

MTT RAPORTTI 14

Elintarvikkeiden pakkausvaihtoehtojen ympäristövaikutukset

FutupackEKO2010-hanke

Frans Silvenius, Juha-Matti Katajajuuri,
Heta-Kaisa Koivupuro, Pauliina Nurmi,
Yrjö Virtanen, Kaisa Grönman & Risto Soukka



**Elintarvikkeiden pakkaus-
vaihtoehtojen ympäristö-
vaikutukset**

FutupackEKO2010-hanke

Frans Silvenius, Juha-Matti Katajajuuri, Heta-Kaisa Koivupuro, Pauliina Nurmi, Yrjö Virtanen, Kaisa Grönman & Risto Soukka

ISBN: 978-952-487-308-6 (verkkojulkaisu)

ISBN: 978-952-487-307-9 (painettu julkaisu)

ISSN 1798 -6419

www-osoite: <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti14a.pdf>

Copyright: MTT

Kirjoittajat: Frans Silvenius, Juha-Matti Katajajuuri, Heta-Kaisa Koivupuro, Pauliina Nurmi,
Yrjö Virtanen, Kaisa Grönman & Risto Soukka

Julkaisija ja kustantaja: MTT Jokioinen

Julkaisuvuosi: 2011

Elintarvikkeiden pakkausvaihtoehtojen ympäristövaikutukset

**Silvenius, Frans¹⁾, Katajajuuri, Juha-Matti¹⁾, Koivupuro, Heta-Kaisa¹⁾, Nurmi, Pauliina²⁾,
Virtanen, Yrjö²⁾, Grönman, Kaisa³⁾, Soukka, Risto³⁾**

¹⁾MTT, BEL, Latokartanonkaari 9 00790 Helsinki, ²⁾MTT, BEL, ET-Talo, 31600 Jokioinen, ³⁾LUT, PL20
53851 Lappeenranta

Tiivistelmä

Tässä raportissa esitellään FutuPackEKO2010-hankkeessa kolmelle pakatulle elintarviketuotteelle tehtyjen elinkaaritapaustutkimusten tulokset ja niistä tehdyt johtopäätökset. Keskeisenä lähtökohtana tutkimuksessa oli vertailla elintarvikepakkausvaihtoehtojen ympäristövaikutuksia kiinnittäen erityisesti huomioita siihen, että mahdollinen kotitalouksien ruokahävikki eli kuluttajahävikki ja sitä kautta turhasta elintarviketuotannosta ja -jätehuollosta aiheutuvat ympäristövaikutukset eri pakkausvaihtoehtoisissa sisältävät arvioon.

Tutkimuksessa selvitettiin kolmen pakatun elintarvikkeen (kokolihaleikkele, ruispalaleipä ja soijapohjainen jogurtityyppinen tuote) ja niiden pakkausvaihtoehtojen koko tuotanto- ja kulutusjärjestelmissä syntyvät ympäristövaikutukset. Ympäristövaikutusluokista huomioitiin ilmastomuutos, rehevöityminen ja happamoituminen.

Tutkimuksessa keskeinen selvittävä tekijä oli kuluttajahävikin suuruus pakkausmateriaalin funktiona ja kuluttajahävikin tuotannosta aiheutuvien ympäristövaikutusten merkittävyyden arviointi itse pakkausten valmistamisen ja loppukäytön ympäristövaikutuksiin verrattuna. Ympäristövaikutusten laskennassa huomioitiin ylijäävän elintarvikkeen eli kuluttajahävikin tuotannosta ja jätehuollosta aiheutuvat ympäristövaikutukset. Kuluttajahävikin määrää selvitettiin kuluttajakyselyllä, josta tuloksena saadut hävikit jäivät kuitenkin kohtalaisen pieniksi suhteessa muualla maailmassa esitettyihin lukuihin eikä eri pakkausvaihtoehtojen hävikeissä havaittu juurikaan merkittäviä eroja. Kuluttajahävikkiä mallinnettiin kyselyn tulosten ja maailmalla esitettyjen lukujen pohjalta laadituilla hävikkiskenaariolla.

Pakkausten ja kuluttajahävikin loppukäsittely mallinnettiin neljän eri jätehuoltotilanteen mukaan, joista kaksi kuvasivat nykyään käytössä olevia sekajätteen ja biojätteen käsittelytapoja. Toisessa tapauksessa arvioitiin sekajätteen päätyvän kaatopaikalle ja toisessa energiahyötykäyttöön. Lisäksi mallinnus suoritettiin kahdella jätehuoltoskenaariolla, joista toinen kuvasi kaikkien jätejakeiden johtamista massapolttoon ja toinen maksimaalista kierrätystä ja energiahyötykäyttöä.

Tulokset osoittavat että itse kyseisten elintarviketuotteiden tuotannosta syntyvät ympäristövaikutukset ovat tuote-pakkausjärjestelmätasolla dominoiva tekijä. Kuluttajahävikin määrän havaittiin olevan tutkimukseen valituilla hävikkiskenaariolla pääsääntöisesti tärkeämpi ilmastomuutokseen, rehevöitymiseen ja happamoitumiseen vaikuttava tekijä kuin tuotetta suojaavien pakkausten valmistus ja loppukäyttö. Pakkausratkaisut ja -muodot, joilla kuluttajahävikkiä syntyi mahdollisimman vähän, aiheuttivat täten kokonaisuudessaan myös vähiten ympäristövaikutuksia. Siksi mahdollisesti kotitalouksissa syntyvän ruokahävikin määrä olisi ehdottomasti arvioitava muiden elintarvikepakkausten suunnittelussa huomioitavien tekijöiden yhteydessä ja itse asiassa tuotteiden ja pakkausten tutkimuksen ja tuotekehityksen tulisi tapahtua integroidusti.

Tämä tarkoittaa sitä, että tutkittaessa ja vertailtaessa erilaisten pakkausten ympäristövaikutuksia tulee vertailluihin ehdottomasti sisällyttää sekä tuotteiden että tuotehävikin arvioidut ympäristövaikutukset, ainakin hävikkiskenaarioiden kautta, jotta saadaan kokonaiskuva verrattavista asioista ja niiden suuruusluokista. Pakkausten suunnittelussa pystytään tällöin jo ennalta käsin vähentämään rehevöittäviä, happamoittavia ja kasvihuonekaasupäästöjä tuotehävikin minimoinnin seurauksena.

Mikäli rinnakkaisten pakkausvaihtoehtojen tuotehävikit oletetaan yhtä suuriksi ja tarkasteluun sisällytetään koko tuote-pakkausjärjestelmän elinkaaren kaikki vaiheet, jäivät eri pakkausvaihtoehtojen väliset ympäristövaikutuserot suhteellisen pieniksi.

