

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

School of Energy Systems

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Diplomityö 2018

Emilia Koistinen

**MUOVIPAKKAUSJÄTTEEN KÄSITTELYVAIHTOEHTOJEN ILMASTON-
MUUTOSVAIKUTUSTEN JA JÄTEHUOLTOYHTIÖLLE MUODOSTUVIEN
KUSTANNUSTEN ARVIOINTI**

Työn tarkastajat:

Professori, TkT Mika Horttanainen

Nuorempi tutkija, DI Miia Liikanen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
School of Energy Systems
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Emilia Koistinen

Muovipakkausjätteen käsittelyvaihtoehtojen ilmastonmuutosvaikutusten ja jätehuoltoyhtiölle muodostuvien kustannusten vertailu

Diplomityö

2018

92 sivua, 17 kuvaa, 29 taulukkoa, 5 liitettä

Tarkastajat: Professori, TkT Mika Horttanainen
Nuorempi tutkija, DI Miia Liikanen

Hakusanat: muovipakkausjäte, erilliskeräys, materiaalihyödyntäminen, energiahyödyntäminen, ilmastonmuutosvaikutus

Keywords: plastic packaging waste, separate collection, material utilization, energy utilization, climate change impact

Tässä diplomityössä vertailtiin muovipakkausjätteen käsittelyvaihtoehtojen ilmastonmuutosvaikutuksia sekä eri käsittelyvaihtoehtoista jätehuoltoyhtiölle aiheutuvia kustannuksia. Työn tavoitteena oli selvittää, millainen vaikutus kasvihuonekaasupäästöjen ja jätehuoltoyhtiölle aiheutuvien kustannusten kannalta olisi sillä, jos Puhas Oy järjestäisi kiinteistökohtaisen keräyksen muovipakkausjätteille Joensuun, Kontiolahden ja Liperin taajama-alueilla tai vain Joensuun keskustan alueella, verrattuna tilanteeseen, jossa muovipakkausjäte ohjataan sekajätteen joukossa sekajätteen käsittelyprosessiin.

Vertailu tehtiin neljälle eri muovipakkausjätteen käsittelyskenaariolle, joita verrattiin lähtötilanteeseen, skenaarioon 0, jossa muovipakkausjätteitä ei erilliskerätä, elinkaariajattelun periaatteita noudattaen. Työn laskelmien mukaan kolme skenaariota, joista skenaarioissa 3 ja 4 muovipakkausjäte kerättiin Joensuun keskustasta ja skenaariossa 1 koko tarkastelu alueelta, olivat ilmastonmuutosvaikutuksen kannalta parempia kuin lähtötilanne. Skenaario 2, jossa muovipakkausjäte kerättiin koko alueelta viikon välein, osoittautui ilmastonmuutosvaikutuksen kannalta haitallisimmaksi.

Tämän työn perusteella skenaario 4 osoittautui ilmastonmuutosvaikutuksen perusteella suotuisimmaksi. Muovipakkausten erilliskeräyksen järjestäminen skenaariossa 4 vain Joensuun keskustan alueella 6 kertaa vuodessa, tuottaa jätehuoltoyhtiölle noin 26 000 euron vuotuisen lisäkustannuksen verrattuna lähtötilanteeseen.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
School of Energy Systems
Degree Programme in Environmental Technology

Emilia Koistinen

Comparison of the climate change impacts on plastic packaging waste treatment options and evaluation of the related costs for the waste management company

Master's thesis

2018

92 pages, 17 figures, 29 tables, 5 appendices

Examiners: Professor, D. Sc. (Tech.) Mika Horttanainen,
Junior Researcher, M. Sc. (Tech.) Miia Liikanen

Keywords: plastic packaging waste, separate collection, material utilization, energy utilization, climate change impact

The climate change impacts on plastic packaging waste treatment options were compared and the related costs for the waste management company was evaluated in this thesis. The objectives of this study were to investigate the effects of greenhouse gas emissions, and calculate the related costs for the waste management company in the case where Puhas Oy arranges the separate property-specific collection of plastic packaging waste in the suburban areas of Joensuu, Kontiolahti and Liperi or only in the center of Joensuu in comparison to situation where plastic waste is handled with the mixed household waste.

The comparison was made for four different plastic packaging waste treatment scenarios and compared to baseline scenario 0, where plastic packaging waste is not separately collected, following the life cycle thinking principles. Based on the climate change impacts, the three scenarios from which scenarios 3 and 4 plastic waste was collected from the center of Joensuu and the scenario 1 where plastic waste was collected from the entire survey area, were more favorable than the starting point. Scenario 2, where plastic packaging waste was collected from the entire survey area weekly pointed out to be the most harmful option concerning climate change impact.

Based on this study scenario 4 proved to be the most favorable scenario based on climate change impacts. Arranging a separate collection of plastic packaging in scenario 4 only in the center of Joensuu 6 times a year causes the waste management company an annual additional cost of 26 000 € compared to the baseline.

ALKUSANAT

Haluan kiittää Puhas Oy:tä ja Jarmo Junttasta tämän työn mahdollistamisesta. Lisäksi haluan kiittää diplomityöni tarkastajia Mika Horttanaista ja Miia Liikasta työn ohjauksesta ja tarkastuksesta. Lisäksi kiitos kuuluu kaikille niille henkilöille, jotka ovat auttaneet ja opastaneet tämän työn aikana.

Kiitos myös perheelleni ja ystävilleni diplomityön tekemisen ajan saadusta tuesta ja kannustamisesta. Suuri kiitos isälleni ja erityisesti Villelle.

Juvalla 9.12.2018

Emilia Koistinen

Sisällys

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO.....	7
1 JOHDANTO	9
1.1 Työn tausta	9
1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset	10
2 KULUTTAJAMUOVIPAKKAUKSET	12
2.1 Muovin tuotanto ja käyttökohteet.....	12
2.2 Kuluttajamuovipakkausten ominaisuuksia.....	13
2.3 Tuottajavastuu Suomessa	16
2.4 Kuluttajamuovipakkausjätteen keräysverkosto ja täydennys.....	16
2.5 Muovipakkausjätteen kierrätysprosessi muovijalostamossa.....	18
2.6 Muovipakkausjätteen energiahyödyntäminen Suomessa.....	19
3 TUTKIMUKSEN TEOREETTINEN VIITEKEHYS JA AIKAISEMPAA TUTKIMUSTA.....	22
3.1 Elinkaariarvioinnin teoria ja prosessivaiheet	22
3.2 Muovin erilliskeräyksen ja kierrätyksen elinkaariarviointi.....	27
3.3 Tehtyjä muovin kierrätyksen elinkaariarvioita.....	28
4 TUTKIMUKSEN AINEISTO JA MENETELMÄT	31
4.1 Skenaariot.....	31
4.2 Muovipakkausjätteen elinkaaren päävaiheet ja tuotejärjestelmän rajaukset	33
4.2.1 Allokointi	35
4.3 Jätehuoltoyhtiölle aiheutuvat kustannukset.....	36
4.4 Tutkimuksen aineisto	37
4.4.1 Suunniteltu kiinteistökeräysalue	37
4.4.2 Kiinteistökeräykseen osallistuvien asukkaiden lukumäärän arvioiminen	40
4.4.3 Jättemäärät tarkasteltavalla alueella	44

4.4.4	Jätteiden keräys ja kuljetus.....	48
4.4.5	Muovipakkausjätteen käsittelyvaihtoehdot.....	53
4.4.6	Hyvitykset	57
4.4.7	Kustannukset.....	60
5	INVENTAARIOANALYYSI.....	61
6	VAIKUTUSARVIONTI JA SEN TULOKSET	65
6.1	Skenaarioiden vaikutusarvioiden tulokset.....	65
6.2	Herkkyystarkastelut.....	67
7	KUSTANNUKSET.....	73
7.1	Jätehuoltoyhtiölle aiheutuvat kustannukset.....	73
7.2	Kustannusten herkkyystarkastelu	75
8	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	79
9	YHTEENVETO	85
	LÄHTEET.....	87

LIITTEET

Liite I. Puhas Oy:ltä saatu ajosuunnitelma.

Liite II. Jätteidenkeräysvaiheen päästöt

Liite III. Siirtokuljetukset

Liite IV. Materiaalin kierrätys ja saatavat hyvitykset

Liite V. Muovin poltosta aiheutuvat päästöt ja tuotetusta lämmöstä ja sähköstä saatavat hyvitykset

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

Roomalaiset

a	Kiinteistöllä tuotetun jätejakeen määrä	[t/a]
AK	Allokointikerroin	[-]
b	Auton kulutus ajoneuvokilometriä kohden	[g/km]
d	Etäisyys	[m]
E	Päästö tonnikilometriä kohden	[g/tkm]
e	Auton päästö ajoneuvokilometriä kohden	[g/km]
h	Etäisyys	[m]
K	Ominaiskulutuskerroin	[g/h]
k	Kulutus tonnikilometriä kohden	[g/tkm]
l	Kuorman koko	[t]
n	Lukumäärä	[-]
P	Päästöt yhteensä	[g/t]
p	Ominaispäästökerroin	[g/h]
s	Keskinopeus	[km/h]
T	Kokonaisaika	[h/t]
t	Aika	[min]
V	Jätteen keräysastian tilavuus	[m ³]
v	Keräysastiatilavuus	[m ³]

Kreikkalaiset

α	Täyttöaste	[%]
f	Tyhjennystiheys	[a ⁻¹]
β	Jätejakeen tilavuuspaino	[t/m ³]
φ	Tyhjäkäyntiä kuvaava hukkakerroin	[%]
λ	Kuorman purkuaika yhdelle kuormalle	[h]

Lyhenteet

EKJH	Etelä-Karjalan jätehuolto Oy
ELY-keskus	Elinkeino-, liikenne-, ja ympäristökeskus
EPS	Expanded polystyrene

IPPC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LCA	Life Cycle Assessment
LCI	Life Cycle Inventory
LCIA	Life Cycle Impact Assessment
NIR	Near-Infrared
PE-HD	Suurtiheyspolyeteeni
PE-LD	Pientiheyspolyeteeni
PET	Polyetyleenitereftalaatti
PP	Polypropeeni
PS	Polystyreeni
PVC	Polyvinyylikloridi
SB	Styreeni-butadieeni

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Muovi on monipuolinen, kestävä ja edullinen materiaali, ja sitä käytetään maailmassa yhä enenevässä määrin. Muovin tuotantomäärät ovat kasvaneet vuosittain noin kymmenellä miljoonalla tonnilla, ja esimerkiksi vuonna 2015 muovia tuotettiin koko maailmassa 322 miljoonaa tonnia (Plastics Europe 2015, 12). Euroopan alueella suurin osa muovista, noin 40 %, käytetään pakkausten valmistamiseen (Plastics Europe 2017, 22). Pakkausten suuresta kysynnästä sekä kertakäyttöisyydestä johtuen muovipakkausjätevirrat muodostavat noin kaksi kolmasosaa muovijätevirrasta, josta Euroopassa vuonna 2016 kerätystä muovipakkausjätteestä 38,8 % hyödynnettiin energiana, 20,3 % ohjattiin kaatopaikoille ja 40,9 % kierrätettiin (Plastics Europe 2017, 34).

Suomessa muovipakkausten erilliskeräys alkoi vuonna 2016, jolloin muovia erilliskerättiin noin 86 900 tonnia. Kotitalouksien osuus erilliskerätystä muovista oli 23 000 tonnia eli noin 27 %. Kerättyjen kuluttajamuovipakkauksien kierrätysaste on Suomessa 65–70 % ja vuoden 2018 tavoitteeksi on asetettu 75 % kierrätysaste. Loppuosa kerätystä kuluttajamuovipakkauksista hyödynnetään energiana Suomessa. (Ympäristöministeriö 2018.)

Jätelain pakkausasetus edellyttää, että 16 % kaikista kotitalouksien ja yritysten muovipakkauksista kierrätetään ja vuoteen 2020 mennessä muovipakkauksista tulee kierrättää 22 %. Uudessa Euroopan Unionin (EU) kiertotalouspaketissa muovin kierrätysvaatimukseksi on asetettu 50 % vuoteen 2025 ja 55 % vuoteen 2030 mennessä. (Euroopan parlamentti 2018.)

Suomessa kuluttajien muovipakkausjätettä on kerätty pääsääntöisesti tuottajavastuuvetoisesti eli Rinki-ekopisteiden kautta. Kiinteistökohtaisen keräyksen osuus on kuitenkin kasvamassa ja joissakin kunnissa kiinteistökeräysvelvoitteesta määrätään jätehuoltomääräyksissä. Esimerkiksi Savo-Pielisen alueen jätehuoltomääräyksissä yli 10 000 asukkaan taajamissa kiinteistöt, joissa on vähintään 40 asuinhuoneistoa, ovat veloitettuja järjestämään muovipakkausten erilliskeräyksen (Savo-Pielisen jätelautakunta 2017, 101). Vuonna 2017 kuluttajamuovipakkauksia kerättiin ekopisteiden ja kiinteistökeräyksen

kautta yhteensä yli 7 000 tonnia, josta kiinteistökeräyksellä kerättiin yli 1 100 tonnia ja ekopisteillä lähes 6 000 tonnia. (Vanninen 2018.)

Kiristyvillä kierrätystavoitteilla pyritään lisäämään materiaalikierrätystä, ja tavoitteet kasvattavat painetta järjestää kuluttajille yhä enemmän muovinkierrätyspisteitä sekä lisätä kiinteistökohtaisen keräyksen määrää. Suomi on kuitenkin asutettu maantieteellisesti vaihtelevasti, mistä johtuen pakkausjätteiden aluekohtainen kertymä ja keräys- sekä kuljetusäisyydet vaihtelevat. Muovipakkausten erilliskeräyksessä on otettava huomioon pitkien etäisyyksien aiheuttamat ympäristö- ja kustannusvaikutukset niin, että hyötykäytöllä saavutetaan enemmän hyötyjä kuin keräyksestä ja käsittelystä aiheutuu. Yksinään keräyslogistiikan vaikutusten perusteella ei voida tehdä päätöksiä pakkausjätteen keräysverkostosta, vaan keräyksen ja kuljetuksen vaikutukset tulee rinnastaa pakkausjätteen kierrätyksestä ja hyödyntämisestä syntyviin kokonaisvaikutuksiin. (Moliis ym. 2012, 7.)

Erilliskerätyn muovin materiaalikierrätyksen kannattavuuteen vaikuttaa keräyslogistiikan lisäksi esimerkiksi materiaalikierrätyksen energiankulutus sekä se, kuinka paljon kierrätysgranulaateilla voidaan korvata neitseellistä muovigranulaattia. Vertailu eri keräysmenetelmien ja eri käsittelyvaihtoehtojen välillä voi olla haastavaa. Tällaisen päätöksenteon tukena voidaan käyttää ympäristö- ja kustannusvaikutusten arviointia, joiden avulla pyritään selvittämään ja kuvaamaan jätehuollon eri ratkaisujen kokonaisvaikutuksia.

1.2 Työn tavoitteet ja rajaukset

Tämän työn tavoitteena on selvittää millainen vaikutus kasvihuonekaasupäästöjen ja kustannusten kannalta olisi sillä, jos Puhas Oy järjestäisi kiinteistökohtaisen keräyksen muovipakkausjätteille Joensuun, Kontiolahden ja Liperin taajama-alueilla tai vain Joensuun keskustan alueella. Tarkoituksena on verrata ilmastonmuutosvaikutuksia suunnitellun kiinteistökeräyksen ja erilliskerättävän muovipakkausjätteen hyödyntämisestä Riihimäen muovinjalostamossa tilanteeseen, jossa muovipakkausjätteille ei järjestetä kiinteistökohtaista keräystä vaan muovipakkausjätteet ohjataan sekajätteen joukossa polttoon ja energiahyödyntämiseen. Tavoitteena on myös selvittää jätehuoltoyhtiölle pakkausmuovijätteen kiinteistökeräyksestä aiheutuvat lisäkustannukset. Muovipakkausjätteen erilliske-

räystä verrataan tilanteeseen, jossa kaikki muovipakkausjäte päätyy sekajätteeseen. Tämän rajauksen avulla saadaan selville ilmastonmuutosvaikutusero sen muovipakkausjätteen osalta, joka ei päätyisi Ringin keräyspisteisiin. Rajaus perustuu siihen, että tällä hetkellä Puhas Oy:n alueella ei ole Ringin keräyspisteitä täydentävää muovipakkausjätteiden kiinteistökohtaista keräystä, ja tarkoituksena on selvittää keräyksen ilmastonmuutosvaikutukset ja keräyksestä aiheutuvat kustannukset jätehuoltoyhtiölle. Syntyviä vaikutuksia ja kustannuksia on suoraviivaisempi verrata tilanteeseen, jossa Ringin keräyspisteitä ei oteta huomioon. Todellisessa tilanteessa Puhas Oy:n alueella toimii Ringin muovipakkausjätteen keräyspisteet, eikä kaikki kotitalouksissa muodostuva muovipakkausjäte päädy sekajätteen mukana polttoon.

Diplomityössä tuotetaan tietoa seuraaviin kysymyksiin:

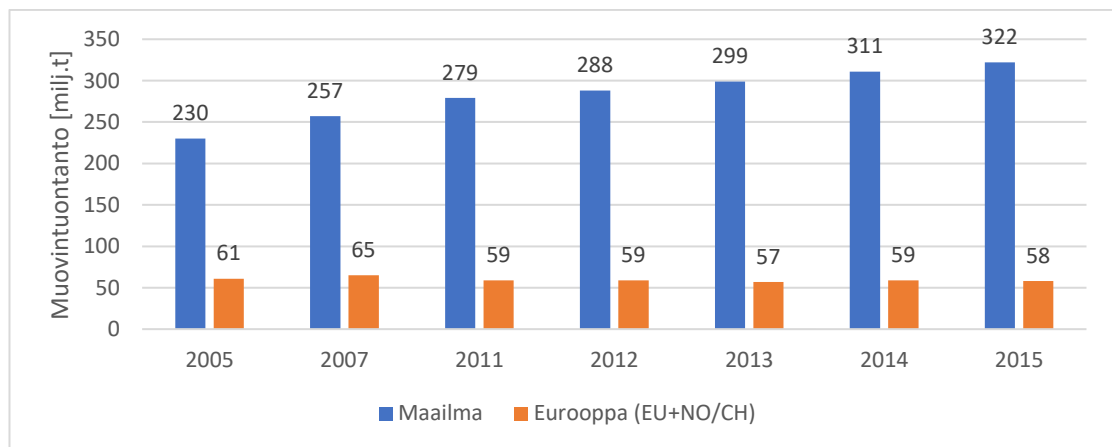
1. Millaisia ilmastonmuutosvaikutuksia syntyy, kun muovipakkausjätettä erilliskerätään Joensuun, Liperin ja Kontiolahden taajamista tai vain Joensuun keskustan alueelta ja erilliskerätty muovijäte ohjataan Fortumin muovijalostamoon hyödynnettäväksi?
2. Millaisia ilmastonmuutosvaikutuksia syntyy, kun muovipakkausjäte kerätään sekajätteen joukossa ja ohjataan Riikinvoiman ekovoimalaitokselle hyödynnettäväksi?
3. Paljonko muovipakkausjätteen kiinteistökohtainen keräys tuottaa lisäkustannuksia jätehuoltoyhtiölle verrattuna tilanteeseen, jossa muovipakkausjäte kerätään ja käsitellään sekajätteen joukossa?

Ympäristövaikutuksista tarkastellaan työn yksinkertaistamiseksi vain kasvihuonekaasujen aiheuttamaa ilmastonmuutosvaikutusta. Ilmastonmuutosvaikutus on yleisesti selvitettyin vaikutusluokka jätteiden käsittelyn elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten osalta. Tarkastelu tehdään yksinkertaistettua elinkaariajattelua soveltaen. Tämä johtuu siitä, että työn tarkoituksena on tehdä suuntaa antava arviointi kiinteistökeräyksen tuottamista ilmastonmuutosvaikutuksista. Lisäksi työssä käytettyjen lähtötietojen taso perustuu sekundäridataan eli muista tutkimuksista saatuun keskiarvoiseen tai vastaavaa tuotetta kuvaavaan tietoon. Muovipakkausjätteestä tarkastellaan vain kiinteistökeräyksessä kerättyä muovipakkausjätettä eli pantilliset muovipakkaukset ja aluekeräyspisteet eivät kuulu tarkasteluun.

2 KULUTTAJAMUOVIPAKKAUKSET

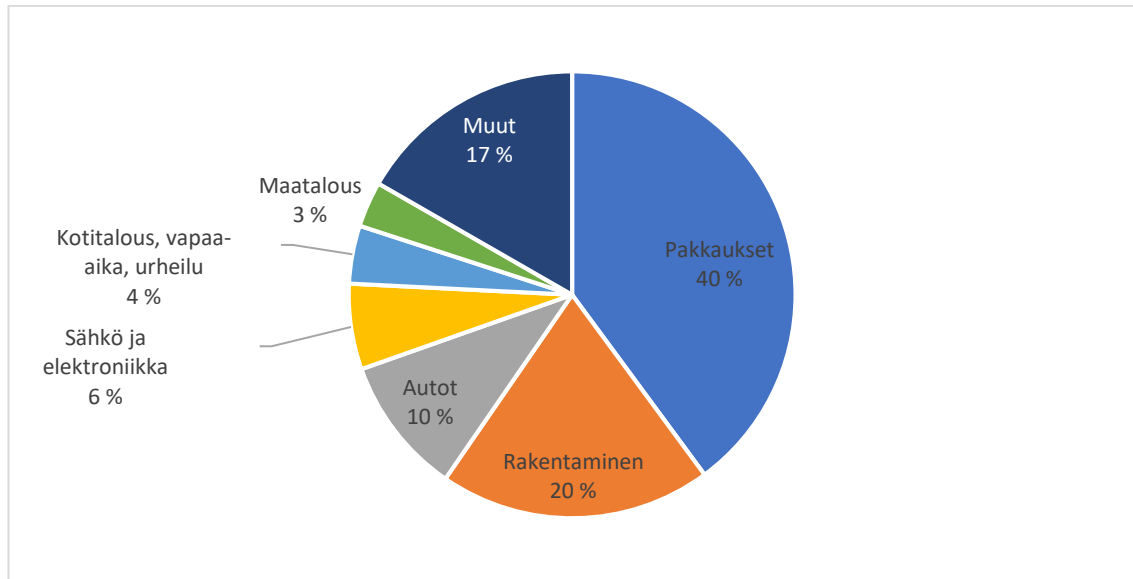
2.1 Muovin tuotanto ja käyttökohteet

Muovituotteiden teollinen valmistaminen aloitettiin 1920-luvun loppupuolella kertamuovien valmistamisella ja 1950-luvulla alkoivat kestumuovit yleistyä (Järvinen 2016, 88). Nykyään muovia käytetään yhteiskunnassamme yhä enenevässä määrin. Esimerkiksi vuonna 2002 muovia tuotettiin koko maailmassa 204 miljoonaa, kun taas vuonna 2015 muovia tuotettiin 322 miljoonaa tonnia (Plastics Europe 2015, 12). Maailmalla muovintuotanto on kasvanut tasaisesti, mutta tuotantomäärät Euroopassa ovat pysyneet lähes samalla tasolla viime vuosina. Muovin tuotantomäärien kehitys on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Muovin tuotantomäärät maailmalla ja Euroopassa (EU28+Norja ja Sveitsi) (Plastics Europe 2015, 12).

Kuvasta 1 havaitaan, että Euroopassa muovintuotanto on viime vuosina pysynyt noin 57–59 miljoonan tonnin valmistusmäärissä. Muovin kysyntä on kuitenkin kasvanut Euroopassa vuosittain. Vuonna 2016 Euroopassa muovin kysyntä oli alle sen tuotannon eli 49,9 miljoonaa tonnia (Plastics Europe 2017, 22). Kuvassa 2 on esitetty Euroopassa muovien jakautuminen eri markkinasektoreille.



Kuva 2. Muovien kysyntä markkinasektoreittain vuonna 2016 Euroopassa (Plastics Europe 2017, 22).

Kuvasta 2 havaitaan, että Euroopan alueella suurin osa muovista, noin 40 %, menee pakkauksen valmistamiseen. Toiseksi suurin sektori on rakentaminen, noin 20 %. Suomessa käytetään noin 700 000 tonnia muovia vuodessa (Järvinen 2016, 88). Myös Suomessa pakkaukset ovat suurin yksittäinen muovin käyttökohde, noin 40 % muoveista käytetään pakkauksiin (Eskelinen ym. 2016, 58).

Muovia käytetään siis runsaasti erilaisissa pakkauksissa. Muovijätteen ympäristöhaitat ovat kuitenkin huomattavat. Globaalisti ajateltuna yksi muovijätteen näkyvimmistä haittoista on roskaantuminen ja fossiilisten öljyvarantojen ehtyminen. Roskaantuminen näkyy niin maa- kuin meriympäristöissä. Kierrätyksellä voidaan vähentää alueiden roskaantumista, mutta pääsääntöisesti myös ehkäistä luonnonvarojen kulutusta ja vähentää muitakin ympäristövaikutuksia, silloin kun kierrätysmateriaalilla voidaan korvata neitseellisiin raaka-aineisiin pohjautuvaa tuotantoa. Myös kierrätysprosesseissa tulee minimoida syntyvät ympäristökuormitukset, jotta muovien aiheuttamia ympäristöhaittoja voidaan vähentää. (Eskelinen ym. 2016, 7.)

2.2 Kuluttajamuovipakkausten ominaisuuksia

Pakkauksen tehtävänä on säilyttää ja suojata tuotetta. Pakkaus mahdollistaa tuotteen käsittelyn sekä sen kuljetuksen tuottajalta käyttäjälle. Pakkaus antaa lisäksi tietoa tuotteesta,

myy ja markkinoi sekä helpottaa tuotteen esillepanoa myymälässä. Pakkaukseksi laskeaan kaikki pakkausta vahvistavat tai siihen liitetyt osat, kuten pakkauksen etiketit. Lisäksi tuote tai kertakäyttötuote, joka täyttää yhdenkin pakkauksen tehtävistä, luokitellaan pakkaukseksi. (VNa 518/2014, 3§.) Pakkauksen määritelmä on annettu valtioneuvoston asetuksessa nro 518/2014 ja sen liitteessä.

Muovipakkauksia ovat kaikki tuotteen ympärillä olevat pikarit, vuoat, pussit, kääreet ja kelmut, pehmusteet, kuljetuslaatikot, muovihihnat pakkausten ja lavojen kiinnittämiseen, tynnyrit ja niin edelleen. Myös uudelleen käytettävät laatikot, pullot, rullakot, kuormalavat ynnä muut vastaavat ovat muovipakkauksia. Kuluttajapakkauksia puolestaan ovat tuotepakkaukset, jotka on tarkoitettu päätymään kuluttajalle tai kotitalouksiin. Kuluttajamuovipakkauksista tyypillinen esimerkki on tuotteen myyntipakkaus. (Suomen Uusio-muovi Oy.)

Taulukossa 1 on esitetty yleisimmin käytetyt muovit, joitakin esimerkkejä käyttökoh-teista, lämpöarvo ja tietoa kierrätyksestä sekä kyseisen muovin osuus muovipakkausjät-teestä.

Taulukko 1. Muovit ja niiden ominaisuudet (mukaillen Järvinen 2016; 30, 90–107).

Nimi ja lyhenne	Ominaisuudet	Käyttökohteet	Osuus syntyvästä muovipakkausjätteestä [%]	Kierrätys	Lämpöarvo [MJ/kg]
Polyetyleenitereftalaatti (PET)	Lasinkirkas, sitkeä, UV-herkkä	Juomapullot, nestesaippuapullo, ruokaöljypullo	20-25	Pantilliset pullot palautusautomaatteihin, kierrätettävissä puhtaana PET-materiaalina	n. 25–30
Suuriheyspolyeteeni (PE-HD)	Jäykempi kuin PE-LD, liukas-pintainen	Mehupullo/kannisteri, pesuainepullo	22-27	Kierrätettävissä puhtaana PE-materiaalina	n. 45
Polyvinyylikloridi (PVC)	Kova tai pehmeä, joskus läpinäkyvä, palamaton, UV-kestävä	Teippi, pakkauspressu	2	Ei erilliskeräysastioihin, suositellaan hyödynnettäväksi energiana polttolaitoksessa, jossa on savukaasupesurit	n. 16–20
Pieniheyspolyeteeni (PE-LD)	Taipuisa, ohuena kalvona läpinäkyvä	Kalvot, myös ruokapakkauksissa, muovikassi, kuplamuovi, shampoo-pullo	30-35	Kierrätettävissä puhtaana PE-materiaalina	n. 45
Polypropeeni (PP)	Kuten PE-HD mutta lämmönkestävämpi ja monipuolisemmin prosessoitava	Margariinirasia, leikkelepakkauksia, juomapullonkorkki	15-20	Kierrätettävissä puhtaana PP-materiaalina	n. 44
Polystyreenit (PS, SB ja EPS)	Jäykkä, hauras (PS), lasinkirkas (PS), iskuluja (SB), eristävä (EPS ja XPS)	Levyt pakkauksiin, eristelevy, kalanmyyntilaitteet, kertakäyttöastiat	PS: 9	Kierrätettävissä puhtaana, eroteltuna polystyreenimateriaalina	n. 37–43
Bio-muovit	Voi olla uusiutuva raaka-aine muttei biohajoava, tai biohajoava muovi	Kahvikapselit		Mikäli merkintä kompostoituvuudesta tai biohajoavuudesta, dropin muovit voidaan kierrättää uusimuoviksi neitseellisten raaka-ainneiden tapaan	

Kuten taulukosta 1 nähdään, kuluttajapakkausia voidaan kierrätyksellä saada puhtaasta kierrätysmuovigranulaattia. Kierrätysprosessissa voidaan valmistaa myös eri muovien sekoituksia, joista valmistetaan muoviprofiileja. Mikäli muovipakkausjäte ei sovellu materiaali kierrätykseen, se voidaan hyödyntää sähkön- ja lämmöntuotannossa polttamalla se jätteenpolttolaitoksessa.

2.3 Tuottajavastuu Suomessa

Pakkausten kierrätyksestä Suomessa vastaavat niin kutsutut tuottajavastuulliset yritykset. Tuottajavastuullisilla yrityksillä tarkoitetaan yrityksiä, jotka pakkaavat tuotteita Suomessa tai maahantuovat Suomeen pakattuja tuotteita ja joiden liikevaihto on vähintään miljoona euroa. Suomen markkinoille päätyneet pakkaukset on kerättävä takaisin kiertoon ja materiaalit hyödynnettävä uusien tuotteiden valmistuksessa eli kierrätettävä. Vastuu perustuu Euroopan unionin ja Suomen lainsäädäntöön, jotka asettavat myös tavoitteet kierrätysmäärille. (Rinki 2018.) Tuottajavastuusta säädetään jätelaissa 646/2011 sekä Valtioneuvoksen asetuksessa pakkauksista ja pakkausjätteistä 518/2014.

Hoitaakseen lain asettamat velvollisuudet muovipakkausten tuottaja voi joko liittyä tuottajayhteisöön tai hakeutua Pirkanmaan elinkeino-, liikenne-, ja ympäristökeskuksen (ELY-keskus) tuottajarekisteriin. Muovipakkausten tuottajayhteisö Suomessa on Suomen Uusiomuovi Oy, joka hoitaa tuottajien velvollisuudet keskitetysti jäsentensä puolesta. Pakkausten tuottajayhteisöillä on yhteinen palveluyhtiö Suomen Pakkauskierrätys Rinki Oy, joka hoitaa tuottajien rekisteröinnin tuottajayhteisöön, vuosittaiset maksut sekä kuluttajapakkausten keräysverkoston eli niin sanotun Rinki-ekopisteiden ylläpidon. Vaihtoehtoisesti tuottaja voi tehdä hakemukset ELY-keskuksen tuottajarekisteriin, jolloin tuottajan on tehtävä selvitys, kuinka se hoitaa omalla kustannuksellaan markkinoille toimittamiensa pakkausten jätehuollon ja täyttää kierrätysvaatimukset. (Suomen Uusiomuovi Oy, 2018a.)

2.4 Kuluttajamuovipakkausjätteen keräysverkosto ja täydennys

Tuottajavastuulliset yritykset ovat järjestäneet kuluttajapakkausten keräyksen Suomessa vuoden 2016 tammikuusta lähtien. Keräysverkostoa kutsutaan Rinki-ekoverkostoksi. Vuonna 2017 maaliskuussa muovinkeräyspisteitä oli 530 kappaletta (Uusiouutiset 2017a.) Keräysverkoston palvelutason ja saavutettavuuden vähimmäisvaatimuksista määrätään valtioneuvoston asetuksessa pakkauksista ja pakkausjätteistä 518/2014 seuraavaa:

1. vastaanottoaikojen verkosto kattaa koko maan

2. vastaanottopaikkoja on väestötiheys huomioon ottaen alueittain tasapuolisesti
3. vastaanottopaikat sijoitetaan päivittäistavarakauppojen tai muiden tavanomaisesti käytettävien palvelujen yhteyteen taikka yleisesti käytettyjen kulkureittien varrelle
4. muovipakkausjätteen erilliskeräystä varten on vähintään 500 vastaanottopaikkaa siten, että jokaisessa yli 10 000 asukkaan taajamassa on vähintään yksi vastaanottopaikka (VNa 518/2014, 9 §).

Lisäksi yritysten pakkauksille on varattava vähintään 30 vastaanottotermiinaalia, joissa voidaan välivarastoida keräyspisteiden pakkauksia ja joihin yritykset voivat tuoda laatuohjeistuksen täyttävää muovipakkausjätettä veloituksetta (Järvinen 2016, 45). Kuluttaja tuo muovipakkauksen lajitteluohjeiden mukaisesti keräyspisteelle, josta muovipakkaukset kuljetetaan vastaanottotermiinaaleihin välivarastoitavaksi. Tämän jälkeen muovipakkaukset kuljetaan hyödynnettäväksi Riihimäellä sijaitsevaan muovinjalostamoon, jossa niistä valmistetaan uusioraaka-ainetta ja uusia tuotteita. (Rinki 2018.)

Jätelain 646/2011 47 § mukaan tuottajalla on ensisijainen oikeus järjestää jätehuolto vastuulleen kuuluvien tuotteiden osalta. Muut toimijat saavat perustaa rinnakkaisia pakkausjätteiden keräys- ja vastaanottojärjestelmiä ja tarjota tähän liittyviä palveluita kiinteistön haltijalle tai muulle jätteen haltijalle vain yhteistoiminnassa tuottajan kanssa. Kunta voi osana järjestämäänsä jätehuoltoa täydentää pakkausjätteiden kuljetusta ja vastaanottoa siltä osin, kun tuottaja ei sitä järjestä. Kunnan erilliskeräämät pakkausjätteet on toimitettava tuottajan järjestämään jätehuoltoon. (L 7.6.2011/646, 47§.)

Kiinteistökohtainen keräys on yleistymässä, sillä kunnat ja jätehuoltoyhtiöt ovat alkaneet käyttää pakkauslainsäädännön mahdollistamaa tilaisuutta kerätä muovipakkauksia asukkailta yhteistyössä tuottajayhteisön kanssa (Uusiouutiset 2017b). Järjestämällä muovipakkausten erilliskeräyksen kunnat voivat parantaa palvelutasoaan. Palvelutasoa kehittäessä palvelun tuottamisen kustannukset on kuitenkin pysyttävä kohtuullisina ja hyväksyttävänä. Suomessa joillakin alueilla muovipakkausjätteiden erilliskeräys velvoitetaan jätehuoltomääräyksissä, mutta esimerkiksi Etelä-Karjalan Jätehuolto Oy (EKJH) muovipakkausjätteiden kiinteistökohtainen keräys on vapaaehtoinen lisäpalvelu, joka on saatavilla EKJH:n toiminta-alueen kaupunkien, Lappeenrannan ja Imatran, taajama-alueilla (EKJH

2018). Muovipakkausjätteiden kiinteistökeräyksestä on määrätty esimerkiksi Savo-Pielisen jätelautakunnan jätehuoltomääräyksissä, jossa vähintään 10 000 asukkaan taajamissa eli Kuopion keskeisellä kaupunkialueella sekä Pieksämäen ja Siilinjärven keskustaajamissa yli 40 asuinhuoneiston kiinteistöt ovat velvoitettuja järjestämään muovipakkausten kiinteistökeräyksen. (Savo-Pielisen jätelautakunta 2017; 33, 101). Muovipakkausjätteiden keräyksestä määrätään myös Lounais-Suomen jätehuoltolautakunnan jätehuoltomääräyksissä, jossa velvoitetaan muovipakkausjäte kerättäväksi kiinteistöistä, joissa on vähintään 20 asuinhuoneistoa (Jätehuoltomääräykset Lounais-Suomessa 2017, 10). Lisäksi Kainuun jätehuollon kuntayhtymän jätehuoltomääräyksissä muovipakkaus velvoitetaan keräämään kiinteistöistä, joissa on vähintään neljä asuinhuoneistoa (Ekokymppi 2018, 23).

2.5 Muovipakkausjätteen kierrätysprosessi muovijalostamossa

Suomessa erilliskerätyn kuluttajapakkausjätteen hyödyntämiskelpoisten muovijakeiden erotteleminen, lajitteleminen ja jatkojalostus uusiomuovien raaka-aineeksi tapahtuu Riihimäellä sijaitsevassa muovijalostamossa (Ekokem Oyj 2016, 6). Muovijalostamon toiminta on alkanut vuonna 2016, ja sen investointikustannukset olivat noin 14,5 miljoonaa euroa (Järvinen 2016; 51, 56).

