisen ja rehevöitymisen näkökulmista biojätteen poltolla saavutettiin joko suuremmat ympäristöhyödyt tai pienemmät nettopäästöt kuin mädätyksellä ja kompostoinnilla.

Tuloksiin vaikuttava merkittävä tekijä oli oletus korvattavan energiantuotannon polttoaineista. Jätteenpolton ympäristövaikutustulokset olivat mädätysvaihtoehtoa parempia, sillä polttamalla saatiin tuotettua biojättemäärään suhteutettuna enemmän energiaa (tässä tapauksessa sähköä) ja kun sähköllä korvattiin italialaista keskimääräistä sähköntuotannon jakaumaa (n. 70-prosenttisesti fossiilisia polttoaineita), saavutettiin poltolla lähes kaikissa vaikutusluokissa mädätystä paremmat tulokset.

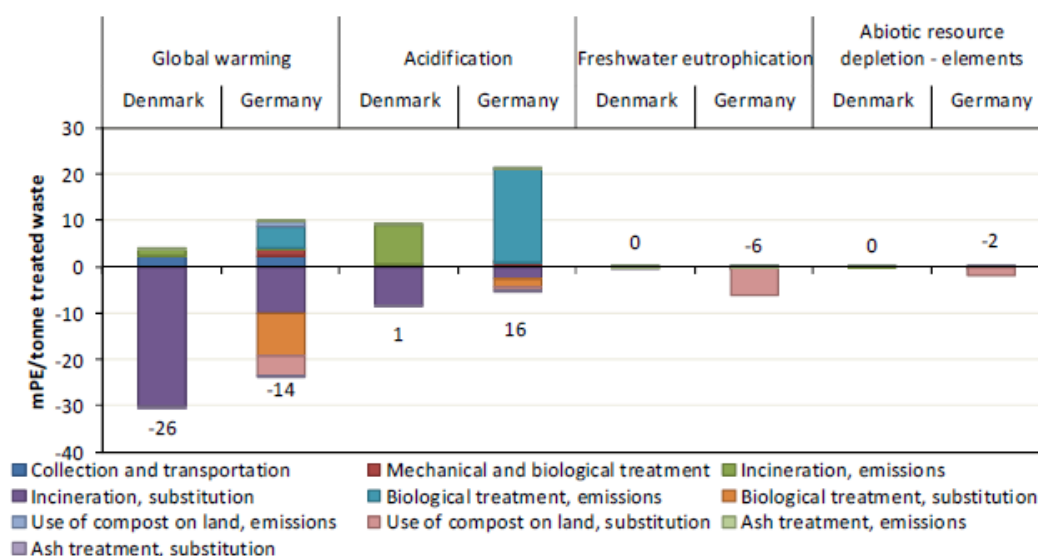
Selvityksessä tarkasteltiin herkkyystarkastelun avulla, miten energiantuotannon polttoainejakauman muuttaminen vaikutti tuloksiin. Italialainen keskimääräinen polttoainejakauma muutettiin vastaamaan kreikkalaista, sveitsiläistä ja tanskalaista keskimääräistä energiantuotannon jakaumaa.

Muutos vaikutti merkittävästi absoluuttisiin tuloksiin, mutta ei juuri vaikuttanut vaihtoehtojen (polton ja biologisen käsittelyn) keskinäiseen järjestykseen. Poltto osoittautui biologista käsittelyä pääosin paremmaksi vaihtoehdoksi jopa sveitsiläisellä energiantuotantotajakaumalla, jossa yli 55 % sähköä tuotetaan ydinvoimalla ja yli 38 % uusiutuvilla polttoaineilla. (Di Maria & Micale 2014.) Energiantuotannon hyötysuhteilla oli tässä tapauksessa polttoaineita merkittävämpi vaikutus tuloksiin. Hyötysuhteille ei kuitenkaan tehty herkkyystarkastelua.

4.2.3 Environmental Assessment of Biowaste Management in the Danish-German Border Region

Morten Bang Jensenin (2016) väitöskirjassa (tehty Technical University of Denmarkille) tarkasteltiin viiden erilaisen Saksan ja Tanskan rajan molemmiin puolin toimivan jätehuolto-yhtiön biojätteen keräystä ja käsittelyä ja vertailtiin niiden ympäristövaikutuksia toisiinsa. Tanskassa oli ainakin vielä selvityksen teon aikaan hyvin vähän biojätteen erilliskeräystä tai kapasiteettia biologiselle käsittelylle, joten biojätteet poltettiin polttokelpoisten jätteiden mukana. Saksassa taas oli vahvasti panostettu syntypaikkalajitteluun ja biojätteiden biologiseen käsittelyyn, erityisesti biokaasulaitoksiin.

Tutkimuksessa havaittiin, että Tanskan tapa lähes aina polttaa biojätteet kuormitti ympäristöä vähemmän kuin tehokkaasti biojätteitä lajittelevan ja kierrättävän Saksan. Tanskalainen järjestelmä osoittautui kymmenessä ympäristövaikutusluokassa neljästätoista paremmaksi kuin saksalainen biojätteiden käsittely. Alla kuvassa 34 on esitetty näistä ympäristövaikutusluokista neljä.



Kuva 34. Polttoon perustuvan tanskalaisen biojätteen käsittelyn ja tehokkaaseen kierrätykseen perustuvan saksalaisen biojätteen käsittelyn ympäristövaikutukset ilmastolämpenemisen, happamoitumisen, rehevöitymisen ja uusiutumattomien luonnonvarojen ehtymisen näkökulmista. (Jensen et al. 2016.)

Ilmastolämpenemisen näkökulmasta jätteenpoltolla saavutettiin suuremmat päästöhyvikset kuin biologisella käsittelyllä, kuten myös suomalaisissa selvityksissä on huomattu. Happamoitumisen näkökulmasta biologinen käsittely aiheutti (lähinnä käsittelystä vapautuvasta ammoniakista

johtuen) suuremmat happamoitusvaikutukset kuin biojätteen poltto, kuten myös esimerkiksi LCA Consulting Oy:n vuoden 2018 selvityksessä havaittiin. Rehevöitymiseen jätteenpoltolla ei kuvan 34 perusteella näytä olevan juuri vaikutusta. Tämä johtuu siitä, että selvityksessä käytettiin rehevöitymisen arviointiin ILCD:n suosittelemaa vaikutusarviointimenetelmää (Posch et al. 2008; Seppälä et al. 2006). Tässä menetelmässä huomioidaan vain fosforipäästöt eikä lainkaan typpi-päästöjä, joita jätteenpoltossa tosiasiaassa syntyy. Uusiutumattomia luonnonvaroja säästettiin enemmän biologisessa käsittelyssä kuin poltossa, johtuen pääosin fosforin talteenotosta biologisessa käsittelyssä. (Jensen et al. 2016.)

Tuloksiin vaikuttava merkittävä tekijä, kuten aiemmissakin selvityksissä on tullut ilmi, oli jälleen energiantuotanto ympäröivässä järjestelmässä. Biojätteistä tuotetulla energialla korvattiin Tanskan marginaalienergiaa, eli fossiilisilla polttoaineilla tuotettua energiaa. Saksalle käytettiin samoja oletuksia kuin Tanskalle. Laskennassa saatiin eri alueilta luonnollisesti erilaisia tuloksia sen mukaan, mitä polttoaineita biojätteestä tuotetulla energialla korvattiin, mikä oli biojätteestä tuotetun energian hyötykäyttöaste ja mikä oli korvautun energiantuotannon hyötysuhde. Lisäksi selvityksessä tarkastelluilla alueilla biokaasusta tuotetulle lämmölle oli heikosti kysyntää, kun vastaavasti jätteenpolttolaitoksella tuotettu lämpö saatiin tehokkaasti hyödynnettyä. Tämä oli merkittävä tekijä esimerkiksi ilmastonlämpenemisvaikutuksista saaduissa tuloksissa. (Jensen et al. 2016.) Tilanne oli vastaava kuin esimerkiksi Sevanderin (2010) selvityksessä, jossa biojätteestä tuotettua lämpöä ei saatu vaihtoehtoisissa kohteissa hyödynnettyä tehokkaasti, joten biojätteen poltto osoittautui ilmastonlämpenemisen näkökulmasta mädätystä huomattavasti paremmaksi vaihtoehdoksi.