Avainsanat:

Elinkaariarviointi, pakkaukset, ympäristövaikutukset, elintarvikkeet

Environmental effects of packing alternatives of food products

Silvenius, Frans¹⁾, Katajajuuri, Juha-Matti¹⁾, Koivupuro, Heta-Kaisa¹⁾, Nurmi, Pauliina²⁾, Virtanen, Yrjö²⁾, Grönman, Kaisa³⁾, Soukka, Risto³⁾

¹⁾MTT, BEL, Latokartanonkaari 9 00790 Helsinki, ²⁾MTT, BEL, ET-Talo, 31600 Jokioinen, ³⁾LUT, PL20 53851 Lappeenranta

Abstract

This report presents the results of life cycle assessment based case studies of packed food products made in the Futu-pack2010EKO Project. The focal starting point for the study was to compare the environmental impacts of different food packaging options and including also impacts from the management of waste generated at the consumer phase due to deficient packaging.

Environmental impacts of the entire production and consumption systems of three packed food products (ham, dark bread and a soy based yoghurt like product) and their packaging options were studied. Of the different environmental impact categories climate change, eutrophication, and acidification impacts were considered in the LCA studies.

Special focus was laid on studying the amounts of consumer food waste as a function of the package size and the packaging material and on the assessment of the significance of the environmental impacts of the production and management of wasted food in relation to environmental impacts of the production and the end-use of packages. The environmental impacts associated with the production and management of the food fraction wasted by consumers were thus considered in the LCA calculations. The amount of consumer food waste was studied through a consumer survey. According to the results of the survey the amounts were moderately lower compared to results of other food waste studies done elsewhere and significant differences were not observed between food waste amounts of different packaging options. Therefore the consumer food waste was modelled using food waste scenarios based on the results of the consumer survey and of other food waste studies.

End of life management and recycling of consumer food waste and package waste was modelled using four different scenarios. Two of these describe the present treatment methods for mixed and organic waste. In another alternative mixed waste was placed into landfill and in the other it was recovered as energy. In addition to these present state scenarios, two future waste management scenarios were established and studied. One alternative was energy recovery for all waste components and the other alternative assessed was energy recovery with maximum material recycling.

The results of the LCA based case studies done showed that the production of the packed food product itself is the dominating cause of environmental impacts at the product-package system level. It was e.g. discovered that when using the chosen consumer food waste scenarios the production chain of wasted food was a more important cause for emissions related to climate change, eutrophication and acidification than the production chains of packages. Packaging solutions that minimize the generation of consumer food waste thus lead to the lowest amount of total environmental impacts in the entire production chain. Therefore the amount of possible consumer food waste should always be assessed together with other important sustainability aspects that should be taken into account when designing food packages. In fact, the research, planning and development of food products and their packages should be integrated to each other.

This means that the environmental impacts of the production chains of both the consumed food product and the amount of food product that is wasted should definitely be included, at least through waste scenarios, when studying and comparing environmental performance of food packaging options in order to get a general view of compared matters and their order of significance. Thus eutrophying, acidifying and green house gas emissions can be reduced in advance through the minimization of consumer food waste.

It was noticed that if the amounts of consumer food waste are assumed to be equally big for all packaging options and all stages of the life cycle of packed food product are considered in the assessment, the differences in total environmental impacts of different packaging options were relatively small.

Keywords:

Life cycle-assessment, packages, environmental protection technology, food products

Alkusanat

Tämä raportti on osa tutkimusprojektia ”Tuotteen kokonaisympäristövaikutusten vähentäminen pakkauksia kehittämällä – ympäristömyönteisyys pakkaussuunnittelun välineenä” (=FutupackEKO2010), joka toteutettiin Tekesin ja yritysten rahoituksella. Projektiin osallistuivat seuraavat tutkimustahot: Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MTT), Aalto-yliopiston kauppakorkeakoulu (projektin alkaessa Helsingin kauppakorkeakoulu), Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT), Pakkaustutkimus - PTR ry ja Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT (projektin alkaessa Oy Keskuslaboratorio KCL), sekä seuraavat yritykset: Borealis Polymers Oy, Fazer Leipomot Oy, HK Ruokatalo Oy, Inex Partners Oy, M-real Oyj, Nokia Oyj, Pakkausalan Ympäristörekisteri PYR Oy, Pyroll Oy, Ravintoraisio Oy, Stora Enso Oyj, Suomen Aaltopahviyhdistys ry ja UPM Raflatac Oy. Hankkeen vastuullisena tahona toimi MTT.

Hankkeen tavoitteena oli tutkia ja vähentää pakattavien tuotteiden ympäristövaikutuksia hyvin suunniteltujen pakkausten avulla ja siten parantaa pakkausten käytön hyväksyttävyyttä. Hanke käynnistyi vuoden 2009 alussa ja siinä selvitettiin pakkausten ja eri pakkausmateriaalien merkitystä tuotteiden toimitusketjun ympäristökuormitukseen. Asiaa lähestyttiin kirjallisuuskatsauksen sekä tapausesimerkkien muodossa. Ketjun kaikkia vaiheita tarkasteltiin elinkaarinäkökulmasta.

Tässä osaraportissa, erityisesti hankkeen työpaketteihin 2 ja 3 liittyen kuvataan hankkeen esimerkkitapaustutkimuksia, joissa laskettiin ympäristövaikutukset kolmen elintarvikkeen erilaisille pakkauskoko- ja materiaali- vaihtoehdoille. Tuotteet olivat Fazer Leipomoiden ruispalaleipä, HK Ruokatalon kokolihaleikkele ja Raision Soygurt Mustikka – soijapohjainen fermentoitu jogurtityyppinen tuote. Tapaustutkimusten tavoitteena oli havainnollistaa elintarviketuotteiden koko elinkaaren aikaisia kokonaisympäristövaikutuksia erilaisten pakkausmateriaalien ja pakkauskokojen sekä pakkauksen jätteenkäsittelyvaihtoehtojen variaatioiden funktiona. Tuotteiden ympäristövaikutusten osalta tuloksia tulee käsitellä enemmänkin ympäristövaikutusten kartoituksena kuin yksityiskohtaisina elinkaariarvioina Raportin johtopäätösosiossa kuvaillaan lyhyesti ne periaatteet ja lähtökohdat, jonka mukaan pakkausjärjestelmien ympäristövaikutuksia tulisi arvioida.