Laitoksella pystytään käsittelemään vuosittain muovijätettä enintään 30 000 tonnia (Ekokem Oyj 2016, 6). Kerätyistä muovipakkauksista 30 prosenttia hyödynnetään kierrätykseen kelpaamattomana muovina energiana ja kierrätetään 70 prosenttia, josta 40 prosenttiyksikköä päätyy muovigranulaateiksi ja 30 prosenttiyksikköä kierrätetään muoviprofiilien valmistuksen raaka-aineena ja muihin teollisiin sovelluksiin (Fortum 2018).

Itse muovijakeiden lajitteluprosessi on monivaiheinen. Muovit lajitellaan koon ja muodon sekä muovilaadun perusteella. Koon mukainen lajittelu tapahtuu mekaanisesti seulomalla esimerkiksi rumpu- tai täryseulalla. Tämän seulonnan jälkeen muovit lajitellaan esimerkiksi ballistista erottelua hyödyntäen kalvomaisiin eli niin sanottuihin 2D-muoveihin sekä kappalemaisiin eli 3D-muoveihin. Muovien lajittelu eri muovilaaduittain tapahtuu optisilla erottimilla eli lähi-infrapunaerottimilla. Nämä NIR-erottimet (Near-Infrared-sorter) tunnistavat eri muovilaadut kuten polyeteeni (PE), polyetyleenitereftalaatti (PET)

ja polypropeeni (PP) muovit niiden heijastaman materiaalikohtaisen spektrin avulla. Optiset erottimet lajittelevat muovit eri jakeisiin PP, PE, PET ja MIX eli sekamuovit. Lajittelun seurauksena saadaan muovijätteestä erotettua eri muovilaadut ja lajittelun ylite ohjataan murskattavaksi ja kuormattavaksi ja lopulta poltettavaksi. (Ekokem Oyj 2016, 8.)

Lajiteltu muovijäte varastoidaan paalattuna ja ennen pesuprosessia paalit avataan ja isot muovikappaleet murskataan. Pesussa poistetaan epäpuhtauksia, kuten maa-ainesta, kiviä ja lasia, metallia ja vierasesineitä sekä orgaanisia aineita. Metallien poistamiseksi on myös magneettinen metallinerotin. Pesuprosessissa käytetään vettä noin 100–150 m³/h, ja suurin osa vedestä kiertää prosessissa uuden veden tarpeen ollen noin 5–15 m³/h. Pesuprosessissa käytetään tarpeen vaatiessa vaahdonestokemikaaleja. Pesun jälkeen muovit kuivataan mekaanisesti rummussa ja tarvittaessa termisesti. (Ekokem Oyj 2016, 9.)

Pesty ja kuivattu muovi valmistellaan granulaateiksi tai muoviprofiileiksi. Muovi valmistellaan granulaateiksi ekstruusion eli suulakepuristuksen avulla. Ekstruusiassa muovია lämmitetään niin että muovi sulaa ja tarvittaessa muoveihin lisätään lisä- ja täyteaineita kuten kalsiumkarbonaattia. Lisä- ja täyteaineilla voidaan muokata muovituotteiden ominaisuuksia. Tämän jälkeen valmiit granulaatit varastoidaan odottamaan myyntiä. Muovi-profiilien valmistuksessa muovi sulatetaan uudelleen ja valetaan profiiliksi, joka sopii ominaisuuksiensa puolesta esimerkiksi painekyllästetyn puun, metallin ja betonin korvaamiseen käyttökohteesta riippuen (Myllymaa ym. 2006, 43).

2.6 Muovipakkausjätteen energiahöydyntäminen Suomessa

Jätettä voidaan polttaa jätteenpolttolaitoksissa ainoana polttoaineena tai rinnakkaispolttolaitoksissa toisena polttoaineena, seospolttoaineena. Suomessa jätteenpolttolaitokset ovat tyypillisesti arinapolttotekniikkaan perustuvia, mutta myös kiertopetitekniikkaa ja kierrätyspolttoaineen kaasutusta käytetään. Suomessa 2016 jätteitä pääpolttoaineena käyttävät voimalaitokset on esitelty taulukossa 2.

Taulukko 2. Suomessa 2016 jätteitä pääpolttoaineena käyttävät voimalaitokset (Järvinen 2016, 72–73).

Käytössä	Kapasiteetti jätetonna/a	Yritys	Polttotekniikka
Riihimäki I	150 000	Ekokem	Arinapolttotekniikka
Riihimäki II	120 000	Ekokem	Arinapolttotekniikka
Kotka	100 000	Kotkan Energia	Arinapolttotekniikka
Mustasaari	150 000	Westenergy	Arinapolttotekniikka
Oulu	120 000	Oulun Energia	Arinapolttotekniikka
Lahti	250 000	Lahti Energia	Kaasutus, jäteperäinen kierrätyspolttoaine
Vantaa	320 000	Vantaan Energia	Arinapolttotekniikka ja maakaasua käyttävä kaasuturbiini
Tampere	200 000	Tammervoima	Arinapolttotekniikka
Leppävirta	145 000	Riikinvoima	Kiertopetiteknikkaan perustuva kattila

Lahdessa sijaitsevassa kaasutuslaitoksessa käy vain jätteistä valmistettu kierrätyspolttoaine (Järvinen 2016, 72–73). Rinnakkaispolttolaitoksia, joissa ympäristöluvan perusteella voi käyttää kierrätyspolttoainetta tai muita jätteestä jalostettua polttoainetta, oli 2016 vuonna 24 kappaletta Suomessa (Järvinen 2016, 74).

Uusi jätteenpolttoasetus tuli voimaan 20.2.2013. Säännöksiä sovelletaan kiinteän ja nestemäisen jätteen polttoon sekä jätteenpolto- että rinnakkaispolttolaitoksissa. Rinnakkaispolttolaitoksissa jätettä poltetaan joko varsinaisen polttoaineen, kuten turpeen, tai tuotantoprosessin ohessa. Jätteenpolttoasetuksella sekä ympäristönsuojeluasetuksella säädetään vaatimukset kaikelle jätteenpoltoille, eräitä poikkeuksia lukuun ottamatta. Vaatimukset perustuvat parhaaseen käytettävissä olevaan tekniikkaan ja koskevat:

- poltettavan jätteen laadun selvittämistä
- poltto-olosuhteita
- päästöjä ilmaan
- päästöjä veteen
- päästöjen mittausta
- toimintaa häiriötilanteessa
- poltossa syntyvän jätteen käsittelyä ja hyödyntämistä. (Ympäristö 2014.)

Arinapolttotekniikka soveltuu monenlaisen jätteen polttoon, mutta ei nestemäisen, jauhe-maisen tai sulavan jätteen polttoon. Arinatekniikka sietää oikein säädettyinä melko hyvin jätteen kosteuden, lämpöarvon sekä tuhkapitoisuuden vaihtelua, ja arinapolttolaitoksissa varaudutaankin usein polttamaan laadultaan vaihtelevaa jätettä. (Vesanto 2006, 30). Syn-tyapaikkalajiteltua jätettä ei tarvitse suuremmin esikäsitellä, mutta hyvin suuret kappaleet murskataan ja suuret metallikappaleet poistetaan ennen kattilaan siirtoa (Ekokem Oyj

2010, 8). Jäte syötetään kahmarilla syöttösuppiloon, josta se syötetään arinalle, jonka pintakappaleet kääntyilevät ja työntyvät hydraulisesti saaden aikaan liikkeen ja jätteen sekoittumisen (Vesanto 2006, 30). Jätteet palavat osittain arinalla ja osittain tulipesän osuudella, joka sijaitsee arinan yläpuolella (Ekokem Oyj 2010, 9). Karkea tuhka ja palamattomat materiaalit poistuvat arinan alapäästä laitoksen pohjatuhkajärjestelmään (Vesanto 2006, 30).

Tulipesästä poistuvat savukaasut johdetaan tyypillisesti ennen kattilaa esijähdytyskammiin, jossa höyrystyneet epäpuhtaudet pyritään tiivistämään kiinteiksi. Tällä pyritään estämään höyrystyneiden epäorgaanisten aineiden tarttuminen kattilan lämmönsiirtimiin. Osa näistä kiinteytyneistä aineista ja tuhkasta erottuu savukaasuista esikäsittelykammiossa ja kattilassa kattilatuhkaksi ja poistuu pohjalta tuhkajärjestelmään. Kattilan jälkeen savukaasut ohjataan puhdistusprosessiin. (Vesanto 2006, 30.)

Leijupolttotekniikkaa hyödyntäessä jäte on murskattava leijutukseen sopivaan palakokoon eli kokoluokkaan noin 100 mm ja metallikappaleet on poistettava, sillä suuret kappaleet ja metalliesineet jumiuttavat helposti syöttö- ja tuhkanpoistolaitteet. Jäte syötetään tulipesään, jossa jäte poltetaan ilmavirran avulla leijutettavassa pedissä. Peti on inerttiä materiaalia, kuten hiekan tai mineraalimurskeiden sekä polttoaineen tuhkan muodostama kerros. Palamisilma syötetään petiin pääosin leijutusarinan eli tulipesän pohjan kautta ja loput tarvittavasta ilmasta syötetään sekundääri-ilmana pedin yläpuolelle. (Vesanto 2006, 31–33.) Leijupetiteknikkaan perustuva laitos voi olla joko kiertoleiju- tai kerrosleijukatila (Ekovoimalaitoksen ympäristölupa 2013, 8).

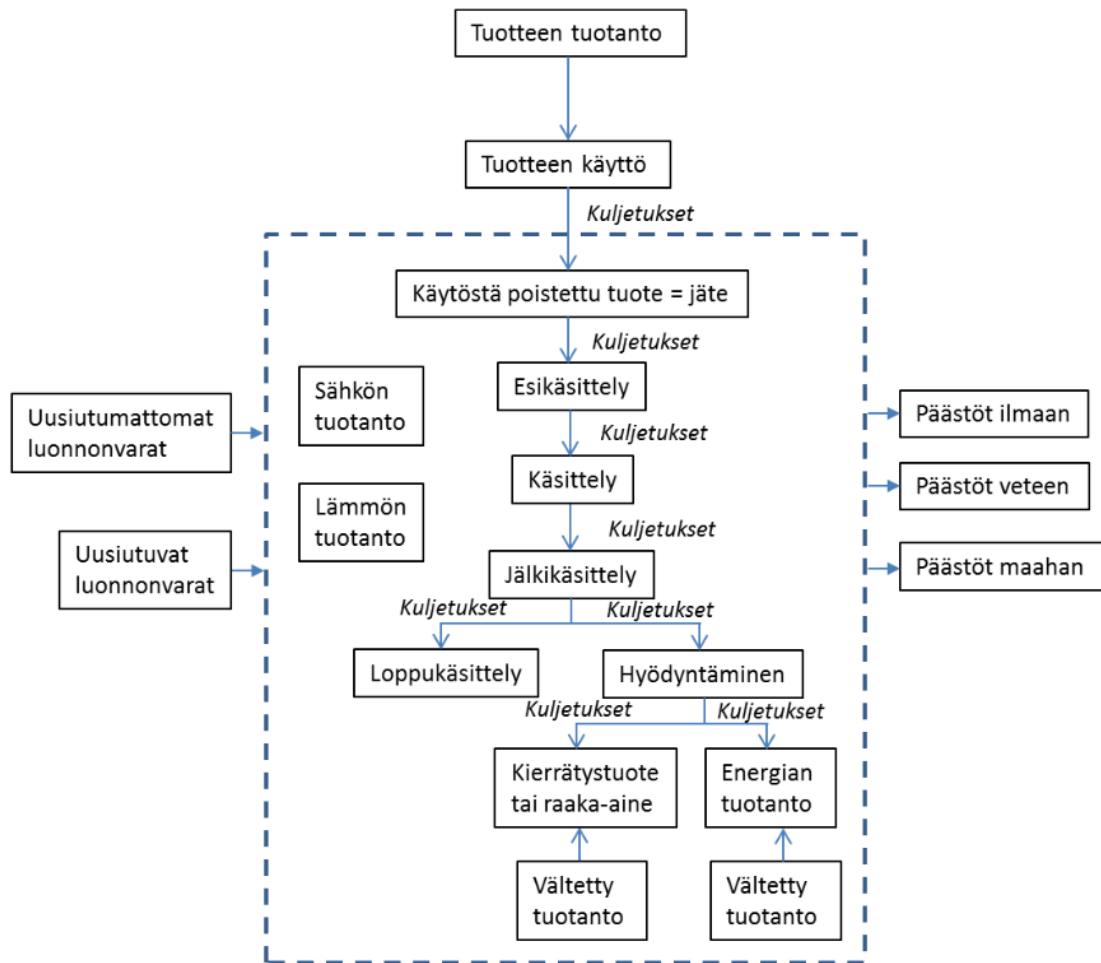
Poltettaessa jätteitä kerrosleijupoltolla savukaasut johdetaan tulipesästä esijähdytyskammiin, jonka tarkoituksena on estää savukaasujen sisältämien höyrystyneiden metallien ja epäorgaanisten aineiden päätyminen kattilan lämmönsiirtimiin. Esijähdytys saa höyrystyneet metallit ja epäorgaaniset aineet kiinteytymään ja erottumaan savukaasuista ainakin osittain. Jätteenpoltossa tuhkan osuus saattaa olla varsin suuri ja karkeaa tuhkaa sekä palamattomia materiaaleja kuten metalli- ja lasikappaleita, poistetaan tulipesän pohjalta. Hienojakoinen tuhka ja jauhautunut petimateriaali puolestaan kulkeutuvat savukaasujen mukana ulos tulipesästä ja erottuvat savukaasuista kattilassa ja savukaasujen puhdistuksessa. (Vesanto 2006, 32.)

3 TUTKIMUKSEN TEOREETTINEN VIITEKEHYS JA AIKAI- SEMPAA TUTKIMUSTA

3.1 Elinkaariarvioinnin teoria ja prosessivaiheet

Elinkaariarviointi (Life Cycle Assessment, LCA) on tuotejärjestelmän, tuotteen tai palvelun elinkaaren aikaisten syötteiden ja tuotosten sekä potentiaalisten ympäristövaikutusten koostamista sekä arviointia. Elinkaariarviointi on vakiintunut menetelmä jätehuoltojärjestelmien ja jätteiden ympäristövaikutusten arviointiin. Tutkimus kattaa tuotejärjestelmän peräkkäiset tai vuorovaikutteiset vaiheet raaka-aineiden hankinnasta tai tuottamisesta luonnonvaroista loppusijoitukseen. (SFS-EN ISO 14040, 12.) Tutkimuksen tuloksena saadaan tuotteen tai palvelun aiheuttamat ympäristövaikutukset.

Jätehuollossa elinkaariarvioinnilla tarkoitetaan jätteen keräyksestä, kuljetuksesta, varastoinnista, kierrätyksestä ja muusta hyödyntämisestä, sekä loppukäsittelystä aiheutuvia ympäristövaikutuksia, jotka syntyvät suorasta tai epäsuorasta aineiden ja energian kulu-
tuksesta (Myllymaa ym. 2008, 16). Selkeä tapa järjestelmän kuvaamiseen on esittää järjestelmä virtakaaviona, jossa on määritetty jätevirtaketjut keräyksestä loppukäsittelyyn. Kuvassa 3 on esimerkki jätehuollon järjestelmäkuvauksesta ja elinkaaritarkastelun rajauksista.



Kuva 3. Rajaukset jätehuollon elinkaaritarkastelulle (Hämäläinen ja Nummela 2012, 6).

Kuvassa 3 on esitetty esimerkinomaisesti rajaukset jätehuollon elinkaaritarkastelulle. Perusajatuksena on, että tarkasteltava jäte ei kanna rasitteenaan tuotanto- ja kulutusjärjestelmissä muodostunutta ympäristö- ja kustannuskuormaa ja jätteitä synnyttävät tuotanto- ja kulutusjärjestelmät voidaan rajata tarkasteltavan tuotejärjestelmän ulkopuolelle. (Myllymaa ym. 2008, 16.) Jätehuollon elinkaaritarkasteluja tehtäessä keräysvälineeseen tuotu jäte katsotaan nollapäästöiseksi ja elinkaaritarkastelujen alkupisteenä onkin yleensä jätelajin keräyspaikka (Hämäläinen ja Nummela 2012, 7). Kuvassa 3 rajausta on esitetty katkoviivalla ja järjestelmässä syntyneet päästöt ja järjestelmän tarvitsemien luonnonvarojen käyttö huomioidaan elinkaaritarkastelussa (Hämäläinen ja Nummela 2012, 6).

Ympäristövaikutusluokkien valintaan vaikuttavat tarkastelualueen vaatimukset eli paikallisesti merkitykselliset vaikutukset, kuten esimerkiksi melu tai pienhiukkaset, sekä globaalit näkökulmat, josta johtuen jätehuollon elinkaaritarkasteluissa ilmastonmuutos

on tällä hetkellä yleisimmin tarkasteltu vaikutusluokka. Lisäksi tarkasteltavina asioina on usein energiankulutus ja luonnonvarojen ehtyminen. (Hämäläinen ja Nummela 2012, 5.) Vaikutusluokat vaihtelevat tutkimuksesta ja sen käyttötarkoituksesta riippuen ja mitä useampaa ympäristövaikutusta työssä arvioidaan, sitä kattavamman kuvan työn voidaan arvioida antavan toiminnan potentiaalisista ympäristövaikutuksista (Myllymaa ja Dahlbo 2012, 15).

Elinkaaritarkastelun tulokset ovat aina sidoksissa tarkastelunäkökulmaan, tutkimuskysymyksen asetteluun, alueelliseen ja ajalliseen ulottuvuuteen, käytettävän tietoaineiston laatuun, valittuihin jätahuoltotoimiin sekä tiedon tuottajien sekä käyttäjien pätevyyteen tarkasteltavassa asiassa (Hämäläinen ja Nummela 2012, 2). Tästä johtuen tarkastelun tulokset saattavat olla hyödynnettävissä vain kyseessä olevassa tapauksessa eivätkä ne täten ole yleistettävissä tai vertailtavissa. Tarkasteluja tehtäessä tulee pyrkiä läpinäkyvyyteen ja tarkastelujen tulisi olla yhtäläisiä, jotta tarkastelun kohteeksi päätyvien muuttujien valinnalla ei voida vaikuttaa saataviin tuloksiin. Kun elinkaaritarkastelussa arvioidaan samoja asioita ja tarkastelun laajuus sekä rajaukset ovat yhtäläiset, saavutetaan vertailukelpoisuus parhaiten (Hämäläinen ja Nummela 2012, 7).

Elinkaaritarkastelujen yhtenäistämisen ja vertailukelpoisuuden edistämiseksi tulee noudattaa elinkaariarvioinnin standardeja ISO 14040 ja ISO 14044:2006, mutta tarkastelu voidaan tehdä myös yksinkertaistettua elinkaariajattelua soveltaen. Seuraavassa on esitelty elinkaariarvioinnin neljä päävaihetta, jotka ovat tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, inventaarioanalyysi, vaikutusarviointi sekä tulosten tulkinta (ISO 14040, 8).

Elinkaariarviointi aloitetaan tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyllä. Tavoitteet tulee määrittellä selkeästi ja niiden tulee olla yhteensopivia aiotun soveltamiskohteen kanssa. Elinkaariarviointi on iteratiivinen prosessi, joten määrittelyyn kuten muihinkin vaiheisiin on mahdollista palata myöhemmin uudelleen ja tehdä tarkennuksia. Tavoitteita määrittäessä tulee kuvata aiottu käyttötarkoitus, selvityksen tekemisen syyt, aiottu kohdeyleisö sekä tieto siitä, onko tuloksia tarkoitus käyttää julkisesti esitettävissä vertailuväitteissä. (ISO 14044, 22.)

Vaiheen tärkeimpiä päätöksiä ovat järjestelmän toiminnallisen yksikön valitseminen ja rajaukset. Järjestelmän syötteet eli järjestelmään tulevat aine- ja energiavirrat, tuotokset eli päästöt ja järjestelmästä lähtevät aine- ja energiavirrat sekä muut tekijät lasketaan toiminnallista yksikköä kohden ja se on usein jätehuoltoon liittyvissä elinkaaritarkasteluissa valittu yhdeksi tonniksi kyseistä jätefraktioita. Lisäksi määritetään kerättävän tiedon laatu- ja tarkkuusvaatimukset ja listataan lähtöoletukset ja rajaukset. (Myllymaa ym. 2005, 13–14.) Muovin kierrätysvaihtoehtoihin liittyen rajauksia voivat olla esimerkiksi kuljetuksen sisällyttäminen tai poisjättäminen tarkastelusta (Astrup ym. 2009, 766.)

Inventaarioanalyysi (*Life Cycle Inventory, LCI*) on elinkaariarvioinnin toinen vaihe. Inventaarioanalyysivaiheessa kuvataan tutkittavan järjestelmän syötteiden ja tuotosten suuruudet määrällisinä yksikköinä. Tietojen tarkkuus ja keräysmenetelmät voivat vaihdella yksikköprosesseissa riippuen saatavilla olevasta tiedosta. Tiedot voivat olla esimerkiksi laskettuja, mitattuja tai arvioituja. Käytettyjen tietojen tarkkuus, yksityiskohtaisuus sekä luotettavuus vaikuttavat luonnollisesti saataviin tuloksiin. Laadullista ja määrällistä tietoa tulee kerätä jokaisesta järjestelmän sisään kuuluvista yksikköprosesseista. (SFS-EN ISO 14044, 32).

Jätehuollon elinkaariarvioinneissa vertaillaan usein kahta tai useampaa skenaarioita ja inventaarioanalyysi tulee tehdä kullekin skenaariolle erikseen. Inventaarioanalyysi aloitetaan muodostamalla käsiteltävistä skenaarioista prosessikaaviot, joiden avulla pienempien osaprosessien määrä ja kulku pyritään hahmottamaan. Prosessikaavioiden yksityiskohtaisuus ja tarkkuus parantavat saatujen tulosten luotettavuutta. Kustakin osaprosessista aiheutuvat päästöt maahan, veteen ja ilmakehään sekä kunkin osaprosessin energian- ja luonnonvarojen kulutus etsitään ja taulukoidaan (SFS-EN ISO 14040, 32–34).

Elinkaariarvioinnin kolmas vaihe on vaikutusarviointi (*Life Cycle Impact Assessment, LCIA*), eli ekologisten vaikutusten arviointi ja se tehdään inventaarioanalyysissä saatujen tulosten perusteella. Vaikutusarvioinnin tarkoituksena on luoda käsitys tuotejärjestelmän päästöjen ja muiden ympäristökuormitusta aiheuttavien tekijöiden potentiaalisista ympäristövaikutuksista. (Myllymaa ym. 2005, 14–15.) Vaikutusluokkien kuormitustekijät muutetaan yhteismitallisiksi valittujen vaikutusluokkien osalta. Yhteismitallistaminen tapahtuu kertomalla päästön määrä sitä vastaavalla karakterisointikertoimella. Esimerkiksi

ilmastonmuutoksen osalta kertoimet ovat samat kuin hallitustenvälisen ilmatonmuutospaneelin (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change) neljännessä arviointiraportissa sadan vuoden potentiaalille, eli esimerkiksi hiilidioksidille kerroin on 1, metaanille 25 ja typpioksiduulille 298. Ilmastomuutosta kuvaavassa vaikutusluokassa tarkastellaan kasvihuonekaasupäästöjen seurauksena tapahtuvia maapallon lämpötilamuutoksia ja niistä seuraavia vaikutuksia, jotka liittyvät ilmakehän säteilypakotteessa tapahtuviin muutoksiin (Myllymaa ym. 2008a). Ilmastomuutoksen kannalta merkittävimmät päästöyhdisteet ovat fossiilinen hiilidioksidi, metaani, typpioksiduuli ja fluorikaasut.

Vaikutusluokat edustavat tarkasteltavia ympäristökysymyksiä ja -ongelmia. Vaikutusluokkia valittaessa olisi hyvä ottaa huomioon alueelliset ympäristöolosuhteet ja esimerkiksi toimintojen sijoituksessa vesistöjen läheisyyteen, voisi olla hyvä painottaa rehevöitymisen ja happamoitumisen vaikutusluokkia. Vaikutusluokkien suhteuttamista toisiinsa voidaan pitää haastavana, sillä pelkästään vaikutusten voimakkuuksien määrittämisen perusteella ei voida sanoa, mitkä vaikutukset ovat merkittävämpiä kuin toiset. Tästä johtuen eri vaikutusluokkia arvioidaan numeerisilla tai sanallisilla painotuksilla haitallisuus erojen korostamiseksi. Vaikutusluokkien valintaan ja arvottamiseen liittyy subjektiivisuutta, joten oletusten sekä tulosten avoin kuvaaminen sekä raportointi ovat kriittisiä tekijöitä elinkaariarvioinnin tulosten luotettavuuden kannalta.

Tulosten tulkintavaihe on elinkaariarvioinnin viimeinen vaihe. Tässä vaiheessa saatuja tuloksia analysoidaan, tehdään johtopäätökset ja määritetään tulosten rajoitukset sekä laaditaan suositukset. Tulkinnat tehdään alussa asetettujen reunaehtojen, oletusten ja tavoitteiden puitteissa ja arvioidaan, kuinka hyvin tavoitteisiin on päästy. On myös mahdollista palata alkuun täydentämään ja muuttamaan lähtötietoja tai muuttamaan rajausta. (Myllymaa ym. 2005, 15.)

Elinkaariarvioinnin tuloksia verrataan nollaskenaarioihin. Nollaskenaario eli verrokki voi olla esimerkiksi vallitseva jätehuoltoratkaisu, kun pyritään osoittamaan muutoksen tarpeellisuus tai vaihtoehtoisesti tarpeettomuus. Raportoitaessa tuloksia tulisi käydä ilmi perustelut tutkimuksen aikana tehdyille rajauksille ja tavoitteiden määrittelylle ja lisäksi tulee kiinnittää huomiota ymmärrettävyyteen ja avoimuuteen (Myllymaa ym. 2005, 15).

Elinkaariarviointeja tehdessä tehdään usein myös herkkyystarkasteluja. Herkkyystarkastelulla voidaan selvittää muun muassa se, kuinka paljon lähtödataan tuleva muutos tai tarkastelussa tehty mallinnusoletus vaikuttaa saataviin tuloksiin (Eskelinen ja Karsikas 2014, 133).

3.2 Muovin erilliskeräyksen ja kierrätyksen elinkaariarviointi

Myllymaa ja Dahlbo (2012) listaavat muovin elinkaariarviointia laadittaessa mallinnuksessa huomioitaviksi asioiksi seuraavaa:

- kierrätyskohteiden valinta
 - kierrätyskohteiksi tulee valita realistisesti ja lisäksi tuotetun jätteen määrä tulee suhteuttaa tuotteiden markkinoihin
- muovin laatua kuvaavat tekijät
- ympäristövaikutuksista tulisi tarkastella vähintään elinkaaren aikana tuotetut kasvihuonekaasupäästöt ja niiden ilmastonmuutosvaikutus, veteen ja ilmaan päässeiden ravinteiden vaikutukset muun muassa rehevöitymisen, happamoitumisen ja hiukkasvaikutusten kannalta
 - vähintään laadullisesti olisi hyvä myös tarkastella luonnonvarojen ehtymisen ja vaikutukset biodiversiteettiin
- muovin keräyksen ja kuljetuksen päästöt
- käsittelyprosessien energiankulutus ja päästöt
- käsittelyprosessien saanto ja hävikki ja hävikkimateriaalien ja jätevesien käsittely
- muovia energiana hyödyntävien laitosten tuottaman energian hyötysuhde ja hyödyksi käytetyn energian osuus
- realistinen arvio tuotetulla energialla korvattavista polttoaineista (Myllymaa ja Dahlbo 2012, 22–23).

Suomessa muovin materiaalikierrätyksen elinkaarivaikutuksia verrataan pääasiassa jätteenpoltoon. Aiemmin tehdyissä elinkaariarvioinneissa eräänä vaihtoehtona on pidetty myös muovijätteen kaatopaikkasijoittamista, mutta huomioiden vuonna 2016 voimaan tulleen orgaanisen jätteen kaatopaikkakiellon, ei tätä enää voida pitää vaihtoehtona.

Muovin elinkaariarvioinnin mallintaminen aloitetaan usein ympäristövaikutuksista, jotka syntyvät, kun muovipakkausjätettä kerätään kuluttajilta sekajätteen joukossa, erilliskeräyksenä kiinteistöiltä tai aluekeräyspisteiden kautta. Keräys- ja kuljetuslogistiikasta aiheutuneita vaikutuksia rinnastetaan kierrätyksen aiheuttamiin kokonaisvaikutuksiin. Keräyksestä aiheutuvat suuret ympäristövaikutukset heikentävät merkittävästi materiaali-kierrätyksen kannattavuutta. Myös keräyksestä aiheutuvien kustannusten on oltava järkevässä suhteessa koko jättemateriaalin hyödyntämisketjun kustannuksiin.

Käsittelyprosessin mallintaminen on myös yksi tärkeimmistä tekijöistä muovin elinkaariarvioinnissa. Pääpiirteissään muovin mekaanisessa kierrätysprosessissa muovit erotellaan polymeerilaaduittain infrapunaa ja tiheyden perustuvan kellunnan avulla, muovit puhdistetaan ja niiden palakoko pienennetään, jonka jälkeen muovi sulatetaan ja puristetaan pelleteiksi. Vaikutusten arvioinnissa tulee ottaa huomioon kierrätyslaitoksen energiankulutus ja siitä aiheutuvat päästöt sekä materiaalin saanto, hävikki ja hävikkimateriaalin käsittelyvaikutukset. Lisäksi huomioitavaa on se, mitä kierrätysprosessissa tuotetut kierrätysmateriaalit, granulaatit ja profiilit, korvaavat ja missä suhteessa. Hyvälaatuisilla kierrätysgranulaateilla voidaan korvata neitseellisiä muovigranulaatteja, mutta kierrätysgranulaatin laatu vaikuttaa korvaussuhteeseen. Jätteenpolttovaihtoehtoa mallinnettaessa on huomioitava kyseisen polttolaitoksen tuottaman energian hyötysuhde sekä realistinen arvio sillä korvattavista polttoaineista ja mahdollisesti polttolaitoksen tuottaman energian vähäinen kysyntä (Moliis ym. 2012).

3.3 Tehtyjä muovin kierrätyksen elinkaariarvioita

Moliis ym. (2012) ovat tutkineet pakkausjätteiden hyödyntämistä Pohjois-Suomen alueella elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten sekä kustannusvaikutusten näkökulmasta. Ympäristövaikutuksista tarkastelussa huomioitiin ilmastonmuutos- ja luonnonvarojen ehtymisvaikutuksia. Tarkastelussa pakkausjätteet kerättiin aluekeräyspisteistä. (Moliis ym. 2012, 70.)

Tarkastelussa todetaan, että kuluttajamuovipakkausten elinkaaritarkasteluissa saavutettavat hyödyt ovat yleensä kyseenalaisempia kuin muilla pakkausjätteillä. Tehtäessä kulut-

tajien jälkeisten muovipakkausjätteiden elinkaaritarkasteluja, tehdyt rajaukset ja oletukset korvattavista raaka-aineista sekä energialähteistä vaikuttavat lopputuloksiin. (Moliis ym. 2012, 70.) Moliis ym. (2012) tekemässä tarkastelussa oletettiin, että 64 % kerätystä muovifraktiosta soveltuu korvaamaan neitseellistä muovia. Luku huomioi kierrätysprosessissa syntyvän rejektin sekä korvaavuussuhteen. Tällaisella oletuksella tulokseksi saatiin, että muovipakkausten kierrättäminen vähentää kasvihuonekaasupäästöjä sekä fossiilisten luonnonvarojen ehtyminen hidastuu (Moliis ym. 2012, 71).

Pohjois-Suomen pitkistä kuljetusmatkoista huolimatta keräyksen kuljetusvaiheen päästöt ilmastonmuutosvaikutusten kannalta eivät olleet ratkaisevassa asemassa kokonaisuuteen nähden. Moliis ym. (2012) tekemässä tarkastelussa viitataan aiemmin tehtyihin tarkasteluihin, joiden mukaan keräys- ja kuljetusvaiheen päästöt ovat korkeintaan 20 % ilmastonmuutosvaikutuksista. Tehdyssä tarkastelussa saatiin samankaltaisia tuloksia. (Moliis ym. 2012, 70.)

Tarkastelussa toisena vaihtoehtona muovipakkausjätteen materiaalihyödyntämisen lisäksi tarkasteltiin muovijätteen energiahyödyntämistä. Sekä materiaalihyödyntämisestä että energiahyödyntämisestä saatavat hyvitykset sisältävät epävarmuuksia. Tarkastelun perusteella kierrättämisen ja energiahyödyntämisen keskinäinen paremmuus ympäristöhyötyjen kannalta määräytyy sen perusteella, millainen lämpöarvo ja päästökerroin oletetaan poltettavalle jätteelle, mikä on korvattava polttoaine ja kuinka suuri osuus kerätystä muovipakkausjätteestä soveltuu raaka-aineena käytettäväksi. Havaittiin, että ilmastonmuutosvaikutusten tuloksissa energiahyödyntäminen on kierrätystä kannattavampaa, mikäli turpeen osuus korvattaviksi oletetuissa energialähteissä on yli 60 % ja muut korvattavat energialähteet on puuhaketta. Kustannusten näkökulmasta, kustannustehokkuutta edistää muun muovipakkausjätevirran ohjaaminen polttoon sekajätteen seassa. (Moliis ym. 2012, 71.)

Jäteyhtiö Jätekuon alueella on LCA Consulting Oy tehnyt erilliskeräyksen optimointia, jonka tarkoituksena oli selvittää ilmastonlämpenemisvaikutukset ja kustannukset. Ilmastonlämpenemisvaikutusten tarkasteluun sisällytettiin käsittelytoiminnoista eli keräys, kuljetus ja käsittely, syntyvien päästöjen aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt sekä taust-

taprosessien aiheuttamat päästöt. Taustaprosesseja ovat käsittelyssä tarvittavan polttoaineen valmistus, energiantuotanto ja käsittelyssä tarvittavien kemikaalien valmistus. Tarkastelussa kierrätysmateriaaleista valmistettujen lopputuotteiden hyödyntämisestä saata- vat hyvitykset ovat huomioitu. Hyvityksiä saadaan, kun vältetään neitseellisten raaka- aineiden sekä fossiilisten polttoaineiden tuotannon ja käytön ympäristökuormitukset. Muovipakkausjätettä oletettiin saatavan sekä kiinteistö- että aluekeräyksestä. Laskelmien perusteella ilmastonlämpenemisvaikutus verrattuna nykytilaan, jossa muovipakkausjä- tettä ei kerätty kiinteistökohtaisesti eikä täten materiaalihyödynnetty, oli negatiivinen eli se tuotti ympäristöhyötyjä ilmastonmuutosvaikutusluokassa. (LCA Consulting Oy 2017.)

Lazarevic ym. (2010) tutkivat kymmentä tehtyä elinkaaritarkastelua Ruotsissa, Norjassa, Tanskassa, Saksassa, Italiassa, Sveitsissä ja Iso-Britanniassa. Tarkasteluissa oli yhteensä 37 skenaariota, joissa vertailtiin muovipakkausjätteiden mekaanista kierrätystä ja ener- giahöyötykäyttöä. Kaikissa skenaariossa oli selvä etu mekaaniselle kierrättämiselle ilmas- tonmuutosvaikutuksen, energiankäytön sekä elottomien luonnonvarojen ehtymispotenti- aalin suhteen. Selkeää etua mekaanisen kierrätyksen suhteessa energiahöydyntämiseen oli kuitenkin hankala määrittää muille ympäristövaikutusluokille. (Lazarevic ym. 2010; 248, 251.)

Elinkaaritarkasteluissa ei kuitenkaan ollut otettu huomioon kaikkia potentiaalisesti me- kaanisen kierrättämisen vaikutuksiin vaikuttavia asioita, kuten kuluttajamuovijätteen li- kaisuusastetta sekä oletettua korvaussuhdetta neitseelliseen muoviin nähden. Energia- hyödyntämisen hyödyt lisääntyvät, mitä enemmän muovipakkausjäte sisältää orgaanista ainesta. Puolestaan korvaavuussuhdetta tarkasteltaessa energiahöydyntämisen edullisuus lisääntyy useimmissa ympäristövaikutusluokissa, mikäli neitseellisen muovin korvaus- suhde on alle 0,5:1. Alhaisen korvaussuhteen tapauksessa saadaan ristiriitaisia tuloksia ilmastonmuutosvaikutuksen suhteen, mutta luonnonvarojen ehtymisen suhteen kierrättä- minen on lähes aina kannattavampaa. (Lazarevic ym. 2010, 251.)

4 TUTKIMUKSEN AINEISTO JA MENETELMÄT

4.1 Skenaariot

Nykytilassa kotitalouksien muovipakkaukset päätyvät pääosin sekajätteen mukana polttoon. Joensuun, Liperin ja Kontiolahden alueilla on Rinki Oy:n järjestämä muovipakkauskeräys yhteensä seitsemällä ekopisteellä. Näille ekopisteille kuntien asukkaat voivat toimittaa lajittelemiaan muovipakkausjätteitä. Tässä työssä ei oteta huomioon Rinki Oy:n ekopisteille päätyviä muovipakkausjätteitä, sillä tarkoituksena on selvittää ympäristövaikutusero sen muovipakkausjätteen osalta, joka ei päätyisi Rinki Oy:n pisteisiin. On oletettavaa, että mikäli alueella järjestettäisiin muovipakkausjätteen erilliskeräys kiinteistökohtaisesti, keräyksen piirissä olevat asukkaat eivät käyttäisi Rinki Oy:n ekopisteitä muovien kierrättämiseen.