4.2.4 Environmental Performance of Household Waste Management in Europe – an Example of 7 Countries

Bassin et al. (2017) selvityksessä mallinnettiin kotitalousjätteiden jätehuoltojärjestelmiä ja niiden ympäristövaikutuksia seitsemässä Euroopan maassa: Saksassa, Tanskassa, Ranskassa, Iso-Britanniassa, Italiassa, Puolassa ja Kreikassa. Näiden pohjalta analysoitiin, miten kansallinen konteksti vaikuttaa jätehuollon ympäristövaikutuksiin. Tutkimus ei painottunut nimenomaan biojätteen keräykseen ja käsittelyyn, mutta selvityksestä saadaan tärkeää tietoa siitä, miten alueelliset erot vaikuttavat elinkaariarviointien tuloksiin. Selvityksessä laskettuja ympäristövaikutuksia eri maiden jätehuollolle on esitetty kuvissa 35 ja 36.

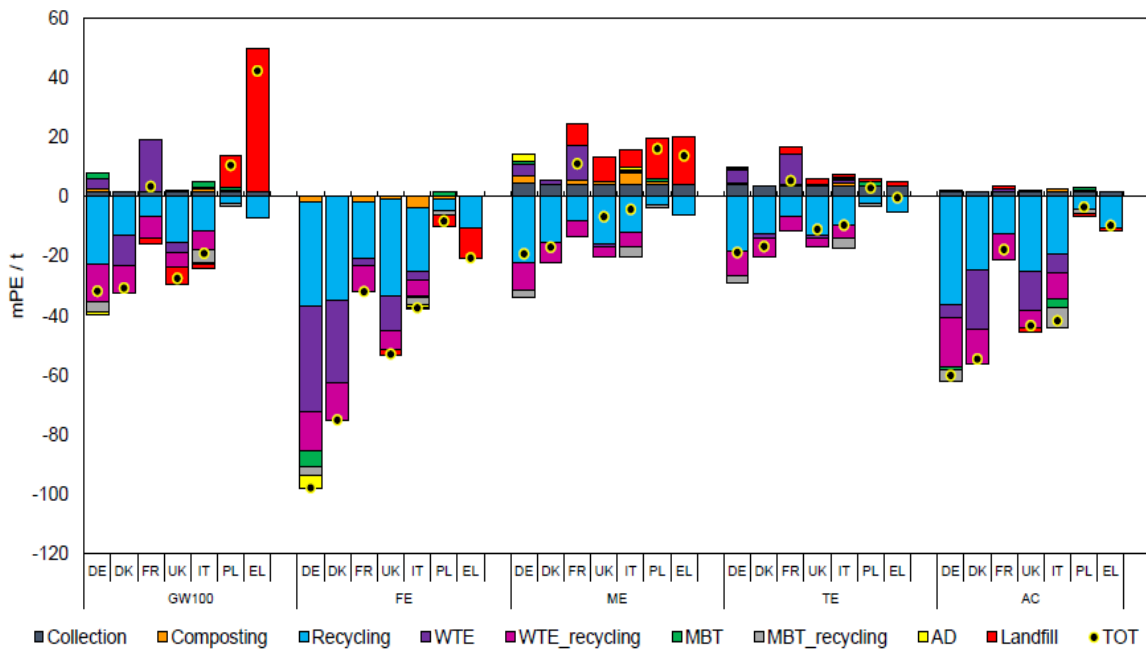


Figure 14: Normalised milli person-equivalent (mPE) per tonne for Climate Change (GP₁₀₀), Freshwater Eutrophication (FE), Marine Eutrophication (ME), Terrestrial Eutrophication (TE) and Terrestrial Acidification (AC). The countries studied are Germany (DE), Denmark (DK), France (FR), United Kingdom (UK), Italy (IT), Poland (PL) and Greece (EL)

Kuva 35. Yhdyskuntajätehuollon ilmastonlämpenemisvaikutus sekä makeiden vesien, merivesien ja maaperän rehevöitymisvaikutukset seitsemässä tarkastelumaassa (Bassi et al. 2017).

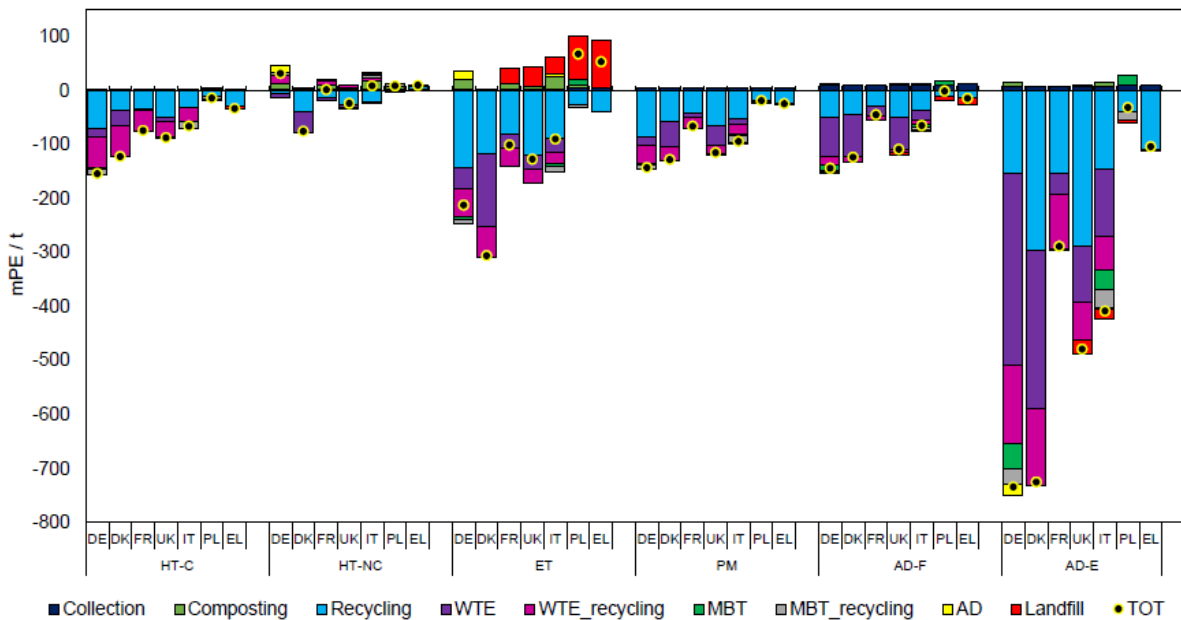


Figure 15: Normalised milli person-equivalent (mPE) per tonne for Human Toxicity, carcinogenic (HT-C), Human Toxicity, non-carcinogenic, (HT-NC), Freshwater eco-toxicity (ET) and Particular matter (PM), Depletion of Abiotic Fossil Resources (AD-F) and Depletion of Abiotic Mineral Resources (AD-E). The countries studied are Germany (DE), Denmark (DK), France (FR), United Kingdom (UK), Italy (IT), Poland (PL) and Greece (EL).