Tutkimuksen vastuullisena johtajana toimi vanhempi tutkija Juha-Matti Katajajuuri MTT:ltä. Elinkaaritapaustutkimusten päättäjänä ja tämän raportin pääkirjoittajana oli tutkija Frans Silvenius MTT:ltä. Lisäksi elinkaaritutkimusten tekoon osallistuivat MTT:ltä tutkija Pauliina Nurmi ja vanhempi tutkija Yrjö Virtanen, joka suoritti ProAgrian lohkotietopankkiin perustuvan viljojen ja rypsin viljelyn tuotantoketjun kasvihuonekaasupäästöjen mallintamisen, sekä vanhempi tutkija Juha-Matti Katajajuuri ja tutkimusassistentti Heta-Kaisa Koivupuro. Lisäksi MTT:ltä tutkimukseen osallistui tutkija Rabbe Thun, joka toimi ohjausryhmän sihteerinä, huolehti projektin hallinnollisista asioista ja antoi arvokkaita kommentteja raporttiin. Tutkija Kaisa Grönman ja professori Risto Soukka Lappeenrannan teknillisestä yliopistosta mallinsivat tuotteen elinkaaritarkasteluun liittyvien jätehuolto- kierrätysratkaisujen ympäristövaikutukset. Koko hankkeen tutkimusryhmään kuuluivat lisäksi Marja Pitkänen ja Helena Wessman VTT:ltä, Terhen Järvi-Kääriäinen ja Margareetta Ollila Pakkaustutkimus-PTR ry:stä sekä tutkijat Mika Kuisma ja Olli Miettinen Helsingin Kauppakorkeakoulusta. Tapaustutkimukset tehtiin läheisessä yhteistyössä tarkasteluun valittuja esimerkkituotteita valmistavien yritysten kanssa.

Ravintoraision puolelta tutkimuksen yhteyshenkilönä toimi Kari Salonen. Lisäksi Raisio Oyj:ltä tapaustutkimustyöskentelyyn ja tietojen toimittamiseen osallistuivat Jouni Niemelä, Marja-Terttu Syysnummi, Pirjo Alho-Lehto, Outi Enberg ja Tom Gripenwalt. Fazer Leipomoiden puolelta tutkimuksen yhteyshenkilönä toimi Hanna Lehtonen. Lisäksi Fazer Leipomoilta tapaustutkimustyöskentelyyn ja tietojen toimittamiseen osallistuivat Satu Pakkala, Juha Starck ja Marja Hakala. Fazer Myllyn tietoja toimitti Kyösti Koho. HK Ruokatalo Oy:n puolelta tutkimuksen yhteyshenkilönä toimivat Asko Koskela ja Veera Vestman. Lisäksi HK Ruokatalolta tapaustutkimustyöskentelyyn ja tietojen toimittamiseen osallistuivat Esko Virta, Juha Takamaa, Toni Mäkinen, Leea Lehtonen, Marko Puistovirta, Niko Nurminen, Patricia Holmström ja Kim Lindholm sekä Juha Koskenoja Forssan teurastamolta. Sijojen kuljetuksiin liittyviä tietoja toimitti Kari Alava LSO Foods Oy:ltä. Inex Partners Oy:ltä (Irina Niinivaara ja Terhi Salminen) saatiin tietoja logistiikasta sekä kaupan hävikeistä ja energiakulutuksista.

Suurkiitokset kaikille tutkimuksessa avustaneille!

Tekijät

Sisällysluettelo

1 Johdanto.....	8
1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet.....	8
2 Aineisto ja menetelmät.....	9
2.1 Tutkitut ympäristövaikutusluokat.....	9
2.2 Toiminnalliset yksiköt sekä tutkittavien tuotantoketjujen rajaukset.....	9
2.3 Tutkitut pakkausvaihtoehdot.....	10
2.4 Mallinnus ja tiedon keruu.....	13
2.4.1 Pakkaukset.....	13
2.4.2 Viljely.....	14
2.4.3 Raaka-aineiden ja väli tuotteiden valmistusprosessit.....	17
2.4.4 Elintarviketeollisuuden valmistusprosessit.....	18
2.4.5 Tuotejakelu.....	19
2.4.6 Kauppa.....	19
2.4.7 Kotitalouksien ruokahävikki.....	19
2.4.8 Veden ja jäteveden käsittely.....	21
2.4.9 Jätteiden käsittely.....	21
2.4.10 Kuluttajapakkausten ja kotitalouksien ruokahävikin kierrätys ja jätehuolto.....	21
3 Tulokset ja tuloksen tarkastelu.....	26
3.1 Tapaustutkimus Soygurt.....	26
3.1.1 Hiilijalanjälki.....	26
3.1.2 Rehevöittävät päästöt.....	30
3.1.3 Happamoittavat päästöt.....	32
3.1.4 Kaatopaikkajätteen määrä.....	33
3.2 Tapaustutkimus ruispalaleipä.....	34
3.2.1 Hiilijalanjälki.....	34
3.2.2 Rehevöittävät päästöt.....	38
3.2.3 Happamoittavat päästöt.....	39
3.2.4 Kaatopaikkajätteen määrä.....	40
3.3 Tapaustutkimus kokolihaleikkele.....	41
3.3.1 Hiilijalanjälki.....	41
3.3.2 Rehevöittävät päästöt.....	45
3.3.3 Happamoittavat päästöt.....	47
3.3.4 Kaatopaikkajätteen määrä.....	48
4 Yhteenveto.....	49
5 Kirjallisuus.....	51
Liitteet.....	53

Käytetyt lyhenteet

AE-ekv	happamoitumista kuvaava suure (1 mol vapautuvia H ⁺ -ioneja = 1ekv)
APET	amorfinen polyetyleenitereftalaatti
APME	muoviteollisuuden kattojärjestö Euroopassa
CO ₂	hiilidioksidi
CO ₂ -ekv...	hiilidioksidiekvivalentti
CH ₄	metaani
EAA	European Aluminium Association - alumiinin tuottajien kattojärjestö
Ecoinvent	sveitsiläinen LCA-tietokanta
EUWID	Europäischer Wirtschaftsdienst GmbH - tietokanta
EVOH	etyylivinyylialkoholi
IPCC	International Panel of Climate Change
LCA	elinkaariarviointi – life cycle assessment
N	typpi
NH ₃	ammoniakki
NO _x	typen oksidit
N ₂ O	typpioksiduuli
OPET	orientoitu polyetyleenitereftalaatti
P	fosfori
PA	polyamidi
PE	polyeteeni
PET	polyetyleenitereftalaatti
PO ₄ ³⁻	fosfaatti
PP	polypropeeni
SO ₂	rikkidioksidi
TYKO-malli	työkonemalli

1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Pakkaussuunnittelun ja –valintojen kautta yritykset voivat omalta osaltaan toteuttaa yritys- ja tuotetason vastuullisuusjohtamista ja -ajattelua. Pakkauksiin ja niiden kehittämiseen liittyvä sisäinen johtaminen ja uusien innovaatioiden etsintä edellyttää ympäristövaikutusten kokonaisvaltaista tarkastelua suhteessa pakkauksiin ja pakattaviin tuotteisiin ottaen huomioon tuotteiden ja pakkausten toiminnalliset vaatimukset ja hyväksyttävyyden. Pakkausten suojaava ominaisuus korostuu erityisesti elintarvikkeissa, joita tämä raportti tarkastelee.