Tässä työssä tarkastellaan viittä vaihtoehtoa pakkausmuovin keräykselle ja käsittelylle. Lähtötilannetta kuvaa skenaario 0, jossa muovipakkausjäte kerätään kiinteistöstä sekajätteen joukossa kiinteistökeräyksellä ja ne ohjataan sekajätteen mukana poltettavaksi Riihivieron ekovoimalaitokselle Leppävirralle. Sekajätteen välivarastoinnin oletetaan tapahtuvan Kontiosuon jätekeskuksella Joensuussa, jossa se myös paalataan siirtokuljetusta varten.

Skenaariot 1–4 ovat vaihtoehtoisia skenaarioita, joita verrataan skenaarioon 0. Skenaarioissa 1–4 sekajätekeräyksen lisäksi järjestetään muovipakkausjätteiden keräys kiinteistöiltä. Skenaarioissa 1 ja 2 muovipakkauskeräys järjestetään Joensuun, Kontiolahden ja Liperin alueilla ja muuttujana näiden skenaarioiden välillä on muovinkeräysastian tyhjennysväli. Skenaariossa 1 muovinkeräysastia tyhjenetään 18 kertaa vuodessa. Skenaariossa 2 tehdään mallinnuskokeilu, jossa muovinkeräysastia tyhjenetään 52 kertaa vuodessa eli viikoittain, mitä ei voi pitää realistisena tyhjennystiheytenä muovipakkausjätteilä. Skenaarioissa 3 ja 4 muovipakkausjätteen kiinteistökeräys järjestetään vain Joensuun keskustan alueella. Skenaariossa 3 muovipakkausjäte kerätään 18 kertaa vuodessa ja skenaariossa 4 keräys tapahtuu kuusi kertaa vuodessa. Skenaarioissa 1–4 erilliskerätty muovipakkausjäte välivarastoidaan ennen jätteen kuljettamista Riihimäelle Fortumin

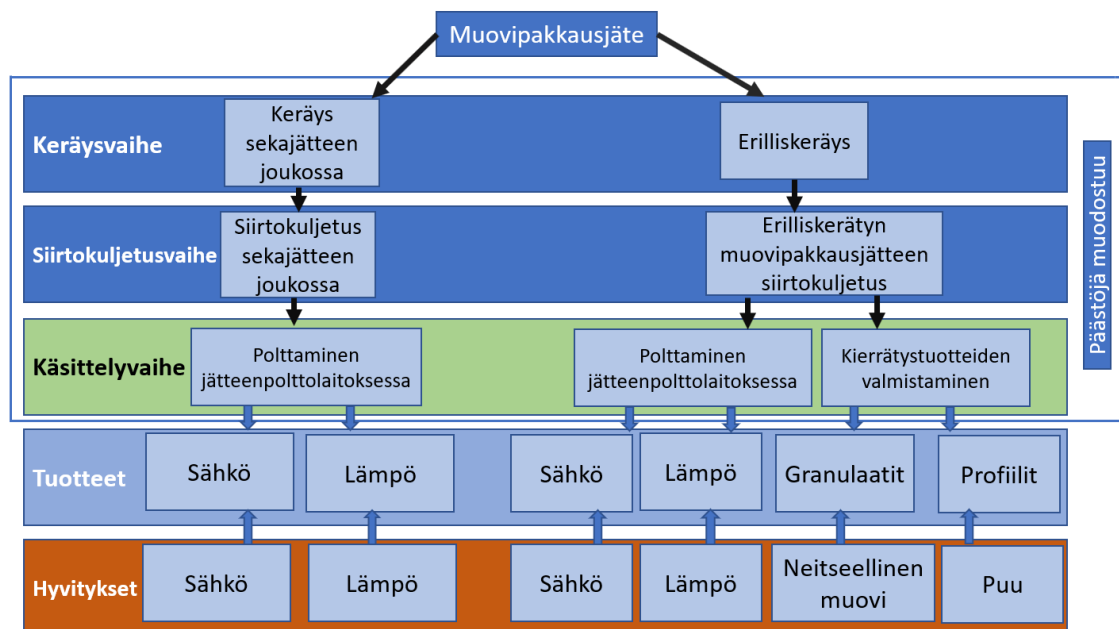
muovijalostamoon. Muovijalostamossa muovipakkausjätteet kierrätetään muovigranulaateiksi sekä muoviprofiileiksi, ja kierrätykseen soveltumaton osa sekä kierrätysprosesseissa syntyvä rejekti hyödynnetään energiana Riihimäen jätevoimalaitoksessa. Skenaarioissa 1–4 kiinteistöissä jäljelle jäävä sekajäte käsitellään kuten skenaariossa 0.

Skenaarioiden 1–4 väliseksi muuttujiksi on valittu keräysastian tyhjennysväli ja alue, jolla keräys järjestetään. Skenaarioiden muuttujien valintaan vaikuttaa saatu ajosuunnitelma, jonka perusteella ei muuttujaksi voitu valita esimerkiksi keräykseen osallistuvien kiinteistöjen kokoa. Työn laskenta perustuu saatuun ajosuunnitelmaan, joka ilmoittaa suunnitellun keräysalueen kiinteistökeräyksen kokonaiskilometrimäärän ja keräykseen osallistuvien kiinteistöjen lukumäärän. Ajosuunnitelmaan on valittu kiinteistöt, joissa on vähintään kolme asuinhuoneistoa per kiinteistö eikä siitä käy ilmi eri kokoisten kiinteistöjen lukumäärät alueittain tai tällä kriteerillä keräykseen osallistuvien kiinteistöjen keräyksen kokonaiskilometrimäärät.

Esimerkiksi Lounais-Suomen jätehuoltomääräyksissä velvoitetaan kiinteistöjä, joissa on 20 tai useampi asuinhuoneisto ja Savo-Pielisen jätehuoltomääräyksissä 40 tai useampi asuinhuoneisto per kiinteistö, järjestämään muovipakkausjätteen erilliskeräys. Suomessa yleinen suuntaus tässä vaiheessa on, että mikäli muovipakkausjätteiden erilliskeräys velvoitetaan jätehuoltomääräyksissä, velvoite koskee vain suuria kiinteistöjä. Tämän perusteella olisi yhdeksi skenaarioksi ollut suotavaa valita skenaario, jossa olisi tarkasteltu suurempia kuin vähintään kolmen asuinhuoneiston kiinteistöjä. Toisaalta tässä työssä käytyt skenaariot ovat perusteltavissa sillä, että muovipakkausjätteen keräystä on tehostettava ja esimerkiksi Etelä-Karjalan alueella muovipakkausjätteiden keräystä ei ole sidottu kiinteistön kokoon vaan se on alueella vapaaehtoista. Tämä puoltaa tässä työssä valittujen skenaarioiden valintaa, sillä Etelä-Karjalan alueella keräykseen voi osallistua Lappeenrannan ja Imatran taajama-alueilla kaikki halukkaat kiinteistön koon pienuudesta huolimatta.

4.2 Muovipakkausjätteen elinkaaren päävaiheet ja tuotejärjestelmän rajaukset

Tarkasteltavissa skenaarioissa 0–4 muovipakkausjätteille on kaksi vaihtoehtoista hyödyntämisketjua. Tässä työssä muovipakkausjäte ohjautuu eri hyödyntämisketjuihin sen perusteella, kerätäänkö se sekajätteen joukossa vai erilliskeräyksellä. Jokaisessa skenaariossa ainakin osa muovipakkausjätteistä ohjautuu sekajätteeseen ja skenaariossa 0 kaikki muovipakkausjätteestä kerätään sekajätteen joukossa. Sekajätteen joukossa kulkeva muovipakkausjäte hyödynnetään energiana jätteenpolttolaitoksessa. Poltettaessa jätettä jätteenpolttolaitoksessa saadaan energiaa, josta voidaan tuottaa sähköä ja lämpöä. Hyvityksiä saadaan, kun sähköä ja lämpöä ei tarvitse tuottaa muulla tavalla. Erilliskerätty muovipakkausjäte puolestaan voidaan kierrättää uudeksi materiaaliksi, muovigranulaateiksi ja muoviprofiileiksi. Kierrätykseen kelpaamaton osa hyödynnetään energiana jätteenpolttolaitoksessa. Hyvityksiä saadaan, kun muovigranulaatit korvaavat neitseellistä muovia ja muoviprofiilit korvaavat esimerkiksi puuta, kuten tässä työssä on oletettu, ja kun jätteenpolttolaitoksella tuotetaan lämpöä ja sähköä. Hyödyntämisketjut on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Muovipakkausjätteen hyödyntämisketjuvaihtoehdot.

Elinkaariarvioinnin toiminnallinen yksikkö perustuu tuotejärjestelmän pääasialliseen toimintoon ja sillä tarkoitetaan tuotejärjestelmän määrällistä suorituskykyä. Toiminnallinen

yksikkö on analyysin perusta ja kaikki elinkaariarvioinnissa koottu tieto suhteutetaan siihen. Jätehuoltotarkasteluissa toiminnallisena yksikkönä käytetään yleensä tonni jätettä tai tonni jätettä. Toiminnallinen yksikkö on tässä työssä syntynyt muovipakkausjättemäärä vuodessa suunnitellulla keräysalueella. Toiminnallisen yksikön valinta perustuu tutkimuksen tavoitteisiin ja tarkoituksiin, jotka ovat tässä työssä selvittää muovipakkausjätteen käsittelyvaihtoehtojen ympäristövaikutukset eri skenaarioissa. Ympäristövaikutusluokista tässä työssä tarkastellaan ilmastonmuutosvaikutusluokkaa.

Tavoitteena on verrata eri käsittelyketjujen välisiä eroja, josta johtuen järjestelmät rajataan niin, että jäte otetaan tarkasteluun nollapäästöisenä. Tarkastelun ulkopuolelle on rajattu ne vaikutukset, jotka syntyvät, kun kotitaloudet lajittelevat pakkausjätteet erilleen muusta jätteestä syntypaikalla eli esimerkiksi pakkausten pyyhkäisy tai huuhtelu kylmällä vedellä. Rajaus perustuu siihen, että yleisenä ohjeena muovipakkausjätteen kierrättämiselle pidetään sitä, ettei sen puhdistamiseen kotitalouksissa käytetä juurikaan energiaa tai luonnonvaroja. Mikäli muovipakkaus ei ole puhdas pienellä vaivalla, kuten pyyhkäisyllä, se tulisi laittaa sekajätteen joukkoon. Kun oletetaan, ettei muovipakkausten esivalmistelu kotitalouksissa kuluta energiaa tai luonnonvaroja sitä voidaan verrata sekajätteen esivalmisteluun kotitalouksissa. Vertailevissa elinkaarianalyyseissä tarkastelun ulkopuolelle voidaan jättää toiminnot, jotka pysyvät kaikissa vaihtoehdoissa muuttumattomina.

Keräystyön vaikutusarvioinnissa otetaan huomioon kuljetusvaiheen vaikutukset sekä tyhjennyksen aikaiset tyhjäkäyntien vaikutukset päästöjen osalta. Työssä ei ole huomioitu kiinteistöjen jäteasteiden perustamisen, keräysvälineiden, kuljetusvälineiden, käsittelylaitosten eikä kaatopaikan valmistamisesta, rakentamisesta ja ylläpidosta syntyneitä päästöjä ja luonnonvarojen kulutusta.

Elinkaaren aikaisiin vaikutuksiin lasketaan käsittelyn ja hyödyntämisketjun suorien vaikutusten lisäksi myös hyödyntämisen seurauksena vältetyt vaikutukset eli CO₂-ekvivalenttipäästöt, jotka jäävät syntymättä, kun pakkausjätettä kierrättämällä tai polttamalla voidaan välttää neitseellisten materiaalien ja polttoaineiden käyttöä. Jätteen hyödyntämisen kautta tuotettavilla materiaaleilla ja energialla voidaan saada aikaan ympäristöhyötyjä eli vähentää ympäristön kokonaiskuormitusta, mikäli niillä voidaan korvata jotain vastaavaa ympäristöä enemmän kuormittavaa prosessia. Skenaario 0 hyvityksiä saadaan, kun

jätteenpolttoprosessissa tuotettu sähkö ja lämpö korvaa Suomen keskimääräistä sähkön-
tuotantoa ja kaukolämmöntuotantoa. Skenaarioissa 1–4 hyvityksiä saadaan tämän lisäksi
myös, kun valmistetaan kierrätysmuovista granulaatteja, jolloin voidaan välttää muovin
valmistamista raakaöljystä, ja kun valmistetaan kierrätysmuovista muoviprofiileja, jol-
loin voidaan välttää puumateriaalien käyttöä. Skenaarioissa 1–4 polttoon ohjautuu seka-
jätteen joukossa olevien muovipakkausten lisäksi kierrätykseen kelpaamaton erilliske-
rätty muovipakkausjäte sekä kierrätysprosesseissa syntyvät rejektit.

Työn tarkastelun ulkopuolelle on rajattu granulaattien ja profiilien kysyntä. Työssä ei
oteta huomioon esimerkiksi kierrätystuotteiden kuljetuksesta aiheutuvia päästöjä, kun
tuotteet kuljetetaan niitä raaka-aineina käyttäville yrityksille. Todellisuudessa muovigra-
nulaattien ja -profiilien valmistamisesta saatavat nettohyödyt voidaan ajatella pienene-
vän, mikäli kierrätystuotteille ei ole kysyntää kotimaassa vaan ne joudutaan kuljettamaan
esimerkiksi ulkomaille. Työssä oletetaan siis, että kierrätystuotteille on kysyntää koti-
maassa ja että kierrätystuotteiden kuljettamisesta aiheutuvat päästöt eivät sisälly kierrä-
tysprosessin päästöihin.

4.2.1 Allokointi

Kaikissa tarkasteltavissa skenaarioissa muovipakkausjätettä kerätään myös yhdessä seka-
jätteen kanssa. Sekajätekeräyksen ja kuljetuksen päästöt lasketaan kuitenkin koko seka-
jäteosuudelle eikä ainoastaan muovipakkausjätteen osuudelle. Tästä syystä johtuen tulee
sekajätekeräyksestä muodostuvat päästöt kohdentaa muovipakkausjätteelle. Tällainen al-
lokointitilanne on keinotekoinen ja yleisesti allokointia tulisi välttää mahdollisuuksien
mukaan. Allokointia voidaan välttää esimerkiksi tuotejärjestelmän laajentamisella esi-
merkiksi jakamalla prosessi alaprosesseihin, jolloin esimerkiksi muodostuvia päästöjä
tarkastellaan tuotantolinjakohtaisesti, tai korvausmenettelyllä, jolloin tuotejärjestelmässä
syntyvälle rinnakkaistuotteelle etsitään vastine toisesta tuotejärjestelmästä, jota rinnak-
kaistuote oletettavasti korvaa. Allokointia ei voida useinkaan täysin välttää ja pyrkimyk-
set välttää allokointitilanne voivat osoittautua työläiksi menettelyiksi. (Hartikainen ym.
2012, 23–31.) Allokoinnissa muodostetaan allokointisuhde tarkasteltavan tuotteen ja rin-
nakkaisuutteen välille

$$\text{Allokointisuhde}_{tuote_i} = \frac{tuote_i * AK_i}{\sum_{i,j} tuote_{i,j} * AK_{i,j}} \quad (1)$$

jossa $tuote_i$ = määrä tarkasteltavaa tuotetta [kg, m³ ym.]

$tuote_{i+j}$ = kaikkien tuotejärjestelmässä syntyvien tuotteiden määrä [kg, m³ ym]

AK_i = tarkasteltavan tuotteen allokointikerroin

$AK_{i,j}$ = kaikkien tuotejärjestelmässä syntyvien tuotteiden allokointikertoimet (Hartikainen ym. 2012, 27).

Yhtälöllä yksi on esitetty yhtälömuodossa allokointisuhteen muodostaminen. Allokointisuhde ilmaisee siis syötteiden ja päästöjen suhteellisen määrän, mikä kohdennetaan tarkastavalle tuotteelle. Suhteeseen vaikuttaa siis se, kuinka paljon tarkasteltavaa tuotetta muodostuu tuotejärjestelmässä ja mikä on allokointikerroin. Allokointikerroin on puolestaan luku, joka kuvastaa tuotteelle kohdentuvia syötteitä, päästöjä tai kustannuksia per yksikkö, esimerkiksi tonni tai kuutio, syntyvää tuotetta. Allokointikerroin perustuu valittuun allokointiperusteeseen, eli esimerkiksi massaan tai tilavuuteen, jolloin nämä ovat allokointisuhteen muodostamisessa käytettäviä allokointikertoimia. (Hartikainen ym. 2012, 23–31.)

Sekajätteen keräyksestä aiheutuvat päästöt allokoidaan tässä työssä massaperustaisesti muovipakkausjätteelle. Valinta perustuu siihen, että keräyksessä muodostuvat päästöt muodostuvat keräysauton synnyttämistä päästöistä, jotka puolestaan ovat riippuvaisia keräysauton ja sen kuorman massasta.

4.3 Jätehuoltoyhtiölle aiheutuvat kustannukset

Kustannuslaskennassa huomioidaan muovipakkausten täydentävästä keräyksestä aiheutuvat lisäkustannukset jätehuoltoyhtiölle sekä sekajätteen keräyksessä ja käsittelyssä tapahtuvat kustannusmuutokset nykytilaan verrattuna. Muovipakkausten osalta kustannuksia syntyy jätehuoltoyhtiölle vain keräyksestä, sillä muovipakkaukset luovutetaan Rinki

Oy:lle maksutta. Kustannuksista huomioidaan täten sekajätteiden ja muovipakkausjätteiden keräyksestä muodostuvat kustannukset, sekajätteen siirtokuljetuksen kustannukset Leppävirralle ekovoimalaitokseen sekä sekajätteen porttimaksu ekovoimalaitokseen.

Jätteenkeräyksen aiheuttamien kustannusten arviointiin on olemassa vaihtoehtoisia laskentatapoja:

- tyhjennyskustannusperustainen laskentatapa
- aikaperustainen laskentatapa
- kuljetusetäisyyteen perustuva laskentatapa (Moliis ym. 2012, 31).

Tyhjennysperustaisessa laskentatavassa kokonaiskustannukset arvioidaan alueen keskimääräisten keräysvälinekohtaisesti laskettujen tyhjennysmaksujen avulla. Tämä menetelmä vaatii valmista aluekohtaista lähtötietoa ja keräysvaiheen kustannusten erottamista muista jätehuollon kustannuksista, eikä sovi siten tässä käytettäväksi menetelmäksi, etenkin koska alueella ei aiemmin ole järjestetty muovin kiinteistökohtaista keräystä. Aikaperustaisessa laskentatavassa kustannukset määritetään keräistyön ajankäyttöön nähden ja menetelmä sopii siksi erityisesti kiinteistökeräyksen kustannusten laskentaan. Kuljetusetäisyysperustainen laskentatapa sen sijaan soveltuu hyvin siirtokuljetusten kustannusten laskentaan, jolloin kustannukset määritetään kokonaiskilometrien ja käytettyjen keskinopeuksien perusteella. (Moliis ym. 2012, 31.) Tässä työssä kiinteistökeräyksen keräistyön kustannukset lasketaan aikaperustaisella laskentatavalla ja siirtokuljetuksista aiheutuvat kustannukset lasketaan kuljetusetäisyyteen perustuvalla laskentatavalla.

Lisäksi jätehuoltoyhtiön tulee kustantaa sekajätteen porttimaksu Leppävirran ekovoimalaitokseen. Porttimaksu on jätetonnikohtainen ja kokonaiskustannus saadaan, kun tiedetään vuodessa ekovoimalaitokseen vietävän jätteen määrä.

4.4 Tutkimuksen aineisto

4.4.1 Suunniteltu kiinteistökeräysalue

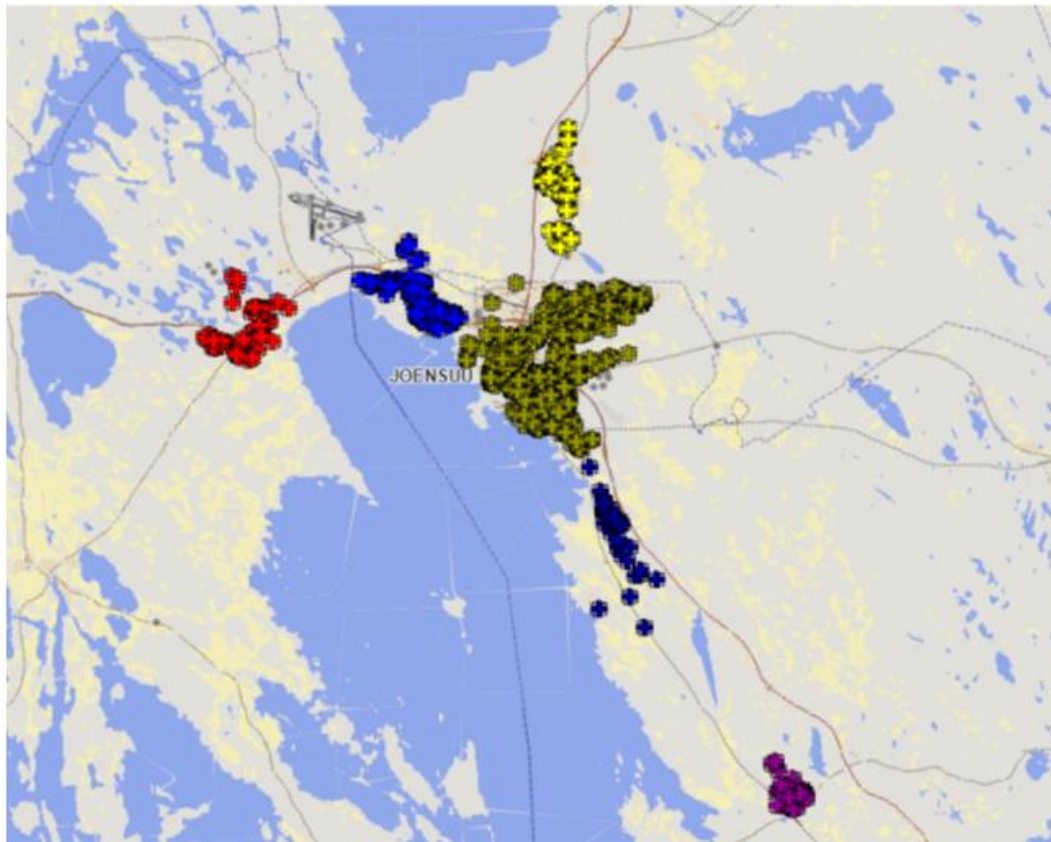
Työssä tarkasteltava kiinteistökeräysalue on saatu Puhas Oy:ltä ajosuunnitelmana. Saatu ajosuunnitelma on esitetty liitteessä I. Ajosuunnitelma on tehty kiinteistöille, joissa on

vähintään kolme asuinhuoneistoa per kiinteistö ja jotka sijaitsevat Joensuun, Liperin ja Kontiolahden kunnissa. Taulukossa 3 on esitetty ajosuunnitelmaan sisältyvät alueet, kunta, johon alue kuuluu sekä alueella olevien kiinteistöjen lukumäärä, joissa on vähintään kolme asuinhuoneistoa. Ajosuunnitelmaan sisältyy yhteensä seitsemän eri aluetta.

Taulukko 3. Keräykseen osallistuvat alueet, alueiden värikoodit, keräyspisteiden lukumäärät.

Alue	Kunta	Keräyspiste lkm	Väri kartassa
Joensuu keskusta	Joensuu	944	Tumman keltainen
Marjala	Joensuu	195	Kirkkaan sininen
Lehmo	Kontiolahti	86	Kirkkaan keltainen
Niittylahti	Joensuu	52	Tumman sininen
Ylämylly	Liperi	77	Punainen
Hammaslahti	Joensuu	42	Lila
Yhteensä		1396	

Taulukosta 3 nähdään, että koko keräysalue kattaa yhteensä 1396 kiinteistöä eli keräyspistettä. Lisäksi taulukkoon 3 on merkitty väri, jolla alueen pisteet on merkitty karttakuvaan, joka on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Keräysalueiden sijoittuminen kartassa.

Kuten kuvasta 5 havaitaan Joensuun keskustassa, jonka keräyspisteet on esitetty tumman keltaisella värillä, sijaitsee suurin osa kiinteistöistä, joista tässä tarkastelussa kerättäisiin kiinteistökohtaisesti muovipakkausjätettä eli taulukon 3 mukaisesti 944 kiinteistöä. Lisäksi havaitaan eri alueiden suhteellinen etäisyys toisistaan ja nähdään, että alueista Hammaslahti sijaitsee kauimmaisena. Keräysreitit oletetaan noudattavan järjestystä Joensuun keskusta-Marjala-Lehmo-Niittylahti-Ylämylly-Hammaslahti, mikä ilmeni Puhas Oy:lta saadusta ajosuunnitelmasta (liite I).

Koska kiinteistökeräyssuunnitelma on tehty kiinteistöille, joissa on vähintään kolme asuinhuoneistoa, tiedetään, että keräykseen osallistuvat kiinteistöt ovat joko kerrostaloja tai ketju- ja rivitaloja. Ajosuunnitelmasta ei kuitenkaan selviä tarkempia tietoja osallistuvista kiinteistöistä. Keräykseen kuuluvien kiinteistöjen jakautuminen rivi- ja ketjutaloihin sekä kerrostaloihin on oletettu olevan sama kuin keräykseen osallistuvien kuntien asuin-kiinteistökannan jakautuminen rivi-, ketju- ja kerrostalojen osalta on. Rivi- ja ketjutalojen sekä kerrostalojen prosentuaaliset osuudet kunnittain on laskettu Tilastokeskuksen PX-Web-tietokantojen avulla. Rivi- ja ketjutalojen sekä kerrostalojen prosentuaaliset osuudet kunnittain on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Rivi- ja ketjutalojen sekä kerrostalojen prosentuaaliset osuudet asuinrakennuksista kunnittain (Tilastokeskuksen PX-Web-tietokanta).

	Erilliset pientalot rakennuksia (lkm)	Rivi- ja ketjutalot rakennuksia (lkm)	Asuinkerrostalot rakennuksia (lkm)	Asuinrakennuksia yhteensä (lkm)	Rivi- ja ketjutalojen osuus [%]	Asuinkerrostalojen osuus [%]
Joensuu	14190	1478	1068	16736	8,8 %	6,4 %
Kontiolahti	4672	303	28	5003	6,1 %	0,56 %
Liperi	4447	247	40	4734	5,2 %	0,84 %

Taulukossa 4 on esitetty Joensuun, Kontiolahden ja Liperin kuntien alueella sijaitsevien erillisten pientalojen, rivi- ja ketjutalojen sekä kerrostalojen lukumäärät. Rivi- ja ketjutalojen sekä asuinkerrostalojen suhteelliset osuudet kunnissa on saatu vertaamalla rivi- ja ketjutalojen ja kerrostalojen lukumääriä kuntien asuinrakennusten kokonaismäärään. Rivi- ja ketjutalojen sekä kerrostalojen lukumäärät keräysalueittain on saatu jakamalla keräyspisteet rivi- ja ketjutalojen ja kerrostalojen suhteellisten osuuksien mukaan. Lukumäärät on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Keräysalueiden rivi- ja ketjutalojen sekä kerrostalojen lukumäärät.

Alue	Kunta	Keräyspiste lkm	Rivi- tai ketjutalot [%]	Kerrostalot [%]	Rivi- ja ketjutalojen lkm	Kerrostalojen lkm
Joensuu keskusta	Joensuu	944	8,8 %	6,4 %	548	396
Marjala	Joensuu	195	8,8 %	6,4 %	113	82
Lehmo	Kontiolahti	86	6,1 %	0,6 %	79	7
Niittylahti	Joensuu	52	8,8 %	6,4 %	30	22
Ylämylly	Liperi	77	5,2 %	0,8 %	66	11
Hammaslahti	Joensuu	42	8,8 %	6,4 %	24	18
Yhtensä		1396			861	535

Taulukosta 5 havaitaan, että koko keräysalueella on näiden laskelmien mukaan 861 rivi- ja ketjutaloa ja 535 kerrostaloa. Joensuun keskustan alueella rivitaloja on 548 ja kerrostaloja 396.

4.4.2 Kiinteistökeräykseen osallistuvien asukkaiden lukumäärän arvioiminen

Keräykseen osallistuvien asukkaiden määrä arvioidaan rivi- ja ketjutaloissa sekä kerrostaloissa olevien asutokuntien keskimääräisen lukumäärän sekä eri kokoisten asutokuntien osuuksien avulla. Koska kiinteistökeräykseen osallistuvien kiinteistöjen kokoja ei tunneta tarkasti, oletetaan kaikki rivi- ja ketjutalot samanlaisiksi sekä kerrostalot samanlaisiksi. Suhteuttamalla kuntien asutokuntien määrät, jotka asuvat rivi- ja ketjutaloissa sekä kerrostaloissa, rakennusten määrään talotyypeittäin, saadaan asutokuntien keskimäärä talotyyppin mukaan. Taulukossa 6 on esitetty kunnittain asutokuntien kokonaismäärät, jotka asuvat rivi- ja ketjutaloissa ja asutokuntien kokonaismäärät, jotka asuvat kerrostaloissa.

Taulukko 6. Asutokuntien keskimääräinen lukumäärä talotyyppin mukaan (Tilastokeskuksen PX-Web-tietokanta).

Kunta	Asutokuntien lukumäärä		Rakennusten lukumäärä vakituisesti asuttu		Asutokuntien keskimääräinen lukumäärä talotyyppin mukaan	
	Rivi- ja ketjutalot	Kerrostalot	Rivi- ja ketjutalot	Kerrostalot	Rivi- ja ketjutalot	Kerrostalot
Joensuu	7132	18563	1478	1068	4,8	17,4
Kontiolahti	1280	296	303	28	4,2	10,6
Liperi	1084	384	247	40	4,4	9,6

Taulukossa 6 on esitetty asutokuntien keskimääräiset lukumäärät talotyypeittäin. Seuraavaksi lasketaan kuinka monta asutokuntaa keräykseen kuuluvissa rivi- ja ketjutaloissa sekä kerrostaloissa on kullakin keräysalueella. Tulokset on saatu kertomalla alueen tietyn talotyyppin lukumäärä tämän talotyyppin asutokuntien keskimääräisellä lukumäärällä. Taulukossa 7 on esitetty kokonaismäärät asutokunnille, jotka osallistuvat suunniteltuun kiinteistökeräykseen.

Taulukko 7. Keräykseen osallituvien asutokuntien lukumäärät talotyyppin ja alueen mukaan.

Alue	Kunta	Asutotyyppi lkm		Asutokuntien keskimääräinen lkm		Asutokuntien lkm	
		Rivi- ja ketjutalot	Kerrostalot	Rivi- ja ketjutalot	Kerrostalot	Rivi- ja ketjutalot	Kerrostalot
Joensuu keskusta	Joensuu	548	396	4,8	17,4	2644	6883
Marjala	Joensuu	113	82	4,8	17,4	546	1422
Lehmo	Kontiolahti	79	7	4,2	10,6	333	77
Niittylahti	Joensuu	30	22	4,8	17,4	146	379
Ylämylly	Liperi	66	11	4,4	9,6	291	103
Hammaslahti	Joensuu	24	18	4,8	17,4	118	306
Yhtensä		861	535			4077	9170

Taulukosta 7 havaitaan, että suunnitellussa keräyksessä on mukana 4 077 asutokuntaa, jotka asuvat rivi- ja ketjutaloissa ja 9 170 asutokuntaa, jotka asuvat kerrostaloissa. Asutokuntien koko eli henkilömäärä voi vaihdella suuresti. Eri kokoisten asutokuntien osuudet on arvioitu Tilastokeskuksen PX-Web-tietokantojen avulla. Tietokannasta selviää kunnittain ja talotyypeittäin eri kokoisten asutokuntien kokonaismäärät. Näiden tietojen perusteella taulukkoon 8 on laskettu kunnittain ja talotyypeittäin prosentuaaliset osuudet erikokoisille asutokunnille. Tilastokeskuksen PX-Web-tietokannoissa asutokuntien kokoluokat vaihtelevat yhden henkilön luokasta ”seitsemän tai enemmän” henkilön luokkaan. Tässä työssä suurimmaksi asutokunnan kooksi on valittu 7 henkilöä, sillä tästä suuremmille asutokunnille ei Tilastokeskuksen tietokannoissa ole yksilöityä tietoa, vaan tietokannassa seitsemän tai useamman henkilön luokka pitää sisällään myös kahdeksan hengen, yhdeksän hengen ja niin edelleen asutokuntien lukumäärät.

Taulukko 8. Asuntokunnissa olevien henkilöiden lukumäärä ilmoitettuna prosentuaalisena osuutena kunnittain ja talotyypeittäin (Tilastokeskuksen PX-Web-tietokanta).

Asunto-kunnan henkilömäärä	Joensuu			
	Rivi- ja ketjutalot		Kerrostalot	
	Asunto-kuntien lukumäärä	Osuus [%]	Asunto-kuntien lukumäärä	Osuus [%]
1	3814	53,5 %	11779	63,5 %
2	2286	32,1 %	5194	28,0 %
3	575	8,1 %	980	5,3 %
4	338	4,7 %	460	2,5 %
5	89	1,2 %	101	0,5 %
6	22	0,3 %	28	0,2 %
7	8	0,1 %	21	0,1 %
Asunto-kuntien määrä yhteensä	7132	100 %	18563	100 %
Asunto-kunnan henkilömäärä	Kontiolahti			
	Rivi- ja ketjutalot		Kerrostalot	
	Asunto-kuntien lukumäärä	Osuus [%]	Asunto-kuntien lukumäärä	Osuus [%]
1	783	61,2 %	199	67,2 %
2	327	25,5 %	74	25,0 %
3	109	8,5 %	12	4,1 %
4	44	3,4 %	8	2,7 %
5	13	1,0 %	2	0,7 %
6	3	0,2 %	1	0,3 %
7	1	0,1 %	0	0,0 %
Asunto-kuntien määrä yhteensä	1280	100 %	296	100 %
Asunto-kunnan henkilömäärä	Liperi			
	Rivi- ja ketjutalot		Kerrostalot	
	Asunto-kuntien lukumäärä	Osuus [%]	Asunto-kuntien lukumäärä	Osuus [%]
1	690	63,7 %	284	74,0 %
2	262	24,2 %	76	19,8 %
3	78	7,2 %	16	4,2 %
4	39	3,6 %	6	1,6 %
5	10	0,9 %	2	0,5 %
6	3	0,3 %	0	0,0 %
7	2	0,2 %	0	0,0 %
Asunto-kuntien määrä yhteensä	1084	100 %	384	100 %

Asukaslukumäärät kullekin ajosuunnitelman alueelle on laskettu talotyypeittäin. Asukaslukumäärät on laskettu kertomalla asuinkunnan henkilömäärä sitä vastaavalla prosentuaalisella osuudella ja asuinkuntien keskimääräisellä lukumäärällä kunnittain ja talotyypeittäin. Tulokset on esitetty taulukossa 9 alueittain.

Taulukko 9. Asukasluvumäärät kunnittain ja talotyypeittäin

Asuinkunnan määrä	henkilö-	Joensuu keskusta		Marjala		
		Rivi- ja talot lkm	ketju- asukas	Kerrostalo asukas lkm	Rivi- ja ketjutalot asukas lkm	Kerrostalo asukas lkm
1		1414		4367	292	902
2		1695		3852	350	796
3		640		1090	132	225
4		501		682	104	141
5		165		187	34	39
6		49		62	10	13
7 (tai enemmän)		21		55	4	11
Yhteensä		4485		10295	926	2127
Yhteensä		14780			3053	
Asuinkunnan määrä	henkilö-	Lehmo		Niittylahti		
		Rivi- ja talot lkm	ketju- asukas	Kerrostalo asukas lkm	Rivi- ja ketjutalot asukas lkm	Kerrostalo asukas lkm
1		203		52	78	241
2		170		38	93	212
3		85		9	35	60
4		46		8	28	38
5		17		3	9	10
6		5		2	3	3
7 (tai enemmän)		2		0	1	3
Yhteensä		527		112	247	567
Yhteensä		639			814	
Asuinkunnan määrä	henkilö-	Ylämylly		Hammaslahti		
		Rivi- ja talot lkm	ketju- asukas	Kerrostalo asukas lkm	Rivi- ja ketjutalot asukas lkm	Kerrostalo asukas lkm
1		185		76	63	194
2		141		41	75	171
3		63		13	28	48
4		42		6	22	30
5		13		3	7	8
6		5		0	2	3
7 (tai enemmän)		4		0	1	2
Yhteensä		452		139	200	458
Yhteensä		591			658	

Laskemalla kaikkien keräysalueiden asukasluvumäärät yhteen taulukosta 9 saadaan, että keräykseen osallistuu koko keräysalueella yhteensä 20 536 asukasta, joista noin 72 % eli 14 780 henkilöä asuu Joensuun keskustassa. Vuonna 2017 Puhas Oy:n osakaskuntien asukasmäärä oli yhteensä 112 706 (Vuosikertomus 2017, 7). Ajosuunnitelman mukainen keräys kattaa asukasmäärältään noin 18 % Puhas Oy:n toimialueen asukkaista.

4.4.3 Jättemäärät tarkasteltavalla alueella

Puhas Oy:n alueella asukas tuottaa keskimäärin 204 kg sekajätettä vuodessa. Luku perustuu Puhas Oy:n vuoden 2017 vuosikertomuksessa ilmoitettuun Kontiosuon jätekeskuskella vastaanotettuihin jättemääriin. Vuosikertomuksen mukaan jätekeskus vastaanotti vuonna 2017 noin 23 000 tonnia poltettavaa jätettä osakaskuntiensa asukkailta, joita kyseisenä vuonna oli 112 706 (Vuosikertomus 2017; 7, 17). Tämän oletuksen mukaan ajo-suunnitelman keräysalueella sekajätettä muodostuu taulukon 10 mukaisesti.