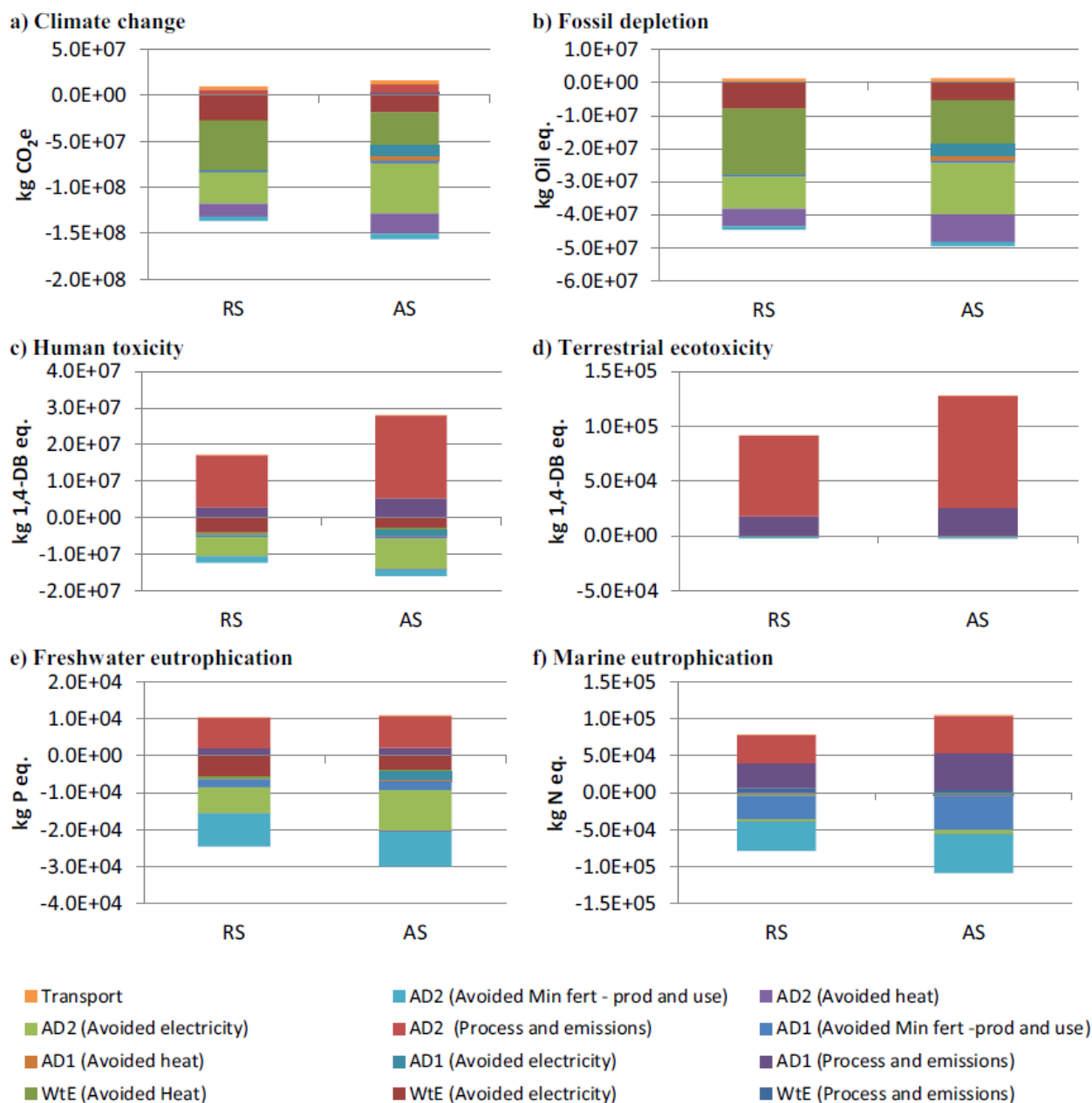
Kuva 36. Yhdyskuntajätehuollon toksisuusvaikutukset, hiukkasvaikutukset, fossiilisten luonnonvarojen ehtymisvaikutukset ja uusiutumattomien mineraalisten luonnonvarojen ehtymisvaikutukset seitsemässä tarkastelumaassa (Bassi et al. 2017).

Kuten kuvista 36 ja 37 nähdään, Bassin et al. (2017) selvityksen tuloksissa Saksan (DE) yhdyskunta-jätehuolto kuormittaa ympäristöä vähemmän kuin monen muun valtion, mikä on seurausta Saksan korkeista kierrätysasteista. Useissa ympäristövaikutusluokissa Tanskalle lasketut tulokset ovat kuitenkin lähellä Saksan tuloksia, vaikka Tanskassa (DK) kierrätysasteet ovat selvästi Saksaa heikommät. Tanskan verrattain hyvät tulokset johtuvat pääosin siitä, että tanskalaisissa jätteenpolttolaitoksissa on keskimäärin korkeat energian hyötykäyttöasteet, keskimäärin samaa suuruusluokkaan kuin Suomessa.

Energiantuotannon suhteen Ranskan voidaan olettaa olevan vertailluista maista vähän kasvihuonekaasupäästöjä aiheuttava, sillä suurin osa sähköstä tuotetaan muita maita vähemmin kasvihuonekaasupäästöjä aiheuttavasti, pääosin ydinvoimalla ja vesivoimalla, ja lämpö pääosin maakaasulla. Kuvista 36 ja 37 kuitenkin nähdään, että Ranskan (FR) jätehuoltojärjestelmä sai useassa ympäristövaikutusluokassa selvästi huonommat tulokset kuin esimerkiksi vastaavanlaisen jätehuollon maat Iso-Britannia (UK) tai Italia (IT). Suurimpana syynä tähän on puhtaampi energiantuotantorakenne. Ranskassa jätteenpoltolla ei saada niin paljoa hyvityksiä kuin maissa, joissa energiantuotanto pohjautuu enemmän fossiiliseen energiaan.

4.2.5 Comparative Life Cycle Assessment of Biowaste to Resource Management Systems – A Danish Case Study

Thomsen et al. (2016) tarkastelivat tutkimuksessaan, mitä tanskalaisen kohdealueen ympäristövaikutuksille tapahtuu, jos Tanskan nykyisestä biojätteen pääasiallisesta käsittelytavasta eli poltosta siirryttäisiin biokaasun ja ravinteiden tuotantoon biologisen käsittelyn kautta. Selvityksen tulokset on esitetty kuvassa 37.



Kuva 37. LCA-laskennan tulokset tanskalaisen alueen nykytilalle (RS = Reference Scenario) ja tulevaisuuden tilanteelle (AS = Alternativa Scenario), jossa asumisen biojätteestä 33 % ohjautuu polton sijaan biokaasulaitokselle ja myös maatalojen lanta, joka nykyisin toimitetaan suoraan pelloille, mädätetään biokaasulaitoksilla. Tulokset sisältävät myös jätevesilietteen, josta molemmissa vaihtoehtoissa tuotetaan biokaasua. (Thomsen et al. 2016.)

Thomsenin et al. (2016) perusteella siirtyminen nykyisestä biojätteenkäsittelystä (kotitalouksissa syntyvän biojätteen poltto ja maataloilla syntyvän lannan suora hyödyntäminen pelloilla) kohti bioperäisten jätteiden biologista käsittelyä, ympäristöhyödyt kasvoivat neljässä ympäristövaikutusluokassa kuudesta. Toksisuusvaikutuksissa jätteenpoltosta syntyvät päästöt olivat biologista käsittelyä pienemmät. Ilmastonlämpenemisen näkökulmasta orgaanisten jätteiden mädätys nähtiin tässä selvityksessä nykyistä hyödyntämistapaa eli polttoa parempana vaihtoehtona.

Tutkimuksen tuloksista ei voida suoraan tehdä johtopäätöstä juuri kotitalouksissa syntyvän biojätteen käsittelytapojen ympäristövaikutuksista, sillä selvityksessä tarkasteltiin yhtäaikaisesti myös maataloilla syntyvän lannan käsittelytavan muutosta (Thomsen et al. 2016). Selvityksessä laskettuja jätteenpolton päästöjä ja jätteenpoltolla saavutettavia päästöhyvityksiä voi myös vahvasti kyseenalaistaa, sillä biojätteen polton päästöt ja päästöhyvitykset allokoitiin poltettavan jätteen seassa olevalle biojätejakeelle massaperusteisesti, eikä jätejakeen ominaisuuksiin (sille ominaiseen lämpöarvoon ja kemiallisiin ominaisuuksiin) perustuen. Tästä syystä biojätteen polton päästöjä ja tuotetun energian kautta laskettuja päästöhyvityksiä ei voida pitää luotettavina. Tämän heikkouden Bassi et al. (2017) myös itse tiedostaa selvityksessään.

4.3 Eroavaisuuksia suomalaisiin vastaaviin elinkaariarviointeihin

4.3.1 Erot biojätteen keräyksessä

Mualla Euroopassa tehtyjen biojätettä käsittelevien elinkaariarviointien pääpaino on usein ollut eri käsittelyvaihtoehtojen vertailussa, jolloin keräyksen tarkempaa mallinnusta ei ole nähty relevanttina. Muualla Euroopassa tehtyjen tutkimusten joukosta ei löytynyt vastaavalla tasolla olevia selvityksiä vaihtoehtojen velvoiterajojen vaikutuksista kuin Suomessa on tehty. Biojätteen keräystä ja käsittelyä ei ole useinkaan tarkasteltu samassa tutkimuksessa yhtä tarkasti kuin suomalaisissa selvityksissä, vaan pääpaino on ollut jommassakummassa, usein käsittelyssä. Tästä syystä ei voida suoraan vertailla biojätteen keräyksen ympäristövaikutuksia vastaavanlaisilla velvoiterajoilla Suomessa ja muualla Euroopassa.