Elintarvikkeita koskevissa aiemmissa ympäristövaikutustutkimuksissa on havaittu, että useissa tapauksissa pakkauksen valmistuksen osuus tuotteen ympäristövaikutuksista on suhteellisen vähäinen (Katajajuuri ym.2003; Katajajuuri ja Virtanen 2007). Tämä on kuitenkin tapauskohtaista riippuen pakattavasta elintarvikkeesta ja sen pakkauksista. Useimmissa aiemmissa pakkausten ympäristövaikutusvertailuissa on jätetty ottamatta huomioon tuotteet ja tuotehävikki, ja tämä hanke yhdistää nämä kaksi näkökulmaa.

Tämä raportti on osa tutkimusprojektia ”Tuotteen kokonaisympäristövaikutusten vähentäminen pakkauksia kehittämällä – ympäristömyönteisyys pakkaussuunnittelun välineenä” (=FutupackEKO2010). Tässä hankkeen osaraportissa kuvataan kolmea esimerkkitutkimusta, joissa tavoitteena oli laskea ympäristövaikutukset elintarvikkeiden erilaisille pakkausko- ja materiaalivaihtoehdoille. Tuotteet olivat Fazer Leipomoiden ruispalaleipä, HK Ruokatalon kokolihaleikkele ja Raision Soygurt Mustikka – soijapohjainen fermentoitu jogurtittityyppinen tuote. Tavoitteena oli havainnollistaa elintarviketuotteiden koko elinkaaren aikaisia kokonaisympäristövaikutuksia erilaisten pakkausmateriaalien ja pakkauskojen sekä pakkauksen jätteenkäsittelyvaihtoehtojen variaatioiden funktiona.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Tutkitut ympäristövaikutusluokat

Tutkimuksessa selvitettiin kohteina olevien tuotteiden ja niiden pakkausvaihtoehtojen tuotannosta ja kuluksista aiheutuvat kasvihuonekaasu- (hiilijalanjälki), rehevöittävät ja happamoittavat päästöt. Näissä vaikutusluokissa huomioitiin taulukossa 1 esitetyt päästöt. Taulukossa 1 on esitetty myös karakterisointikertoimet, joiden avulla kyseiset päästöt saatiin muunnettua yhteismitallisiksi. Karakterisointikerroin kuvaa sitä, kuinka suuri vaikutus kyseisellä yhdisteellä on verrattuna ekvivalenttiyhdisteeseen. Rehevöittämissä päästöissä on myös huomioitu päästöjen vaikutus- ja kulkeutumiskertoimet.

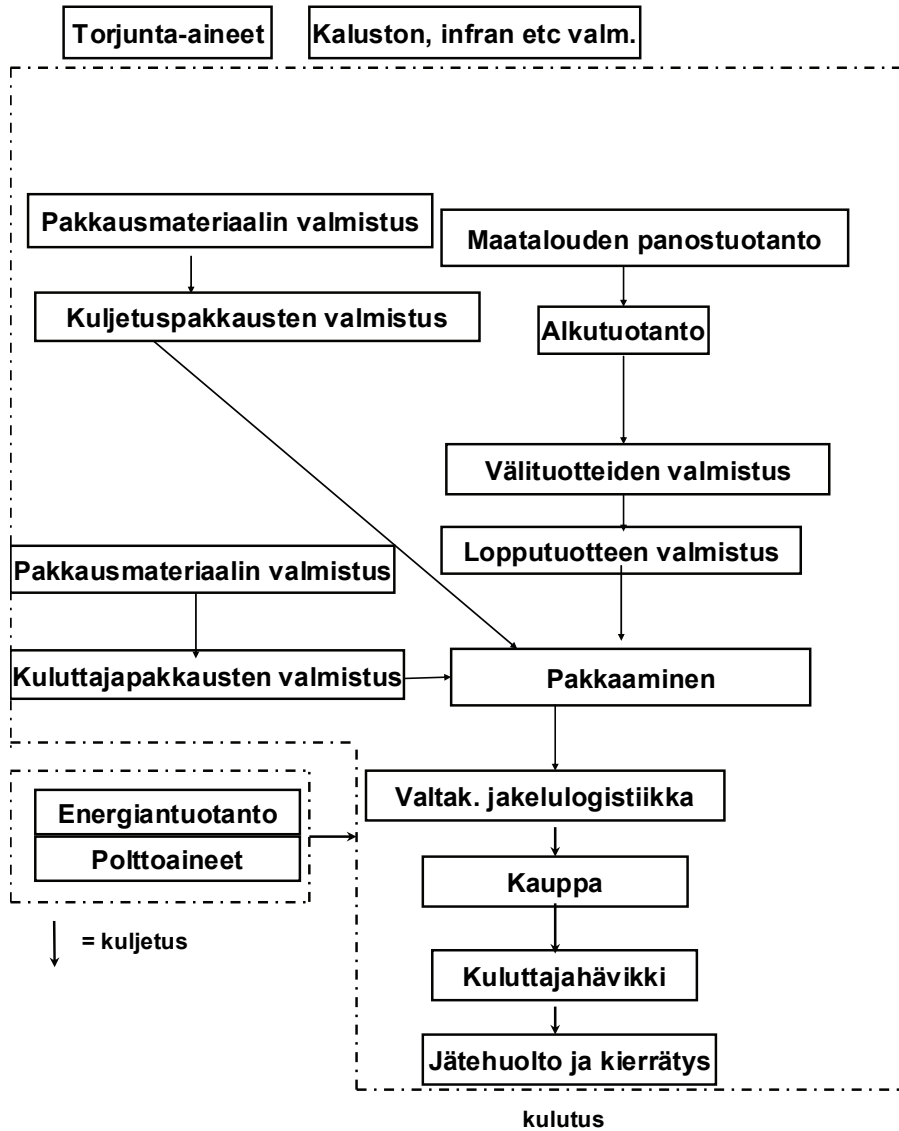
Taulukko 1: Tutkimuksessa käytetyt karakterisointi- ja kulkeutumiskertoimet.