Taulukko 10. Vuotuiset sekajättemäärät keräysalueilla.

Keräysalue	Joensuu keskusta		Marjala	
	Rivi- ja ketjutilat	Kerrostalo	Rivi- ja ketjutilat	Kerrostalo
Kiinteistötyyppi				
Kiinteistömäärä	548	396	113	82
Asukasmäärä	4 485	10 295	926	2 127
Sekajättemäärä vuodessa [kg/kiinteistö]	1 670	5 306	1 670	5 306
Sekajättemäärä viikossa [kg/kiinteistö]	32	102	32	102
Keräysalue	Lehmo		Niittylahti	
	Rivi- ja ketjutilat	Kerrostalo	Rivi- ja ketjutilat	Kerrostalo
Kiinteistötyyppi				
Kiinteistömäärä	79	7	30	22
Asukasmäärä	527	112	247	567
Sekajättemäärä vuodessa [kg/kiinteistö]	1 367	3 141	1 670	5 306
Sekajättemäärä viikossa [kg/kiinteistö]	26	60	32	102
Keräysalue	Ylämylly		Hammaslahti	
	Rivi- ja ketjutilat	Kerrostalo	Rivi- ja ketjutilat	Kerrostalo
Kiinteistötyyppi				
Kiinteistömäärä	66	11	24	18
Asukasmäärä	452	139	200	458
Sekajättemäärä vuodessa [kg/kiinteistö]	1 393	2 643	1 670	5 306
Sekajättemäärä viikossa [kg/kiinteistö]	27	51	32	102

Taulukossa 10 on esitetty kerättävä sekajättemäärä keräysalueittain ja kiinteistötyypeittäin. Yhteensä keräysalueelta kerätään sekajätettä 4 191 tonnia vuodessa ja 81 tonnia viikossa. Prosentuaalisesti tämä on noin 18 % koko Puhas Oy:n toimialueen asukkailta polttoon ohjautuvista jätteistä.

Työssä oletetaan, että asukas kierrättää kiinteistökeräyksen kautta 6 kg muovipakkausjätettä vuodessa. Arvio erilliskerätyistä asukaskohtaisesta muovipakkausjättemäärästä perustuu Puhas Oy:n alueella tehtyyn muovipakkausjätteen erilliskeräyskokeiluun. Lisäksi luku vastaa Suomen kiertovoiman tekemän kyselyn arviota asukaskohtaisesta muovipakkausjättesaannosta (KIVO 2017, 5). Alueittain kerättävä muovipakkausjättemäärä on ilmoitettu taulukossa 11.

Taulukko 11. Muovipakkausjätteiden määrät alueittain.

Keräysalue	Joensuu keskusta		Marjala	
	Rivi- ja ketjutalot	Kerrostalo	Rivi- ja ketjutalot	Kerrostalo
Kiinteistötyyppi				
Kiinteistömäärä	548	396	113	82
Asukasmäärä	4 485	10 295	926	2 127
Erilliskerätty muovipakkausjäte vuodessa [kg/kiinteistö]	49	156	49	156
Erilliskerätty muovipakkausjäte viikossa [kg/kiinteistö]	0,94	3,0	0,94	3,0
Keräysalue	Lehmo		Niittylahti	
Kiinteistötyyppi	Rivi- ja ketjutalot	Kerrostalo	Rivi- ja ketjutalot	Kerrostalo
Kiinteistömäärä	79	7	30	22
Asukasmäärä	527	112	247	567
Erilliskerätty muovipakkausjäte vuodessa [kg/kiinteistö]	40	92	49	156
Erilliskerätty muovipakkausjäte viikossa [kg/kiinteistö]	0,77	1,8	0,94	3,0
Keräysalue	Ylämylly		Hammaslahti	
Kiinteistötyyppi	Rivi- ja ketjutalot	Kerrostalo	Rivi- ja ketjutalot	Kerrostalo
Kiinteistömäärä	66	11	24	18
Asukasmäärä	452	139	200	458
Erilliskerätty muovipakkausjäte vuodessa [kg/kiinteistö]	41	78	49	156
Erilliskerätty muovipakkausjäte viikossa [kg/kiinteistö]	0,79	1,5	0,94	3,0

Taulukossa 11 on esitetty muovipakkausjättekertymät kullakin keräysalueella kiinteistötyypeittäin. Koko keräysalueelta erilliskerättyä muovipakkausjätettä saadaan vuodessa noin 123 tonnia, josta Joensuun keskustan keräysalueen osuus on noin 72 % eli noin 89 tonnia. Tilanteessa, jossa kiinteistöille järjestetään muovipakkausjätteen erilliskeräys, kiinteistöjen sekajättesaanto pienenee erilliskerätyn muovinmäärän verran. Taulukkoon 12 on laskettu kullakin alueelta kiinteistötyypeittäin kerättävä sekajättemäärä tilanteessa, jossa muovipakkausjätteen erilliskeräys järjestetään.

Taulukko 12. Vuotuiset sekajättemäärät, kun muovipakkausten erilliskeräys järjestetään.

Keräysalue	Joensuu keskusta		Marjala	
	Rivi- ja ketju- talot	Kerrostalo	Rivi- ja ketju- talo	Kerrostalo
Kiinteistötyyppi				
Kiinteistömäärä	548	396	113	82
Asukasmäärä	4 485	10 295	926	2 127
Sekajättemäärä muovipakkaus- jätteen erilliskeräyksen jälkeen vuodessa [kg/kiinteistö]	1 621	5 150	1 621	5 150
Sekajättemäärä muovipakkaus- jätteen erilliskeräyksen jälkeen viikossa [kg/kiinteistö]	31	99	31	99
Keräysalue	Lehmo		Niittylahti	
	Rivi- ja ketju- talot	Kerrostalo	Rivi- ja ketju- talo	Kerrostalo
Kiinteistötyyppi				
Kiinteistömäärä	79	7	30	22
Asukasmäärä	527	112	247	567
Sekajättemäärä muovipakkaus- jätteen erilliskeräyksen jälkeen vuodessa [kg/kiinteistö]	1 327	3 049	1 621	5 150
Sekajättemäärä muovipakkaus- jätteen erilliskeräyksen jälkeen viikossa [kg/kiinteistö]	26	59	31	99
Keräysalue	Ylämylly		Hammaslahti	
	Rivi- ja ketju- talot	Kerrostalo	Rivi- ja ketju- talo	Kerrostalo
Kiinteistötyyppi				
Kiinteistömäärä	66	11	24	18
Asukasmäärä	452	139	200	458
Sekajättemäärä muovipakkaus- jätteen erilliskeräyksen jälkeen vuodessa [kg/kiinteistö]	1 352	2 565	1 621	5 150
Sekajättemäärä muovipakkaus- jätteen erilliskeräyksen jälkeen viikossa [kg/kiinteistö]	26	49	31	99

Taulukon 12 mukaan, kun muovipakkausten erilliskeräys järjestetään, sekajätettä muodostuu koko keräysalueella noin 4 067 tonnia ja mikäli muovipakkausjätteet erilliskerätään vain Joensuun keskustan alueelta, koko alueen vuoden sekajättesaanto on noin 4 102 tonnia.

Puhas Oy on tehnyt selvityksen sekajätteen koostumuksesta Joensuun asunto-osakeyhtiöissä ja omakotitaloissa vuosina 2016 sekä 2014. Näissä selvityksissä ei kuitenkaan ole selvitetty muovipakkausjätteiden osuutta sekajätteestä vaan selvityksissä on tutkittu muovien energiajätteiden osuutta sekajätteessä, mikä pitää sisällään myös muita muoveja kuin muovipakkauksia (Martikainen ym. 2014, 6 & Martikainen 2016; 6, 14.) Vuonna 2014 muovien energiajätteen osuus sekajätteistä oli noin 17 % ja vuonna 2016 noin 15,5 % (Mar-

tikainen 2016, 14). Helsingin seudun ympäristöpalvelut ovat teettäneet pääkaupunkiseudun kotitalouksien sekajätteen koostumustutkimuksen vuonna 2015, jonka mukaan sekajätteestä 14,4 % oli muovipakkauksia (HSY 2015, 93). Keski-Suomen sekajätteille on tehty koostumustutkimus vuonna 2015, ja tämän mukaan alueen sekajätteet sisältävät muovipakkauksia noin 15,6 %. Muovipakkausjätteen osuudeksi sekajätteessä on tässä työssä oletettu 14,4 %.

Laskennan mukaan vuodessa tältä keräysalueelta sekajättekertymä on noin 4 191 tonnia, silloin kun muovipakkausjätteen erilliskeräystä ei ole järjestetty. Tästä 14,4 % on muovipakkausjätettä eli noin 603 tonnia. Kun muovipakkausjätteen erilliskeräys järjestetään koko alueelle, sekajättekertymä on noin 4 068 tonnia ja kun vain Joensuun keskustan alueelle sekajättekertymä koko alueella on noin 4 102 tonnia. Sekajätteeseen jää kuitenkin muovipakkausjätteen erilliskeräyksestä huolimatta muovipakkausjätettä. Koko alueella järjestettävän erilliskeräyksen jälkeen muovipakkausjätettä sekajätteeseen jää noin 11,8 %, mikä vastaa noin 480 tonnia muovipakkausjätettä. Kun muovipakkausjätteiden erilliskeräys järjestetään vain Joensuun keskustan alueella, koko alueen sekajätteeseen jää noin 13 % muovipakkausjätettä. Kun erilliskeräys järjestetään koko alueella, muovipakkausjätettä saadaan talteen noin 123 tonnia ja kun vain Joensuun keskustan alueella muovipakkausjätettä saadaan talteen noin 88,7 tonnia vuodessa. Taulukossa 13 esitetään skenaarioiden sekajäte- ja muovipakkausjättemäärät.

Taulukko 13. Sekajätteiden ja muovipakkausjätteiden määrät skenaarioittain.

Skenaario	Keräys alue	Kerättävän sekajätteen määrä [t]	Erilliskerättävien muovipakkausten määrä [t]	Sekajätteeseen jäävien muovipakkausten määrä [t]		Erilliskerättävien muovipakkausten osuus alueen muovipakkausjätteestä [%]
Skenaario 0	koko alue	4 191	0	603	14,4 %	0 %
Skenaario 1	koko alue	4 068	123	480	11,8 %	20,4 %
Skenaario 2	koko alue	4 068	123	480	11,8 %	20,4 %
Skenaario 3	JNS keskusta	2 928	89	346	11,8 %	14,7 %
	lopun	1 175	0	169	14,4 %	0 %
Skenaario 4	JNS keskusta	2 928	89	346	11,8 %	14,7 %
	lopun	1 175	0	169	14,4 %	0 %

Taulukkoon 13 on laskettu erilliskerätyn muovipakkausjätteen osuus kaikesta sekajätteessä olevasta muovipakkausjätteestä skenaarioittain. Skenaariossa 0 muovipakkausjä-

tettä ei erilliskerätä ja kaikki alueen muovipakkausjäte päätyy poltettavaksi, mutta skenaarioissa 1 ja 2 muovipakkausjätteen erilliskeräyksellä muovinjalostamolle päätyy noin 20 % alueen muovipakkausjätteistä ja skenaarioissa 3 ja 4 noin 15 %. Skenaariossa 1 ja 2 muovipakkausjätteestä sekajätteen mukana polttoon päätyy noin 80 % ja skenaarioissa 3 ja 4 noin 85 %.

4.4.4 Jätteiden keräys ja kuljetus

Tässä työssä jätteiden keräysvaiheen laskenta niin muovipakkausjätteiden erilliskeräyksen kuin sekajätteen keräyksenkin osalta perustuu Puhas Oy:ltä saatuun ajosuunnitelmaan (liite I). Todellisessa tilanteessa sekajätteen keräyksen aikana sekajäte kerätään myös esimerkiksi erillisistä pientaloista, jotka ovat sekajätteen todellisella keräysreitillä, eikä ainoastaan kiinteistöistä, joissa on vähintään kolme asuinhuoneistoa per kiinteistö.

Sekajätteen ja erilliskerätyn muovipakkausjätteen keräyksen oletetaan tapahtuvan pakkaavalla jäteautolla. Pakkaavan jäteauton kokonaismassan oletetaan olevan 15 tonnia ja kantavuuden 9 tonnia. Lisäksi oletetaan, että kiinteistökeräyksessä pisteiden väliset siirtymät ovat vain katuajoa. Näin ei todellisuudessa ole, sillä keräysalueet sijaitsevat kaukana toisistaan ja jopa toisissa kunnissa. Pisteiden välisten siirtymien jakautumisen arviointi katu- ja maantieajoksi on kuitenkin saadun ajosuunnitelman pohjalta liian haastavaa tämän työn kannalta. Maantieajon osuutta on pyritty huomioimaan kiinteistökeräyslaskennassa niin, että paluu viimeiseltä pisteeltä purkupisteelle on oletettu jakautuvan tasaisesti maantie- ja katuajo-osuuksiin. Katuajon keskinopeudeksi työssä oletetaan 30 km/h ja maantieajon keskinopeudeksi 80 km/h.

Keräysajon oletetaan alkavan aina Kontiosuon jätekeskuksesta ja päätyvän myös sinne. Todellisessa tilanteessa erilliskerätyn muovipakkausjätteen oletettava purkupiste on Joensuussa sijaitseva L&T:n vastaanottotermiinaali, joka sijaitsee osoitteessa Raatekan-kaantie 18 ja sekajätteen purkupiste on Kontiosuon jätekeskus osoitteessa Kontiosuontie 11. Näiden purkupisteiden välinen etäisyys on noin 8 kilometriä. Ajosuunnitelmassa ei kuitenkaan ole eritelty mistä keräysajoneuvo lähtee liikkeelle ja mihin se purkaa kuorman, joten ajosuunnitelman tiedoista on tehty oletus, että ajoneuvo lähtee ja palaa Kontiosuon jätekeskukselle.

Ajosuunnitelman mukaan jätteiden keräysmatka, kun käydään kaikissa suunnitelman kiinteistöissä, on 530,1 kilometriä, josta 278,5 kilometriä kuuluu Joensuun keskustan tyhjennyksiin ja 251,6 kilometriä ajosuunnitelman jäljelle jääville alueille. Ajosuunnitelmassa ei ole eritelty kilometrimääriä keräyskierrosten välisille purkumatkoille tai kaukana toisistaan sijaitsevien alueiden välisille siirtymille. Ajosuunnitelmaan on kuitenkin laskettu keräyskierrosten lukumäärä eli se, kuinka monta kertaa keräysajoneuvo joutuu lähtemään ja palaamaan jätekeskukselle koko keräysalueen jätteiden keräämiseksi, kun keräysajoneuvon tehokkaaksi työajaksi on oletettu seitsemän tuntia. Tämän tiedon perusteella Google Maps -palvelulla on arvioitu eri keräyskierrosten keräysajoneuvon siirtymämatkat viimeiseltä kiinteistöltä purkupisteelle. Ajosuunnitelman perusteella Joensuun keskustassa purkuajaja tehdään yhteensä seitsemän kertaa. Jäljelle jääviltä alueilta (myöhemmin alue 2 eli Marjala, Lehmo, Niittylahti, Ylämylly ja Hammaslahti) purkuajaja tehdään kolme kertaa. Google Mapsin perusteella Joensuun keskustan kiinteistöistä purkuajaja tehdään yhteensä 50 kilometrin verran eli keskimäärin noin seitsemän kilometriä per keräyskierron. Alueella 2 purkuajaja tehdään yhteensä 42 kilometriä eli keskimäärin noin 14 kilometriä per keräyskierron. Itse kuorman purkamiseen kuluvan ajan on oletettu olevan jätekuormasta riippumatta 10 minuuttia.

Siirtymiin Kontiosuon jätekeskukselta ensimmäiselle kiinteistölle keräyskierroksilla sekä alueen 2 sisältämien alueiden välisten siirtymien kilometrit sisällytetään laskennassa kiinteistöjen välisiin siirtymiin. Näiden oletusten perusteella Joensuun keskustassa olevien keräykseen kuuluvien kiinteistöjen väliset siirtymät ovat yhteensä noin 230 kilometriä ja alueen 2 kiinteistöjen väliset siirtymämatkat ovat noin 210 kilometriä. Taulukon 3 mukaan Joensuun keskustassa on 944 keräyspistettä, mikä tarkoittaa sitä, että kahden kiinteistön välinen siirtymämatka on noin 240 metriä. Alueella 2 kiinteistöjä on taulukon 3 mukaan 452, jolloin kahden kiinteistön välinen siirtymämatka on noin 465 metriä.

Skenaariossa 0 koko alueelta jätteistä kerätään vain sekajäte, skenaarioissa 1 ja 2 koko ajosuunnitelman alueelta jokaisesta kiinteistöistä kerätään seka- ja muovipakkausjäte, ja skenaariossa 3 ja 4 sekajäte kerätään kaikista alueen kiinteistöistä, mutta muovipakkausjätettä kerätään vain Joensuun keskustan alueelta. Skenaariossa 1–4 muovipakkausjätteen tyhjennystiheys vaihtelee, niin että skenaariossa 1 ja 3 tyhjennystiheys on 18, skena-

riossa 1 tyhjennystiheys on 52 ja skenaariossa 4 tyhjennystiheys on kuusi kertaa vuodessa. Tyhjennystiheys vaikuttaa kerättävään jätemäärään kiinteistöstä. Vaihtelevat jättemäärät vaikuttavat puolestaan kiinteistöillä jätelajin vaatimaan keräystilavuuteen eli siihen minkä kokoisia jäteastioita ja kuinka monta astiaa kerättäville jätelajeille tarvitaan.

Tarvittavien jäteastioiden koko riippuu jätäjakeen vaatimasta keräysastiatilavuudesta. Keräysastiatilavuus saadaan jätäjakeen määrän suhteesta astian täyttöasteeseen, tyhjennystiheyteen sekä jätteen tilavuuspainoon

$$v = \frac{a}{\frac{\alpha}{100} * \beta * f} \quad (2)$$

jossa v = keräysastiatilavuus [m³]

a = kiinteistöllä tuotetun jätäjakeen määrä [t/a]

α = astian täyttöaste (75 %) [%]

f = tyhjennystiheys [a⁻¹]

β = jätäjakeen tilavuuspaino [t/m³] (Myllymaa ym. 2005, 96).

Tarvittavien astioiden lukumäärä saadaan keräysastiatilavuuden ja sen perusteella valitun keräysastian tilavuuden suhteena

$$n = \frac{v}{V} \quad (3)$$

jossa n = astioiden lukumäärä

V = jätteen keräysastian tilavuus [m³] (mukailen Myllymaa ym. 2005, 96).

Taulukkoon 14 on laskettu kussakin skenaariossa kerättävien jätäjakeiden määrä kiinteistöstä tyhjennystiheydellään. Taulukkoon 14 on laskettu kullekin jätäjakeelle yhtälöllä 2 keräysastiatilavuus, jonka perusteella on valittu jäteastian koko. Tilavuuspainona sekajätteelle jäteastiassa on käytetty arvoa 0,075 t/m³ ja erilliskerätylle muovipakkausjätteelle 0,035 t/m³ jäteastiassa (Moliis ym. 2012, 29 ja Petra jätevertailu, 2). Sekajätteen tilavuus-

painona ilman erilliskerättyä muovina, jonka saanto vuodessa on 6 kg per asukas, on puolestaan noin 0,076 t/m³. Tämä saadaan, kun oletetaan että muovipakkausjätteen osuus sekajätteestä ja sen tilavuuspainosta on 14,4 % ja muovipakkausjätteen erilliskeräyksen toteutuessa muovipakkausjätteen osuus on 11,8 %. Valitun jäteastiakoon perusteella yhtälöllä 3 on saatu laskennallinen astioiden lukumäärä ja todellinen astiamäärä on saatu tästä pyöristämällä laskennallinen määrä ylöspäin kokonaisluvuksi.

Taulukko 14. Jätejakeiden vaatimien jäteastioiden koot ja määrät sekä astioiden tyhjennysaika kiinteistöillä.

Skenaario	Jätelaji	Jätämäärä kiinteistöstä tyhjennystiheydellään [kg]	Keräysastiatilavuus [m ³]	Valittu astia koko [l]	Astioiden lukumäärä laskennasta	Astioiden todellinen lukumäärä
Skenaario 0	sekajäte	57,7	1,03	600	1,7	2
Skenaario 1	sekajäte	56,0	0,98	600	1,6	2
	muovi	4,9	0,19	240	0,8	1
Skenaario 2	sekajäte	56,0	0,98	600	1,6	2
	muovi	1,7	0,06	200	0,3	1
Skenaario 3	sekajäte	59,6	1,04	600	1,7	2
	muovi	5,2	0,20	240	0,8	1
	sekajäte	50,0	0,89	600	1,5	2
Skenaario 4	sekajäte	59,6	1,04	600	1,7	1
	muovi	15,7	0,60	600	1,0	1
	sekajäte	50,0	0,89	600	1,5	2

Taulukon 14 mukaan sekajäte kerätään kiinteistöillä kaikissa skenaarioissa kahteen 600 litraiseen jäteastiaan. Muovipakkausjäte kerätään skenaarioissa 1 ja 3 yhteen 240 litraiseen, skenaariossa 2 yhteen 200 litraiseen ja skenaariossa 4 yhteen 600 litraiseen jäteastiaan. Skenaariossa 2 muovipakkausjättesaanto on keräystiheydestä johtuen erittäin vähäinen ja tämän puolesta keräyksessä voisi käyttää pienempääkin jäteastiaa kuin 200 litrainen jäteastia. 200 litraista pienemmät jäteastiat ovat kuitenkin suhteellisen harvinaisia ja ne voivat olla epäkäytännöllisiä keveydensä puolesta, sillä ne kaatuvat herkästi. Tästä syystä johtuen jäteastian kooksi skenaarioissa 2 valittiin todellisessa tilanteessa realistisemmin valittava 200 litrainen jäteastia.

Työssä oletetaan, että sekajätteen ja erilliskerätyn muovipakkausjätteen siirtokuljetukset tapahtuvat täysperävaunullisella yhdistelmäajoneuvolla, jonka kokonaismassa on 60 tonnia ja kantavuus 40 tonnia. Täysperävaunullisen ajoneuvoyhdistelmän oletetaan sisältä-

vän kolme 30 m³:n konttia ja kokonaistilavuuden olevan täten 90 m³. Kuljetuksessa olevien kuormien paino riippuu jätteen tilavuuspainosta ajoneuvossa. Tilavuuspainoja muovipakkausjätteelle ja sekajätteelle on esitetty taulukossa 15.

Taulukko 15. Muovipakkausjätteen ja sekajätteen tilavuuspainoja eri keräysvälineissä (Moliis ym. 2012, 29; Petra jätevertailu).

Jätelaji	Keräysväline	Tilavuuspaino keräysvälineessä [t/m ³]	Ajoneuvo	Tilavuuspaino ajoneuvossa [t/m ³]
Muovi	Kiinteistön jäteastia	0,035	Pakkaava-auto	0,135
			Täysperävaunullinen yhdistelmäajoneuvo	0,14 (muovi on puristettu ja paalattu)
Sekajäte	Kiinteistön jäteastia	0,075	Täysperävaunullinen yhdistelmäajoneuvo	0,35 (puristettu yhdyskuntajäte)
Sekajäte, kun muovi erilliskerätään	Kiinteistön jäteastia	0,076	Täysperävaunullinen yhdistelmäajoneuvo	0,36 (puristettu)

Erilliskerätty muovipakkausjäte kuljetetaan välivarastosta Riihimäellä sijaitsevaan Fortumin muovijalostamoon ja yhdensuuntainen etäisyys on noin 390 kilometriä. Sekajäte kuljetetaan välivarastosta Leppävirralle ekovoimalaitokseen ja yhden suuntainen matka on noin 140 kilometriä. Skenaariossa siirtokuljettavien jätteiden kokonaismäärät vuodessa, yhden siirtokuljetuskuorman paino sekä ajettavien kuormien määrä vuodessa on esitetty taulukossa 16.

Taulukko 16. Siirtokuljettavien jätteiden kokonaismäärä, vuodessa ajettavien kuormien lukumäärä sekä yhden kuorman paino eri skenaariossa jätelajeittain.

Skenaario	Jätelaji	Kuljettava jättemäärä vuodessa [t]	Kuorman paino jätteelle [t]	Ajettavien kuormien määrä vuodessa
Skenaario 0	Sekajäte	4 191	31,5	134
Skenaario 1	Sekajäte	4 068	32,1	127
	Erilliskerätty muovipakkausjäte	123	12,6	10
Skenaario 2	Sekajäte	4 068	32,1	127
	Erilliskerätty muovipakkausjäte	123	12,6	10
Skenaario 3	Sekajäte	4 102	31,9	129
	Erilliskerätty muovipakkausjäte	89	12,6	8
Skenaario 4	Sekajäte	4 102	31,9	129
	Erilliskerätty muovipakkausjäte	89	12,6	8

Työssä oletetaan, että siirtokuljetukset ovat vain maantieajoa ja keskinopeudeksi oletetaan 80 km/h. Laskennassa siirtokuljetuksen päästöihin lasketaan myös ajoneuvon paluu

lähtöpisteeseen tyhjänä. Jätteiden keräyksestä ja siirtoajosta muodostuvat päästöt lasketaan määriteltyjen päästökertoimien avulla. Jätteiden keräyksestä muodostuvien päästöjen laskennassa käytetään Lipasto-tietokannan päästö- ja polttoaineen kulutuskertoimia jakelukuorma-autolle, jonka kantavuus on 15 tonnia. Siirtokuljetusten päästölaskennassa käytetään Lipasto-tietokannan täysperävaunuyhdistelmän, jonka kantavuus on 60 tonnia, päästö- ja kulutuskertoimia. Kertoimet Lipasto-tietokannassa on määritelty erikseen katu- ja maantieajolle. Täyden ja tyhjän auton päästöt ja kulutus ajoneuvokilometriä kohden on esitetty taulukossa 17.

Taulukko 17. Laskennassa käytetyt päästö- ja kulutuskertoimet ajoneuvotyypeittäin (Lipasto 2017).

Ajoneuvotyyppi	Päästötaso	Ajo	CO ₂ -ekv. [g/km]		Kulutus [g/km]	
			tyhjä	täysi	tyhjä	täysi
Suuri jakelukuorma-auto, kokonaismassa 15 t	EURO VI (2015)	Maantieajo	378	449	129	154
		Katuajo	472	681	162	235
Täysperävaunuyhdistelmä, kokonaismassa 60 t	EURO VI (2015)	Maantieajo	781	1193	270	415
		Katuajo	1220	2193	425	767

Keräys- ja kuljetusvaiheesta dieselin poltosta aiheutuvat päästöt lasketaan päästökertoimen avulla ja polttoaineen valmistuksesta aiheutuvat päästöt polttoaineen kulutuksen ja polttoaineen valmistuksen päästökertoimen avulla. Dieselin valmistuksen, well-to-tank CO₂-ekv. -päästökertoimenä käytetään 648 g/kg_{diesel} (Edwards ym. 2014, 84). Polttoaineen kulutus lasketaan polttoaineen kulutuskertoimien avulla.

Sekajätteenä kuljetettavalle muovipakkausjätteelle allokoidaan sekajätekuljetuspäästöt suoraan muovipakkausjätteen massan mukaan, sillä oletuksella, että muovipakkausjätteen kuljetus sekajätteenä vastaa keskimääräisen sekajätteen synnyttämää kuljetustarvetta.

4.4.5 Muovipakkausjätteen käsittelyvaihtoehdot

Muovipakkaukset voidaan hyödyntää joko kierrättämällä tai energiantuotannossa. Muovinjalostamolla osa erilliskerätyistä muovipakkausjätteestä päätyy muovigranulaateiksi, joita käytetään raaka-aineena muoviteollisuudessa, osasta valmistetaan muoviprofiileja,

joilla voidaan korvata esimerkiksi puuta ja osa hyödynnetään energiantuotannossa. Energhyödyntämisessä muovipakkausjäte päätyy polttoon, jolloin muovin energiasisältö hyödynnetään sähkön ja kaukolämmön tuotannossa. Tässä työssä oletetaan, että muovinjalostamolle päätyvästä erilliskerätystä muovipakkausjätteestä, yhteensä 70 % muovipakkausjätteestä päätyy kierrätykseen, josta 40 prosenttiyksikköä jalostetaan muovigranulaateiksi ja 30 prosenttiyksikköä hyödynnetään muoviprofiilien valmistuksessa (Fortum Oyj, 2018). Loput 30 % hyödynnetään energiana jätevoimalassa. Työssä oletetaan, että erilliskerätystä muovipakkausjätteestä ei päädy yhtään kaatopaikkasijoitukseen. Työssä ei oteta huomioon uusiomateriaalien kuljetustarvetta uusiomassan käyttöpaikkoihin.

Riihimäellä muovijalostamon yhteydessä sijaitsee kaksi polttolaitosta, joissa käytetään polttotekniikkana arinapolttotekniikkaa. Arinakattilasta veteen tai höyryyn siirtyvän energian osuus jätteenkokonaisenergia määrästä on 80 % tai enemmän ja sähköntuotannon hyötysuhde on 20–25 % (Vesanto 2006, 53). Tässä työssä polttolaitoksen hyötysuhteen oletetaan olevan 80 %, josta lämmöntuotannon osuus on 57,5 prosenttiyksikköä ja sähköntuotannon osuus 22,5 prosenttiyksikköä. Työssä on kuitenkin oletettu, että keskimäärin laitoksen tuottamasta lämmöstä saadaan hyödynnettyä vain 60 % (Ekokem Oyj 2010, 15). Lisäksi polttoprosessista tuotetusta sähköstä oletetaan tarvittavan laitoksen oman energiankulutukseen energiaa 150 kWh jokaista poltettua muovijätetonna kohti (Vesanto 2006, 75). Näistä johtuen on oletettu, että Riihimäen polttolaitoksen lämmöntuotannon hyötysuhde on noin 35 % ja sähköntuotannon hyötysuhde on noin 18 %.

Kaikissa skenaariossa sekajätteen joukossa kerättävä muovipakkausjäte hyödynnetään energiana tuottamalla Riikinvoiman ekovoimalaitoksella niistä sähköä ja lämpöä. Poltto perustuu kiertopetiteknikkaan. Ekovoimalaitoksessa tuotettua kaukolämpöä ei saada täysin hyödynnettyä, mikä laskee ekovoimalaitoksen kokonaishyötysuhdetta ja energian vuosihyötysuhteen oletetaankin olevan tässä työssä 61 %, josta 41 prosenttiyksikköä on kaukolämmön tuotantoa ja 20 prosenttiyksikköä sähkön tuotantoa (Kemppi & Niskanen 2018, 14).

Muovipakkausjätteen polton hiilidioksidipäästöjen ja korvattavan energiamäärän vuoksi on arvioitava muovipakkausjätteen lämpöarvo sekä sille määritelty CO₂-päästökerroin.

Polttoaineiden lämpöarvoja ja CO₂-päästökertoimia on julkaistu tilastokeskuksen julkaisussa Polttoaineluokitus 2018. Muovijätteen oletuspäästökerroin CO₂:lle on 74,1 g/MJ tehollisen oletuslämpöarvon käyttötilassa ollessa 25 MJ/kg (Polttoaineluokitus 2018). Laskennassa käytetään edellä mainittuja arvoja erilliskerätyn muovin polton päästöjen arvioimiseksi. Sekajätteen joukossa kerätty muovipakkausjäte ei ole yhtä puhdasta kuin erilliskerätty muovipakkausjäte. Työssä oletetaan, että sekajätteen joukossa kerättävän ja poltettavan muovipakkausjätteen lämpöarvo on pienempi kuin erilliskerätyn muovipakkausjätteen. VTT:n tutkimuksen (2016) mukaan kuluttajilta kerätyn muovipakkausjätteen tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa on 31,8 MJ/kg ja saapumistilassa 19,4 MJ/kg (Alakangas ym. 2016, 153). Tälle ei kuitenkaan löydy suoraan päästökerrointa. Työssä oletetaan, että sekajätteen joukossa olevan muovipakkausjätteen lämpöarvo laskee sekajätteen johdosta edellä mainituksi 19,4 MJ/kg. Sekajätteen lämpöarvo saapumistilassa on 40 MJ/kg ja CO₂-oletuspäästökerroin on 40 g/MJ, kun sekajätteen bio-osuus on 50 % (Polttoaineluokitus 2018). Kun oletetaan, että sekajätteen joukossa olevan muovipakkausjätteen lämpöarvo 19,4 MJ/kg koostuu 63 prosenttisesti muovijätteen lämpöarvosta 25 MJ/kg ja 37 prosenttisesti sekajätteen lämpöarvosta 10 MJ/kg, niin samalla suhdeoletuksella sekajätteen joukossa olevan muovipakkausjätteen CO₂-päästökertoimeksi saadaan noin 61 g/MJ.

Oletuksen mukaan 40 % muovinjalostamolle päätyvästä muovipakkausjätteestä jalostetaan muovigranulaateiksi ja 30 % jalostetaan muoviprofiileiksi. Muovipakkausjätteen käsittelyprosesseista Fortumin muovijalostamolla on saatavilla niukasti tietoa esimerkiksi prosessien vaatiman energiamäärän ja käytettyjen kemikaalien osalta. Koska primääridaata ei ollut saatavilla, muovin kierrätysprosessit on työssä mallinnettu kirjallisuuden perusteella.

Astrupin ym. (2009) tekemässä tutkimuksessa arvioitiin, että muovijätteen materiaali-hyödyntäminen kuluttaa sähköenergiaa 25–600 kWh/muovijätetonna. Prosessien energi-ankulutus kasvaa erilaisten käsittelyprosessien määrän kasvaessa. Yksinkertaisimmillaan muovipakkausjätteen kierrätysprosessi sisältää lajittelun ja muovipakkausjätteen palakoon pienentämisen. (Astrup ym. 2009, 766.) Fortumin muovinjalostamolla lajittelun jälkeinen kierrätykseen päätyvä muovi murskataan ja pestään monivaiheisessa pesuprosessissa, jonka jälkeen pestyt muovit kuivataan mekaanisesti esimerkiksi linkouksella ja

tarvittaessa termisesti, jolloin kuivauksessa käytetään lämmintä ilmaa (Ekokem Oyj 2016, 9). Myllymaan ym. (2008a) mukaan huonolaatuinen murskattu muovijäte vaatii pesun ja kuivauksen ennen sen kuumentamista ja granulointia, ja arvio pesuvaiheen energiankulutukseksi noin 1 700 MJ/t eli noin 444 kWh/t ja murskauksen energiankulutukseksi noin 250 MJ/t eli noin 69 kWh/t (Myllymaa ym. 2008a, 25). Pestystä ja kuivatausta muovista valmistetaan granulaatteja ekstruusion eli suulakepuristuksen avulla, jolloin muovi sulaa, ja tarvittaessa siihen lisätään lisä- ja täyteaineita muovituotteen ominaisuuksien muokkaamiseksi (Ekokem Oyj 2016, 9). Myllymaa ym. (2008a) arvioi granuloinnin energiankulutukseksi noin 1400 MJ/t eli noin 389 kWh/t (Myllymaa ym. 2008a, 25).

Myllymaan ym. (2008a) arvioiden mukaan kierrätysprosessin energiankulutus, kun muovi murskataan, pestään, kuivataan ja granuloidaan, on noin 3350 MJ/t eli noin 930 kWh/t. Työssä oletetaan, että sekä muovigranulaattien että muoviprofiilien valmistuksen energiankulutus muovijätetonnina kohti on noin 900 kWh. Vaikka muovigranulaatit ja muoviprofiilit ovat todelliselta valmistusprosessiltaan erilaiset ja niiden käyttökohteet ovat erilaiset, työssä oletetaan, että profiloinnin, muovin sulatuksen ja profiilin haluttuun muotoon muokkaamisen energian kulutus vastaa granuloinnin energiankulutusta. Erona muovigranulaateilla ja profiileilla pidetään siis niiden raaka-aineen eli pakkausjätemuovin laatua eikä muovin työstöä. Profiilien valmistuksessa voidaan käyttää sekaisin erilaisia muovilaatuja, kun taas granulaatit valmistetaan vain yhdestä muovilaadusta valmistettavasta granulaattilaadusta riippuen. Granulaattien ja profiilien valmistuksen päästöt lasketaan prosesseihin kuluvaan sähköenergian perusteella. Sähkön päästökertoimena käytetään Suomen keskimääräisen sähköntuotannon päästöarvoa CO₂:lle 164 kg/MWh (Motiva 2018).

Laskennassa oletetaan, että laitoksella suoritettavan mekaanisen ja optisen lajittelun jälkeinen muovijäte, joka ohjautuu materiaalikierrätykseen, on laadultaan hyvälaatuista. Työssä oletetaan, että muovin materiaalikierrätyksen massataseessa 1000 tonnista muovia saadaan 944 tonnia uusioraaka-ainetta ja materiaalihäviötä tapahtuu noin 6 % (Myllymaa ym. 2008, 58). Kierrätysprosessissa muodostuvan hävikin osuus ohjataan polttoon yhdessä polttoon ohjautuvan osan kanssa, joka on aiemmin mainittu 30 prosenttia kaikesta muovinjalostamolle päätyvästä muovipakkausjätteestä. Taulukossa 18 on esitetty

kussakin skenaariossa muovipakkausjätteiden massataseet edellä mainittujen oletusten mukaisesti.