Tarkastelluissa eurooppalaisissa selvityksissä ei mallinnettu tarkemmin juuri kyseisten alueiden biojätekeräyksen päästöjä, vaan keräyksen päästöt, mikäli ne oli huomioitu, oli otettu muista selvityksistä. Evangelistin et al. (2013) selvityksessä ei huomioitu lainkaan biojätteen kiinteistökeräyksestä aiheutuvia päästöjä, vaan pelkästään kuljetus siirtokuormausasemalta käsittelyyn. Di Marian & Micalen (2014) selvityksessä biojätteen erilliskeräyksen polttoaineen kulutukselle käytettiin arvoa 3,34 litraa/tonni biojätettä, mikä on huomattavasti pienempi kuin suomalaisissa selvityksissä saadut kulutusarvot. Di Marian & Micalen (2014) selvityksessä ei kerrota tarkemmin, mihin kulutuslukema pohjautuu, joten vertailu suomalaisiin selvityksiin on haastavaa. Jensenin et al. (2016) tutkimuksessa käytettiin Larsenin (2009) väitöskirjassa raportoituja kulutuslukemia. Larsenin (2009) tutkimusraportissa ei kuitenkaan esitetä kulutuslukemia nimenomaan biojätteen keräykselle. ”Residual household waste” -jätelajin, jota Suomessa voidaan verrata polttokelpoiseen sekajätteeseen, keräyksen polttoaineenkulutus vaihteli välillä 1,7–10,1 l/t (Larsen 2009). Lukuarvot ovat keskimäärin pienempiä kuin Suomessa lasketut biojätteen keräyksen polttoainekulutukset kerättyä tonnia kohden.

Di Marian & Micalen (2014) selvityksessä kuljetusten osuuden todettiin olevan marginaalinen kokonaistuloksiin nähden. Vastaavia tuloksia on saatu myös sellaisissa suomalaisissa selvityksissä, joissa biojätettä kerätään tiheästi asutuilta alueilta ja vain suurilta kiinteistöiltä (esim. Sundström

et al. 2014 & LCA Consulting Oy 2018), vaikkakin suomalaisissa selvityksissä keräyksen ympäristövaikutukset suhteessa kokonaisvaikutuksiin ovat olleet suurempia kuin Di Marian & Micalen (2014) esittämät.

Tarkastelluissa selvityksissä ei kerrottu tarkemmin biojätteiden keräystavasta tai tyhjennysväleistä muissa Euroopan maissa, joten vertailua Suomeen ei voitu tämän suhteen toteuttaa. Tarkastelluissa selvityksissä biojätteen keräysajo joko rinnastettiin sekajätteen keräykseen (Jensen et al. 2016), keräystä ei tarkasteltu muuten kuin siirtokuljetusten osalta (Evangelisti et al. 2013; Thomsen et al. 2016) tai muutokset sekajätteen keräykseen verrattuna huomioitiin erilaisten oletusten kautta (ajoneuvon keräystilavuus, keräyspisteiden määrä, tonnikohtainen polttoaineen kulutus), mutta oletusten taustoja ei kerrottu tarkemmin (Di Maria & Micala 2014).

4.3.2 Erot biojätteen käsittelyketjussa ja hyödyntämisessä

Jokaisella jätehuoltoalueella on omat erityispiirteensä, jotka vaikuttavat elinkaarilaskentaan ja saatuihin tuloksiin. Pääpiirteissään käsittelyketjut ja mallinnustavat ovat kuitenkin olleet samanlaisia Suomessa ja muualla Euroopassa tehdyissä elinkaariselvityksissä. Päästötekijöinä on huomioitu (ainakin osittain) biojätteen keräys ja kuljetus käsittelyyn, biojätteen käsittely (biologinen käsittely ja poltto) ja siitä aiheutuvat päästöt, taustaprosessit ja niistä aiheutuvat päästöt, esimerkiksi polttoaineen valmistus ja tarvittavan energian tuotanto sekä päästöhyvitykset, kun korvataan vaihtoehtoisia polttoaineita energiantuotannossa tai liikennepolttoaineena, teollisia lannoitteita tai turvetta mullanvalmistuksessa.

Taulukkoon 8 on kerätty vertailun helpottamiseksi selvityksissä käytettyjä olennaisia tietoja ja laskentaparametreja biojätteen mädätykseen liittyen. Tiedot on kerätty kahdesta suomalaisesta biojätteen elinkaariselvityksestä (Knuutila 2012 ja LCA Consulting Oy 2018) sekä tarkastelluista muualla Euroopassa tehdyistä biojätettä käsittelevistä selvityksistä (Di Maria & Micala 2014; Evangelisti et al. 2013; Jensen et al. 2016; Thomsen et al. 2016).

Taulukko 8. Biojätteen mädätyksen olennaisten laskentaparametrien vertailua kahden suomalaisen ja neljän muualla Euroopassa laaditun selvityksen välillä.

	Knuutila (2012)	LCA Consulting Oy (2018)	Di Maria & Micale (2014)	Evangelisti et al. (2013)	Jensen et al. (2016)	Thomsen et al. (2016)
Biojätteen kuiva-ainepitoisuus (TS)	27–33 %	30 %	39,4 %	26 %	ei ilmoitettu	51 %*
Metaanin tuotopotentiali	100 m ³ /t biojätettä	120 m ³ /t biojätettä	n. 90 m ³ /t biojätettä (biokaasua 150 kg/t)	n. 90 m ³ /t biojätettä (600 Nm ³ /t _{VS})	34–65 m ³ /t biojätettä	ei ilmoitettu
Biokaasun energian tuotannon kokonaishyötysuhde	70 %	84 %	ei tarkkaa tietoa, lähellä 30 %	82 %	23–38 %	81 %
Sähkön tuotannon hyötysuhde	28 %	34 %	n. 28 % (220 kWh/t biojätettä)	32 %	11–17 %	39 %
Lämmön tuotannon hyötysuhde	42 %	50 %	vain mädätyksessä tarvittava lämpö hyödynnetään	50 %	12–21 %	42 %
Hyvitys sähköstä	Suomen keskim. sähkön-tuotanto	Suomen keskim. sähköntuotanto	Italian keskim. sähköntuotanto	Iso-Britannian keskim. sähköntuotanto	Tanskan marginaalisähkö (pääosin kivihiili)	ei ilmoitettu
Hyvitys lämmöstä	Keskim. alueellinen lämmön-tuotanto (Turku Energia)	Suomen keskim. kaukolämmön-tuotanto	-	Lämpö maakaasusta	Alueellinen marginaalinen lämmöntuotannon polttoaine	ei ilmoitettu
Mädätteen hyödyntäminen	Käyttö viherrakentamisessa	Kompostointi, mullanvalmistus ja käyttö viherrakentamisessa	Kompostointi ja hyödyntäminen lannoitteena	Hyödyntäminen lannoitteena	Hyödyntäminen lannoitteena	Hyödyntäminen lannoitteena
Hyvitys mädätteen hyödyntämisestä	Teolliset lannoitteet ja turve	Teolliset lannoitteet ja turve	Teolliset lannoitteet	Teolliset lannoitteet	Teolliset lannoitteet	Teolliset lannoitteet

*Thomsen et al. (2016) selvityksessä biojäte-termiin sisältyi kaikki yhdyskuntajätteeseen kuuluva orgaaninen aines, sisältäen keittiöbiojätteen lisäksi myös esim. paperia, kartonkia ja puuta.

**Yhdessä jätevoimalassa teoreettinen kokonaishyötykäyttöaste oli yli 100 %, johtuen savukaasujen kondensointi-yksiköistä.

Taulukosta 8 nähdään, että käytetyt laskenta-arvot vaihtelevat selvityksestä ja tarkasteltavasta tapauksesta riippuen, mutta merkittävää eroa ei ole nähtävillä suomalaisten ja muualla Euroopassa tehtyjen tutkimusten välillä. Suomalaisissa selvityksissä biojätteistä saatava biokaasupotentiaali on arvioitu hieman suuremmaksi kuin muissa vastaavissa selvityksissä. Toisaalta arvot perustuvat toteutuneisiin biokaasulaitosten tuotantomääriin, joten lukujen voidaan olettaa vastaavan todelli-

suutta. On mahdollista, että Suomessa kerättävä biojäte on biokaasun tuotannon näkökulmasta hieman parempaa materiaalia biokaasulaitokselle kuin esimerkiksi Italiassa, Tanskassa tai Iso-Britanniassa.

Biojätteestä tuotetun biokaasun energiantuotannon hyötysuhde on yhtä suuri Suomessa kuin muissa tarkastelluissa maissa. Vain Jensenin et al. (2016) käyttämät energiantuotannon hyötysuhde ovat muita pienempiä, johtuen siitä, että tarkastelluissa tapauksissa biojätteestä tuotetulle energialle ei ollut kunnollista kysyntää.