	Karakterisointikerroin	Lähde
Ilmastonmuutos	kg CO ₂ -ekv/kg	
- CO ₂	- 1	Solomon ym. 2007
- CH ₄	- 25	
- N ₂ O	- 298	
Rehevöityminen	kg PO ₄ ³⁻ -ekv/kg	
- NH ₃ ilmaan	- 0,04	Seppälä ym. 2004
- NO _x ilmaan	- 0,015	
- N-tot (liukoinen)	- 0,42	
- P-tot (liukoinen)	- 3,06	
Happamoituminen	kg AE-ekv/kg	
- SO ₂	- 0,463	Seppälä 2006
- NH ₃	- 0,535	
- NO _x	- 0,186	
	Vaikutus- ja kulkeutumiskertoimet	Lähde
Rehevöityminen		Seppälä ym. 2004
- N-tot (liukoinen)	- 0,525	
- P-tot (liukoinen)	- 0,3	

2.2 Toiminnalliset yksiköt sekä tutkittavien tuotantoketjujen rajaukset

Tutkimuksen toiminnallinen yksikkö oli jokaisessa tapaustutkimuksessa 1000 kg kuluttajan nauttima lopputuotetta. Tuotejärjestelmien rajaukset on esitetty kuvassa 1. Kaikkien tutkittavien tuotantoketjujen rajauksiin sisältyvät kotitalouksissa syntyvä tuotehävikki eli kuluttajahävikki, tuotejakelu, vähittäiskauppa, tuotteen valmistusprosessi, raaka-aineiden valmistusprosessit ja viljely, maatalouden panostuotanto, pakkausten ja niiden raaka-aineiden tuotanto ja valmistus ja erilaiset jätehuolto- ja hyödyntämisvaihtoehdot ja kaikki ketjun eri vaiheissa tapahtuvat kuljetukset. Tutkimuksen ulkopuolelle jätettiin kaikissa tapaustutkimuksissa rakenteiden ja työkalujen valmistusprosessit, torjunta-aineiden käyttö viljelyssä sekä kuluttajien kauppamatkat, ruoan säilytys ja valmistus kotitalouksissa ja eri tuotantoketjun vaiheisiin liittyvät työntekijöiden työmatkat, lukuun ottamatta mustikoiden keruuseen liittyvää matkustamista. Energiankulutuksista sähköenergian tuotannossa käytettiin valtakunnallisia päästökertoimia ja lämpöenergian tuotannossa ja kaukolämmön tuotannossa voimalakohtaisia päästökertoimia. Tuotejärjestelmien rajaukset on esitetty tarkemmin kuvassa 1.

Soygurtin pääraaka-aineet ovat vesi, soijapavut, mustikkalisä, sokeri, polydekstroosivalmiste ja glukoosi, joiden lisäksi käytetään pieniä määriä muita raaka-aineita, kuten pektiiniä. Ruispalaleivän raaka-aineista taas merkittävimmät ovat ruisjauho, vehnäjauho, erilaiset maltaat ja hiiva. Kokolihaleikkeleen raaka-aineista taas merkittävimmät ovat sianliha ja sidontaseos.



Kuva 1. Tutkittavien tuotantoketjujen rajaukset kaikissa tapaustutkimuksissa

2.3 Tutkitut pakkausvaihtoehdot

Tarkastellut pakkausvaihtoehdot jokaiselle tapaustutkimukselle on esitetty taulukossa 2. Tapaustutkimus Soygurtin vaihtoehdon 1 pakkausvaihtoehto on 0,75 litran nestepakkauskartonki, joka sisältää muovisen uudelleensuljettavan avausmekanismin, jonka paino on 1,2 g. Pakkausvaihtoehto 2 on 150 ml:n polypropeenipikari alumiinikannella, jonka paino on 0,5 g.

Ruispalaleivän pakkausvaihtoehtoina on kolme eri materiaaleista valmistettua 9 leipäpalan pussia, joiden pakkausmateriaalivaihtoehdot ovat polypropeeni, polyeteeni ja polyeteenipinnoitettu paperipussi, jossa on polypropeeni-ikkuna. Lisäksi neljäntenä pakkausvaihtoehtona on 4 leipäpalan polypropeenista valmistettu

pussi. Kaikki pussivaihtoehdot suljetaan klipsisulkimella, jossa on teräslanka ja polypropeenä. Klipsisulkimen paino oli 1 g.

Kokolihaleikkeleen ensimmäinen pakkausvaihtoehto koostuu ylä- ja alaradasta, jotka on valmistettu polypropeenä sisältävistä monikerrosmuovikalvoista. Toisessa pakkausvaihtoehdossa on sama ylärata, mutta alaradana on päällystettyä kartonkia. Kolmantena vaihtoehtona tarkasteltiin monikerrosratkaisua, jossa on käytetty polyeteenitereftalaattia. Jokaisesta kolmesta pakkausvaihtoehdosta tarkasteltiin sekä 150 g että 300 g pakkauskokoa. Kahdessa ensimmäisessä pakkausvaihtoehdossa sekä 150 g että 300 g:n pakkaauksissa oli yhtä paljon pakkausmateriaalia, mutta kolmannessa vaihtoehdossa pienemmässä pakkauskoossa oli vähemmän pakkausmateriaalia.

Tarkasteluhetkellä Soygurtin osalta molemmat pakkausvaihtoehdot olivat käytössä, ruispalaleivällä käytössä oli 9 kpl:n polypropeenipussi ja kokolihaleikkeleellä 300 gramman pakkaus, jossa on polypropeenä, polyeteeniä, EVOHia ja polyamidia.

Ruispalaleivän ja kokolihaleikkeleen sekundaaripakkauksena käytettiin kiertävää kuljetuslaatikkoa. Muovisten ”Transbox”-kuljetuslaatikoiden käyttöikä on 10-15 vuotta. Niiden valmistamisen merkitys oletettiin pitkästä käyttöiästä johtuen niin vähäiseksi, että se jätettiin tutkimuksen ulkopuolelle. Lisäksi kuljetuslaatikoiden pesu jätettiin tutkimuksen ulkopuolelle, koska toiminto oli sama kaikille pakkausvaihtoehdoille. Laatikoiden kuljetukset huomioitiin. Soygurtin sekundaaripakkauksena oli 150 ml:n pakkauksissa 100-prosenttisesti kierrätyskuidusta valmistettu aaltopahvilaatikko ja tertiärisidontana muovikääre ja 750 ml:n pakkausvaihtoehdossa 33-prosenttisesti kierrätyskuidusta valmistettu aaltopahvilaatikko ja tertiärisidontana muovikääre, joka on polyeteeniä. Lavaa kohti käytettiin kiristekalvoa 281 g ja lavalle mahtuu tölkkivaihtoehdon sekundaaripakkauksia 80 ja pikarivaihtoehdon sekundaaripakkauksia 360.