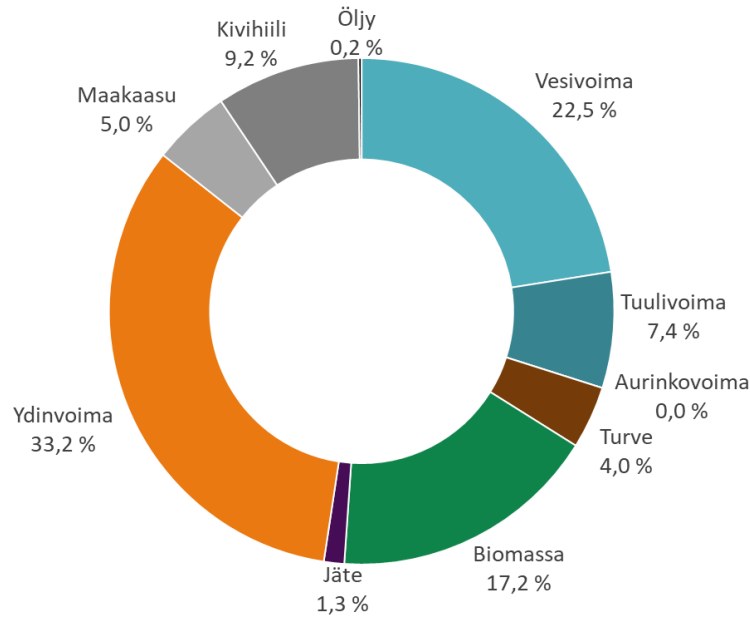
Taulukko 18. Skenaarioissa muovipakkausjätteen massa skenaarioiden käsittelymenetelmissä.

	Skenaario 0	Skenaario 1	Skenaario 2	Skenaario 3	Skenaario 4
Kerättävän sekajätteen määrä [t]	4 191	4 068	4 068	4 102	4 102
Jossa muovipakkausjätettä [t] (energiahyödyntäminen ekovoimalaitoksessa)	603	480	480	515	515
Erilliskerättävän muovipakkausten määrä [t] (ohjautuu muovinjalostamoon)	0	123,2	123,2	88,7	88,7
Granulaattien valmistukseen 40 % [t]	0	49,3	49,3	35,5	35,5
Josta valmista granulaattia saadaan [t]	0	46,5	46,5	33,5	33,5
Profiilien valmistukseen 30 % [t]	0	37,0	37,0	26,6	26,6
Josta valmista muoviprofiilia saadaan [t]	0	34,9	34,9	25,1	25,1
Energiahyödynnykseen muovinjalostamolla 30 % ja kierrätysmateriaalin valmistuksessa syntynyt rejekti [t]	0	41,8	41,8	30,1	30,1

Taulukossa 18 harmaalla pohjalla olevat solut kuvaavat muovinjalostamolla tapahtuvia käsittelytoimintoja ja valkealla pohjalla olevat solut Leppävirran ekovoimalaitoksella tapahtuvia käsittelytoimintoja.

4.4.6 Hyvitykset

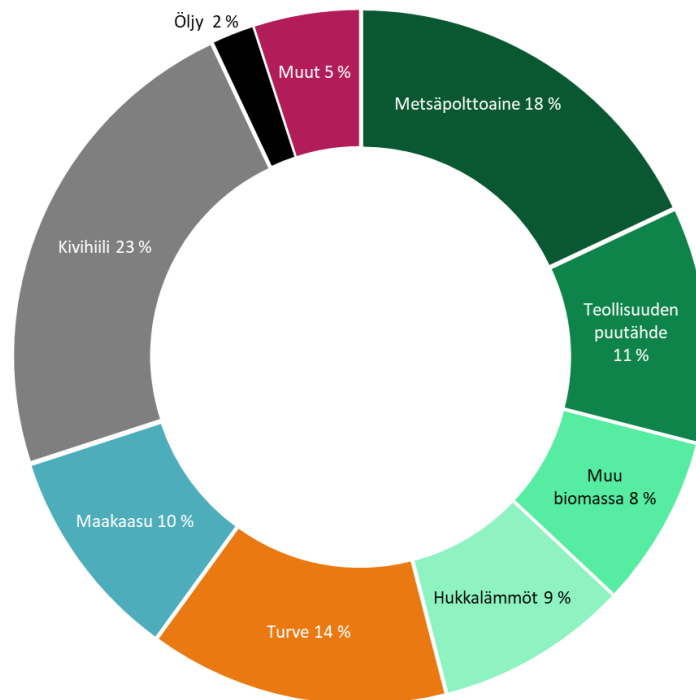
Hyvityksiä muovipakkausjätteen ohjaamisesta energiantuotantoon saadaan, kun voidaan välttää sähkön- ja lämmöntuotantoa muilla polttoaineilla. Kaikissa skenaariossa 0–4 ainakin osa muovipakkausjätteestä päätyy polttoon. Skenaariossa 0–4 kaikki sekajätteen joukkoon jäävä muovipakkausjäte päätyy polttoon ja lisäksi skenaariossa 1–4 muovinjalostamolta 30 prosenttia ja materiaalikierrätysprosessin rejekti päätyvät polttoon. Tässä työssä oletetaan, että muovin polttamisella jätevoimalassa tuotettu sähkö ja lämpö korvaavat Suomen keskimääräistä sähkön- ja lämmöntuotantoa. Hyvitysten määrä riippuu skenaarioissa tuotettujen sähkön ja lämmön määrästä ja siitä kuinka paljon sähköstä ja lämmöstä päätyy hyötykäyttöön. Lisäksi hyvitysten määrä riippuu korvattavan sähkön ja lämmön hiilidioksidipäästöistä, jotka puolestaan riippuvat energianlähteistä. Kuvassa 6 on esitetty Suomen sähköntuotannon lähteet vuonna 2017.



Kuva 6. Suomen sähköntuotannon lähteet vuonna 2017 (Energiateollisuus ry 2018a, 12).

Kuvasta 6 voidaan havaita, että vuonna 2017 Suomen sähköntuotanto perustui pääosin kolmeen eri lähteeseen: ydinvoiman osuus oli 33,2 %, vesivoiman 22,5 % ja biomassan 17,2 %. Uusiutuvat energialähteet kattoivat 47 % kaikista energialähteistä, ja hiilidioksidineutraaleja energialähteitä oli 80 % koko sähköntuotannosta. (Energiateollisuus ry 2018a, 12.) Vuonna 2016 sähköntuotannon hiilidioksidipäästöt Suomessa olivat keskimäärin 164 kg CO₂/MWh (Motiva 2018).

Kuvassa 7 on esitetty Suomen kaukolämmön tuotannon lämmönlähteet vuonna 2017. Suomessa kaukolämmön tuotannon lämmönlähteinä käytettiin pääosin kivihiiltä, metsäpolttoainetta ja turvetta. Kivihiiltä käytettiin 23 %, metsäpolttoainetta 18 % ja turvetta 14 % koko tuotannosta.



Kuva 7. Kaukolämmön tuotannon lämmönlähteet Suomessa vuonna 2017 (Energiateollisuus ry 2018b, 4)

Kuvasta 7 nähdään, että vuonna 2017 lämmöstä tuotettiin hiilidioksidineutraaleilla lämmönlähteillä 46 %. Fossiilisilla tuontipolttoaineilla tuotetun kaukolämmön osuus koko tuotannosta vuonna 2017 oli 35 %. Vuonna 2016 kaukolämmön tuotannon hiilidioksidipäästöt Suomessa olivat 188kg CO₂/MWh (Motiva 2018).

Muovin materiaalikierrätyksestä saadaan hyvityksiä, kun kierrätystuotteilla voidaan korvata muita materiaaleja. Granulaattien oletetaan korvaavan neitseellistä muovia ja valmistettaessa muovipakkausjätteestä muovigranulaatteja hyvityksiä saadaan, kun vältetään neitseellisen muovin valmistamiselta raakaöljystä. Muovinjalostamolla valmistetaan muun muassa PP ja HD-PE granulaatteja ja LD-PE kalvoja (Circoplastics 2018). Myllymaan ym. (2008a) mukaan HD-PE-muovin valmistuksen energiankulutus on noin 20 GJ per valmistettu HD-PE -muovijätetonni, kun energiankulutukseen on laskettu mukaan raaka-aineiden oton ketjut. Laskennassa oletetaan, että neitseellisen muovin valmistus muovilaadusta riippumatta kuluttaa energiaa 20 GJ valmistettua muovia kohden. HD-PE-muovi on rakenteeltaan yksinkertaisimpia polymeerejä ja sen raaka-aineita ovat öljy ja maakaasu ja sen tuottamisessa käytetään matalapaineista kaasufaasipolymerisaatiota

(Myllymaa ym. 2008a, 35). Tästä syystä on oletettavaa, että energiankulutus muiden kuin HD-PE-muovin valmistuksessa on todellisuudessa suurempi kuin 20 GJ/t. Työn yksinkertaistamisen vuoksi ja tietojen puutteellisuuden vuoksi tätä ei oteta laskennassa huomioon. Neitseellisen muovin valmistuksen päästöt lasketaan energiankulutuksen mukaan ja käyttämällä Suomen keskimääräisen sähköntuotannon päästöarvoa.

Myllymaan ym. (2008a) mukaan kierrätettyä muovia voidaan käyttää muovituotteiden valmistuksessa neitseellisen muovin seassa tyypillisesti 30–60 % keskiarvon ollessa 45 %. Toisaalta taas esimerkiksi rumpuputket, jotka valmistetaan HD-PE-muovista, kierrätysmuovilla voidaan korvata 100 prosenttisesti neitseellistä HD-PE-muovia (Myllymaa ym. 2008a, 35). Korvaavuussuhteeksi tässä työssä oletetaan, että kierrätettyä muovia voidaan käyttää muovituotteiden valmistuksessa neitseellisen muovin seassa 60 prosenttia. Lisäksi työssä oletetaan, että valmistettu muovigranulaatti käyttäytyy neitseellisen muovin tavoin, joten sen työstämiseen tuotteeksi kuluu saman verran energiaa kuin neitseellisen muovigranulaatin työstämiseen.

Muoviprofiilit soveltuvat moniin käyttökohteisiin ja niillä voidaan korvata esimerkiksi puuta. Puu on hiilineutraali materiaali, josta johtuen vain puun käsittelyn ympäristövaikutukset arvioidaan. Astrupin ym. (2009) mukaan puun käsitteleminen vastaavaan käyttötarkoitukseen kuin mihin muoviprofiileja voidaan käyttää kuluttaa 64 kWh puutonnilta (Astrup ym. 2009, 769). Puumateriaalin valmistelemisesta aiheutuvat päästöt lasketaan sähköenergiankulutuksen mukaan, joka tässä työssä oletetaan olevan 64 kWh puutonin, ja käyttämällä Suomen keskimääräisen sähköntuotannon päästökerrointa. Työssä oletetaan, että muoviprofiili korvaa puuprofiilin 100 prosenttisesti. Lisäksi oletetaan, että muoviprofiilia voidaan työstää samoin kuin puuta.

4.4.7 Kustannukset

Jätteiden keräysvaiheen kustannukset arvioidaan aikaperustaisella laskentatavalla. Jätteiden keräyksen verottoman tuntihinnan oletetaan olevan 70 €/h ja verollisen noin 87 €/h (Kuronen 2018). Yhden keräyskierroksen tehokastyöaika on seitsemän tuntia.

Siirtokuljetukset puolestaan lasketaan kuljetusetäisyyteen perustuvalla laskentatavalla. Verottoman kuljetuskilometrihinnan oletetaan olevan 1,8–2 €/km täysperävaunu ajoneuvoyhdistelmälle (Kuronen 2018). Verollisen hinnat puolestaan ovat noin 2,2–2,5 €/km. Laskennassa siirtokuljetuksille käytetään 2,2 €/km kustannusta. Jätehuoltoyhtiölle aiheutuu kustannuksia vain sekajätteen siirtokuljetuksista Leppävirralle ekovoimalaitokseen. Kustannuslaskennassa jätehuoltoyhtiölle oletetaan tulevan kustannuksia vain jätteen viemisestä ekovoimalaitokseen. Paluumatkalta ei aiheudu kustannuksia jätehuoltoyhtiölle. Yhden suuntainen matka Joensuusta Leppävirran ekovoimalaitokseen on noin 139 kilometriä.

Jätehuoltoyhtiölle aiheutuu kustannuksia myös sekajätteen porttimaksusta ekovoimalaitokselle. Porttimaksusta ei ole saatavissa tarkkaa tietoa. Porttimaksut ovat usein jätehuoltoyhtiöille sopimusperustaisia, joissa sovitun porttimaksun ehtoina voi olla esimerkiksi sopimuksen voimassaolo ja toimitettava jätemäärä. Tässä työssä porttimaksun oletetaan olevan 45 € jätetonnilta (Pöyry 2015, 19). Muovipakkausjätteiden luovuttamisesta vastaanottoterminaaliin ei oleteta aiheutuvan kustannuksia jätehuoltoyhtiölle, sillä pakkausjätteiden vastaanottoterminaaleissa kuntien ja operaattoreiden keräämä pakkausjäte otetaan maksutta vastaan (Rinki 2018a).

5 INVENTAARIOANALYYSI

Keräysvaiheen päästölaskenta mallinnetaan Myllymaan ym. (2005) raportissa esitetyn LCA-WASTE-menettelyn mukaan. Menettelyssä jätteiden keräysprosessi on jaettu kolmeen vaiheeseen päästöjen laskemista varten, jotka ovat astioiden tyhjentäminen keräysautoon, kiinteistöjen välinen siirtymäajo ja ajo kiinteistöiltä kuorman purkupisteeseen. Menettelyssä kullekin vaiheelle määritetään jätetonnikohtainen työaika ja työtä vastaava päästökerroin. (Myllymaa ym. 2005, 36.) Laskennassa käytetyt yhtälöt ja vaiheet on esitetty liitteessä II. Keräysvaiheen CO₂-ekv. -päästöt alueella vuodessa tuotettua muovipakkausjätetonnina kohden on esitetty taulukossa 19 skenaarioittain.

Taulukko 19. Jätteiden keräysvaiheen CO_{2-ekv.} -päästöt kg/tonni alueella tuotettua muovipakkausjätettä.

Skenaario	CO _{2-ekv.} kg/t alueella vuodessa syntynyt muovipakkausjäte
Skenaario 0	31
Skenaario 1	73
Skenaario 2	143
Skenaario 3	57
Skenaario 4	40

Taulukossa 19 esitetyt tonnikohtaiset päästöt sisältävät sekä polttoaineen käytöstä että sen valmistuksesta aiheutuvat päästöt. Sekä keräysvaiheessa että siirtokuljetusvaiheessa käytetyn polttoaineen valmistuksesta aiheutuvat päästöt on laskettu polttoaineen kulutuksen sekä polttoaineen valmistuksen päästökertoimen avulla, jotka on esitetty kappaleessa 4.4.4. Keräysvaiheen polttoaineen kulutuksen ja polttoaineen valmistuksesta johtuvien päästöjen laskenta esitetään liitteessä II ja siirtovaiheen vastaavat laskennat liitteessä III.

Siirtokuljetusten polttoaineen käytön päästölaskenta perustuu Lipasto-tietokannassa esitettyihin yksikköpäästötietoihin, jotka on esitetty kappaleessa 4.4.4. Siirtokuljetusten päästöt on laskettu yhdellä kuljetuksella kuljettavalle osakuormalle, joka on riippuvainen jäteauton konttien tilavuudesta sekä jätejakeen ominaistilavuudesta, jotka on ilmoitettu kappaleessa 4.4.4. Yhden siirtokuljetuksen päästötiedoista on saatu vuodessa alueella muodostuvan muovipakkausjätteen siirtokuljetusvaiheen tonnikohtaiset CO_{2-ekv.} -päästöt kussakin skenaariossa ja tulokset on esitetty taulukossa 20. Siirtokuljetusten päästölaskenta on esitetty liitteessä III.

Taulukko 20. Jätteiden siirtovaiheen CO_{2-ekv.} -päästöt g/tonni alueella tuotettua muovipakkausjätettä.

Skenaario	CO _{2-ekv.} kg/t alueella vuodessa syntynyt muovipakkausjäte
Skenaario 0	10
Skenaario 1	21
Skenaario 2	21
Skenaario 3	15
Skenaario 4	17

Materiaalikierrätyksestä skenaariossa 1–4 aiheutuvien päästöjen laskenta perustuu kappaleessa 4.4.5 esitettyihin arvoihin. Laskenta on esitetty liitteessä IV. Materiaalikierrätyksestä aiheutuvat päästöt on laskettu granulaattien ja profiilien valmistusprosesseissa

kuluvan sähköenergian ja Suomen keskimääräisen sähköntuotannon päästökertoimen tulona. Kierrätysprosesseissa kuluva sähköenergiamäärä on puolestaan riippuvainen prosessoitavan muovipakkausjätteen määrästä, jotka on esitetty kappaleen 4.4.5 taulukossa 18 eri skenaarioille. Sekä granuloinnin että muoviprofiilin valmistuksen oletettiin kuluttavan sähköenergiaa noin 0,93 MWh/muovipakkausjätetonnei. Muovipakkausjätteen materiaali kierrätyksen tonnikohtaiset CO_{2-ekv.} -päästöt granulaattien ja profiilien valmistamisesta kussakin skenaariossa on esitetty taulukossa 21.

Taulukko 21. Materiaali kierrätyksestä aiheutuvat CO_{2-ekv.} -päästöt g/tonni alueella tuotettua muovipakkausjätettä.

Skenaario	CO _{2-ekv.} kg/t alueella vuodessa syntynyt muovipakkausjäte	
	Granulaattien valmistus	Profiilien valmistus
Skenaario 0	0	0
Skenaario 1	12	11
Skenaario 2	12	11
Skenaario 3	9	8
Skenaario 4	9	8

Muovin polttamisesta polttolaitoksella muodostuu päästöjä poltettavan muovimäärän, muovin lämpökertoimen ja muovin päästökertoimen tulona. Eri skenaarioissa ekovoimalaitoksella ja muovinjalostamolla poltettavan muovijätteen määrät on esitetty kappaleessa 4.4.5 taulukossa 18. Laskennassa käytetyt muovipakkausjätteen lämpöarvot sekä päästökertoimet on esitetty kappaleessa 4.4.5. Muovijätteen polttamisesta jätteenpolttolaitoksella muodostuvat tonnikohtaiset CO_{2-ekv.} -päästöt on esitetty taulukossa 22. Taulukossa 22 on esitetty tonnikohtaiset päästöt skenaarioittain sekä erikseen ekovoimalaitoksessa ja muovinjalostamolla. Laskenta on esitetty liitteessä V.

Taulukko 22. Jätteiden poltosta aiheutuvat CO_{2-ekv.} -päästöt kg/tonni alueella tuotettua muovipakkausjätettä.

Skenaario	CO _{2-ekv.} kg/t alueella vuodessa syntynyt muovipakkausjäte		
	Ekovoimalaitos	Muovinjalostamo	Yhteensä
Skenaario 0	1 438	0	1 438
Skenaario 1	1 144	100	1 244
Skenaario 2	1 144	100	1 244
Skenaario 3	1 226	72	1 298
Skenaario 4	1 226	72	1 298

Hyvityksiä muovigranulaattien valmistamisesta saadaan, kun voidaan välttää neitseellisen muovin tuotantoa. Hyvityksiä muoviprofiilien valmistuksesta puolestaan saadaan, kun voidaan välttää puumateriaalin käyttöä ja sen käsittelyä. Kappaleen 4.4.6 oletusten mukaan kierrätysgranulaatit korvaavat 60 % neitseellistä muovigranulaattia ja muoviprofiilit korvaavat puumateriaalin 100 prosenttisesti. Lisäksi kappaleen 4.4.5 oletuksen mukaan granulaattien ja profiilien valmistuksessa muodostuu 5,6 % hävikkiä. Skenaariossa 1 ja 2 voidaan välttyä valmistamasta noin 28 tonnia neitseellistä muovia ja käsittelemästä 34 tonnin puumateriaalia vuodessa. Skenaariossa 3 ja 4 voidaan välttää valmistamasta noin 20 tonnia neitseellistä muovia ja käsittelemästä 25 tonnia puumateriaalia vuodessa. Vältetyt päästöt granulaatin valmistuksesta saadaan vältetyn neitseellisen muovin tuotannon kuluttaman energian ja Suomen keskimääräisen sähköntuotannon päästökertoimen tulona ja vältetyt päästöt muoviprofiilin valmistuksesta saadaan vältettävän puun käsitteilyn kuluttaman energian ja keskimääräisen sähköntuotannon päästökertoimen tulona. Vältettävät päästöt, eli hyvitykset, alueella vuodessa syntynyttä muovipakkausjätetonna kohti on esitetty taulukossa 23. Laskenta on esitetty liitteessä IV.

Taulukko 23. Granulaattien ja muoviprofiilien valmistuksesta saatavat CO_{2-ekv.} -hyvitykset kg/tonni alueella tuotettua muovipakkausjätettä.

Skenaario	Hyvitys CO _{2-ekv.} kg/t alueella vuodessa syntynyt muovipakkausjäte		
	Neitseellisen muovin valmistus	Puuprofiilin valmistus	Yhteensä
Skenaario 0	0	0	0
Skenaario 1	42	1	43
Skenaario 2	42	1	43
Skenaario 3	30	0	31
Skenaario 4	30	0	31

Hyvityksiä muovipakkausjätteen poltosta ekovoimalaitoksella ja muovinjalostamalla saadaan, kun poltosta muodostuvasta energiasta tuotetaan sähköä ja lämpöä ja niillä korvataan Suomen keskimääräistä sähkön- ja lämmöntuotantoa. Hyvitykset eri skenaariossa on esitetty taulukossa 24 ja laskenta liitteessä V. Laskenta perustuu kappaleessa 4.4.5 esitettyihin jätteenpolttolaitosten hyötysuhteisiin sekä kappaleessa 4.4.6 esitettyihin Suomen keskimääräisiin sähkön- ja lämmöntuotannon päästökertoimiin.

Taulukko 24. Jätteiden poltosta saatavat CO_{2-ekv.} -hyvitykset kg/tonni alueella tuotettua muovipakkausjätettä.

Skenaario	Hyvitys CO _{2-ekv.} kg/t alueella vuodessa syntynyt muovipakkausjäte				
	Ekovoimalaitos		Muovinjalostamo		Yhteensä
	Sähköntuotanto	Lämmöntuotanto	Sähköntuotanto	Lämmöntuotanto	
Skenaario 0	177	415	0	0	592
Skenaario 1	141	331	11	24	506
Skenaario 2	141	331	11	24	506
Skenaario 3	151	354	8	17	530
Skenaario 4	151	354	8	17	530

Taulukkoon 25 on koottu skenaarioissa eri jätteenkäsittelyvaiheissa muodostuvat päästöt ilmoitettuna alueella vuodessa muodostunutta muovipakkausjätetonnin kohti. Taulukosta 25 nähdään, että suurimmat päästöt aiheutuvat jätteiden poltosta.

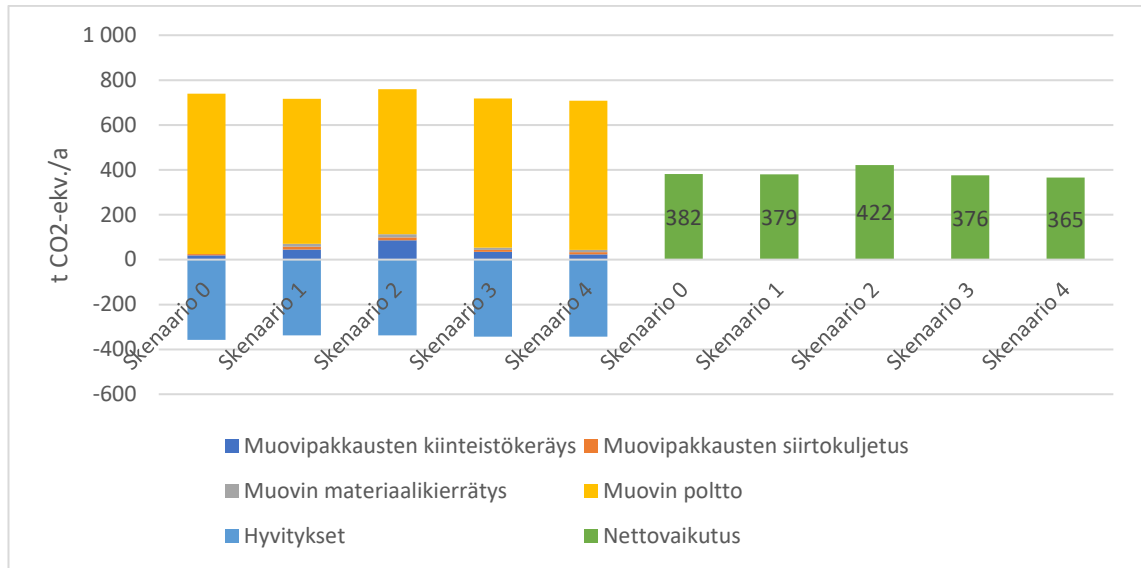
Taulukko 25. Skenaariossa eri jätteenkäsittelyvaiheissa muodostuvat päästöt ilmoitettuna alueella vuodessa muodostunutta muovipakkausjätetonnin kohti.

	Skenaario 0	Skenaario 1	Skenaario 2	Skenaario 3	Skenaario 4
Keräysajo [CO _{2-ekv.} kg/tmuovipakkausjäte]	31	73	143	57	40
Siirtoajo [CO _{2-ekv.} kg/tmuovipakkausjäte]	10	21	21	15	15
Granulaattien valmistus [CO _{2-ekv.} kg/tmuovipakkausjäte]	0	12	12	9	9
Profiilien valmistus [CO _{2-ekv.} kg/tmuovipakkausjäte]	0	11	11	8	8
Energiahyödynnys [CO _{2-ekv.} kg/tmuovipakkausjäte]	1 183	1 070	1 070	1 102	1 102
Hyvitys granulaateista [CO _{2-ekv.} kg/tmuovipakkausjäte]	0	-42	-42	-30	-30
Hyvitys profiileista [CO _{2-ekv.} kg/tmuovipakkausjäte]	0	-1	-1	0	0
Hyvitys energia [CO _{2-ekv.} kg/tmuovipakkausjäte]	-592	-516	-516	-538	-538
Yhteensä g/t [CO _{2-ekv.} kg/tmuovipakkausjäte]	633	629	699	622	605

6 VAIKUTUSARVIONTI JA SEN TULOKSET

6.1 Skenaarioiden vaikutusarvioiden tulokset

Skenaarioiden vaikutusarvioinnin tulokset on esitetty sekä pylväsdiagrammeina että taulukkomuodossa. Kuvasta 8 nähdään jätteiden keräysvaiheen, siirtovaiheen ja käsittelyn päästöt sekä skenaarioista saatavat hyvitykset vuodessa kullekin skenaariolle.



Kuva 8. Vuoden aikana muovipakkausjätteiden keräyksestä ja käsittelystä aiheutuvien hiilidioksidiekvivalenttien tonnimäärät skenaarioittain.

Kuvasta 8 nähdään, että jokaisessa skenaariossa suurimmat päästövaikutukset tulevat jätteiden polttamisesta. Skenaariossa 2 on suurimmat vaikutukset jätteiden kiinteistökeräyksestä suhteessa muiden skenaarioiden kiinteistökeräyksen päästöihin. Skenaariossa 2 sekä muovipakkausjäte että sekajäte kerätään viikon välein. Kun skenaarioiden hyvitykset huomioidaan, skenaarion 2 kuljetuksista aiheutuvat päästöt ovat noin 14 % skenaarion kokonaispäästöistä, kun suhteessa pienimmät päästöt, noin 4 prosenttia, on skenaariossa 0. Skenaariossa 1 kuljetuksen päästöt ovat noin 9 %, skenaariossa 3 noin 7 % ja skenaariossa 4 noin 5 % skenaarioiden nettopäästöistä. Kuvan 8 tulokset on esitetty taulukossa 26.

Taulukko 26. Vuoden aikana muovipakkausjätteiden keräyksestä ja käsittelystä aiheutuvien hiilidioksidiekvivalenttien tonnimäärät skenaarioittain.

Vaihe	Skenaario 0	Skenaario 1	Skenaario 2	Skenaario 3	Skenaario 4
Keräysajo [tCO ₂ -ekv. /a]	18,9	44,2	86,5	34,4	23,9
Siirtoajo [tCO ₂ -ekv. /a]	6,2	12,7	12,7	9,2	9,2
Granulaatit [tCO ₂ -ekv. /a]		7,5	7,5	5,4	5,4
Profiilit [tCO ₂ -ekv. /a]		6,5	6,5	4,7	4,7
Jätteiden poltto [tCO ₂ -ekv. /a]	714,2	645,8	645,8	664,9	664,9
Hyvitys granulaatit [tCO ₂ -ekv. /a]		-25,4	-25,4	-18,3	-18,3
Hyvitys profiilit [tCO ₂ -ekv. /a]		-0,4	-0,4	-0,3	-0,3
Hyvitys energiantuotannosta [tCO ₂ -ekv. /a]	-357,3	-311,6	-311,6	-324,4	-324,4
Nettovaikutus [tCO ₂ -ekv. /a]	381,9	379,4	421,6	375,6	365,1
Nettopäästö [kgCO ₂ -ekv. /t _{muovipakkausjäte}]	632,8	628,6	698,6	622,5	605,0

Kuvasta 8 ja taulukosta 26 havaitaan, että skenaarion 2, jossa muovipakkausjäte erilliskerätään kiinteistöistä viikon välein, ilmastonmuutosvaikutus on suurin. Suurimmat hyvytykset saadaan skenaariossa 0, jossa muovipakkausjätettä ei erilliskerätä ja jossa kaikki muovipakkausjäte poltetaan sekajätteen joukossa, mutta sen ilmastonmuutosvaikutukset pysyvät hyvityksistä huolimatta toisiksi suurimpana verrattuna muihin skenaarioihin.

Kuten taulukosta 26 havaitaan, muovipakkausten erilliskeräyksen järjestäminen kasvattaa jätteiden keräysvaiheen kasvihuonekaasupäästöjä. Toisaalta muovipakkausten erilliskeräyksen järjestäminen ja kierrätyksen lisääminen auttaa välttämään neitseellisten muovigranulaattien valmistuksesta aiheutuvia päästöjä. Lisäksi kierrätyksen lisääntyessä voidaan välttää muovinpoltoista aiheutuvia päästöjä.

Työn laskelmien mukaan skenario 4, jossa muovipakkausjäte erilliskerätään kiinteistöistä 6 kertaa vuodessa eli noin kahdeksan viikon välein, tuottaa pienimmän ilmastonmuutosvaikutuksen suhteessa muihin skenaarioihin. Skenaariossa 4 CO₂-ekv. -nettopäästöjä muodostuu noin 17 tonnia vähemmän kuin skenaariossa 0. Verrattuna seuraavaksi ilmastonmuutosvaikutuksen kannalta suotuisampaan skenaarioon eli skenaarioon 3, skenario 4:ssä CO₂-ekv. -nettopäästöjä muodostuu noin 10 tonnia vähemmän.

6.2 Herkkyystarkastelut

Työn skenaariot on suunniteltu koskemaan tulevaisuuden mahdollista tilannetta. Tästä johtuen tarkkoja tietoja esimerkiksi kiinteistökeräyksellä saatavaksi muovipakkausjättesaannosta ei ole tiedossa ennekuin keräys todella järjestetään. Työssä ja laskennassa käytetyt luvut ovat täten arvioita ja oletuksia. Herkkyystarkastelu tehdään mallinnusoletuksille ja parametreille, jotka voivat todellisessa tilanteessa vaikuttaa muovipakkausjätteen erilliskeräyksen ilmastonmuutosvaikutuksiin.

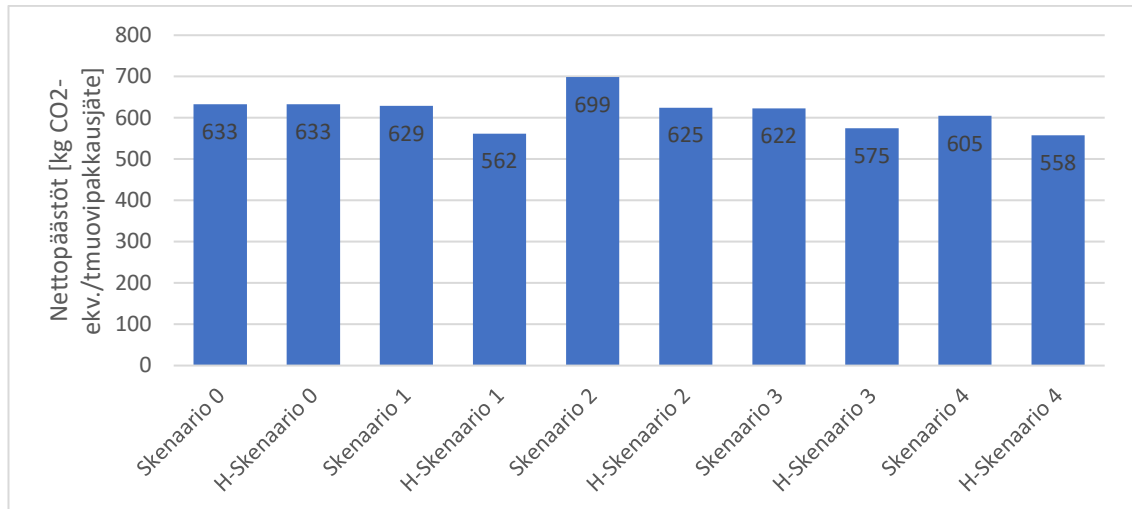
Tässä työssä herkkyystarkastelu tehdään kiinteistökeräykseen osallistuvien asukkaiden muovipakkausjättesaannosta. Työssä on alun perin oletettu, että asukas kierrättää muovipakkausjätettä 6 kilogrammaa vuodessa eli noin 20 % sekajätteensä sisältämästä muovi-

pakkausjätteestä, mikä on suhteellisen vähän kaikesta muovipakkausjätteestä. Herkkyystarkastelu tehdään oletukselle, että asukas kierrättäisi puolet sekajätteensä sisältämästä muovipakkausjätteestä.

Työn olennaisena mallinnoletuksena oli, että 70 % erilliskerätystä muovipakkausjätteestä päätyy materiaalikierrätykseen ja loput poltetaan muovinjalostamon yhteydessä olevassa polttolaitoksessa. Herkkyystarkastelu tehdään oletukselle, että vain puolet erilliskerätystä muovipakkausjätteestä päätyy materiaalikierrätykseen, josta noin 29 prosenttiyksikköä päätyy granulaattien tuotantoon ja noin 13 prosenttiyksikköä muoviprofiilin tuotantoon. Lisäksi herkkyystarkastelu tehdään oletukselle, että erilliskerätty muovipakkausjäte poltettaisiin muovinjalostamon yhteydessä olevan polttolaitoksen sijaan Raamalla sijaitsevassa Rauman Biovoiman voimalaitoksessa. Tämä herkkyystarkastelu tehdään siitä syystä, että muovinjalostamon yhteydessä olevien voimalaitosten polttokapasiteetti ei riitä kokonaisuudessaan kaikkien sinne päätyvien jätteiden polttamiseen (Fortum Waste Solutions Oy 2016, 6).

Lisäksi herkkyystarkastelu tehdään kierrätysgranulaatin korvaavuudesta neitseellisen muovigranulaatin suhteen. Kuten kappaleessa 4.4.6 todetaan, kierrätettyä muovia voidaan käyttää muovituotteiden valmistuksessa neitseellisen muovin seassa tyypillisesti 30–60 % keskiarvon ollessa 45 %. Herkkyystarkastelu tehdään oletukselle, että kierrätysmuovia voidaan käyttää 30 % korvaamaan neitseellistä muovia.

Herkkyystarkastelun tulokset tarkastelulle, jossa muovipakkausjätesaannon oletetaan olevan vuodessa noin 15 kg per asukas, on esitetty kuvassa 9. Kuvassa 9 on esitetty alkuperäisten oletusten mukaiset skenaariot, ja kunkin skenaarion vieressä on herkkyystarkastelun tulos. Herkkyystarkastelun skenaariot on nimetty kuten alkuperäiset skenaariot, mutta niiden edessä on H -etuliite.

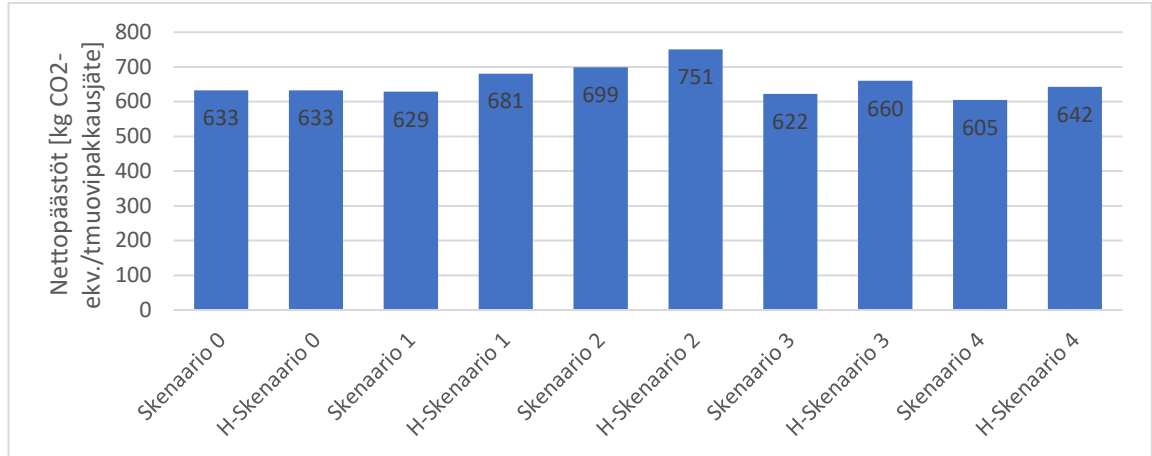


Kuva 9. Herkkyystarkastelun tulokset, kun asukkaat kierrättävät noin 15 kg muovipakkausjätettä vuodessa.