Energian hyvitysten osalta ei ole yhtenäistä linjanvetoa siitä, käytetäänkö hyvitysten suhteen keskimääräistä energiantuotantoa vai marginaalista energiantuotantoa (usein fossiilisia polttoaineita). Sekä Suomessa että muualla maailmassa tehdyissä elinkaariselvityksissä on käytetty korvattavana energiana sekä keskimääräistä energiantuotantoa että marginaalienergiaa.

Biokaasulaitoksien lopputuote, mädäte, käytetään usein ravinnekäytössä joko sellaisenaan tai hyödynnetään ravinnekäytössä kompostoinnin jälkeen. Komposti voidaan edelleen käyttää lannoitteena joko sellaisenaan tai sitä voidaan käyttää mullanvalmistuksen raaka-aineena. Suomessa mädätteestä valmistetaan usein kompostoinnin kautta multaa ja sen on oletettu korvaavan teollisten lannoitteiden lisäksi turvetta. Vastaavasti tarkastelluissa ulkomaisissa selvityksissä mädätteellä ei ole korvattu turvetta, vaan pelkästään teollisia lannoitteita.

4.3.3 Erot jätteenpoltossa

Taulukkoon 9 on kerätty selvityksissä käytettyjä olennaisia biojätteen polttoon liittyviä tietoja ja laskentaparametreja. Tiedot on kerätty kahdesta suomalaisesta biojätteen elinkaariselvityksestä (Knuutila 2012 ja LCA Consulting Oy 2018) sekä tarkastelluista muualla Euroopassa tehdyistä biojätettä käsittelevistä elinkaariselvityksistä (Di Maria & Micale 2014; Evangelisti et al. 2013; Jensen et al. 2016; Thomsen et al. 2016). Thomsenin et al. (2016) tutkimusta ei taulukossa tarkastella, sillä artikkelissa ei kerrottu taulukkoon listattuja laskentaparametreja.

Taulukko 9. Biojätteen polton olennaisten laskentaparametrien vertailua kahden suomalaisen ja kolmen muualla Euroopassa laaditun selvityksen välillä.

	Knuutila (2012)	LCA Consulting Oy (2018)	Di Maria & Micale (2014)	Evangelisti et al. (2013)	Jensen et al. (2016)
Biojätteen lämpöarvo	3 MJ/kg	3 MJ/kg	5 MJ/kg	5,9 MJ/kg	6,1 MJ/kg
Energian tuotannon kokonaishyötysuhde	85 %	90 %	22 %	30 %	72–110 %**
Sähkön tuotannon hyötysuhde	21 %	36 %	22 %	8,4 %	9–19 %
Lämmön tuotannon hyötysuhde	64 %	54 %	0 %	21,6 %	63–91 %
Hyvitys sähköstä	Suomen keskim. sähköntuotanto	Suomen keskim. sähköntuotanto	Italian keskim. sähköntuotanto	Iso-Britannian keskim. sähköntuotanto	Tanskan marginaalisähkö (pääosin kivihiili)
Hyvitys lämmöstä	Keskim. alueellinen lämmöntuotanto (Turku Energia)	Suomen keskim. kaukolämmöntuotanto	-	Lämpö maakaasusta	Alueellinen marginaalinen lämmöntuotannon polttoaine

Taulukko 9 tuo esille merkittäviä eroja jätteenpoltossa Suomen ja muualla Euroopassa toteutettujen tutkimusten välillä. Ensimmäinen huomattava ero on suomalaisissa tutkimuksissa biojätteelle käytetty pienempi lämpöarvo kuin muissa selvityksissä. Ero voi aiheutua maakohtaisista eroista sen suhteen, mitä ”biojäte” termillä tarkoitetaan ja mitä se sisältää. Esimerkiksi Thomsenin et al. (2016) selvityksessä biojätteellä tarkoitetaan kotitalouksista syntyvää orgaanista jätettä, johon luetaan ruokajätteen lisäksi myös esimerkiksi pehmopaperi, muu paperi, pahvi ja puumateriaali.

Merkittävin tuloksiin vaikuttava tekijä lienee kuitenkin erot jätteenpolton energiantuotannon hyötysuhteissa. Taulukon 8 suomalaisissa selvityksissä jätevoimalan kokonaishyötysuhteille käytettiin lukuja 85 % ja 90 %. Luvut perustuivat todenmukaisiin energiantuotannon hyötysuhteisiin suomalaisissa jätevoimaloissa. Myös muissa suomalaisissa selvityksissä jätevoimaloiden hyötysuhteet ovat olleet korkeita. Keskimäärin suomalaisissa biojätteselvityksissä on käytetty jätevoimalassa tuotetun energian kokonaishyötysuhteelle arvoa 82 % (vaihteluväli 62–90 %).

Vastaavasti Italian tapauksessa hyötysuhde oli 22 %, sillä lämmölle ei ollut lainkaan ulkoista hyötykäyttöä (Di Maria & Micale 2014) ja Iso-Britannian tapauksessa 30 % (Evangelisti et al. 2013). Tanskassa hyötysuhteet ovat lähellä Suomea ja Jensenin et al. (2016) tutkimuksessa neljän jätevoimalan hyötysuhteet olivat keskimäärin 89 % (vaihteluväli 72–110 %). Bassin et al. (2017) selvityksessä esitettiin eri maiden jätevoimaloiden keskimääräisiä energiantuotannon hyötysuhteita. Nämä on listattu taulukkoon 10. Mukaan on lisätty myös suomalaisten elinkaariarviointien pohjalta määritetty keskiarvo Suomelle.

Taulukko 10. Keskimääräiset hyötykäyttöasteet eri maiden jätevoimaloissa (Bassi et al. 2017).

Maa	Hyötykäyttöaste
Tanska	91 %
Suomi	82 %
Ranska	42 %
Saksa	50 %
Italia	44 %
Iso-Britannia	28 %

Kuten taulukosta 9 nähdään, Suomessa sekä Tanskassa energian tuotannon hyötysuhde jätevoimaloissa on huomattavasti korkeampi kuin esimerkiksi Italiassa, Ranskassa tai Iso-Britanniassa. Suomessa sekä Tanskassa on laaja ja tehokas kaukolämpöverkosto, ja koska maat ovat suhteellisen pohjoisessa, lämpöenergiaa myös tarvitaan kiinteistöjen lämmitykseen enemmän kuin eteläisissä maissa. Kun jätteen energiasisältö saadaan tehokkaasti hyödynnettyä ja sillä voidaan korvata vaihtoehtoisia fossiilisia polttoaineita energiantuotannossa, on selvää, että näissä maissa jätteenpoltolla saadaan LCA-laskennoissa enemmän päästöhyvityksiä kuin maissa, joissa vain pieni osa energiasta saadaan hyödynnettyä.

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän selvityksen tavoitteena oli tuottaa lisätietoa biojätteen hyötykäytön (erityisesti kierrätyksen) ympäristövaikutuksista ja kustannuksista Suomessa. Selvitys toteutettiin pääosin jätehuollon elinkaariarviontien kirjallisuuskatsauksena, jota täydennettiin elinkaarimallinuksella. Mallinnuksessa keskityttiin tiettyihin tekijöihin, joilla oletettiin olevan vaikutusta biojätteen käsittelyn ympäristövaikutuksiin ja kustannuksiin.

On tärkeää huomioida, että aiemmin tehtyjen elinkaariarviontien alkuperäiset tavoitteet poikkeavat tämän selvityksen tavoitteista, mikä osittain rajoitti kyseisten arviontien hyödyntämistä tässä selvityksessä. Lisäksi on hyvä huomioida, että tapauskohtaiset tekijät - mallinnuksessa tehtävistä valinnoista tarkasteltavan alueen erityispiirteisiin - vaikuttavat aina elinkaariarvion tuloksiin, jolloin laskettuja tuloksia yleistettäessä täytyy toimia hyvin harkiten. Edelleen on huomioitava, että elinkaariarvioinnilla laskettavat ympäristövaikutukset ovat aina potentiaalisia vaikutuksia, jotka eivät eksaktisti vastaa todellista tilannetta. Rajoitteista huolimatta aikaisemmin tehtyjen elinkaari selvityksien analysoinnilla ja tiettyjen tekijöiden tarkemmalla tarkastelulla voitiin tuottaa uutta tietoa biojätteen käsittelyn ympäristövaikutuksista ja kustannuksista.