Samojen tuotteiden eri pakkausvaihtoehtojen säilyvyysajoissa ei ollut eroja. Soygurtin säilyvyysaika on 50 vrk, ruispalaleivän 4 vrk ja kokolihaleikkeleen 21 vrk.

Taulukko 2: Pakkausvaihtoehdot

Soygurt (soijapohjainen jogurtityyppinen tuote)				
Kuluttajapakkaus	Nestepakkauskartonki, joka sisältää alumiinia ja polyeteeniä sekä muovisen uudelleensuljettavan avausmekanismin		Polypropeenipikari alumiinikannella	
Pakkauskoko	750 ml		150 ml	
Pakkauksen massa	23g		6g	
Kuljetuspakkaus	Aaltopahvi 69 g		Aaltopahvi 47 g	
Pakkauksia kuljetuspakkauksessa	10		5	
Ruispalaleipä				
Kuluttajapakkaus	Polypropeeni(PP)	Polypropeeni(PP)	Polyeteeni(PE)	Paperi/PE PP-ikkunalla
Pakkauskoko	500g	220g	500g	500g
Pakkauksen massa	3,6g	2,6g	5,3g	8,2g
Kuljetuspakkaus	kiertävä PE-laatikko, 2,6 kg	kiertävä PE-laatikko, 2,6 kg	kiertävä PE-laatikko, 2,6 kg	kiertävä PE-laatikko, 2,6 kg
Pakkauksia kuljetuspakkauksessa	12	22	12	12
Kokolihalleikkele				
Kuluttajapakkaus	PP/PE/PA/EVOH (alakalvo) PP/PE/EVOH (yläkalvo)	kartonki/PE/EVOH (alakalvo) PP/PE/EVOH (yläkalvo)	APET/EVOH/PE (alakalvo) PE/EVOH/PET (yläkalvo)	APET/EVOH/PE (alakalvo) PE/EVOH/OPET (yläkalvo)
Pakkauskoko	300g ja 150g	300g ja 150g	300g	150g
Pakkauksen massa	5,3g	12,5g	15,5g	7,9g
Kuljetuspakkaus	kiertävä PE-laatikko, 2,45 kg	kiertävä PE-laatikko, 2,45 kg	kiertävä PE-laatikko, 2,45 kg	kiertävä PE-laatikko, 2,45 kg
Pakkauksia kuljetuspakkauksessa	48	62	36	46

2.4 Mallinnus ja tiedon keruu

Ympäristövaikutusten arviointi tehtiin elinkaariarviointimenetelmällä (Life Cycle Assessment, LCA). Elinkaariarvioinnissa noudatettiin siitä annettuja standardeja ISO 14040 ja ISO 14044. Tutkimus tehtiin ”Attributional”- eli haitanjako-lähestymistavalla, jossa kohdennetaan ja allokoidaan panoksia ja tuotoksia eri tuotteille. Tässä tutkimuksessa pyrittiin allokoimien välttämiseen siten, että pääasiallisesti vähemmän merkityksellisille sivuvirroille, kuten jauhojen valmistuksen ja teurastamon sivutuotteille sekä viljan oljille, ei ole kohdennettu kuormituksia. Elintarvike-sivuvirtojen kierrätystä ja loppukäyttöä ei myöskään ole huomioitu. ”Attributional”-lähestymistapaan tehtiin poikkeus pakkausmateriaalien hyötykäytön mallinnuksessa, jossa laskettiin pakkausjärjestelmille päästöhyvityksiä, koska tämä katsottiin parhaaksi keinoksi ottaa tarkasteluissa huomioon pakkausten energiahyötykäytöstä saatavan energia. Pääsääntöisesti päävirtojen tietolähteinä on käytetty primaaridataa. Maankäytön muutoksia ei huomioitu tutkimuksessa, koska menetelmät maankäytöksen muutosten arviointiin ovat vielä keskeneräiset. Eniten vaikutuksia maankäytön muutoksilla on brasilialaisen soijan viljelyn ympäristövaikutuksiin. Jos tuotteita tai niiden raaka-aineita valmistava tuotantolaitos tuotti useita tuotteita eikä kyseiseltä tuotantolaitokselta saatu linjakohtaisia tietoja, suoritettiin allokointi näiden tuotteiden välillä kokonaismassojen perusteella, poikkeuksena allokointi sianrehuna käytettävän soijarouheen ja soijaöljyn välillä, joka tehtiin tuotteiden maailmanmarkkinahintojen pohjalta. Allokointitapa perustui soijaöljyn ja soijarouheen toisistaan poikkeavaan taloudelliseen arvoon.

2.4.1 Pakkaukset

Soygurt

Tapaustutkimus Soygurtin vaihtoehdon 1 pakkausvaihtoehto on alumiinia sisältävä 0,75 litran nestepakkauksetonki, joka sisältää muovisen uudelleensuljettavan avausmekanismin. Tutkimuksen käyttöön saatiin tuotteen valmistajan pakkauksistaan aiemmin tekemä LCA-tutkimus. Tutkimus kattoi tärkeimmät ympäristövaikutusluokat ja sisälsi raaka-aineiden tuotannon, pakkausten valmistuksen, sekä loppukäytön ja kierrätyksen, jossa kierrätetty nestepakkauksetonki päätyy raaka-aineeksi hylsykartongin valmistukseen. Kierrätyksen mallintaminen suoritettiin tässä tutkimuksessa avointa allokointimenetelmää käyttäen, joka on kuvattu liitteessä 1 huomioiden myös primaari- ja sekundaarituotteiden taloudelliset arvot, jotka saatiin EUWID-tietokannasta. LCA-tutkimus oli tehty litran pakkaukselle, mutta kasvihuonekaasupäästöt saatiin myös tässä tutkimuksessa käytetylle 0,75 litran pakkaukselle. Muut ympäristövaikutusluokat mallinnettiin olettamalla ympäristökuormitusten olevan samat pakkauksen massaa kohti sekä litran että 0,75 litran pakkaukselle.