Muovipakkausjätesaannon kasvu vaikuttaa kiinteistöillä olevien jäteastioiden kokoon ja määrään muovipakkausjätteiden osalta. Vaikka sekajätteen määrä skenaarioissa 1–4 pieneneekin, ei sillä oletettu olevan vaikutusta sekajäteastioiden määrään tai kokoon. Muovipakkauksille varattu 240 litrainen jäteastia skenaarioissa 1 ja 3, korvataan yhdellä 600 litraisella jäteastialla. Skenaariossa 4 muovipakkausjätteelle tarvitaan 600 litraisia jäteastioita kolme kappaletta yhden sijaan. Skenaariossa 2, jossa muovipakkausjäte kerätään viikon välein, ei jäteastian koolle tai määrälle tarvitse tehdä muutoksia.

Kuvasta 9 nähdään, että jos muovipakkausjätesaanto kasvaa ja tätä myöten materiaalin kierrätykseen ohjautuu enemmän muovipakkausjätettä, skenaarioiden ilmastomuutosvaikutus pienenee. Suurin muutos tapahtuu skenaariossa 2, mikä johtuu siitä, että keräysvaihe järkevöityy alkuperäiseen skenaarioon nähden. Muovipakkausjätesaannon kasvaessa skenaariosta 2 tulee vuosittaisen CO₂-ekv. -päästöjen puolesta skenaariota 0 suotuisampi.

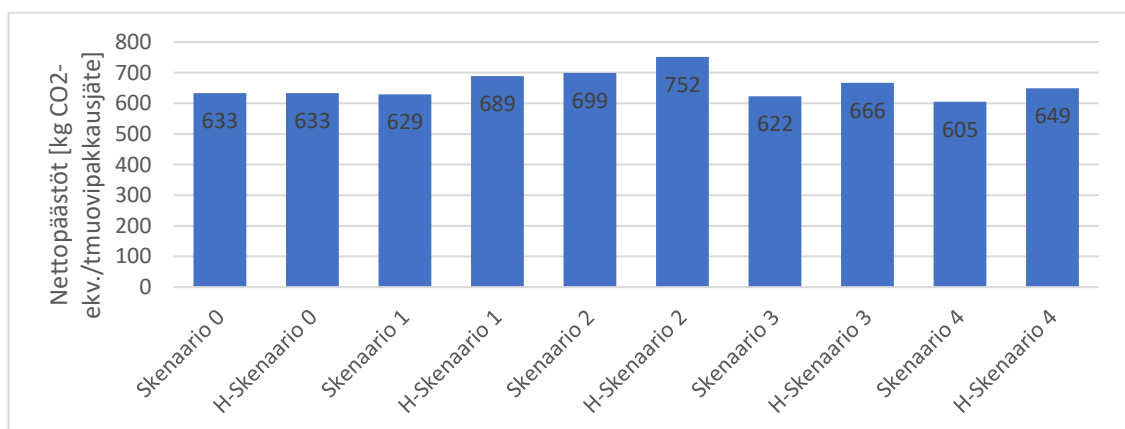
Herkkyystarkastelun tulokset tilanteelle, jossa erilliskerätystä muovipakkausjätteestä materiaalin kierrätykseen päätyy vain puolet muovipakkausjätteestä alkuperäisen 70 % sijaan ja loput hyödynnetään energiantuotannossa, on esitetty kuvassa 10. Herkkyystarkastelussa on oletettu, että granulaatiksi ja muoviprofiiliksi päätyvän muovipakkausjätteen suhteelliset osuudet pysyvät alkuperäisinä.



Kuva 10. Herkkyystarkastelun tulokset, kun vain puolet erilliskerätystä muovista päätyy materiaalinkierrätykseen.

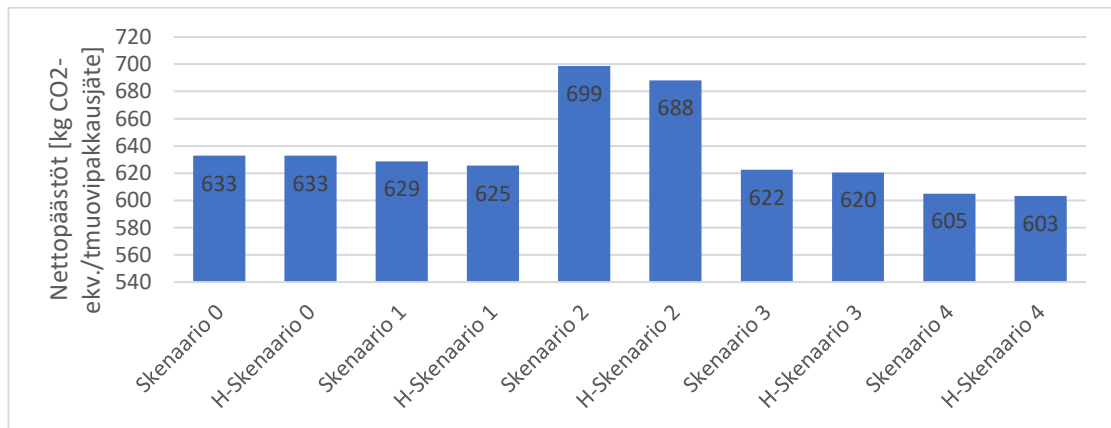
Kuvasta 10 havaitaan, että mikäli muovipakkausjätteen kierrätysuhde muuttuu, skenaarioiden 1–4 ilmastonmuutosvaikutus on suurempi kuin skenaariossa 0, jossa muovipakkausjätettä ei erilliskerätä. Tämän havainnon perusteella voidaan sanoa, että muiden olettusten pysyessä alkuperäisinä, muovipakkausjätteiden erilliskeräys alueelta ei kannata ilmastonmuutosvaikutusten perusteella, mikäli materiaalinkierrätykseen ei ohjaudu tarpeeksi muovipakkausjätettä.

Kuvassa 11 esitetään tilanne, jossa muovipakkausjätteiden saanto kasvaa asukasta kohden 15 kilogrammaksi ja kierrätysuhde on edellä mainittu 50 %. Tällä tarkastelulla selvitetään kierrätysuhteen ja muovipakkausjätteen saannon riippuvuuden vaikutus vuosittaisiin päästöihin.



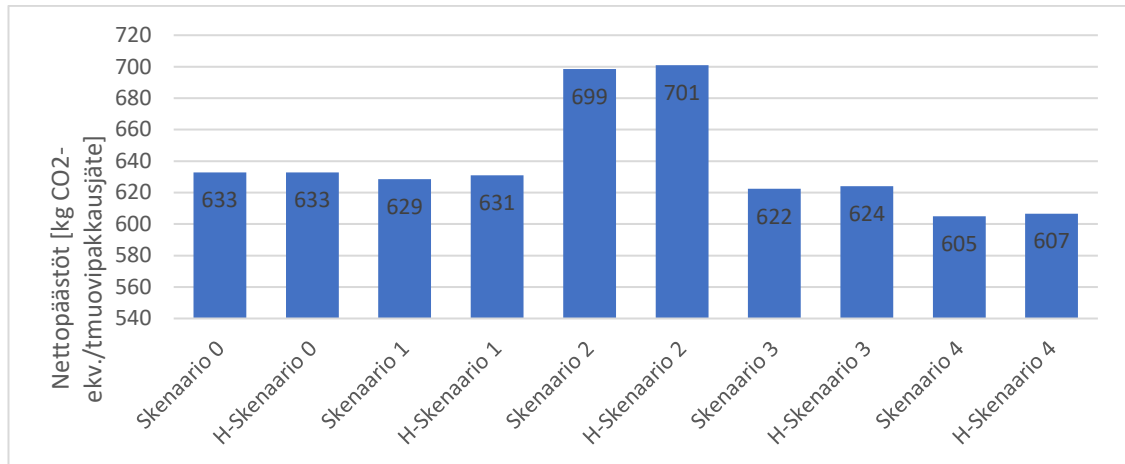
Kuva 11. Vuosittaiset päästöt, kun muovipakkausjättesaanto kasvaa ja kierrätysosuus on 50 %.

Kuvasta 11 havaitaan, että muovipakkausjätteen saannon kasvaminen, kierrätysuhteen ollessa 50 %, skenaarioiden 1–4 vuosittaiset päästöt kasvavat. Tästä voidaan päätellä, että kierrätysuhte on erittäin olennainen muovipakkausten kierrätyksen vaikutusten kannalta. Kuvasta 12 kuitenkin havaitaan, että kierrätysuhteen ollessa 60 % ja muovinsaannon 15 kg/asukas, skenaarioiden 1–4 nettopäästöt laskevat alkuperäiseen oletukseen verrattuna. Tästä voidaan päätellä, että mikäli kierrätysuhte on alhaisempi kuin 70 % muovipakkausjättesaannon tulee kasvaa.



Kuva 12. Skenaarioiden nettopäästöt, kun kierrätykseen päätyvän muovipakkausten osuus on 60 %.

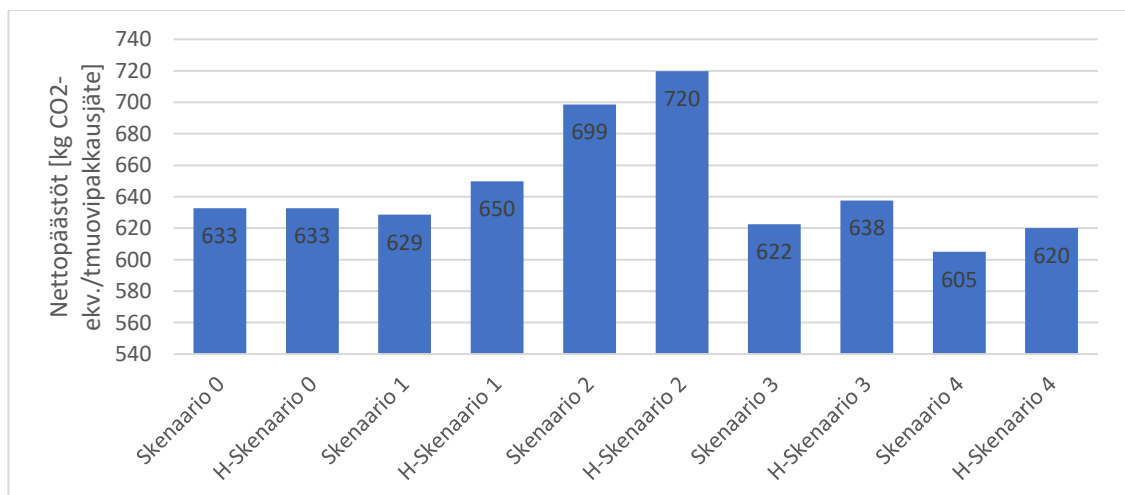
Herkkyystarkastelun tulokset tilanteelle, jossa muovinjalostamon yhteydessä sijaitsevassa polttolaitoksessa ei riitä kapasiteetti kaikkien sinne päätyvien jätteiden polttamiseen vaan muovipakkausjätteet siirtokuljetetaan Raumalle ja poltetaan siellä voimalaitoksessa, on esitetty kuvassa 13. Riihimäeltä sijaitsevasta muovinjalostamosta matkaa Raumalle yhteen suuntaan on 176 km. Raumalla sijaitseva voimalaitos tuottaa sähköä ja kaukolämpöä ja lisäksi prosessihöyryä sen yhteydessä sijaitsevaan laitokseen. Voimalaitoksen sähköntuotannon hyötysuhteen oletetaan olevan noin 24 % ja kaukolämmöntuotannon hyötysuhteen noin 29 %, kun kaukolämmöstä oletetaan päätyvän hyödynnettäväksi 60 % (Rauman Voima Oy 2013, 5). Siirtokuljetuksen päästöt on laskettu edestakaiselle matkalle.



Kuva 13. Herkkyystarkastelun tulokset, kun muovinjalostamolla polttoon päätyvä muovipakkausjäte kuljetetaan ja poltetaan Raumalla voimalaitoksessa.

Kuvasta 13 havaitaan, että mikäli poltettava osa joudutaan kuljettamaan Rauman voimalaitokselle polttoon skenaarioiden 1–4 ilmastonmuutosvaikutukset kasvavat suhteessa tilanteeseen, jossa muovipakkausjäte poltettaisiin muovinjalostamon yhteydessä olevassa polttolaitoksessa. Tästäkin huolimatta skenaariot 1, 3 ja 4 ovat ilmastonmuutosvaikutuksen perusteella parempia kuin skenaario 0.

Herkkyystarkastelun tulokset tilanteelle, jossa kierrätysgranulaatit korvaavat neitseellistä muovigranulaatteja 30 prosenttia 60 prosentin sijaan on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Herkkyystarkastelun tulokset tilanteessa, jossa kierrätysgranulaatti korvaa vain 30 % neitseellisestä granulaatista.

Kuvasta 14 havaitaan, että ilmastonmuutosvaikutus skenaariossa 1–4 kasvaa, mutta skenaario 4 pysyy ilmastonmuutosvaikutuksen puolesta skenaariota 0 kannattavampana tilanteessa, jossa kierrätysmuovin korvaussuhde neitseelliseen muoviin nähden muuttuu. Skenaariossa 1–3 nettopäästöt kasvavat suuremmiksi kuin skenaariossa 0.

7 KUSTANNUKSET

7.1 Jätehuoltoyhtiölle aiheutuvat kustannukset

Keräysvaiheen kustannukset lasketaan aikaperustaisesti. Kustannukset lasketaan selvittämällä kussakin skenaariossa ajettavien keräyskierrosten määrä sekajätteelle ja muovijätteelle, kun yhden keräyskierroksen oletetaan kestävän seitsemän tuntia. Kappaleen 4.4.7 mukaan verollinen tuntikohtainen keräystyön kustannus on noin 86,8 euroa. Taulukossa 27 esitetään keräystyöstä aiheutuvat kokonaiskustannukset jätehuoltoyhtiölle.

Taulukko 27. Keräystyön kustannukset eri skenaarioille.

Skenaario	Jätelaji	7 h:n aikana saatava jätekuorma [t]	Jätemäärä vuodessa [t/a]	Keräyskierroksia jätemäärän keräämiseksi	Keräysaika vuodessa kerätävälle jätemäärälle [h]	Keräystyön kustannus [€]	Keräystyön kustannus yhteensä [€]
0	seka-jäte	5,0	4 191	843	5 901	512 207	512 200
1	seka-jäte	4,8	4 068	843	5 901	512 207	631 300
	muovi	0,6	123	196	1 372	119 090	
2	seka-jäte	4,8	4 068	843	5 901	512 207	803 900
	muovi	0,3	123	480	3 360	291 648	
3	seka-jäte	9,3	4 102	745	5 215	452 662	526 800
	muovi	0,7	89	122	854	74 127	
4	seka-jäte	9,3	4 102	845	5 915	513 422	543 200
	muovi	1,8	89	49	343	29 772	

Jätehuoltoyhtiölle siirtokuljetusten kustannuksia aiheutuu vain sekajätteen osalta. Siirtokuljetuksista aiheutuvat kustannukset lasketaan kuljetusetäisyyteen perustuvalla laskentatavalla. Kappaleessa 4.4.7 on ilmoitettu verollisen siirtokuljetuksen kustannuksen olevan noin 2,25 euroa per kilometri. Yhden sekajättekuljetuksen pituus Joensuusta Leppä-

virralle ekovoimalaitokselle on 139 kilometriä. Siirtokuljetusten vuosittainen kokonaiskustannus saadaan vuodessa tehtävien siirtokuljetusten lukumäärän, kilometrikustannuksen ja ajettavan matkan tulona. Taulukossa 28 esitetään vuosittainen kuljetettava jätemäärä, yhdellä kuljetuksella kuljetettava jätemäärä ja vuodessa tehtävien siirtokuljetusten määrä skenaarioittain. Taulukossa 28 esitetään myös laskettu siirtokuljetusten kokonaiskustannus jätehuoltoyhtiölle vuodessa skenaarioittain.

Taulukko 28. Sekajätteiden siirtokuljetuksista aiheutuvat vuosittaiset kokonaiskustannukset jätehuoltoyhtiölle.

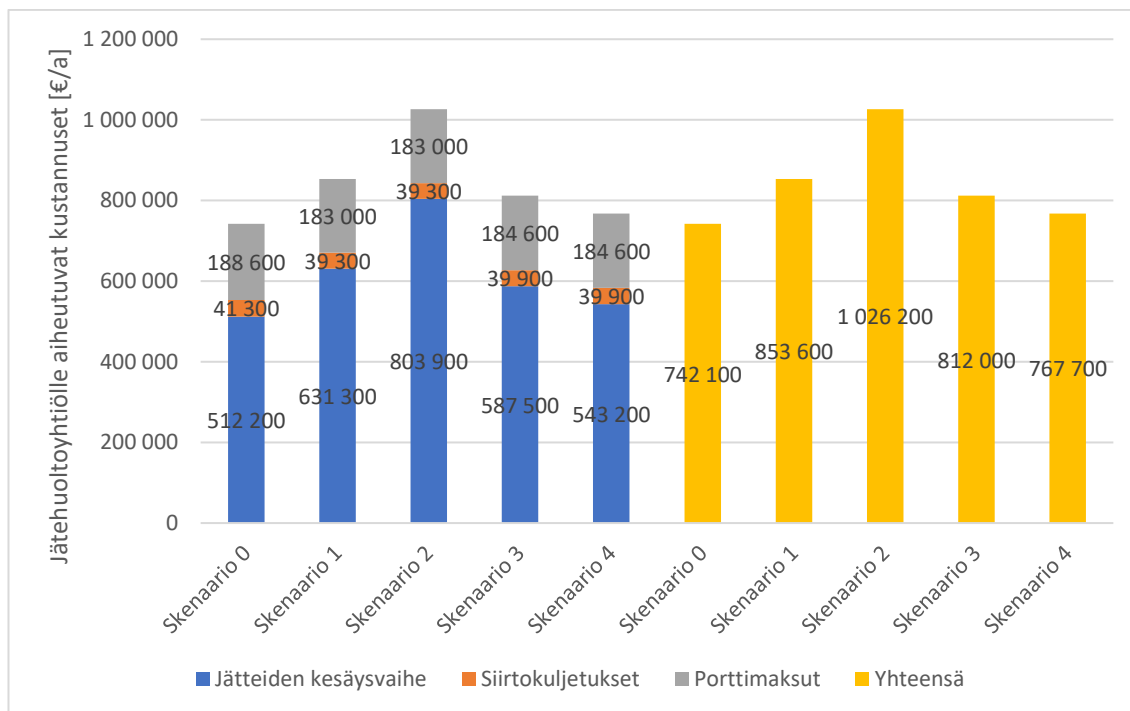
Skenaario	Jättemäärä vuodessa [t/a]	Yhden suuntainen matka käsittelylaitokselle [km]	Yhdellä kuljetuksella kuljetettavan jätteen määrä [t]	Kuljetettavia kuormia yhteensä	Siirtokuljetusten hinta yhteensä [€]
Skenaario 0	4 191	139	31,5	133	41 300
Skenaario 1	4 068	139	32,1	127	39 300
Skenaario 2	4 068	139	32,1	127	39 300
Skenaario 3	4 102	139	31,9	129	39 900
Skenaario 4	4 102	139	31,9	129	39 900

Jäteyhtiölle maksettavia porttimaksuja aiheutuu ekovoimalaitokselle vietävästä jätteestä. Kappaleessa 4.4.7 on porttimaksuksi esitetty 45 euroa per jätetonnei. Kokonaiskustannus jätehuoltoyhtiölle, joka porttimaksuista aiheutuu, saadaan jätetonnikohtaisen porttimaksun ja vuodessa ekovoimalaitokselle vietävän jätteen määrän tulona. Taulukossa 29 on esitetty jäteyhtiölle vuodessa porttimaksuista aiheutuvat kustannukset skenaarioittain.

Taulukko 29. Jätehuoltoyhtiölle sekajätteen porttimaksuista aiheutuvat kustannukset.

Skenaario	Jättemäärä vuodessa [t/a]	Porttimaksu sekajätteelle vuodessa [€]
Skenaario 0	4 191	188 600
Skenaario 1	4 068	183 000
Skenaario 2	4 068	183 000
Skenaario 3	4 102	184 600
Skenaario 4	4 102	184 600

Kuvassa 15 on esitetty jätehuoltoyhtiölle muodostuvat kokonaiskustannukset jätteiden keräyksestä, siirtokuljetuksista sekä porttimaksuista skenaarioittain.



Kuva 15. Jätehuoltoyhtiölle aiheutuvat vuosittaiset kustannukset.

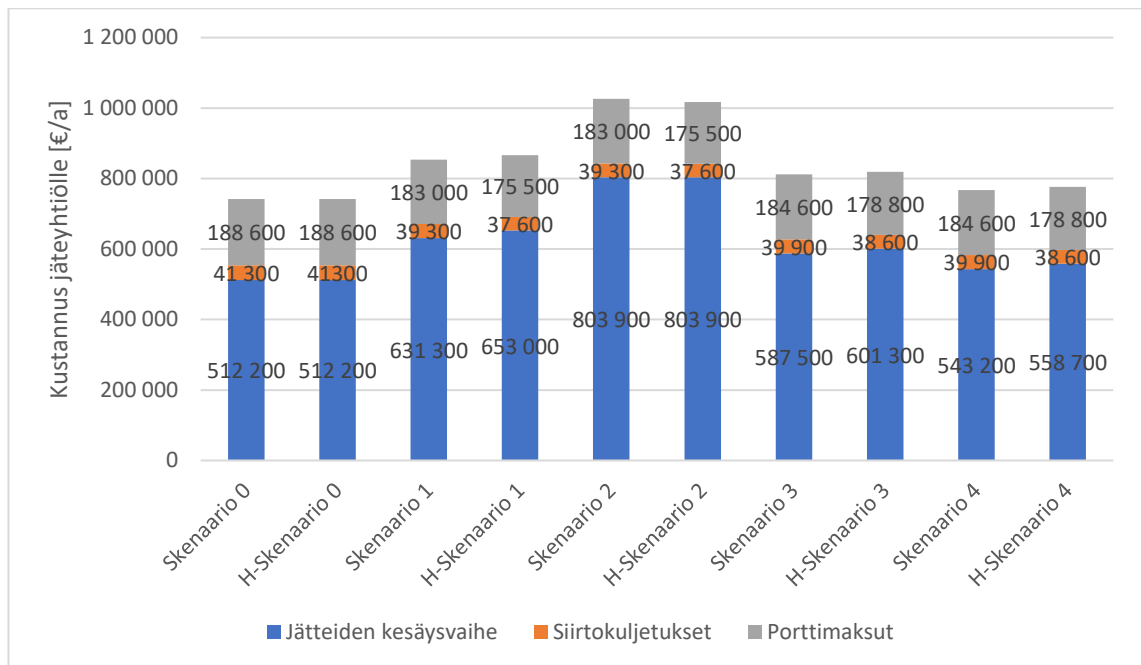
Kuten kuvasta 15 havaitaan, että suurin kustannuserä muodostuu keräysvaiheesta. Keräysvaiheen kustannukset riippuvat keräyspisteiden määrästä, astioiden tyhjennystiheydestä sekä siitä kuinka kaukana keräyspisteet sijaitsevat tyhjennyspaikkaan nähden. Edullisin vaihtoehto skenaarioista on skenaario 0, jonka kokonaiskustannukset ovat noin 742 100 euroa vuodessa. Skenaario 4 on edullisin vaihtoehto skenaariosta, joissa muovipakkausjätteiden erilliskeräys järjestetään ja se on kokonaiskustannuksiltaan 9 200 euroa skenaariota 0 kalliimpi. Skenaario 4:n kokonaiskustannukset ovat noin 25 600 euroa suurempi kuin skenaario 0. Skenaario 1 on yli 100 000 euroa kalliimpi ja skenaario 2 lähes 300 000 euroa kalliimpi kuin skenaario 0.

7.2 Kustannusten herkkyystarkastelu

Kustannusten osalta herkkyystarkastelu tehdään oletukselle, että asukas kierrättäisikin muovipakkausjätettä sekajätteen sisältämästä muovipakkausjätteestä puolet eli 6 kilogramman sijaan noin 15 kilogrammaa. Lisäksi koska työssä oletettiin, että muovipakkausjätteiden kustannuksista jätehuoltoyhtiölle maksettavaksi koituu vain keräystyön kustannukset, herkkyystarkastelu tehdään tilanteelle, jossa myös siirtokuljetusten kustannukset sekä vastaanottomaksu kuuluvat jätehuoltoyhtiölle. Vastaanottomaksun oletetaan

olevan sama kuin sekajätteen porttimaksun eli 45 €/jätetonne, mutta sen oletetaan koskevan vain polttoon ohjautuvan muovipakkausjätteen osuutta, joka oli alkuperäisen oletuksen mukaan 30 prosenttia. Kierrätysgranulaattien ja muoviprofiilien valmistukseen ohjautuvalle muovipakkausosuukselle ei oleteta olevan vastaanottomaksua.

Herkkyystarkastelun tulokset tarkastelulle, jossa muovipakkausjättesaannon oletetaan olevan vuodessa noin 15 kg per asukas, on esitetty kuvassa 16. Kuvassa 16 on esitetty alkuperäisten oletusten mukaiset skenaariot ja kunkin skenaarion vieressä on herkkyystarkastelun tulos. Herkkyystarkastelun skenaariot on nimetty kuten alkuperäiset skenaariot, mutta niiden edessä on H -etuliite.

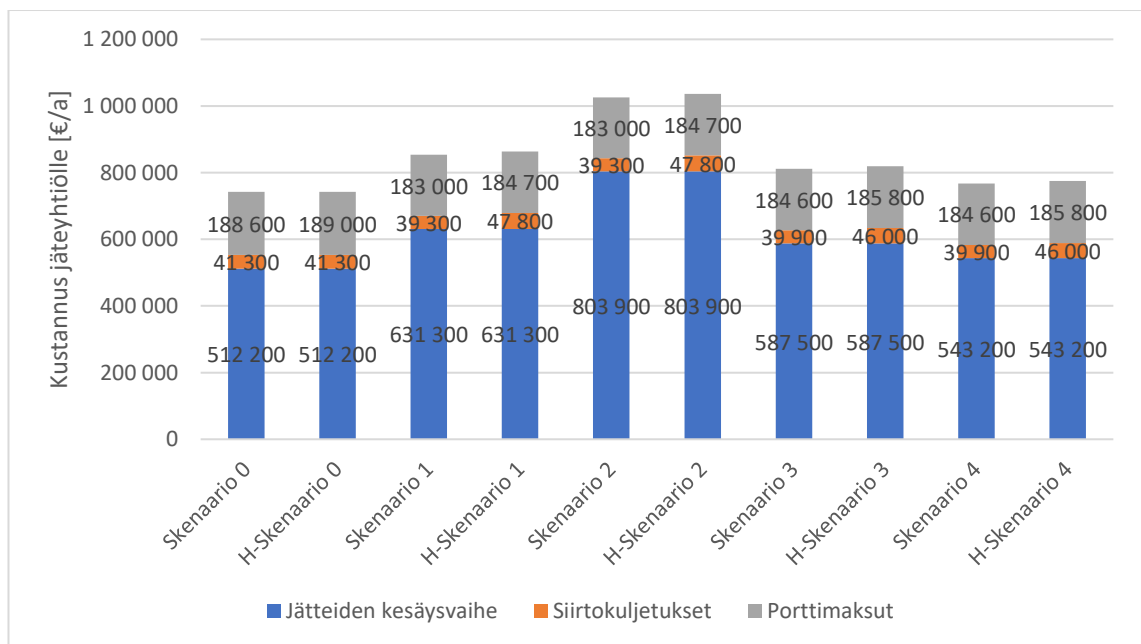


Kuva 16. Kustannusten herkkyystarkastelu tilanteelle, jossa muovipakkausjättesaanto kasvaa.

Kuvasta 16 havaitaan, että skenaarioiden 1, 3 ja 4 kokonaiskustannukset kasvavat tilanteessa, jossa muovipakkausjättesaanto kasvaa. Keräysvaiheessa muovipakkauksille varattujen jäteastioiden määrä ja/tai koko vaihtuvat lukuun ottamatta skenaariota 2. Tästä syystä keräysvaiheen kustannukset kasvavat skenaarioissa 1, 3 ja 4. Sekajätteille varattujen astioiden määrän tai koon ei oletettu muuttuvan, vaikka sekajättesaanto kiinteistöillä pienenee, mistä johtuen skenaarioiden sekajätteen keräyksen kustannukset eivät muutu. Porttimaksujen ja siirtokuljetusten kustannukset puolestaan laskevat skenaariossa

1–4. Tämä kustannusten vähenemä tekee skenaarioista 2 edullisemman verrattuna tilanteeseen, jossa muovipakkausjätesaanto on 6 kilogrammaa per asukas. Skenaariossa 1, 3 ja 4 sen sijaan porttimaksujen väheneminen ei riitä kattamaan keräyskuljetuksista aiheutuvia kustannuksia. Skenaarion 4 aiheuttamat kustannukset verrattuna skenaarioon 0 ja tilanteeseen, jossa muovipakkausjätettä kerätään vähemmän, kasvavat noin 8 400 euroa vuodessa, skenaarion 3 noin 6 700 euroa vuodessa ja skenaarion 1 noin 12 500 euroa vuodessa

Herkkyystarkastelu jätehuoltoyhtiölle kuuluvista kustannuksista on esitetty kuvassa 17. Herkkyystarkastelussa tarkastellaan vaihtoehtoa, että muovin siirtokuljetuksista ja vastaanottomaksuista johtuvat kustannukset kuuluisivat jätehuoltoyhtiön maksettavaksi. Muovipakkausjäte siirtokuljetetaan Riihimäellä sijaitsevalle muovinjalostamolle, johon matkaa yhteen suuntaan Joensuusta kertyy 391 kilometriä. Vastaanottohinnan oletettiin olevan sama kuin sekajätteen porttimaksun, mutta sen oletettiin koskevan vain polttoon ohjautuvaa osuutta muovipakkausjätteistä, joka on 30 % muovinjalostamolle päätyvästä muovipakkausjätteestä. Materiaalikierrätykseen ohjautuvasta osuudesta oletetaan saatavan tuloja, kun niistä valmistetaan kierrätysgranulaatteja ja muoviprofiileja, joten niille ei oleteta vastaanottohintaa.



Kuva 17. Kustannusten herkkyystarkastelu tilanteelle, jossa jätehuoltoyhtiö maksaa muovipakkausjätteiden siirtokuljetukset sekä polttoon ohjautuvasta muovipakkausjätteen osuudesta vastaanottomaksun.

Kuvasta 17 havaitaan, että skenaarioiden kokonaiskustannukset kasvavat ja eniten kasvuun vaikuttaa siirtokuljetusten kustannusten kasvu. Tällä herkkyystarkastelulla arvioituna jätehuoltoyhtiön kustannukset skenaariosta 0 kasvavat edullisimmassa skenaariossa, skenaariossa 4, noin 32 900 euroa. Siirtokuljetusten ja osittaisen porttimaksun lisäys alkuperäisiin laskelmiin nostaa skenaarion 4 hintaa noin 7 300 euroa vuodessa.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tulosten perusteella skenaario 4, jossa muovipakkausjäte erilliskerätään kuusi kertaa vuodessa vain Joensuun keskustan alueelta, näyttäytyy ilmastonmuutosvaikutuksen puolesta parhaimmalta skenaarioilta. Vuodessa CO_{2-ekv.}-päästöjä skenaariossa 4 muodostuu noin 365 tonnia, mikä on noin 17 tonnia vähemmän kuin skenaariossa 0, jossa muovipakkausjätteille ei järjestetä erilliskeräystä. Skenaarion 0 CO_{2-ekv.}-päästöt vuodessa ovat noin 382 tonnia. Lisäksi muovipakkausten erilliskeräyksen järjestäminen vaikuttaa ilmastonmuutosvaikutuksen perusteella kannattavalta skenaariossa 3, jossa muovipakkausten erilliskeräys järjestetään Joensuun keskustan alueella 18 kertaa vuodessa eli kolmen viikon välein sekä skenaariossa 1, jossa muovipakkausjätteen erilliskeräys järjestetään koko suunnitellulle alueelle kolmen viikon välein. Skenaariossa 3 CO_{2-ekv.}-päästöjä muodostuu noin 376 tonnia vuodessa ja skenaariossa 1 CO_{2-ekv.}-päästöjä muodostuu noin 379 tonnia vuodessa. Sen sijaan skenaario 2, jossa muovipakkausjätteiden keräys järjestetään koko suunnitellulle alueelle ja keräys tapahtuu viikon välein, ei ilmastonmuutosvaikutuksen perusteella ole kannattavaa verrattuna skenaarioon 0. Skenaarion 2 vuotuiset CO_{2-ekv.}-päästöt ovat noin 423 tonnia.

Skenaario 4 ilmastonmuutosvaikutuksen kannattavuuteen vaikuttaa keräysalueen rajaus vain Joensuun keskustan alueelle. Joensuun keskustan alueella sijaitsee suurin osa, noin 68 %, suunnittelun kiinteistökeräyksen kiinteistöistä. Skenaario 4 tuottaa vuodessa noin 11 tonnia vähemmän CO_{2-ekv.}-päästöjä kuin skenaario 3, joka on muulta osin vastaava kuin skenaario 4, mutta muovipakkausjätteiden keräys tapahtuu kolmen viikon välein. Toisaalta havaitaan, että erilliskeräyksen laajentaminen koko tarkastellulle alueelle ja jätteen kerääminen kolmen viikon välein skenaariossa 1, tuottaa noin 4 tonnia enemmän CO_{2-ekv.}-päästöjä vuodessa kuin skenaario 3, jossa keräysalue käsittää vain Joensuun keskustan alueen. Suhteessa ilmastonmuutosvaikutuksen perusteella parhaimpaan skenaarioon, skenaarioon 4, skenaario 1 tuottaa kuitenkin noin 14 tonnia enemmän CO_{2-ekv.}-päästöjä vuodessa.

Skenaario 2 tuottaa skenaarioon 0 verrattuna yli 39 tonnia enemmän CO_{2-ekv.}-päästöjä vuodessa. Skenaariossa 2 muovipakkausjätteet kerätään koko suunnitellulta alueelta viikon välein, josta johtuen vuoden aikana muovipakkausjätteiden keräysvaiheen päästöt

kasvavat huomattavasti verrattuna skenaarioihin, joissa muovipakkausjätteet kerätään harvemmin. Herkkyysanalyysin tulosten perusteella kuitenkin havaitaan, että mikäli muovipakkausjättesaanto kasvaa ja keräykseen osallistuvat asukkaat kierrättävät noin 15 kg muovipakkausjätettä kuuden kilogramman sijaan vuodessa, myös skenaario 2 näyttäytyy ilmastonmuutosvaikutuksen perusteella skenaariota 0 suotuisammalta. Toisaalta muovipakkausjättesaannon kasvaminen alentaa vuosittaisia CO₂-ekv. -päästöjä kaikissa skenaarioissa 1–4 säilyttäen skenaarioiden suotuisuusjärjestyksen.

Skenaarioiden 1, 3 ja 4 suotuisa ilmastonmuutosvaikutus ja vuotuisten CO₂-ekv. -päästöjen määrä on kuitenkin riippuvainen muovinjalostamolla tapahtuvasta kierrätysosuudesta sekä siitä, missä suhteessa valmistetut kierrätysgranulaatit korvaavat neitseellistä muovigranulaattia. Herkkyysanalyysin tuloksista havaitaan, että mikäli muovinjalostamolla vain puolet vastaanotetusta erilliskerätystä muovipakkausjätteestä päätyy materiaalin kierrätykseen ja puolet päätyy energiahyödyntämiseen, skenaarioiden 1, 3 ja 4 vuosittaiset CO₂-ekv. -päästöt kasvavat suuremmiksi kuin skenaariossa 0. Kierrätysosuuteeseen vaikuttaa muovipakkausten likaisuus ja lajittelun tehokkuus niin kotitalouksissa kuin muovinjalostamolla. Tämän perusteella voidaan olettaa, että kuluttajamuovipakkausten tulee olla puhtaita, jotta muovipakkausten erilliskeräys on ilmastonmuutosvaikutusten perusteella kannattavaa.

Toisaalta herkkyystarkasteluista selviää myös, että vaikka muovipakkauksista materiaali kierrätykseen päätyisi 70 % erilliskerätystä muovipakkausjätteestä, mutta kierrätysgranulaateilla voitaisiin korvata vain 30 % neitseellistä muovigranulaattia vain skenaario 4 pysyy ilmastonmuutosvaikutuksen suhteen skenaariota 0 kannattavampana. Tämän perusteella voidaan sanoa, että kierrätysgranulaatin laadulla ja täten sen korvaussuhteella neitseellisen muovin suhteen, on myös vaikutusta muovipakkausjätteiden erilliskeräyksen kannattavuuteen ilmastonmuutosvaikutuksen näkökulmasta. Muovipakkausten erilliskeräyksen järjestämistä eli skenaarioita 1–4 puoltaa myös se, että tulevaisuudessa fossiilisten polttoaineiden hinta tulee todennäköisesti kasvamaan, mikä todennäköisesti tulee vähentämään fossiilisten polttoaineiden käyttöä energiantuotannossa, jolloin muovin- tai yleisesti jätteenpolton saamat hyvitykset tulevat pienenevän.

Herkkyystarkasteluissa otettiin huomioon myös mahdollinen muovin energiahyödyntäminen Raumalla sijaitsevassa polttolaitoksessa. Muovinjalostamon yhteydessä olevien polttolaitosten polttokapasiteetti ei riitä polttamaan kaikkia sinne päätyviä jätteitä ja osa jätteistä täytyy ohjata muualla poltettavaksi. Mikäli erilliskeräystä muovipakkausjätteestä polttoon ohjautuva osuus joudutaan polttamaan Raumalla, skenaarioiden 1–4 nettopäästöt kasvavat. Siirrosta huolimatta skenaariot 1, 3 ja 4 pysyvät ilmastonmuutosvaikutuksen suhteen skenaariota 0 parempina.