Pariisin ilmastositomuksen, EU:n ilmastotavoitteiden ja kansallisten energia- ja ilmastotavoitteiden johdosta fossiilisten polttoaineiden osuus käytettävistä polttoaineista todennäköisesti pienenee energiantuotannossa tulevina vuosina. Näin ollen energiantuotannon aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt tuotettua energiaa kohden ovat todennäköisesti alhaisemmat kuin tarkasteltujen elinkaariarviontien toteutuksen aikana. Siksi energiantuotannosta saatavat hyvitykset pienenevät tulevaisuudessa, millä voi olla huomattava vaikutus ympäristövaikutuksiin ja elinkaariarviontien tuloksiin tulevaisuuden osalta. Joissakin selvityksissä energiantuotannon mahdollista muutosta oli huomioitu ja ympäristövaikutuksia oli arvioitu vaihtoehtoisille energiantuotantorakenteille. Olisi hyvin suositeltavaa, että tulevissa elinkaariarvioinneissa huomioitaisiin todennäköiset muutokset energiantuotannossa esimerkiksi skenaario- tai herkkyystarkasteluihin, koska usein korvattavasta energiantuotannosta saatavat hyvitykset ovat yksi merkittävimmistä yksittäisistä tekijöistä, mikä vaikuttaa suoraan ilmastolämpenemistuloksiin.

Tehtyjen elinkaari selitysten perusteella ilmastolämpenemisen näkökulmasta biojätteen käsittelymenetelmien paremmuusjärjestys oli: poltto, mädätys, kompostoin ja kaatopaikkasijoitus. Järjestys voi tapauskohtaisesti vaihdella ja ilmastolämpenemisvaikutuksen vaikuttaa voimakkaasti se, kuinka paljon saadaan kullakin menetelmällä tuotettua energiaa ja/tai materiaalia hyödynnettyä. Esimerkiksi biokaasun hyödyntämisessä tuotetaanko biokaasua vai sähkö ja lämpöä ei ole yhtä ratkaiseva tekijä kuin se, että tuotettu polttoaine tai energia saadaan hyötykäyttöön mahdollisimman tehokkaasti. Ilmastolämpenemisen lisäksi myös muut ympäristövaikutuksia olisi hyvä tarkastella ja erityisesti biojätteen osalta ravinteiden kierto on tärkeää huomioida. Mädätettäessä tai kompostoitessa biojätettä ravinteet voidaan ottaa talteen, mutta poltettaessa ne hukataan.

Eri tekijöiden vaikutus ympäristövaikutuksiin

Biojätteen kierrätyksen potentiaaliset ympäristövaikutukset aiheutuvat erilliskerättävän biojätteen keräyksestä ja käsittelystä aiheutuvista suorista ja epäsuorista päästöistä sekä päästöhyvityksistä, kun lopputuotteilla vältetään esimerkiksi fossiilisten polttoaineiden, teollisten lannoitteiden ja/tai turpeen käyttöä ja niistä aiheutuvia päästöjä. Biojätteen elinkaaren eri vaiheiden suhteellinen osuus kokonaisvaikutuksista vaihtelee ympäristövaikutusluokasta ja tapauskohtaisista tekijöistä riippuen.

Ilmastonlämpenemisen näkökulmasta biojätettä mädätettäessä merkittävin ympäristöhyöty on päästöhyvityksellä, joka saadaan, kun mädätyksessä tuotettua biokaasua käytetään korvaamaan fossiilisia polttoaineita. Biojätteen erilliskeräyksen ja kuljetuksen kasvihuonekaasupäästöt ovat tehtyjen selvitysten tulosten mukaan tyypillisesti tiheään asutuilla alueilla yhtä suuria kuin biojätteen ja lopputuotteiden käsittelystä aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt. Harvaan asutuissa kunnissa biojätteen keräyksen osuus kokonaisilmastonlämpenemisvaikutuksista on yleensä huomattavasti suurempi kuin biojätteen käsittelyn vaikutus. Harvaan asutuilla alueilla velvoiterajaa kiristettäessä keräyksen aiheuttama osuus biojätteen käsittelyketjun kokonaisilmastonlämpenemisvaikutuksista kasvaa.

Muita ympäristövaikutuksia kuin ilmastonlämpenemistä on tehdyissä selvityksissä tarkasteltu vähän. Biojätteen erilliskeräyksen aiheuttamia happamoitumis-, rehevöitymis- ja hiukkasvaikutuksia sekä alailmakehän otsonin muodostumista on tarkasteltu Suomessa vain pääkaupunkiseudulla. Biojätteen keräyksen ja käsittelyn aiheuttamien happamoitumis- ja rehevöitymisvaikutuksien merkittävin tekijä on biojätteen käsittelystä syntyvät happamoittavat ja rehevöittävät päästöt. Pääkaupunkiseudulla biojätteen käsittelyn osuus keräyksen ja käsittelyn yhteenlasketusta happamoitumisvaikutuksesta on nykyisin noin 90 %. Jos biojäte erilliskerättäisiin kaikilta kiinteistöiltä, keräyksen osuus kasvaisi nykytilan noin 9,5 %:n osuudesta, noin 20 %:iin ja käsittelyn osuus vähenisi noin 80 %:iin.

Ympäristövaikutustuloksiin vaikuttavat tekijät voidaan jakaa kahteen ryhmään: tapauskohtaisiin tekijöihin, jotka liittyvät tarkasteltavaan alueeseen ja käsittelyprosessikohtaisiin tekijöihin sekä elinkaariselvityksissä tehtyihin oletuksiin ja valintoihin. Elinkaariselvityksissä tehdyistä valinnoista merkittävin on oletus siitä, mitä biojätteen käsittelyn lopputuotteilla korvataan. Esimerkiksi biojätteestä tuotetulla lämmöllä korvataan joissain selvityksissä pelkällä kivihieillä tuotettua lämpöä, joissain selvityksissä taas on ajateltu korvattavan Suomen keskimääräistä kaukolämmön tuotantoa. Tapauskohtaiset tekijät ovat tietyille alueelle ominaisia tekijöitä, jotka kuvastavat juuri kyseistä tarkasteltavaa aluetta sekä järjestelmiä. Myös nämä vaikuttavat merkittävästi selvityksistä saataviin tuloksiin. Tuloksiin vaikuttavia alueellisia tekijöitä ovat muun muassa seuraavat:

- Kuinka paljon erilliskeräyksessä kuluu polttoainetta kerättävää biojätettä kohden? Tähän vaikuttavat muun muassa,
 - kuinka laajalta alueelta ja millaisten välimatkojen päästä biojätettä kerätään
 - kuinka usein ja millaisella keräyskalustolla biojätettä kerätään
- Mitä biokaasulle tehdään; tuotetaanko energiaa vai jalostetaanko se liikennepolttoaineeksi?

- Millä hyötysuhteella biokaasusta tuotetaan energiaa?
- Kuinka hyvin tuotettu biokaasu tai sillä tuotettu energia saadaan hyödynnettyä; onko esimerkiksi lämpöenergialle alueellista kysyntää?
- Miten mädätysjäännös käsitellään ja miten se hyödynnetään? Onko mädätteelle tai siitä tuotetulle kompostille alueellista kysyntää?
- Mikä on energiantuotannon hyötysuhde jätevoimalassa?
- Kuinka hyvin jätevoimalassa tuotettu energia saadaan hyödynnettyä?
- Mikä on biojätteelle laskennassa käytetty lämpöarvo?
- Mitä polttoaineita biojätteellä tuotettu energia korvaa? Käytetäänkö marginaalienergiaa, esimerkiksi kivihiiltä, vai keskimääräistä energiaa?

Eri tekijöiden vaikutus kustannuksiin

Biojätteen kierrätyksen kustannuksiin vaikuttavat merkittävästi sekä keräykseen että käsittelyyn liittyvät alueelliset tekijät. Elinkaariselvityksissä tarkastelluilla kohdealueilla keräyksen ja käsittelyn kustannukset ovat joko olleet samaa suuruusluokkaa tai keräyksen kustannusten on havaittu olevan käsittelykustannuksia suuremmat. Tampereella biojätehuollon nykytilassa (velvoiterajalla 5) biojätteen keräyksen ja kuljetusten kustannukset olivat yli kaksi kertaa suuremmat kuin käsittelyn. Vastaavasti pääkaupunkiseudulla keräyksestä ja käsittelystä aiheutuneet kustannukset olivat lähellä toisiaan. Lisäksi biojätteestä saatavien lopputuotteiden, eli biokaasun tai siitä tuotetun energian ja mädätteen tai kompostin, myynnistä voidaan saada tuloja. Tulot ovat kuitenkin marginaalisia biojätteiden keräyksestä ja käsittelystä aiheutuviin kustannuksiin suhteutettuina. Kustannukset onkin pääosin katettava muilla tuloilla, usein asukkailta perityillä jätemaksuilla.