Myyntieräpakkaukset ovat aaltopahvia, jonka valmistuksen ympäristövaikutusten arvioinnissa käytettiin KCL:n Suomen Aaltopahviihdistykselle tekemän aaltopahvin elinkaaritutkimuksen (Hohenthal & Wessman 2003) tuloksia, jotka kuvaavat keskimääräistä pohjoismaista aaltopahvin tuotantoa. Aaltopahvin valmistuksesta oli kyseisen tutkimuksen lisäksi saatavilla vain tietoja keskimääräisen eurooppalaisen aaltopahvintuotannon ympäristövaikutuksista. Pohjoismaiseen dataan perustuvan tutkimuksen tulosten arvioitiin kuvaavan suomalaista aaltopahvintuotantoa paremmin kuin eurooppalaiseen keskiarvodataan perustuvan tutkimuksen. KCL:n tutkimuksessa selvitettiin aaltopahvin elinkaaren aikaiset päästöt ”metästä tehtaan portille”(Hohenthal ja Wessman 2003). Tölkkipakkausvaihtoehdon sekundaaripakkauksissa käytetyssä aaltopahvissa kierrätyskuitua oli 33 % ja pikarivaihtoehdon sekundaaripakkauksissa käytetyssä 100 %. KCL:n tutkimuksessa aaltopahvin tuotannon ympäristövaikutukset oli selvitetty keskimääräiselle pohjoismaiselle aaltopahville (32 % kierrätyskuitua, 68 % primaarikuitua) ja 100 % kierrätyskuidusta valmistetulle aaltopahville. Tölkkipakkausvaihtoehdon sekundaaripakkausten tuotannon päästöille käytettiin keskimääräisen pohjoismaisen aaltopahvin päästöarvoja ja pikarivaihtoehdon sekundaaripakkausten tuotannon päästöille 100 % kierrätyskuidusta valmistetun aaltopahvin päästöarvoja. Lähteenä käytetyssä tutkimuksessa ei ole huomioitu aaltopahvin valmistukseen käytettävän kiertokuidun tuotannon ennen pulpperointia tapahtuvia toimintoja eikä tehty hyvityksiä käytön jälkeen kierrätykseen päätyvän aaltopahvin uusiokäytöstä. Aaltopahvin raaka-aineena käytettävän kierrätyskuidun tuotantoketjun alkupään oletettiin aiheuttavan CO₂-päästöjä 25 kg/t tuotetta (Hohenthal 2010). Aaltopahvilaatikoiden loppukäyttö mallinnettiin käyttämällä allokointiperusteina primaari- ja sekundaarituotteiden (hylsykartongin) taloudellista allokoin-

tikertoimia, jotka saatiin EUWID-tietokannasta sekä sekundaarituotteiden myöhempien käyttökertojen määrää. Allokoinnin periaatteet on selitetty tarkemmin liitteessä 1.

Pakkausvaihtoehto 2 on 150 ml:n polypropeenipikari, josta saatiin tuotantotiedot tuotteen valmistajalta koskien yrityksen keskimääräistä pakkausten tuotantoa. Polypropeeniraaka-aineen valmistuksen osalta tutkimuksessa käytettiin APME:n (Association of Plastics Manufacturers in Europe) keskimääräisiä tietoja polypropeenin tuotannon ympäristökuormituksista vuodelta 1999. Samoja APME:n tietoja käytettiin myös muissa tapaustutkimuksissa, joissa pakkauksen raaka-aineena oli polypropeeni. Pikarissa on alumiinikansi, jonka ympäristövaikutuksista käytettiin EAA-tietokannan tietoja alumiinin tuotannosta ja jalostamisesta lopputuotteeksi. Alumiinimateriaali on primaarista alumiinia.

Ruispalaleipä

Ruispalaleivän eri pakkausvaihtoehdoista tutkittiin 9 kpl:n paperi-, polypropeeni- ja polyeteeniraaka-aineesta valmistettuja pusseja sekä 4 kpl:n polypropeenipussia. Pussit sisältävät myös klipsisulkimen, joka koostuu teräksestä ja polypropeenista. Teräksen ympäristökuormitusten tiedonlähteenä käytettiin Ecoinvent-tietokantaa ja muovien raaka-aineiden tiedonlähteenä APME:n tietokantatietoja vuodelta 1999.

Muovipussien valmistustiedot saatiin valmistajilta käsittäen laitosten keskimääräisen energiankulutuksen suhteessa tuotettuihin tuotteisiin. Paperipussin paperiraaka-aineesta saatiin valmistajalta kyseessä olevan paperin profiilitiedot, jotka käsittävät ympäristökuormituksista paperin hiilijalanjäljen (ns. kehdesta tehdään portille), Typen oksidi- ja rikkidioksidipäästöistä ja rehevöittävästä päästöistä paperin profiilitiedoissa ilmoitettiin ainoastaan sellun ja paperin valmistusprosessien päästöt. Puunhankinnan, metsän hoitotoimenpiteiden ja puun kuljetusten happamoittavat ja rehevöittävät päästöt saatiin KCL-ECO:n elinkaaritietokannasta.

Kuljetuspakkauksina ruispalaleivälle käytetään kiertäviä muovilaatikoita eikä niiden valmistusta sisällytetty mukaan, vaan ne oletettiin täysin kiertäviksi, koska niiden käyttöikä on noin 15 vuotta. Myöskään kuljetuspakkausten pesuja ei huomioitu tutkimuksessa. Kuljetuspakkausten kuljetusten osuus runkokuljetusten ja jakelun päästöissä sekä tyhjiä laatikoiden paluukuljetuksissa otettiin kuitenkin huomioon.

Kokoliuhaleikkele

Kuluttajapakkauksissa käytettävien muovikalvojen valmistuksesta saatiin tuotantolaitoskohtaiset tiedot keskimääräisistä sähkö- ja lämpöenergiankulutuksista, liuottimien kulutuksesta, veden kulutuksesta sekä tuotantolaitoksella valmistettavista tuotteiden kokonaismääristä. Kartonkiosan osalta tuotekohtainen ekotase saatiin valmistajan laskemana. Muovien raaka-aineiden valmistustiedot ovat APME:n Plastics Europe-tietokannasta vuodelta 1999 ja EVOH:n valmistuksesta hankittiin tiedot PE-internationalin ylläpitämästä GaBi-tietokannasta, koska oli perusteltua olettaa sen valmistuksen päästöjen poikkeavan merkittävästi polyeteenin päästöistä, jotka oletetaan usein vastaavan EVOH:n tuotannon päästöjä. Kyseisten ympäristökuormitustietojen laskennassa on käytetty taloudellista allokointia ja tiedot perustuvat ”kehdestahautaan” tyyppiseen tutkimukseen.

Kuljetuspakkauksina käytettiin polyeteenistä tehtyjä muovilaatikoita, joiden massa on noin 2,5 kg. Laatikoiden käyttöikä on noin 10 vuotta, minä aikana ne kiertävät keskimäärin jopa 500 kertaa. Kuljetuspakkausten valmistuksen merkittävyys arvioitiin sen verran vähäiseksi, että ne jätettiin laskelmien ulkopuolelle. Lisäksi kuljetuspakkausten pesut jätettiin tutkimuksen ulkopuolelle. Kuljetuspakkausten osuus kuljetuksissa otettiin kuitenkin huomioon.