Muovipakkausjätteet ovat tuottajavastuun alaisia jätteitä ja niiden jätehuollon järjestäminen on ensisijaisesti tuottajien vastuulla. Kunnat voivat kuitenkin osana järjestämäänsä jätehuoltoa täydentää pakkausjätteiden kuljetusta ja vastaanottoa siltä osin, kun tuottaja ei sitä järjestä, ja parantaa näin palvelutasoaan. Palvelutasoa kehittäessä palvelun tuottamisen kustannukset on kuitenkin pysyttävä kohtuullisina ja hyväksyttävänä. Mikäli muovipakkausten erilliskeräys järjestettäisiin koko suunnitellulla alueella ilmastonmuutosvaikutuksen kannalta suotavin skenaario olisi skenaario 1. Työn laskelmien mukaan tästä aiheutuisi jätehuoltoyhtiölle noin 112 000 euron lisäkustannus verrattuna skenaarioon 0, jonka vuotuiseksi kustannukseksi tässä työssä on saatu noin 742 000 euroa. Ilmastonmuutosvaikutuksen kannalta suotavin skenaario 4 puolestaan tuottaa jätehuoltoyhtiölle noin 26 000 euron vuosittaiset lisäkustannukset verrattuna skenaarioon 0 ja palvelun lisäys tapahtuisi vain Joensuun keskustan alueella. Skenaarion 3 aiheuttama lisäkustannus jätehuoltoyhtiölle on noin 70 000 euroa ja vastaavasti skenaarion 2 noin 284 000 euroa vuodessa. Vähennetyin hiilidioksidiekvivalenttitonnin hinnaksi tulee skenaariossa 4 noin 1 500, skenaariossa 3 noin 11 200 ja skenaariossa 1 noin 44 500 euroa vuodessa.

Herkkyystarkastelusta selviää, että mikäli muovipakkausjättesaanto kasvaa, jätehuoltoyhtiölle koituvat kustannukset kasvavat. Tämä johtuu siitä, että jätteiden keräysvaiheen kustannukset kasvavat. Toisaalta siirtokuljetusten ja porttimaksujen vuosittaiset kustannukset laskevat, mutta lasku ei vaikuta niin paljoa, että se kattaisi keräysvaiheen kustannusten nousun. Muovipakkausjätteiden keräys toteutuisi edelleen edullisimmin skenaariossa 4, mutta jätehuoltoyhtiön kustannukset verrattuna skenaarioon 0 kasvaisivat noin 34 000 euroa vuodessa. Lisäksi herkkyystarkastelu tehtiin oletukselle, että jätehuoltoyhtiölle aiheutuisi kustannuksia myös muovipakkausten siirtokuljetuksista Riihimäelle sekä polt-

toon ohjautuvan osuuden porttimaksuista. Tällä herkkyytarkastelulla arvioituna jätehuoltoyhtiön kustannukset skenaariosta 0 kasvavat edullisimmassa skenaariossa, skenaariossa 4, noin 32 900 euroa vuodessa. Siirtokuljetusten ja osittaisen porttimaksun lisäys alkuperäisiin laskelmiin nostaa skenaarion 4 hintaa noin 7 300 euroa vuodessa.

Toisaalta sekä kustannuksiin että vuosittaisiin CO₂-ekv. -päästöihin ja skenaarioiden ilmastomuutosvaikutuksiin vaikuttaa valittu tutkimusasetelma ja tutkimukseen valittujen kiinteistöjen koko ja valitut tyhjennystiheydet. Työssä tarkasteltiin kiinteistöjä, joissa on vähintään kolme asuinhuoneistoa per kiinteistö, mikä tarkoittaa suhteellisen pieniä kiinteistöjä. Suomessa jätehuoltomääräyksiin muovipakkausjätekeräysvaatimus on asetettu ainakin Savo-Pielisen ja Lounais-Suomen jätehuoltolautakunnan sekä Kainuun jätehuollon kuntayhtymän toimesta. Lounais-Suomen jätehuoltomääräyksissä muovipakkausjätteiden erilliskeräys velvoittaa kiinteistöjä, joissa on vähintään 20 asuinhuoneistoa, ja Savo-Pielisen tietyillä alueilla kiinteistöjä, joissa on vähintään 40 asuinhuoneistoa. Kainuun jätehuollon kuntayhtymä velvoittaa kiinteistöjä, joissa on vähintään 4 asuinhuoneistoa, järjestämään muovipakkausten erilliskeräyksen. Muovipakkausjäteastioiden tyhjennystiheys näissä jätehuoltomääräyksissä vaihtelee neljästä viikosta kahteentoista viikkoon. Koska tämän työn laskelmissa on havaittu, että muovipakkausjätteiden kiinteistökeräys, riippuen muun muassa muovipakkausjätesaannosta ja sen laadusta, on ilmastonmuutosvaikutuksen kannalta suotuisaa, olisi kustannusten kannalta järkevää tarkastella keräyksen järjestämistä suurempiin kuin vähintään kolmen asuinhuoneiston kiinteistöihin. Tässä työssä ei saadun ajosuunnitelman luonteesta johtuen voitu tehdä tarkastelua suuremmille kuin kolmen asuinhuoneiston kiinteistöille.

Keräykseen kuuluvien kiinteistöjen koon lisäksi olisi suotavaa tarkastella muovipakkausjätteiden erilliskeräyksen aiheuttamien ilmastonmuutosvaikutusten lisäksi myös muita ympäristövaikutuksia. Vaikka ilmastonmuutosvaikutusluokka on yksi tärkeimmistä ympäristövaikutusluokista, olisi muovipakkausten erilliskeräyksen järjestämistä hyvä tarkastella myös muita ympäristövaikutusluokkia, kuten esimerkiksi fossiilisten luonnonvarojen ehtyminen ja veteen ja ilmaan päässeiden ravinteiden vaikutukset, kuten muun muassa rehevöityminen, happamoituminen ja hiukkasvaikutukset. Näiden ympäristövaikutusluokkien tarkastelulla saataisiin hallitumpi kokonaiskuva muovipakkausjätteiden erilliskeräyksen ympäristövaikutuksista.

Tuloksia tarkastellessa on hyvä huomioida, että järjestelmien mallinnus ei täysin vastaa todellista tilannetta ja että laskenta-arvoihin ja tehtyihin oletuksiin liittyy epävarmuutta. Työn tutkimusasetelma vaikuttaa skenaarion 0 ilmastonmuutosvaikutuksiin, sillä tämän työn tavoitteiden takia skenaariossa 0 ei ole otettu huomioon Rinki Oy:n järjestämää ekopistekeräystä muovipakkausjätteille. Työn laskelmissa skenario 0 ei saa lainkaan hyvityksiä materiaalinkierrätykseen ohjautuvista muovipakkausjätteistä, johon todellisessa tilanteessa kuitenkin päätyisi ekopisteille päätyvä muovipakkausjäte. Tästä johtuen kierrätyksestä saatavat hyvitykset suhteessa skenaarioon 0 ei välttämättä ole tämän työn laskelmien mukaiset. Toisaalta skenaariossa 1–4 arvioitu muovipakkausjätesaanto 6 kg vuodessa per asukas on suhteellisen pieni, joten tämän voidaan katsoa ottavan huomioon ekopisteille päätyvän muovinosuutta.

Tutkimuksessa käytetyt lähtötiedot ja rajaukset vaikuttavat myös tämän tutkimuksen tuloksiin. Alueen kiinteistöt on tämän tutkimuksen perusteella oletettu edustavan alueen keskiarvollista kiinteistöä, mikä tarkoittaa, että laskelmissa kustakin kiinteistöstä kerätään 15 henkilön jätteet ja kiinteistöltä kerättävä jätemäärä on tämän oletuksen mukainen. Todellisessa tilanteessa keräykseen kuuluvista kiinteistöistä pienin voi olla kolmen henkilön kiinteistö. Tämä tarkoittaa sitä, että todellisessa tilanteessa jätteiden keräykseen kuuluva aika on todennäköisesti eri kuin tässä työssä, mikä vaikuttaa niin päästöihin kuin kustannuksiinkin. Laskennassa käytetty keskiarvo edustaa kuitenkin keräysaikaa koko alueelta suhteellisen hyvin.

Lisäksi työn jätteiden käsittelyjen vaatimat energiamäärät ja päästömäärät perustuvat kirjallisuuslähteistä saatuihin arvoihin eikä todelliseen tilanteeseen, joten todellinen tilanne voi olla eri kuin tässä työssä esitetty. Oletettavaa kuitenkin on, että työssä käytetyt arvot vastaavat lähes todellisia arvoja. Myös saatavat hyvitykset perustuvat kirjallisuuslähteisiin eivätkä välttämättä vastaa todellista tilannetta tämän työn kuvaamalla tavalla. Neitseellisen muovintuotannon energian kulutuksen oletettiin kuluttavan energiaa saman verran kuin yksinkertaisen HD-PE -muovin valmistus kuluttaa. Kierrätysgranulaatit voivat kuitenkin korvata myös muita neitseellisiä muovilaatuja, joiden valmistamisen energiankulutus on oletettavasti HD-PE -muovin valmistamisen energiankulutusta suuremmat. Tästä johtuen on todennäköistä, että suunnitellut järjestelmät saisivat enemmän hyvityk-

siä kierrätyksen osalta kuin laskennassa on saatu. Tämä tarkoittaisi sitä, että todellisudessa skenaarioiden, joissa muovipakkausjätteiden erilliskeräys järjestetään, ilmastonmuutosvaikutukset voivat olla tämän työn laskelmissa saatuja ilmastonmuutosvaikutuksia pienemmät ja täten vieläkin paremmat kuin tässä työssä on saatu.

9 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli verrata Puhas Oy:n toiminta-alueelle suunnitellun muovipakkausjätteen kiinteistökohtaisen keräyksen ilmastonmuutosvaikutuksia tilanteeseen, jossa muovipakkausjäte ohjataan sekajätteen joukkoon samaisella alueella. Lisäksi tavoitteena oli selvittää muovipakkausjätteen kiinteistökohtaisen keräyksen aiheuttama kustannuslisä jätehuoltoyhtiölle.

Kiinteistökeräys suunniteltiin koskevan joko yhteensä kolmea kuntaa, jolloin keräysalueita oli suunnitellussa kiinteistökeräyksessä yhteensä kuusi, tai vain Joensuun keskustan aluetta. Kiinteistökeräys suunniteltiin järjestettävän kiinteistöille, joissa on vähintään kolme asuinhuoneistoa per kiinteistö. Koko alueella yhteensä keräyspisteitä eli kiinteistöjä, jotka kuuluivat mukaan suunniteltuun kiinteistökohtaiseen keräykseen, oli 1396 kappaletta ja Joensuun keskustan alueella 944 kappaletta. Työssä laskettiin, että keskimäärin yhdestä keräyspisteestä kerätään 15 henkilön jätteet. Työssä oletettiin, että yksi henkilö tuottaa sekajätettä noin 204 kg vuodessa ja kierrättää kiinteistökohtaisessa muovipakkausjätteen keräyksessä 6 kg muovipakkausjätettä vuodessa.

Työssä tehtiin neljä vaihtoehtoista skenaariota kuvaamaan muovipakkausjätteen kiinteistökohtaisen keräyksen toteuttamista. Vaihtoehtoisia skenaariota verrattiin skenaarioon 0, jossa muovipakkausjätteille ei järjestetä erilliskeräystä, vaan muovipakkausjätteet päätyvät sekajätteen mukana polttoon. Skenaariossa 1 muovipakkausjätteet kerättiin kolmen viikon välein ja skenaariossa 2 muovipakkausjätteet kerättiin viikon välein kaikista alueen kiinteistöistä. Skenaariossa 3 ja 4 puolestaan muovipakkausjätteiden erilliskeräys järjestettiin vain Joensuun keskustan alueelle ja skenaariossa 3 muovipakkausjätteet suunniteltiin kerättävän kolmen viikon välein ja skenaariossa 4 pakkaukset suunniteltiin kerättäväksi 6 kertaa vuodessa eli noin kahdeksan viikon välein. Sekajätteet ja sekajätteen joukkoon jäävä muovipakkausjäte oletettiin kerättävän kaikissa skenaarioissa viikon välein.

Työssä oletettiin, että sekajätteen joukossa käsiteltävä muovipakkausjäte ohjattiin Leppävirran ekovoimalaitokseen kaikissa skenaarioissa. Skenaarioissa 1–4 erilliskerätty muovipakkausjäte puolestaan ohjattiin Riihimäen muovinjalostamoon. Ekovoimalaitoksessa

muovipakkausjäte hyödynnettiin energiana. Muovinjalostamolla 70 prosenttia erilliskeräystä muovipakkausjätteestä materiaalihyödynnettiin muovigranulaattien ja -profiilien valmistuksessa ja 30 prosenttia hyödynnettiin energiana.

Päästöjä kullekin skenaariolle muodostui jätteiden keräys-, siirto- ja käsittelyvaiheesta. Muovipakkausjätteiden erilliskeräyksen järjestäminen kasvatti jätteiden keräyksestä ja muovipakkausten käsittelystä aiheutuvia päästöjä. Toisaalta muovipakkausten kierrätyksen järjestämisellä voitiin välttää neitseellisen muovintuotantoa ja polttoon ohjautuvan jätteen osuus pieneni, mikä vähensi poltosta aiheutuvia päästöjä. Jätteiden poltosta poltolaitoksella tuotetusta sähköstä ja kaukolämmöstä toisaalta saatiin päästöhyvityksiä.

Tämän tutkimuksen perusteella ilmastonmuutosvaikutuksilta suotuisin vaihtoehto oli skenaario 4, joka tuotti vuositarkastelulla noin 17 tonnia vähemmän CO₂-ekv- -päästöjä kuin skenaario 0, jossa muovipakkausjätteille ei järjestetty erilliskeräystä. Skenaarion 4 toteuttaminen kasvattaisi jätehuoltoyhtiölle aiheutuvia vuosittaisia kustannuksia noin 26 000 eurolla. Seuraavaksi kannattavin vaihtoehto oli skenaario 3 ja tämän jälkeen skenaario 1. Skenaario 2 osoittautui ilmastonmuutosvaikutuksen suhteen huonoimmaksi vaihtoehdoksi ja oli selkeästi skenaariota 0 huonompi vaihtoehto.

Tuloksia tarkasteltaessa tulee kuitenkin ottaa huomioon tutkimukseen liittyvät epävarmuudet, kuten käytettyjen lähtöarvojen tarkkuus sekä työn rajaukset. Merkittävin epävarmuus liittyy muovinjalostamolla muovipakkausjätteiden kierrätysuhteeseen. Mikäli muovipakkausten kierrätysuhde pienenee, on muovipakkausjättesaannon kasvettava, jotta nettopäästöt pysyvät alhaisempina kuin mitä muovin erilliskeräyksestä ja muovin hyödyntämisestä energiana aiheutuu.

LÄHTEET

Alakangas, E., Hurskainen, M., Laatikainen-Luntama, J. ja Korhonen, J. 2016. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Espoo: Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. 259 s. ISSN 2242-122X (verkkoj.).

Astrup, T., Fruergaard, T. ja Christensen, T.H., 2009. Recycling of plastic: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research*, 27(8). s. 763–772.

Circoplastics 2018. [verkkodokumentti]. [viitattu 5.12.2018]. Saatavissa: <http://www.circoplastics.com/fi/muovigranulaatit/>

Edwards, R., Larive, J-R. ja Rikeard, D. 2014. Well-to-tank Report Version 4.a. Jec Well-to-wheels analysis. European Commission. Joint Research Centre. Institute for Energy and Transport. JRC technical reports. 148 s. ISBN 978-92-79-33888-5. Saatavissa: https://iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/sites/iet.jrc.ec.europa.eu/about-jec/files/documents/report_2014/wtt_report_v4a.pdf

EKJH 2018. Tarjoamme muovipakkausten keräystä. [verkkodokumentti]. [viitattu 7.12.2018]. Saatavissa: https://www.ekjh.fi/Muovi_kampanjasivu.html

Ekokem Oyj 2010. Ympäristölupapäätös nro. 56/2010/1. Dnro ESAVI/81/04.08/2010. [verkkodokumentti]. [viitattu 11.11.2018]. Aluehallintovirasto. Etelä-Suomi. [annettu: 25.11.2010] 72 s. Saatavissa: http://www.avi.fi/documents/10191/56820/esavi_paat_56_2010_1-2010-11-25.pdf

Ekokem Oyj 2016. Ympäristölupapäätös nro. 95/2016/1. Dnro ESAVI/2201/2015. [verkkodokumentti]. [viitattu 12.4.2018]. Aluehallintovirasto. Etelä-Suomi. [julkaistu: 22.4.2016]. 54 s.

Ekokymppi 2018. Ekokymppin jätehuoltomääräykset. [verkkodokumentti]. [viitattu 7.12.2018]. Kainuun jätehuollon kuntayhtymä. Hyv. 27.4.2018. Voimantulo 1.7.2018. 67 s. Saatavissa: https://www.ekokymppi.fi/media/jatehuoltomaaraykset/ekokymppin_jatehuoltomaaraykset_web.pdf

Ekovoimalaitoksen ympäristölupa 2013. Ympäristölupapäätös nro 106/2013/1. ISAVI/17/04.08/2013. [verkkodokumentti]. [viitattu 12.4.2018]. Aluehallintovirasto. Itä-Suomi. [julkaistu: 29.11.2013]. 70 s. Saatavissa: http://www.avi.fi/documents/10191/56910/isavi_paat_106_2013_1-2013-11-29.pdf/e06307a4-abf2-417e-8e81-9c9e84d951d2

Energiateollisuus ry 2018a. Energiavuosi 2017, sähkö. Energiateollisuus ry. [verkkodokumentti]. [viitattu 10.11.2018]. [julkaistu 23.1.2018]. [päivitetty 9.11.2018]. 29 s. Saatavissa: https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/energiavuosi_2017_-_sahko.html#material-view

- Energiateollisuus ry 2018b. Kaukolämpötilasto 2017. Energiateollisuus ry. [verkkodokumentti]. [viitattu 10.11.2018]. [julkaistu 17.9.2018]. 70 s. Saatavissa: https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/kaukolampotilasto.html#material-view
- Eskelinen, H., Haavisto, T., Salmenperä, H. ja Dahlbo, H. 2016. Muovien kierrätyksen tilanne ja haasteet. Helsinki: CLIC INNOVATION OY. CLIC Innovation Raportti nro D4. 1-3. 58 s. ISBN 978-952-5947-90-8.
- Euroopan parlamentti 2018. [verkkodokumentti]. [viitattu 6.8.2018]. [julkaistu 16.4.2018]. Saatavissa: <http://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20170120STO59356/kiertotalouspaketti-eu-n-uudet-tavoitteet-kierratykselle>
- Fortum 2018. Suomalaisten kannattaa kerätä muovipakkaukset kierrätykseen. [verkkodokumentti]. [viitattu 2.10.2018] Saatavissa: <https://www.fortum.fi/media/2018/07/suomalaisten-kannattaa-kerata-muovipakkaukset-kierratykseen>
- Fortum Waste Solutions Oy 2016. Fortum Waste Solutions Oy:n (entinen Ekokem Oyj) ilman laadun ja ympäristön tilan tarkkailun vuosiraportti 2016. [verkkodokumentti]. [viitattu 1.12.2018]. [julkaistu 24.4.2017]. Riihimäki. 18 s. Saatavissa: <https://docplayer.fi/52058748-Fortum-waste-solutions-oy-n-entinen-ekokem-oyj-ilman-laadun-ja-ympariston-tilan-tarkkailun-vuosiraportti-2016.html>
- Hartikainen, H., Katajajuuri, J-M., Krogerus, K., Pulkkinen, H., Saarinen, M., Silvenius, F., Usva, K. ja Yrjänäinen H. 2012. Suositus elintarvikkeiden ilmastovaikutusten arvioimiseksi elinkaariarvioinnilla, LIITE 3: Tukimateriaali laskentasuositukselle. [verkkodokumentti]. [viitattu 10.11.2018]. [julkaistu 7.11.2012]. 90 s. Saatavissa https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/hankkeet/foodprint/laskentasuositus/LIITE%203%20Tukimateriaali%20suositukselle_7.11.2012.pdf
- HSY 2015. Pääkaupunkiseudun seka- ja biojätteen koostumus vuonna 2015. [verkkodokumentti]. [viitattu 9.9.2018]. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä. Helsinki: Edit Prima Oy. Saatavissa: https://www.hsy.fi/sites/Esitteet/EsitteetKatalogi/Raportit/Paakaupunkiseudun_seka-ja_biojätteen_koostumus_vuonna_2015.pdf
- Hämäläinen, T. ja Nummela, E. 2012. Jätehuollon etusijaisjärjestyksen noudattaminen – Suositus elinkaaritarkastelun toteutukseen. [verkkodokumentti]. [viitattu 7.7.2018]. Jätelaitosyhdistys ry. 7.11.2012. Saatavissa: http://vanha.jly.fi/jatehuollon_lca_ohje.pdf
- Järvinen, P. 2016. Muovien kierrätys ja hyötykäyttö Suomessa. Porvoo: Bookwell Oy. 127 s. ISBN 978-952-93-7324-6.
- Jätehuoltomääräykset Lounais-Suomessa 2017. [verkkodokumentti]. [viitattu 7.12.2018]. Lounais-Suomen jätehuoltolautakunta 27.4.2017 § 22 (635-2017). Voimantulo 1.6.2017. 39 s. Saatavissa: <https://www.lsjh.fi/wp-content/uploads/jatehuoltomaaraykset-lounais-suomessa-1.6.2017-alkaen.pdf>
- Kemppi, J. ja Niskanen, A. 2018. Muovipakkausten erilliskeräyksen täydentäminen Keski-Suomen alueella. [verkkodokumentti]. [viitattu 1.10.2018]. LCA Consulting. 75 s.

Saatavissa: https://www.keskisuomi.fi/filebank/25710-Muovipakkausten_erilliskeräyksen_taydentaminen_Keski-Suomen_alueella.pdf

KIVO 2017. Tietoa kotitalouksien jätehuollosta 2017, jätteiden keräys kotitalouksista ja jätelajien vastaanottohinnat. [verkkodokumentti]. [viitattu 12.7.2018]. Suomen kierto-voima. 17 s. Saatavissa: <http://kivo.fi/wp-content/uploads/KIVO-jatemaksut2017.pdf>

Kuronen, H. 2018. Toimitusjohtaja; Savon Nostokuljetus Oy. Puhelinkeskustelu 7.11.2018

L 7.6.2011/646. Jätelaki.

Lazarevic, D., Aoustin, E., Buclet, N. ja Brandt, N. 2010. Plastic waste management in the context of a European recycling society: Comparing resultus and uncertainties in a life cycle perspective. *Resources, Conservation and Recycling* (55). s. 246–259.

LCA Consulting Oy 2017. Erilliskeräyksen optimointi – Ilmastonlämpenemisvaikutukset ja kustannukset, Asiakas: Jätekuikko Oy. Loppuraportti 6.10.2017. [viitattu 15.7.2018]. Saatavissa: <http://publish.kuopio.fi/Kuopio/kokous/2018456120-6-2.PDF>

Lipasto 2017. [online-tietokanta]. [viitattu 1.10.2018]. [päivitetty heinäkuu 2017]. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/>

Martikainen, H. 2016. Lajitteluselvitys, Selvitys sekajätteen koostumuksesta Joensuun asunto-osakeyhtiöissä ja omakotitaloissa. [verkkodokumentti]. [viitattu 3.10.2018]. Puhas Oy. 22 s. Saatavissa: <https://www.puhas.fi/media/liitetiedostot/puhas/tietopankki/lajitteluselvitykset-puhas/lajitteluselvitys2016.pdf>

Martikainen, H., Mikkonen, K. 2014. Lajitteluselvitys, Selvitys sekajätteen koostumuksesta Joensuun asunto-osakeyhtiöissä ja omakotitaloissa. [verkkodokumentti]. [viitattu 3.10.2018]. Puhas Oy. 22 s. Saatavissa: <https://www.puhas.fi/media/liitetiedostot/puhas/tietopankki/lajitteluselvitykset-puhas/lajitteluselvitys2014.pdf>

Moliis, K., Dahlbo, H., Retkin, R. ja Myllymaa, T. 2012. Pohjois-Suomen pakkausjätteiden hyödyntäminen, Elinkaaren aikaiset ympäristö- ja kustannusvaikutukset. Helsinki. Ympäristöministeriön raportteja 26|2012. 79 s. ISBN 978-952-11-4118-8 (PDF).

Motiva 2018. CO₂-päästökertoimet. [Motiva Oy:n www-sivuilla]. [viitattu 10.11.2018]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiankaytto_suomessa/co2-laskentaohje_energiankulutuksen_hiilidioksidipaastojen_laskentaan/co2-paastokertoimet

Myllymaa, T. ja Dahlbo, H. 2012. Elinkaariarviointien käyttö Suomen jätehuollon ympäristövaikutusten tarkastelussa, Yhteenveto Suomen jätehuollon elinkaariarvioinneista ja ohjeita päätöksentekoa varten. Helsinki. Ympäristöministeriön raportteja 24|2012. 85 s. ISBN 978-952-11-4104-1 (PDF).

Myllymaa T., Dahlbo H., Ollikainen M., Peltola S. ja Melanen M. 2005. Menettely jätehuoltovaihtoehtojen ympäristö- ja kustannusvaikutusten elinkaaritarkasteluun. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy. 108 s. ISBN 925-11-1952-7

Myllymaa, T., Moliis, K., Tohka, A., Isoaho, S., Zevenhoven, M., Ollikainen, M. ja Dahlbo, H. 2008. Jätteiden kierrätyksen ja polton ympäristövaikutukset ja kustannukset – jätehuollon vaihtoehtojen tarkastelu alueellisesta näkökulmasta. Helsinki: Edita Prima Oy. 192 s. ISBN 978-952-11-3234-6 (nid.).

Myllymaa, T., Moliis, K., Tohka, A., Rantanen, P., Ollikainen, M. ja Dahlbo, H. 2008a. Jätteiden kierrätyksen ja polton käsittelyketjujen ympäristökuormitus ja kustannukset. Inventaarioraportti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 28|2008. 85 s. ISBN 978-952-11-3251-3 (PDF). ISSN 1796-1726 (verkkoj.).

Myllymaa, T., Tohka, A., Dahlbo, H. ja Tenhunen, J. 2006. Ympäristönäkökulmat jätteen hyödyntämisessä energiana ja materiaalina. Helsinki: Edita Prima Oy. Suomen Ympäristökeskus 12|2006. Valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2016, Taustaselvitys Osa III. 72 s. ISBN 952-11-2391-5 (PDF). ISSN 1796-1726 (verkkoj.).

Petra jätevertailu. Jätteen määrän laskenta ja arviointi yrityksessä. [verkkodokumentti] [viitattu 28.9.2018]. 2 s. Saatavissa: www.petrajatevertailu.fi/phj/jatteen_maara_ja_laskenta.pdf

Plastics Europe 2015. Plastics – the Facts 2015, An analysis of European plastics production, demand and waste data. [verkkodokumentti]. [ladattu 9.11.2015]. [viitattu 1.1.2018]. Saatavissa: <http://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/93-plastics-facts-2015>

Plastics Europe 2016. Plastics – the Facts 2016, An analysis of European plastics production, demand and waste data. [verkkodokumentti]. [ladattu: 20.10.2016]. [viitattu 1.1.2018]. Saatavissa: <http://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/3-plastics-facts-2016>

Plastics Europe 2017. Plastics – the Facts 2017, An analysis of European plastics production, demand and waste data. [verkkodokumentti]. [viitattu 28.2.2018]. Saatavissa: www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf

Polttoaineluokitus 2018. [taulukko -tiedosto]. [viitattu 2.10.2018]. Tilastokeskus. Saatavissa: https://www.stat.fi/static/media/uploads/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus_2018.xlsx

Pöyry 2015. Jätteiden energiahyödyntäminen Suomessa. Loppuraportti. [viitattu 11.11.2018]. Saatavissa: https://energia.fi/files/405/ET_Jatteiden_energiakaytto_Loppuraportti_161015.pdf

Rauman Voima Oy 2013. Ympäristölupapäätös nro. 4/2013/1. Dnro ESAVI/52/04.08/2011. [verkkodokumentti]. [viitattu 3.12.2018]. Aluehallintovirasto. Etelä-Suomi. [julkaistu: 4.1.2013]. Saatavissa: http://www.avi.fi/documents/10191/56814/esavi_paatos_4_2013_1-2013-01-04.pdf

Rinki 2018. Pakkauskierätys Suomessa. [Suomen Pakkauskierätys RINKI Oy:n www-sivuilla] [viitattu: 27.2.2018]. Saatavissa: <https://rinkiin.fi/kotitalouksille/pakkauskieratys-suomessa/>

Rinki 2018a. Yritys vastaa pakkausjätteen kuljetuksesta kiinteistöltään [Suomen Pakkauskierätys RINKI Oy:n www-sivuilla] [viitattu: 5.12.2018]. Saatavissa: <https://rinkiin.fi/yrityksille/yrityspakkaukset/>

Ross, S. ja Evans, D. 2003. The environmental effect of reusing and recycling a plastic-based packaging system. *Journal of Cleaner Production*, 11(5), s. 561–571.

Savo-Pielisen jätelautakunta. 2017. Kunnalliset jätehuoltomääräykset. [verkkodokumentti]. [viitattu 1.10.2018]. Savo-Pielisen jätelautakunta. Hyv. 23.11.2016 § 22. Voimantulo 1.1.2017. 103 s. Saatavissa: http://www.jatelautakunta.fi/userfiles/file/Jatehuoltomaaraykset/Kunnalliset_jatehuoltomaaraykset_2017_web.pdf

SFS-EN ISO 14040:2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. 2. Painos. Suomen standardoimisliitto SFS. 49 s.

SFS-EN ISO 14044:2006. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja. 2. Painos. Suomen standardoimisliitto SFS. 109 s.

Suomen Uusiomuovi Oy. 2018. [Suomen Uusiomuovi Oy:n www-sivuilla]. [viitattu 28.2.2018]. Saatavissa: http://www.uusiomuovi.fi/fin/tuottajavastuu/tuottajavastuulaki_lyhyesti/mika_on_muovipakkaus/

Suomen Uusiomuovi Oy. 2018a. [Suomen Uusiomuovi Oy:n www-sivuilla]. [viitattu 2.2.2018]. Saatavissa: http://www.uusiomuovi.fi/fin/tuottajavastuu/liity_tuottajayhteisoon/

Tilastokeskuksen PX-Web-tietokannat. 2017. [viitattu 7.7.2018]. Saatavissa: http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__asu__asas/stat-fin_asas_pxt_001.px/?rxid=ccd223b8-c387-46ad-af02-30c4a2aa7920

Todd, J. ja Curran, M. 1999. Streamlined life cycle assessment: A final report from the setac – North America streamlined LCA workgroup. Society of Environmental Toxicology and Chemistry. Setac Press, Pensacola 6/99. 31 s.

Uusiouutiset 2017a. [Uusiouutisten www-sivuilla]. Julkaistu 31.3.2017. [viitattu 28.2.2018]. Saatavissa: www.uusiouutiset.fi/miten-hyvin-muovipakkaus-on-pestava/

Uusiouutiset 2017b. [Uusiouutisten www-sivuilla]. Julkaistu 31.3.2017. [viitattu 28.2.2018]. Saatavissa: <http://www.uusiouutiset.fi/muovipakkausjätteen-laatu-yllatti/>

Vanninen, S. 2018. Muovipakkausten kierrättämisessä läpimurto – kiinteistöjen muovinkeräyspisteiden määrä kolminkertaistuu tänä vuonna. [Keski-suomalainen www-sivuilla]. Uutisuomalainen. Keski-suomalainen. [viitattu 6.8.2018]. [julkaistu 6.8.2018]. Saata-

vissa: <https://www.ksml.fi/kotimaa/Muovipakkausten-kierr%C3%A4tt%C3%A4missess%C3%A4-l%C3%A4pimurto-%E2%80%93-kiinteist%C3%B6jen-muovinker%C3%A4yspisteiden-m%C3%A4%C3%A4r%C3%A4-kolminkertaistunutt%C3%A4n%C3%A4-vuonna/1236307>

Vesanto, P. 2006. Jätteenpolton parhaan käytettävissä olevan tekniikan (BAT) vertailuasiakirjan käyttö suomalaisessa toimintaympäristössä. [verkkodokumentti]. Helsinki: Edita Prima Oy. SYKE. 102 s. ISBN 952-11-2309-5.

VNa 3.7.2014/518. Valtioneuvoston asetus pakkauksista ja pakkausjätteistä.

Vuosikertomus 2017. Puhas Oy:n vuosikertomus. Julkaisija: Puhas Oy. 38 s. Saatavissa: https://www.puhas.fi/media/liitetiedostot/puhas/tietopankki/puhas_vuosikertomus_2017_web.pdf

Ympäristö 2014. [verkkodokumentti]. [julkaistu 6.10.2014]. [Päivitetty 5.7.2017]. [viitattu 5.2.2018] Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa/Valvonta/Jatteenpoltto_ja_rinnakkaispolttolaitoks\(31207\)](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Ymparistolupa/Valvonta/Jatteenpoltto_ja_rinnakkaispolttolaitoks(31207))

Ympäristöministeriö 2018. Kysymyksiä ja vastauksia muoveista. [Ympäristöministeriön www-sivut]. [viitattu 7.8.2018]. [julkaistu 22.3.2018]. [päivitetty 16.7.2018]. Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ymparisto/Muovit/Kysymyksiä_ja_vastauksia_muoveista\(46356\)](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ymparisto/Muovit/Kysymyksiä_ja_vastauksia_muoveista(46356))

Liite I. Puhas Oy:ltä saatu ajosuunnitelma.

Alue	Kiinteistöjen lukumäärä	Keräys kierrosten lukumäärä	Kertyneen reitin pituus [km]	Ajoaika		Kokonaisaika		Pisteiden välinen etäisyys [km]	Pisteiden väliseen matkaan kuluva aika [min]	Pisteelle siirtymiseen ja astian tyhjennykseen kuluva aika [min]
				[h]	[min]	[h]	[min]			
JNS	944	7	278,5	9	17	43	22	0,295	0,59	2,756
JNS-Marjala	1139	8	337	11	7	52	15	0,296	0,586	2,752
JNS-Marjala-Lehmo	1225	9	375,2	12	28	56	42	0,306	0,611	2,777
JNS-Marjala-Lehmo-Niittylahti	1277	9	431	13	44	59	51	0,338	0,645	2,812
JNS-Marjala-Lehmo-Niittylahti-Ylämylly	1354	10	495,6	15	16	64	10	0,366	0,677	2,843
JNS-Marjala-Lehmo-Niittylahti-Ylämylly-Hammaslahti	1396	10	530,1	15	58	66	23	0,38	0,686	2,853
JNS-Marjala-Lehmo-Ylämylly	1302	9	411,9	13	31	60	32	0,316	0,623	2,79

Liite II. Jätteidenkeräysvaiheen päästöt

Keräysvaiheen päästölaskenta on mallinnettu Myllymaan ym. (2005) raportissa esitetyn LCA-WASTE-menettelyn mukaan.

Jätteiden keräysvaiheen CO₂-ekv. -päästöt alueella vuodessa tuotettua muovipakkausjätetonnin kohden, sisältää keräysvaiheessa ajossa muodostuneet päästöt, eli polttoaineen palamisesta aiheutuvat päästöt, sekä polttoaineen valmistuksesta aiheutuvat päästöt, jotka lasketaan polttoaineen kulutuksen mukaan. Sekä polttoaineen palamisesta että valmistuksesta aiheutuvat päästöt lasketaan ajoneuvon työajan mukaan. Jätetonnikohtaisen työajan laskemiseksi eri vaiheissa lasketaan ensin työvaiheiden kiinteistökohtainen aika jäteastioiden tyhjentämiseksi t_{ta} sekä kiinteistöjen väliselle siirtymälle t_{sa} sekä lisäksi yhdellä keräyskierroksella tapahtuvan kuorman purkuaika t_{ka} .

Jäteastioiden tyhjentämiseen kuluva aika t_{ta} kiinteistöllä riippuu kiinteistöllä olevien jäteastioiden lukumäärästä ja koosta

$$t_{ta,600} = 0,9488 * n_{600} + 0,9517 \quad (1)$$

$$t_{ta,240} = 0,0035 * n_{240}^4 - 0,05 * n_{240}^3 + 0,2354 * n_{240}^2 + 0,2932 * n_{240} + 0,8467 \quad (2)$$

$$t_{ta,200} = 0,6626 * n_{200} + 0,1995 \quad (3)$$

jossa t_{ta} = astioiden tyhjentämiseen kuluva aika [min/kiinteistö]
 n = astioiden lukumäärä
 600 = 600 litrainen jäteastia
 240 = 240 litrainen jäteastia
 200 = 200 litrainen jäteastia (Myllymaa ym. 2005, 98).

Yhtälöissä 1–3 esitetyt lukuarvot ovat yksikössä minuuttia per kiinteistö (esim. yhtälö 1: 0,9488 min/kiinteistö), mutta näitä ei ole kirjoitettu yhtälöön luettavuuden parantamiseksi. Skenaariossa kuluva aika seka- ja muovipakkausjätteiden astioiden tyhjentämiseen on laskettu yhtälöillä 1–3 ja tulokset on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Jäteastioiden tyhjennysaika skenaarioittain ja jätelajeittain.