Keräyskustannuksiin vaikuttaa useat eri tekijät, kuten astiatyhjennys hinnat, alueen keräyspisteiden ja -astioiden määrät, astiatyhjennysvälit sekä muut lisäkustannukset. Keräyspisteiden määrään voidaan vaikuttaa ensisijaisesti alueellisissa jätehuoltomääräyksissä määritellyillä erilliskeräyksen velvoiteraja-arvoilla. Tyhjennysväli määräytyy suurissa kiinteistöissä jätekertymän mukaisesti, mutta pienten kiinteistöjen tyhjennysväleihin voidaan vaikuttaa alueellisin jätehuoltomääräyksin.

Erilliskerätyn biojätteen käsittelykustannus riippuu siitä, miten biojäte käsitellään. Käsittelykustannuksen on todettu olevan pienempi biokaasulaitoksella kuin kompostointilaitoksella, mutta tässä voi olla suuriakin alueellisia eroja. Biologisen käsittelyn kustannus on ollut yhtä suuri tai hieman pienempi kuin tonnikohtainen polttokustannus, joka muodostuu jätevoimalan porttimaksuista. Tonnikohtainen polttokustannus ja biologisen käsittelyn kustannus vaihtelevat alueesta ja käsittelylaitoksesta riippuen.

Keräyksen velvoiterajojen vertailu

Tehtyjen alueellisten biojätteen keräysselvitysten perusteella voidaan yleisesti todeta, että ympäristö ja kustannusnäkökulmista erilliskeräystä kannattaa kohdentaa, sinne missä jätettä syntyy

eniten eli suuriin kaupunkeihin ja korkean asukastiheyden kuntiin. Millä velvoiterajalla tai muutoin määritetyllä keräysvelvoitteella milläkin alueella kannattaa biojätettä erilliskerätä, riippuu monista alueellisista tekijöistä.

Erilliskeräyksen velvoiterajalla vaikutetaan erilliskerätyn jätteen määrään. Tehdyillä elinkaariselvityksillä on osoitettu, että 5–9 huoneiston kiinteistöjä on kunnissa keskimäärin vähän, joten velvoiterajoilla 5 ja 10 ei ole biojättekertymien, ympäristövaikutusten ja kustannusten suhteen suuria eroja. Velvoiterajasta 5 seuraava tarkastelukohde on useissa selvityksissä ollut biojätteen erilliskeräyksen laajentaminen joko kaikille taajamassa sijaitseville asuinkiinteistöille tai kunnan kaikille asuinkiinteistöille. Selvitykset ovat osoittaneet, että laajennettaessa erilliskeräys myös pientalo-kiinteistöille, keräyksestä aiheutuvat päästöt ja kustannukset kasvavat usein suhteessa huomattavasti enemmän kuin erilliskerätyn biojätteen määrä. Pienillä velvoiterajoilla keräyksestä aiheutuvat päästöt ja kustannukset kerättyyn biojättemäärään verrattuna ovat suuria erityisesti pienissä, harvaanasutuissa kunnissa.

Ilmastonlämpenemisvaikutusten näkökulmasta biojätteen erilliskeräyksen laajentaminen kannattaisi kohdistaa alueille, joilla on suuri asukastiheys. Tällöin lisääntyvän erilliskeräyksen aiheuttama ympäristökuormitus sekä kustannukset eivät kasva suhteessa kerättyyn biojättemäärään niin paljon kuin harvaan asutuilla alueilla. Ilmastonlämpenemisvaikutusten osalta kunnissa, joissa kunnan väestötiheys on alle 10 as./km², erilliskeräyksen laajentaminen kaikille kiinteistöille voi usein aiheuttaa yli 200 kg CO₂-ekv. päästön kerättyä jätetonnin kohden. Vastaavasti biojätteen mädättämisellä saadut kasvihuonekaasupäästöhyödyt ovat selvityksissä tapauskohtaisesti vaihdelleet välillä 20-300 kg CO₂-ekv./biojätetonne.

Suurin osa suomalaisista asuu taajamissa, joten myös suurin osa kotitalouksien biojätteestä syntyy taajamissa. Keräyksen kohdentaminen haja-asutusalueille lisää merkittävästi keräyksen ympäristövaikutuksia ja samalla kustannuksia, vaikka kokonaisuuteen nähden lisäys erilliskerätyissä jätemäärissä voi olla marginaalinen. Haja-asutusalueilta kerätessä keräyksen päästöt kasvavat helposti suuremmiksi, kuin biojätteen biologisella käsittelyllä ja hyödyntämisellä voidaan hyvittää.

Sitä, kuinka paljon lisääntynyt biojätteen erilliskeräys kasvattaa harvaan asutulla alueella muita ympäristövaikutuksia kuin ilmastonlämpenemisvaikutuksia, ei ole selvitetty. Tiheimmin asutuille alueille tehtyjen tutkimusten mukaan on todennäköistä, että harvaan asutuilla alueilla keräyksen laajentaminen ei aiheuta happamoitumis- ja rehevöitymisvaikutuksien suhteellista kasvua yhtä paljon kuin ilmastonlämpenemisvaikutusten kasvua, sillä suurin osa päästöistä syntyy käsittelystä.

Myös kustannusten näkökulmasta biojätteen erilliskeräyksen laajentaminen kannattaisi kohdistaa alueille, joilla on suuri asukastiheys. Lisättäessä erilliskeräystä pientalokiinteistöille kustannukset kasvavat tyypillisesti suhteellisesti huomattavasti enemmän kuin ilmastonlämpenemisvaikutus. Keräys- ja käsittelykustannukset 100 000 – 200 000 asukaan kaupungeissa kasvaisivat tulosten mukaan tyypillisesti kaksi – kolminkertaisiksi nykytilasta, kun keräys laajennettaisiin nykytilasta koskemaan kaikkia kiinteistöjä. Pienissä ja harvaan asutuissa kunnissa erilliskeräyksen laajentaminen nykytilasta kaikille kiinteistöille nostaisi keräyksen kustannuksia jopa 20-kertaiseksi nykytilaan.

verrattuna. Vaikka keräyskustannukset kerättyä biojätetonnin kohden vaihtelevat huomattavasti aluekohtaisesti, on keräyskustannuksilla ja keräysalueen väestötiheydellä selkeä yhteys.

Selvitykset ovat osoittaneet, että erilliskeräyksen velvoiterajaa kiristettäessä koskemaan pientalo-alueita keräyksen aiheuttama ilmastolämpeneminen ja kustannus kerättyä jätemäärää kohden kasvavat biojätteen osalta huomattavasti enemmän kuin muiden jätelajien. Tämä johtuu siitä, että hajuhaittojen ehkäisemiseksi biojäteastialle on jätehuoltomääräyksissä asetettu lyhemmät vähimmäistyhjennysvälit kuin muille jätelajeille, mikä aiheuttaa pientaloalueilla vajaiden jäteastioiden tyhjentämistä. Tyhjennysväleihin tulisi puuttua jätehuoltomääräyksissä, sillä viikon tyhjennysväli on omakotitalolle kiistatta liian lyhyt.

Kun biojätteen erilliskeräystä laajennetaan myös omakotitalokiinteistöille, on keräyksestä aiheutuvia päästöjä saatava pienennettyä, jotta ympäristövaikutukset ja kustannukset minimoidaan. Keräyksen päästöjä ja kustannuksia voidaan pienentää esimerkiksi seuraavin keinoin:

- harventamalla jätehuoltomääräyksissä määriteltyä jäteastian pisintä tyhjennysväliä
- monilokerokeräyksellä
- muodostamalla biojätekimppoja
- suosimalla pienikiinteistöjen kotikompostointia, joka vapauttaa kiinteistön erilliskeräyksestä.

Selvitysten perusteella merkittävin vaikutus keräyksen ympäristövaikutuksiin ja kustannuksiin oli biojäteastian tyhjennysvälien harventamisella. Pidentämällä pienikiinteistöjen biojäteastioiden tyhjennysväli yhdestä viikosta kahteen viikkoon, aiheutui pääkaupunkiseudun biojätekeräyksestä (velvoiterajalla 1) 33 % vähemmän kustannuksia kuin tilanteessa, jossa tyhjennysväli oli yksi viikko, kuten nykyisissä alueen jätehuoltomääräyksissä on määritelty.

Monilokerokeräyksellä keräyksen päästöjä ja mahdollisesti myös kustannuksia saadaan jonkin verran pienennettyä, mutta monilokerokeräyksestä ei voida antaa yleispäteviä johtopäätöksiä, sillä monilokerokeräyksen hyödyt ovat vahvasti tilanneriippuvaisia. Pääkaupunkiseudun tapauksessa biojätteelle allokoituvia ympäristövaikutuksia saatiin pienennettyä noin 14 % verrattuna yksilokerokeräykseen. Kustannukset eivät juuri vähentyneet, sillä HSY:n tapauksessa monilokeroastian tyhjennys täytyi tehdä paljon useammin perinteiseen yksilokeroastiaan nähden.

Kimppakeräyksellä on sitä tarkastelevissa selvityksissä ollut pieni vaikutus keräyksen päästöihin ja kustannuksiin. Sillä on saatu pienennettyä keräyksen päästöjä ja kustannuksia vain joitain prosenttiyksiköitä nykytilasta. Vaikutus voisi olla todettua suurempi, mutta haasteena on ollut saada vapaaehtoisia kimppoja muodostettua.

Muita havaintoja

Elinaarimallintaminen edellyttää luotettavan ja kattavan laskentatiedon käyttöä ympäristövaikutuksia laskettaessa. LCA Consultingin tekemien jätehuollon elinkaariarviointien toteutusten yhteydessä on havaittu, että alueellista ja ajantasaista jätteen käsittelyn tietoa ei ole ollut aina kaikilta osin saatavissa. Alueellisten ja ajantasaisten tietojen kerääminen on ollut joillakin alueilla hyvin haasteellista ja puuttuvia tietoja on osin jouduttu täydentämään useista muista lähteistä. Suomessa ei ole tällä hetkellä jätehuollon tietojärjestelmää, josta tietoja voisi hakea erilaisiin jätehuollon

seuranta- ja kehitystarpeisiin. Tämä tietojärjestelmän puute jarruttaa alueellista jätehuollon kehittämistä.

Jätelajikohtaiset velvoiterajat sekä tyhjennysvälit päätetään alueellisesti jätehuoltoviranomaisen toimesta jätehuoltomääräyksissä. Velvoiteraja määrittää kuinka laajasti kuntakohtaisesti biojätettä erilliskerätään. Suomen biojätteen kierrätysasteen taso, keräyksen ja käsittelyn ympäristövaikutukset sekä kustannukset määräytyvät suurelta osin jätehuoltomääräysten perusteella. Jätehuoltoviranomaisilla on kierrätystavoitteiden osalta merkittävä ja tärkeä rooli, jotta Suomessa biojätteen kierrätystavoitteet saavutetaan.

6 LÄHTEET

AVI Itä-Suomi. 2013. Riikinnevan Ekovoimalaitoksen ympäristölupa ja toiminnanaloittamislupa, Leppävirta. Päätös nro 106/2013/1. Saatavissa:

http://www.avi.fi/documents/10191/56910/isavi_paatos_106_2013_1-2013-11-29.pdf/e06307a4-abf2-417e-8e81-9c9e84d951d2

Bassi et al. 2017. Environmental performance of household waste management in Europe – an example of 7 countries.

Di Maria, Francesco & Micale, Caterina. 2014. Life cycle analysis of incineration compared to anaerobic digestion followed by composting for managing organic waste: the influence of system components for an Italian district.

Evangelisti et al. 2014. Life cycle assessment of energy from waste via anaerobic digestion: A UK case study.

ISO 14040. 2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

ISO 14044. 2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

Jensen et al. 2016. Environmental assessment of biowaste management in the Danish-German border region.

KIVO. 2017. Tietoa kotitalouksien jätehuollosta 2017: Jätteiden keräys kotitalouksista ja jätelajien vastaanottohinnat.

Knuutila, Henna. 2012. Turun seudun biojätehuollon elinkaariselvitys – kasvihuonekaasupäästöjen vertailu. Opinnäytetyö Turun seudun jätehuollolle (nykyisin osa Lounais-Suomen Jätehuolto Oy:tä).

Kymäläinen, Maritta. Pakarinen, Outi. 2015. Biokaasuteknologia: Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Suomen Biokaasuyhdistys ry.

LCA Consulting Oy. 2015. Biojätteenkäsittelyn elinkaarimallin (GaBi 6.0) päivitys ja prosessivaihtoehtojen vertailu päivitettyä mallia käyttäen.

LCA Consulting Oy. 2016a. Erilliskeräyksen optimointi (Lounais-Suomen Jätehuollon alueella).

LCA Consulting Oy. 2016b. Erilliskeräyksen optimointi (Pirkanmaan Jätehuollon alueella) – Ilmastolämpenemisvaikutukset.

LCA Consulting Oy. 2017a. Erilliskeräyksen optimointi (Pirkanmaan Jätehuollon alueella) - Kustannustarkastelu.

LCA Consulting Oy. 2017b. Erilliskeräyksen optimointi (Jätekuon alueella) – Ilmastonlämpenemisvaikutukset ja kustannukset.

LCA Consulting Oy. 2017c. Yhdyskuntajätteen keräyksen ja käsittelyn elinkaariarviointi Pohjois-Suomen alueella.

LCA Consulting Oy. 2017d. Yhdyskuntajätteen keräyksen ja käsittelyn elinkaariarviointi Torniossa.

LCA Consulting Oy. 2018. Biojätteen kiinteistökeräys ja käsittely pääkaupunkiseudulla – ympäristövaikutus- ja kustannustarkastelu.

LIPASTO. 2018. Yksikköpäästöt. Saatavissa:

http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/tavaraliikenne/tieliikenne/tavara_tie.htm

Martikainen, Esko. Nyberg, Terttu. Rahinantti, Mia. Mustankorkea Oy ja Sammakkokangas Oy. Suullinen tiedonanto 11.5.2018.

Motiva 2017. CO₂-päästökertoimet. Saatavissa:

https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian kaytto_suomessa/co2-laskentaohje_energian kulutuksen_hiilidioksidipaastojen_laskentaan/co2-paastokertoimet

Myllymaa, Tuuli et al. 2008. Jätteiden kierrätyksen ja polton ympäristövaikutukset ja kustannukset – jätehuollon vaihtoehtojen tarkastelu alueellisesta näkökulmasta. Suomen ympäristökeskus (SYKE).

Oulun Energia. 2016. Laanilan ekovoimalaitoksen ympäristöraportti 2015. Saatavissa:

<http://docplayer.fi/57512979-Laanilan-ekovoimalaitoksen-ymparistovuosisiraportti-2015.html>

Riikinvoima Oy. 2018. Voimalaitos. Saatavissa: <http://riikinvoima.fi/voimalaitos/>

Runsten,Suvi. 2014. Biojätteen kimppa- ja aluekeräyksen mahdollisuudet.

Savander, Veera. 2010. Biojätteen erilliskeräyksen elinkaariarvio. FCG Oy.

Sinkonen, Ekaterina. 2017. Jätekuljetusjärjestelmien vertailu. Logistinen näkökulma. Lounais-Suomi. Opinnäytetyö, Turun ammattikorkeakoulu.

Stormossen 2018. Biokaasu polttoaineena. Saatavissa:

http://www.stormossen.fi/tmp_stormossen2_site_0.asp?sua=2&lang=1&s=378

Sundström, Helena; Kaila, Juha; Moliis, Katja; Dahlbo, Helena; Myllymaa, Tuuli. 2014. Elinkaarimalin kehittäminen HSY:n jätehuollolle. Suomen ympäristökeskus (SYKE).

Thomsen et al. 2016. Comparative life cycle assessment of biowaste to resource management systems – A Danish case study

Toivonen, Lotta. 2014. Biojätteen kimppakeräyksen ympäristövaikutukset (osana EcoChange Oy:n Biojätteen kimppa- ja alue-keräyksen mahdollisuudet -hanketta). HSY.

Vantaan Energia. 2018. Tehokas yhteistuotanto. Saatavissa:

<https://www.vantaanenergia.fi/ykv/ykv-2016/tehokas-yhteistuotanto/>

Virtavuori, Veera. 2009. Biojätteen käsittelyvaihtoehdot pääkaupunkiseudulla – Kasvihuonekaasupäästöjen vertailu. Diplomityö YTV:lle (nyk. HSY).

Vna. 2.5.2013/331. Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista. Finlex. Saatavissa:

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130331>

Vns. 2016. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Saatavissa:

http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/79189/TEMjul_4_2017_verkkojulkaisu.pdf?sequence=1&isAllowed=y