Skenaario	Kiinteistöllä muodostuva jätemäärä	Jätelaji	Jätemäärä tyhjennystiheydellään kiinteistössä [kg]	Keräysastia-tilavuus (täyttöaste 75 %) [m ³]	Valittu astia koko	Astioiden lukumäärä laskennasta	Astioiden lukumäärä käytännössä	Jäteastioiden tyhjennysaika [min/kiinteistö]
Skenaario 0	koko alue	sekajäte	57,7	1,03	600	1,7	2	2,8
Skenaario 1	koko alue	sekajäte	56,0	0,98	600	1,6	2	2,8
		muovi	4,9	0,19	240	0,8	1	1,3
Skenaario 2	koko alue	sekajäte	56,0	0,98	600	1,6	2	2,8
		muovi	1,7	0,06	200	0,3	1	0,9
Skenaario 3	JNS keskusta	sekajäte	59,6	1,04	600	1,7	2	2,8
		muovi	5,2	0,20	240	0,8	1	1,3
		lopun	50,0	0,89	600	1,5	2	2,8
Skenaario 4	JNS keskusta	sekajäte	59,6	1,04	600	1,7	1	2,8
		muovi	15,7	0,60	600	1,0	1	1,9
		lopun	50,0	0,89	600	1,5	2	2,8

Astioiden tyhjentämisessä kuluva kokonaisaika T_{ta} lasketaan taulukon 1 arvojen mukaan kullekin skenaariolle. Astioiden tyhjentämisessä kuluva kokonaisaika lasketaan skenaarioissa sekä sekajäte- että muovipakkaustonnin kohti kaavalla 4.

$$T_{ta} = \frac{t_{ta} * f}{60 \text{ min} * a} * \frac{(100 * \varphi)}{100} \quad (4)$$

jossa T_{ta} = astioiden tyhjentämisessä kuluva kokonaisaika [h/t]
 f = tyhjennysten määrä vuodessa, tyhjennystiheys [a^{-1}]
 a = kiinteistöllä tuotetun jätteen määrä [t/a, kiinteistö]
 φ = tyhjäkäyntiä kuvaava hukkakerroin (20%)

Jäteastioiden tyhjentämisessä kuluva tonnikohtainen työaika on esitetty taulukossa

Taulukko 2. Jäteastioiden tyhjentämisessä kuluva kokonaisaika kerättyä jätetonnia kohti.

Skenaario	Skenaarion alue	Jätelaji	Tyhjennysten määrä vuodessa	Tta, Astioiden tyhjentämisessä kuluva kokonaisaika [h/t]
Skenaario 0	koko alue	sekajäte	52	0,99
Skenaario 1	koko alue	sekajäte	52	1,02
		muovi	18	5,42
Skenaario 2	koko alue	sekajäte	52	1,02
		muovi	52	10,16
Skenaario 3	JNS keskusta	sekajäte	52	0,96
		muovi	18	5,09
	loput	sekajäte	52	1,14
Skenaario 4	JNS keskusta	sekajäte	52	0,96
		muovi	6	2,43
	loput	sekajäte	52	1,14

Kiinteistöjen väliseen siirtymäaikaan kuluva aika riippuu kiinteistöjen välisestä etäisyydestä, jotka ovat Joensuun keskustan alueella noin 240 metriä ja alueella 2 kiinteistöjen noin 465 metriä. Joensuun keskustan alueella kiinteistöjä 944 ja alueella 2 kiinteistöjä on 452. Kiinteistöjen välinen siirtymäaika muuttuu polynomisesti etäisyyden ollessa suurempi kuin 61 metriä, mutta pienempi tai yhtä suuri kuin 900 metriä

$$t_{sa} = 10^{-9} * d^3 - 4 * 10^6 * d^2 + 0,0058 * d + 0,3375 \quad (5)$$

jossa t_{sa} = keräyspisteiden väliseen siirtymäaikaan kuluva aika [min/kiinteistö]
 d = keräyspisteiden välinen etäisyys [m] (Myllymaa ym. 2005, 99).

Yhtälössä 5 esitetyt lukuarvot ovat yksikössä ”minuuttia per metri, kiinteistö” (esim. 0,9488 min/kiinteistö) sekä vakio 0,3375, jonka yksikkö on min/kiinteistö, mutta näitä ei ole kirjoitettu yhtälöön luettavuuden parantamiseksi. Yhtälöllä 5 on laskettu Joensuun keskustan ja alueen 2 kahden kiinteistön väliseen siirtymään kuluva aika. Skenaarioissa 0–2 kiinteistöjen välinen siirtymä aika on laskettu Joensuun keskustan ja alueen 2 kiinteistöjen välisen siirtymän painotettuna keskiarvona. Tulokset on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Kahden kiinteistön väliseen siirtymään kuluva aika.

Skenaario	Skenaarion alue	Jätelaji	t_{sa} , Kiinteistöjen väliseen siirtymääjään kuluva aika [min/kiinteistö]
Skenaario 0	koko alue	sekajäte	1,76
Skenaario 1	koko alue	sekajäte	1,76
		muovi	1,76
Skenaario 2	koko alue	sekajäte	1,76
		muovi	1,76
Skenaario 3	JNS keskusta	sekajäte	1,52
		muovi	1,52
	lopun	sekajäte	2,27
Skenaario 4	JNS keskusta	sekajäte	1,52
		muovi	1,52
	lopun	sekajäte	2,27

Kiinteistöjen välisissä siirtymissä kuluva jätetonnikohtainen kokonaisaika T_{sa} lasketaan taulukon 3 arvojen mukaan kullekin skenaariolle sekä sekajäte- ja muovipakkaustonnin kohti kaavalla 6

$$T_{sa} = \frac{t_{sa} * f}{60 \text{ min} * a} * \frac{(100 * \varphi)}{100} \quad (6)$$

missä T_{sa} = kiinteistöjen välisessä siirtymääjässä kuluva kokonaisaika [h/t]
(Myllymaa ym. 2005, 100).

Kiinteistöjen välisessä siirtymässä kuluva jätetonnikohtainen työaika on esitetty taulukossa 4 kullekin skenaariolle ja muovipakkaus- ja sekajätteelle erikseen:

Taulukko 4. Kiinteistöjen välisessä siirtymässä kuluva jätetonnikohtainen työaika.

Skenaario	Skenaarion alue	Jätelaji	T_{sa} , Kiinteistöjen väliseen siirtymääjään kuluva aika [h/t]
Skenaario 0	koko alue	sekajäte	0,61
Skenaario 1	koko alue	sekajäte	0,63
		muovi	7,19
Skenaario 2	koko alue	sekajäte	0,63
		muovi	20,77
Skenaario 3	JNS keskusta	sekajäte	0,51
		muovi	5,83
	lopun	sekajäte	0,91
Skenaario 4	JNS keskusta	sekajäte	0,51
		muovi	1,94
	lopun	sekajäte	0,91

Jäteauton yhdellä keräyskierroksella saatavan kuorman tyhjentämisessä purkupisteeseen kuluva aika t_{ka} lasketaan keskimääräisen tyhjennysajon etäisyyden ja keskinopeuden suhteena

$$t_{ka} = \frac{h}{s} \quad (8)$$

jossa t_{ka} = keräyspisteeltä kuorman purkupisteeseen kuluva ajoaika [h]

h = keräyspisteen ja purkupisteen välinen etäisyys [km]

s = keräysajoneuvon keskinopeus [km/h] (Myllymaa ym. 2005, 100).

Purkupisteelle ajon on oletettu olevan puoliksi katuajoa, jonka keskinopeus on 30 km/h ja puoliksi maantieajoa, jonka keskinopeuden on oletettu olevan 80 km/h. Joensuun keskustan alueelta keräyspisteen ja purkupisteen välinen etäisyys on yhteensä yhdellä kierroksella noin 7 km ja alueelta 2 noin 14 kilometriä. Skenaariossa 0–2 koko alueelta purkupisteelle ajon pituus on keskimäärin noin 9 kilometriä. Keräyspisteeltä kuorman purkupisteeseen kuluva ajoaika lasketaan katu- ja maantieosuuksille erikseen ja tulokset esitetään taulukossa 5.

Taulukko 5. Keräyspisteeltä kuorman purkupisteeseen kuluva ajoaika lasketaan katu- ja maantieosuuksille

Skenaario	Skenaarion alue	Jätelaji	t_{ka} , keräyspisteeltä kuorman purkupisteeseen kuluva ajoaika [h] katuajo	t_{ka} , keräyspisteeltä kuorman purkupisteeseen kuluva ajoaika [h] maantieajo
Skenaario 0	koko alue	sekajäte	0,15	0,06
Skenaario 1	koko alue	sekajäte	0,15	0,06
		muovi	0,15	0,06
Skenaario 2	koko alue	sekajäte	0,15	0,06
		muovi	0,15	0,06
Skenaario 3	JNS keskusta	sekajäte	0,12	0,04
		muovi	0,12	0,04
	loput	sekajäte	0,23	0,09
Skenaario 4	JNS keskusta	sekajäte	0,12	0,04
		muovi	0,12	0,04
	loput	sekajäte	0,23	0,09

Tyhjennysajon jätetonnikohtainen kokonaisaika T_{ka} lasketaan yhtälöllä 9

$$T_{ka} = \frac{t_{ka} * \lambda}{l} * \frac{(100 * \varphi)}{100} \quad (9)$$

missä T_{ka} = kuorman purkupisteelle tapahtuvan kuljetusajon kokonaisaika [h/t]
 λ = kuorman purkuaika yhdelle kuormalle [h]
 l = kuorman koko [t] (Myllymaa ym. 2005, 100).

Kuorman purkuaika aikakissa skenaariossa ja kaikille jätteille oletettu olevan 0,17 tuntia eli 10 minuuttia. Tulokset tyhjennysajon jätetonnikohtaisesta kokonaisajasta T_{ka} taulukossa 6.

Taulukko 6. Tyhjennysajon jätetonnikohtainen kokonaisaika T_{ka}

Skenaario	Skenaarion alue	Jätelaji	T_{ka} , keräyspisteeltä kuorman purkupisteeseen kuluva kokonaisaika [h/t] katuajo	T_{ka} , keräyspisteeltä kuorman purkupisteeseen kuluva kokonaisaika [h/t] maantieajo
Skenaario 0	koko alue	sekajäte	0,08	0,05
Skenaario 1	koko alue	sekajäte	0,08	0,06
		muovi	0,62	0,43
Skenaario 2	koko alue	sekajäte	0,08	0,06
		muovi	1,51	1,06
Skenaario 3	JNS keskusta	sekajäte	0,06	0,05
		muovi	0,47	0,35
	lopput	sekajäte	0,13	0,08
Skenaario 4	JNS keskusta	sekajäte	0,06	0,05
		muovi	0,19	0,14
	lopput	sekajäte	0,13	0,08

Ajoneuvon käyttämän polttoaineen palamisesta aiheutuva ominaispäästökerroin jäteasteiden p_{ta} tyhjennykselle, p_{sa} kiinteistöjen väliselle siirtymälle sekä p_{ka} purkupisteeseen ajolle lasketaan laskemalla ensin ajoneuvon tuottama päästö E_x tonnikilometriä kohden kussakin vaiheessa yhtälöllä 10. Ajoneuvon kuluttama polttoainemäärä tonnikilometriä kohden, K_x , lasketaan vastaavalla yhtälöllä 11.

Ajoneuvon tuottama päästö E_x ja kulutus K_x lasketaan kullekin vaiheelle erikseen eli E_{ta} , E_{sa} , E_{ka} , K_{ta} , K_{sa} ja K_{ka} .

$$E_{x\ ta,sa,ka} = \left(e_a + \left(\frac{e_b - e_a}{l_c} * l_{x\ ta,sa,ka} \right) \right) / l_{x\ ta,sa,ka} \quad (10)$$

jossa E_x = Päästö tonnikipometriä kohden kuormalla x [g/tkm]
 e_b = Täyden auton päästö ajoneuvokilometriä kohden [g/km]
 e_a = Tyhjän auton päästö ajoneuvokilometriä kohden [g/km]
 l_c = Auton kantavuus [t]
 l_x = Kuorma x [t]
 ta = astioiden tyhjennysvaihetta kuvaava alaindeksi
 sa = kiinteistöjen välistä siirtymää kuvaava alaindeksi
 ka = kuorman purkupaikalle tapahtuvaa ajoa kuvaava alaindeksi (Lipasto 2017)

$$K_{x\ ta,sa,ka} = \left(b_a + \left(\frac{b_b - b_a}{l_c} * l_{x\ ta,sa,ka} \right) \right) / l_{x\ ta,sa,ka} \quad (11)$$

jossa K_x = Kulutus tonnikipometriä kohden kuormalla x [g/tkm]
 b_b = Täyden auton kulutus ajoneuvokilometriä kohden [g/km]
 b_a = Tyhjän auton kulutus ajoneuvokilometriä kohden [g/km]

Laskennassa käytetyt päästökertoimet e_b ja e_a sekä kulutuskertoimet k_b ja k_a Lipaston (2017) tietokannasta ja ne on esitetty taulukossa 7. Pakkaavan keräysauton kantavuus on 9 tonnia.

Taulukko 7. Laskennassa käytetyt päästö- ja kulutuskertoimet ajoneuvotyypeittäin (Lipasto 2017).

Ajoneuvotyyppi	Päästötaso	Ajo	CO ₂ -ekv. [g/km]		Kulutus [g/km]	
			tyhjä	täysi	tyhjä	täysi
Suuri jakelukuorma-auto, kokonaisuudessa 15 t	EURO VI (2015)	Maantieajo	378	449	129	154
		Katuajo	472	681	162	235

Laskennassa käytetään eri kuormapainoja tilanteesta riippuen (Myllymaa ym. 2005). Laskennassa käytetyt kuormapainot on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. Laskennassa käytetyt kuormapainot eri vaiheissa.

	Sk 0	Sk 1		Sk 2		Sk 3			Sk 4		
	koko alue	koko alue		koko alue		JNS		loput	JNS		loput
	sj	sj	muovi	sj	muovi	sj	muovi	sj	sj	muovi	sj
Kuorma jäteautossa yhdellä keräyskierroksella [t]	5,0	4,8	0,63	4,8	0,26	5,5	0,73	3,8	5,5	1,8	3,8
Laskennassa käytetyt kuormapainot											
T _{ta} -astioiden tyhjentäminen, kuorma [t]	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
T _{sa} -kiinteistöjen välinen siirtymä, kuorma [t]	5,0	4,8	0,63	4,8	0,26	5,5	0,73	3,8	5,5	1,8	3,8
T _{ka} -purkupisteelle ajo, kuorma [t]	5,0	4,8	0,63	4,8	0,26	5,5	0,73	3,8	5,5	1,8	3,8

Taulukossa 8, ja myöhemmin, lyhenne ”sj” tarkoittaa sekajätettä ja ”Sk” tarkoittaa skenaariota. Ajoneuvon tuottama päästö tonnikipometriä kohden sekä ajoneuvon kulutus tonnikipometriä kohden on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Keräysajoneuvon tuottama päästö tonnikilometriä kohden sekä ajoneuvon kulutus tonnikilometriä kohden.

	Skenaario 0	Skenaario 1		Skenaario 2		Skenaario 3			Skenaario 4		
	koko alue	koko alue		koko alue		JNS		lopit	JNS		lopit
	sekajäte	sj	muovi	sj	muovi	sj	muovi i	sj	sj	muovi i	sj
Ajoneuvon tuottama päästö tonnikilometriä kohden E_x [g/tkm]											
E_{ta} [g/tkm]	75,6	75,6	75,6	75,6	75,6	75,6	75,6	75,6	75,6	75,6	75,6
E_{sa} [g/tkm]	118,1	121,0	772,3	121,0	1860,5	109,7	667,5	146,9	109,7	281,0	146,9
$E_{ka,maantie}$ [g/tkm]	84,0	86,3	608,2	86,3	1480,4	77,2	524,2	107,0	77,2	214,5	107,0
$E_{ka,katuajo}$ [g/tkm]	118,1	121,0	772,3	121,0	1860,5	109,7	667,5	146,9	109,7	281,0	146,9
Ajoneuvon kulutus tonnikilometriä kohden K_x [g/tkm]											
K_{ta} [g/tkm]	26,1	26,1	26,1	26,1	26,1	26,1	26,1	26,1	26,1	26,1	26,1
K_{sa} [g/tkm]	40,7	41,7	265,3	41,7	638,9	37,8	229,3	50,6	37,8	96,6	50,6
$K_{ka,maantie}$ [g/tkm]	28,7	29,5	207,6	29,5	505,0	26,4	178,9	36,6	26,4	73,3	36,6
$K_{ka,katuajo}$ [g/tkm]	40,7	41,7	265,3	41,7	638,9	37,8	229,3	50,6	37,8	96,6	50,6

Ajoneuvon ominaispäästökerroin jäteastioiden p_{ta} tyhjennykselle, p_{sa} kiinteistöjen väliselle siirtymälle sekä p_{ka} purkupisteeseen ajolle saadaan yhtälöllä 12. Ominaiskulutuskerroin k saadaan vastaavalla yhtälöllä 13:

$$p_{ta,sa,ka} = E_{ta,sa,ka} * S_{ta,sa,ka} * l_{x ta,sa,ka} \quad (12)$$

jossa p = ominaispäästökerroin [g/h]

$$k_{ta,sa,ka} = K_{ta,sa,ka} * S_{ta,sa,ka} * l_{x ta,sa,ka} \quad (13)$$

jossa k = ominaiskulutuskerroin [g/h]

Keskinopeus katuajossa 30 km/h ja maantieajossa 80 km/h. Ominaispäästökertoimet ja ominaiskulutuskerroimet on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10. Keräysajoneuvon ominaispäästökertoimet ja ominaiskulutuskertoimet.

	Skenaario 0	Skenaario 1		Skenaario 2		Skenaario 3		Skenaario 4			
	koko alue	koko alue		koko alue		JNS		loput	JNS		loput
	sekajäte	seka-jäte	muovi	seka-jäte	muovi	seka-jäte	muovi	seka-jäte	seka-jäte	muovi	seka-jäte
Ajoneuvon ominaispäästökerroin p [kg/h]											
p_{ta}	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
p_{sa}	18	18	15	18	14	18	15	17	18	15	17
$p_{ka,maantie}$	33	33	31	33	30	34	31	33	34	31	33
$p_{ka,katuajo}$	18	18	15	18	14	18	15	17	18	15	17
Ajoneuvon ominaiskulutuskerooin [kg/h]											
k_{ta}	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
k_{sa}	6	6	5	6	5	6	5	6	6	5	6
$k_{ka,maantie}$	11	11	10	11	10	12	10	11	12	11	11
$k_{ka,katuajo}$	6	6	5	6	5	6	5	6	6	5	6

Ajoneuvon käyttämän polttoaineen valmistuksesta aiheutuvat päästöt p_{va} saadaan kertomalla kulutettu polttoaineen määrä polttoaineen valmistuksesta aiheutuvalla $CO_2\text{-ekv.}$ -päästökertoimella 648 g/kg polttoainetta ja tulokset on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Ajoneuvon käyttämän polttoaineen valmistuksesta aiheutuvat päästöt p_{va} .

	Skenaario 0	Skenaario 1		Skenaario 2		Skenaario 3		Skenaario 4			
	koko alue	koko alue		koko alue		JNS		loput	JNS		loput
	sj	sj	muovi	sj	muovi	sj	muovi	sj	sj	muovi	sj
Ajoneuvon kuluttaman polttoaineen valmistuksen ominaispäästökerroin p_{va} [g/h]											
$p_{va,ta}$	2 624	2 624	2 624	2 624	2 624	2 624	2 624	2 624	2 624	2 624	2 624
$p_{va,sa}$	3 933	3 910	3 249	3 910	3 190	4 010	3 265	3 751	4 010	3 438	3 751
$p_{va,ka,maantie}$	7 403	7 382	6 778	7 382	6 724	7 473	6 793	7 237	7 473	6 951	7 237
$p_{va,ka,katuajo}$	3 933	3 910	3 249	3 910	3 190	4 010	3 265	3 751	4 010	3 438	3 751

Kerästyössä syntyvien päästöjen kokonaismäärä (P) kiinteistöltä kerättävää jätetonnina kohti voidaan laskea yhtälöllä 14 palamisessa syntyville päästöille ja yhtälöllä 15 polttoaineen valmistuksesta aiheutuvilla päästöillä.

$$P_{\text{palaminen}} = T_{ta} * p_{ta} + T_{sa} * p_{sa} + T_{ka} * p_{ka} \quad (14)$$

jossa P = jätteiden keräyksessä yhteensä syntyvät päästöt [g/t]
 palaminen = polttoaineen palamisesta aiheutuvat päästöt

$$P_{\text{valmistus}} = T_{\text{ta}} * p_{\text{va,ta}} + T_{\text{sa}} * p_{\text{va,sa}} + T_{\text{ka}} * p_{\text{va,ka}} \quad (15)$$

jossa valmistus = polttoaineen valmistuksesta aiheutuvat päästöt (Myllymaa ym. 2005, 97)

Keräystyössä muodostuneiden päästöjen kokonaismäärät palamisesta, valmistuksesta ja yhteensä on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Keräystyössä muodostuneiden päästöjen kokonaismäärät palamisesta, valmistuksesta ja yhteensä

	Sk 0		Sk 1		Sk 2		Sk 3			Sk 4	
	koko alue	koko alue		koko alue		JNS		lopun	JNS		lopun
	sj	sj	muovi	sj	muovi	sj	muovi	sj	sj	muovi	sj
$P_{\text{palaminen}}$ [kg/t]	26	26	191	26	472	23	163	33	23	66	33
$P_{\text{valmistus}}$ [kg/t]	6	6	43	6	105	5	36	7	5	15	7
$P_{\text{yhteensä}}$ [kg/t]	31	32	234	32	576	28	200	41	28	81	41

Taulukossa 12 on esitetty päästöjen kokonaismäärät kullekin skenaariolle ja jätejakeelle. Sekäjätekuhjetusten päästöt allokoidaan muovipakkausjätteelle massaperustaisesti. Muovipakkausjätteen keräyksestä aiheutuvat päästöt lasketaan päästökertoimen ja kyseisessä kuljetuksessa kuljetettavan muovinmäärän tulona, jolloin saadaan skenaariossa kulkevan muovin päästöt kustakin kuljetuksista. Kuljetuksista aiheutuvat päästöt skenaarioittain summataan yhteen ja jaetaan vuodessa alueella syntyvällä muovipakkausjättemäärällä, jolloin saadaan muovipakkausjätetonnei kohtaiset päästöt. Tonnikohtaiset päästöt sekä keräysvaiheesta aiheutuneet kokonaispäästöt on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13. Muovipakkausjätetonnei kohtaiset päästöt sekä kokonaispäästöt jätteiden keräysvaiheesta skenaarioittain.

	Skenaario 0	Skenaario 1	Skenaario 2	Skenaario 3	Skenaario 4
Keräyksestä aiheutuvat CO ₂ -ekv. - päästö skenaarioittain yhteensä [t]	19	44	86	34	24
Keräyksestä aiheutuvat CO ₂ -ekv. - päästö skenaarioittain yhteensä muovijätetonnei kohti [kg/t]	31	73	143	57	40

Liite III. Siirtokuljetukset

Siirtokuljetuksen CO₂-ekv. -päästöjen laskenta pisteiden A ja B väliseltä edestakaiselta matkalta maantiekuljetuksessa, lasketaan osakuormalle ja paluun tyhjälle kuormalle omissa vaiheissaan. Kuljetuksen päästöihin sisällytetään polttoaineen valmistuksen päästöt sekä polttoaineen palamisesta aiheutuvat päästöt. Maantieajon yksikköpäästökertoimet g/tkm tarkastelulle osakuormalle lasketaan liitteen II yhtälöllä 10 ja kulutuskertoimet liitteen II yhtälöllä 11. Osakuormat muovipakkausjätteen sekä sekajätteen siirtokuljetuksiin saadaan kuljetusauton tilavuudesta sekä jätteen tilavuuspainosta. Muovipakkausjätteen tilavuuspaino siirtokuljetuksessa on 0,14 t/m³, sekajätteen tilavuuspaino on 0,35 t/m³ ja sekajätteen, jossa ei ole erilliskerättyä muovipakkausjätettä, tilavuuspaino on 0,36 t/m³. Sekajättekuljetuksessa ja muovipakkausjättekuljetuksessa käytettävän auton tilavuus oletetaan olevan 90 m³.

Taulukossa 1 esitetään kuormapainot, kuljetettava jätemäärä ja ajettavien kuormien määrä vuodessa eri skenaarioissa.

Taulukko 1. Kuormapainot, kuljetettava jätemäärä ja ajettavien kuormien määrä vuodessa eri skenaarioissa.

Skenaario	Jätelaji	Kuljetettava jätemäärä vuodessa [t]	Kuorman paino jätteelle [t]	Ajettavien kuormien määrä vuodessa
Skenaario 0	Sekajäte	4 191	31,5	134
Skenaario 1	Sekajäte	4 068	32,1	127
	Erilliskerätty muovipakkausjäte	123	12,6	10
Skenaario 2	Sekajäte	4 068	32,1	127
	Erilliskerätty muovipakkausjäte	123	12,6	10
Skenaario 3	Sekajäte	4 102	31,9	129
	Erilliskerätty muovipakkausjäte	89	12,6	8
Skenaario 4	Sekajäte	4 102	31,9	129
	Erilliskerätty muovipakkausjäte	89	12,6	8

Kuljetussuorite jätteen käsittelylaitokseen saadaan osakuorman ja etäisyyden tulona. Päästöt osakuormalle saadaan päästö tonnikipometriä kohden osakuormalla ja kuljetussuoritte tulona. Kuljetussuorite on osakuorman painon ja yhdensuuntaisen matkan tulo. Paluu matkan päästöt tyhjälle autolle saadaan paluumatkan pituuden ja päästöt ajoneuvokilometriä kohden tyhjällä ajoneuvolla tulona. Vastaavasti kuljetuksissa kulutetun polttoaineen valmistuksesta aiheutuvat päästöt lasketaan ensin laskemalla kulutus osakuorman tonnikipometri kohtaisen kulutuksen ja kuljetussuoritte tulona. Paluu matkan kulutus

tyhjälle autolle saadaan paluumatkan pituuden ja kulutuksen ajoneuvokilometriä kohden tyhjällä autolla tulona. Päästökertoimet ja kulutuskertoimet tyhjälle ja täydelle autolle on esitetty taulukossa 2. Polttoaineen valmistuksesta aiheutuvat CO₂-ekv. -päästöt ovat 648 g per kilogramma polttoainetta.

Taulukko 2. Päästökertoimet ja kulutuskertoimet tyhjälle ja täydelle täysperävaunuyhdistelmä ajoneuvolle.

Ajoneuvotyyppi	Päästötaso	Ajotyyppi	CO ₂ -ekv. [g/km]		Kulutus [g/km]	
			tyhjä	täysi	tyhjä	täysi
Täysperävaunuyhdistelmä, kokonaismassa 60 t	EURO VI (2015)	Maantieajo	781	1193	270	415
		Katuajo	1220	2193	425	767

Yhdelle siirtokuljetukselle skenaarioittain ja jätelajeittain muodostuvat päästöt on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Yhdelle siirtokuljetukselle skenaarioittain ja jätelajeittain muodostuvat päästöt.

	Skenaario 0	Skenaario 1		Skenaario 2		Skenaario 3		Skenaario 4	
	seka-jäte	seka-jäte	muovi	seka-jäte	muovi	seka-jäte	muovi	seka-jäte	muovi
Sekajäte ja muovikuljetukset skenaariossa yhteensä	4 191	4 068	123	4 068	123	4 102	89	4 102	89
Kuljetuksissa olevan muovin määrä yhteensä [t]	603	480	123	480	123	346	89	346	89
Yhden suuntainen matka [km]	139	139	391	139	391	139	391	139	391
Kuorman paino kyseiselle jätteelle [t]	32	32	13	32	13	32	13	32	13
Tonnikilometrit [tkm]	4 379	4 458	4 927	4 458	4 927	4 435	4 927	4 435	4 927
Menomatkan ominaispäästökerroin [g/t]	35	35	72	35	72	35	72	35	72
Menomatkan kulutuskerroin [g/t]	12	12	25	12	25	12	25	12	25
Osakuormalla ajo, päästö [kg]	154	154	356	154	356	154	356	154	356
Osakuormalla ajo, kulutus [kg]	53	54	123	54	123	54	123	54	123
Tulomatka (auto tyhjä) päästö [kg]	109	109	305	109	305	109	305	109	305
Tulomatka (auto tyhjä) kulutus [kg]	38	38	106	38	106	38	106	38	106
Polttoaineen valmistuksesta aiheutuva päästö [kg]	59	59	148	59	148	59	148	59 0	148

Sekajättekuljetusten päästöt allokoidaan massaperustaisesti muovipakkausjätteille. Skenaarioissa siirtokuljetuksista aiheutuvat kokonaispäästöt sekä muovipakkausjätetonnei kohtaiset päästöt on esitetty taulukossa 4

Taulukko 4. Skenaarioissa siirtokuljetuksista aiheutuvat kokonaispäästöt sekä muovipakkausjätetonnei kohtaiset päästöt.

	Skenaario 0	Skenaario 1	Skenaario 2	Skenaario 3	Skenaario 4
Skenaariossa siirtokuljetuksista aiheutuvat kokonaispäästöt CO ₂ -ekv. [t/a]	6,8	14	14	10	10
Skenaarioissa siirtokuljetuksista CO ₂ g/tonnia	10 193	21 114	21 114	15 221	16 737

Liite IV. Materiaalin kierrätys ja saatavat hyvitykset

Granulaattien ja profiilien valmistuksesta aiheutuvat päästöt lasketaan prosesseissa kulu-
van energiankulutuksen ja Suomen keskimääräisen sähköntuotannon päästökertoimen tu-
lona. Prosesseissa kuluva sähköenergian määrä lasketaan prosessoitavan muovipakkaus-
jätteen massan ja prosessin vaatiman energiankulutuksen tulona. Sekä granulointi että
profiilin valmistus vaativat sähköenergiaa noin 0,93 MWh/muovipakkausjätetonne. Suo-
men keskimääräisen sähköntuotannon päästökerroin hiilidioksidille on 164 kg/MWh.
Taulukossa 1 esitetään skenaarioissa kierrätykseen menevän muovipakkausjätteen määrä,
granuloitavaksi ja profiilin valmistukseen ohjautuvan muovipakkausjätteen määrä,
granulointiprosessin ja muoviprofiilin valmistuksen vaatima energiamäärä sekä proses-
seista aiheutuvat päästöt.

Taulukko 1. Granulaattien ja muoviprofiilien valmistuksesta aiheutuvat päästöt skenaarioittain.

	Ske- naario 1	Ske- naario 2	Ske- naario 3	Ske- naario 4
Muovimäärä laitokseen [t]	123,2	123,2	88,7	88,7
Granulaateiksi 40 % [t]	49,3	49,3	35,5	35,5
Profiileiksi 30 % [t]	37,0	37,0	26,6	26,6
Granuloinnin vaatima energia [MWh]	45,9	45,9	33,0	33,0
Profiloinnin vaatima energia [MWh]	34,4	34,4	24,8	24,8
Granuloinnin aiheuttamat päästöt [t/a]	7,5	7,5	5,4	5,4
Profiloinnin muodostama päästö [t/a]	6,5	6,5	4,7	4,7
Granuloinnin tonnikohtainen päästö [kg/alueella vuodessa syn- tynyt muovipakkausjäte)	12,5	12,5	9,0	9,0
Profiloinnin tonnikohtainen päästö [kg/alueella vuodessa synty- nyt muovipakkausjäte)	10,7	10,7	7,7	7,7

Saatavat hyvitykset lasketaan saadulle granulaatti- ja muoviprofiilimäärälle. Oletuksena on, että granulointi- ja profiilin valmistusprosessissa syntyy hävikkiä 5,6 prosenttia. Oletuksena on myös, että kierrätysgranulaattia voi uudessa muovituotteessa käyttää korvaamaan 60 prosenttia neitseellistä muovimateriaalia, ja muoviprofiilia voi käyttää korvaamaan kokonaan puuta eli 100 prosenttisesti. Taulukossa %% esitetään, kierrätysprosesseista saatavat granulaatti- ja muoviprofiilimäärät, korvattavan neitseellisen muovin valmistuksesta ja puun käsittelystä aiheutuvat energiankulutukset ja näistä aiheutuvat päästöt.

Taulukko 2. Neitseellisen muovin tuotannon ja puun käsittelyn välttämisestä muodostuvat päästöhyvitykset.

	Skenaario 1	Skenaario 2	Skenaario 3	Skenaario 4
Valmista kierrätysgranulaattia saadaan [t]	46,5	46,5	33,5	33,5
Valmista muoviprofiilia saadaan [t]	34,9	34,9	25,1	25,1
Vältettävän neitseellisen muovin määrä [t]	27,9	27,9	20,1	20,1
Vältettävän käsitellyn puun määrä [t]	34,9	34,9	25,1	25,1
Neitseellisen muovin valmistuksen energi- ankulutus [MWh]	155,1	155,1	111,6	111,6
Puun käsittelyn energiankulutus [MWh]	2,2	2,2	1,6	1,6
Neitseellisen muovin valmistuksen välttä- misestä aiheutuvat hyvitykset [t/a]	25,4	25,4	18,3	18,3
Puun käsittelyn välttämisestä aiheutuvat hy- vitykset [t/a]	0,4	0,4	0,3	0,3
Neitseellisen muovin valmistuksen välttä- misestä muodostuvat tonnikohtaiset hyvitys [kg/alueella vuodessa syntynyt muovipak- kausjäte]	42,1	42,1	30,3	30,3
Puun käsittelyn välttämisestä aiheutuvat ton- nikohtaisen hyvitykset [kg/alueella vuo- dessa syntynyt muovipakkajäte]	0,6	0,6	0,4	0,4

Liite V. Muovin poltosta aiheutuvat päästöt ja tuotetusta lämmöstä ja sähköstä saatavat hyvitykset

Muovin polttamisesta polttolaitoksella muodostuu päästöjä poltettavan muovinmäärän, muovin lämpökertoimen ja muovin päästökertoimen tulona (suhteena). Sekajätettä sisältävän muovipakkausjätteen lämpöarvoksi on tässä työssä oletettu 19,4 MJ/kg ja tämän CO₂-päästökertoimeksi 61 g/MJ ja näiden muovijätteiden polttaminen tapahtuu Ekovoimalaitoksella. Erilliskerätyn muovipakkausjätteen lämpöarvon on oletettu olevan 25 MJ/kg ja CO₂-päästökerroin on 74,1 g/MJ ja näiden muovien polttaminen tapahtuu muovinjalostamolla. Taulukossa 1 on esitetty poltosta aiheutuvat päästöt yhteensä sekä poltosta aiheutuvat päästöt muovipakkausjätetonna kohden skenaarioittain.

Taulukko 1. Poltosta aiheutuvat päästöt yhteensä sekä poltosta aiheutuvat päästöt muovipakkausjätetonna kohden skenaarioittain.

	Skenaario 0	Skenaario 1	Skenaario 2	Skenaario 3	Skenaario 4
Ekovoimalaitoksella poltettava muovijättemäärä [t/a]	603	480	480	515	515
Muovinjalostamolla poltettava jätemäärä [t/a]		42	42	30	30
Saatava energiapoltoista ekovoimalaitos [GJ]	11 707	9 317	9 317	9 987	9 987
Saatava energiapoltoista muovinjalostamo [GJ]		1 045	1 045	752	752
Ekovoimalaitoksella poltosta aiheutuva päästö [t/a]	714	568	568	609	609
Muovinjalostamolla poltosta aiheutuva päästö [t/a]		77	77	56	56
Polton päästöt yhteensä [t/a]	714	646	646	665	665
Poltosta aiheutuvat päästöt keräysalueella syntyneestä muovipakkausjäte tonnia kohden [kg/t]	1 183	1 070	1 070	1 102	1 102

Hyvityksiä saadaan, kun ekovoimalaitoksella ja muovinjalostamolla poltetusta muovista tehdään sähköä ja lämpöä, ja niillä korvataan Suomen keskimääräistä sähkön- ja lämmöntuotantoa. Oletuksen mukaan ekovoimalaitoksella sähköntuotannon hyötysuhde on noin 20 % ja lämmöntuotannon hyötysuhde on noin 41 %, kun otetaan huomioon, ettei kaikkea tuotettua kaukolämpöä voida hyödyntää. Muovinjalostamon yhteydessä olevan polttolaitoksen sähköntuotannon hyötysuhteen on oletettu olevan noin 18 % ja lämmöntuotannon

hyötysuhteen noin 35 %, kun on otettu huomioon, että keskimäärin vuoden aikana kaikkea kaukolämpöä ei saada hyödynnettyä. Energiantuotannosta saatavat hyvitykset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Energiantuotannosta saatavat hyvitykset yhteensä sekä muovipakkausjätetonnin kohden.

	Skenaario 0	Skenaario 1	Skenaario 2	Skenaario 3	Skenaario 4
Tuotettu sähkön määrä ekovoimalaitoksella [GJ]	2 341	1 863	1 863	1 997	1 997
Tuotettu sähkön määrä muovinjalostamolla [GJ]		184	184	132	132
Käyttöön päätyvän lämmön määrä ekovoimalaitoksella [GJ]	4 800	3 820	3 820	4 095	4 095
Käyttöön päätyvän lämmön määrä muovinjalostamolla [GJ]		360	360	259	259
Skenaarioissa yhteensä tuotettu sähkö [GJ]	2 341	2 047	2 047	2 130	2 130
Skenaarioissa yhteensä käyttöön päätyvä lämpö [GJ]	4 800	4 180	4 180	4 354	4 354
Päästöhyvitykset [t/a]	357	312	312	324	324
Hyvitykset keräysalueella syntynyttä muovipakkausjäte tonnia kohti [kg/t]	592	516	516	538	538