2.4.2 Viljely

Viljelyn mallinnuksen perusteet on esitetty taulukossa 3. Kaikki kuormitukset kohdennettiin tuotantokasvien korjatulle sadolle ja oljet oletettiin kynnnettäväksi takaisin peltoon. Kasvintuotannon sivuvirroille (esim. olki) ei allokoitu vaikutuksia. Maatalouden päästöjä laskettaessa huomioitiin maaperätyyppin vaikutukset N₂O- ja CO₂-päästöihin.

Taulukko 3: Viljelyn mallinnuksen tietolähteet

Viljelytoimenpide tai päästö	Tietolähde
Viljelyn konetyö	Pro Agria, MTT:n asiantuntija-arvio, Grisso ym. (2007)
Työkoneiden moottoripäästöt	TYKO-malli (Mäkelä 2008), Neste Oil
Polttoaineiden tuotannon päästöt	Neste Oil
N ₂ O-päästöt, paitsi Soygurt	IPCC (2006)
Soygurt, N ₂ O-päästöt	Ogle ym. 2008
Ravinnehuuhtoumat	MTT:n ja SYKE:n mallit perustuen valuma-alueutkimusten havaintoaineistoihin
Fosforihuuhtouman laskennan lähtötiedot	ProAgria, SYKE (Grönroos & Puustinen)
Väkilannoitteiden NH ₃ -päästöt	Yara Oy (2009)
Karjanlannan NH ₃ -päästöt	(Umwelts Bundesamt, Berlin) (Döhler ym. 2002)
Viljan kuivauksen CO ₂ -päästöt	Tilastokeskus 2007
Viljan siirtokuljetukset	(Juostas & Janulevičius 2008).
Varastointi	MTT:n asiantuntija-arviot

Soygurt

Viljelytiedoista Soygurt tapaustutkimuksessa soijan osalta on käytetty tietoja Yhdysvalloissa kasvatetusta elintarvikesojjasta, josta on saatu tietoa nimenomaan niiltä viljelijöiltä, jotka toimittavat soijaa Raisiolle. Tiloja on yhteensä 170 ja niiden yhteispinta-ala käsittää 16564 hehtaaria. Tiedot käsittivät polttoaineiden kuljetukset, lannoitteiden ja kalkin käytön sekä satotason, joka oli 2700 kg/ha. Typpioksiduulipäästöt mallinnettiin käyttämällä lähdettä Ogle ym. (2008). Soijaa viljellään USA:ssa viljelykierrossa maissin kanssa. Lannoitteita ei soijan viljelyssä käytetä, mutta pieni osa maissille käytetyistä lannoitteista allkoitiin soijalle. Kalsiumkarbonaattiekvivalentit on laskettu kalkitusaineiden kokonaisneutralointikyvystä suhteessa kalsiittiin. Soijan viljelyn ravinnehuuhtoumat ja ammoniakkipäästöt saatiin Ecoinvent-tietokannasta koskien yhdysvaltalaisista soijan viljelyä.

Sokerijuurikkaan osalta on käytetty Pro Agrian lohkotietopankin tietoja satotasosta, maaperätiedoista sekä kalkin ja lannoitteiden käytöstä vuosilta 2004–2006. Tutkimuksessa käytetty sokerin satotaso oli 36300 kg/ha ja aineisto käsitti 1175 lohkoa ja 7029 hehtaaria.

Polydeksstroosituotteen raaka-aineen maissin viljelyketjun kasvihuonekaasutiedot ovat peräisin Ecoinvent-tietokannasta ja koskevat maissin viljelyä Yhdysvalloissa. Ecoinvent-tietokannasta saatujen tietojen mukaan maissin satotaso oli 9315 kg/ha.

Soygurtissa käytettävä pektiini valmistetaan sitrushedelmien kuoresta. Kuoret katsottiin sitrushedelmien viljelyn sivutuotteeksi, joten niille ei allkoitu kuormituksia sitrushedelmien viljelystä. Itse pektiinin tuotantoprosessi mallinnettiin hyvin karkeasti käyttäen lähteenä Daniscon ympäristöraporttia vuodelta 2008.

Mustikkalisässä käytettyjen mustikoiden keruusta saatiin tietoja Arktiset Aromit ry:ltä sekä Celeste Lacuna-Richmanilta Itä-Suomen yliopistosta. Näihin tietoihin perustuen mustikoiden keruun ympäristövaikutukset mallinnettiin karkeasti olettaen, että marjojenpoiminnan suorittavat thaimaalaiset ammattimaiset poimijat. Thaimaalaisen mustikanpoimijoiden tuottamien ympäristövaikutusten arvioitiin olevan suunnilleen samat kuin kotimaisten ei-ammattimaisten poimijoiden tuottamat ympäristövaikutukset (Lacuna-Richman 2010).

Thaimaalaisen mustikoidenpoimintamatkan ympäristövaikutuksissa huomioitiin lentomatka Bangkokista Helsinkiin (8000km), joka mallinnettiin perustuen VTT:n Lipasto-tietokantaan. Lisäksi huomioitiin matka Helsingistä mustikanpoiminta-alueille (arvio 800 km) ja arvioitiin päivittäiset ajomatkat (arvio 70km). Keskimääräisten päivittäisten mustikkasaaliiden oletettiin olevan 70 kg/henk. Thaimaalaisen poimijoiden arvioitiin viettävän Suomessa keskimäärin 1,5 kuukautta.

Ruispalaleipä

Viljelytiedoista ruispalaleivän raaka-aineiden, rukiin ja vehnän, viljelyprosessit mallinnettiin käyttämällä lähteenä Pro Agrian lohkotietopankista saatuja tietoja vuosilta 2004–2006. Tiedot koskivat satotasoa, maaperää sekä kalkin ja lannoitteiden käyttöä. Vehnän satotaso oletettiin näiden tietojen perusteella olevan 4090 kg/ha ja rukiin 2950 kg/ha. Työkoneiden polttoaineen kulutukset kotimaisen rukiin ja vehnän tuotannon osalta laskettiin MTT:n tuoreimmalla traktorityömallilla.

Valtaosa käytetystä rukiista oli tuontiruista, joka oli peräisin pääasiassa Saksasta ja Puolasta. Tuontirukiin osalta havaittiin, että kyseisissä maissa viljellyn rukiin tuotannosta on julkaistu hyvin vähän tietoja. Ecoinvent-tietokannasta saatiin tietoja keskimääräisen eurooppalaisen rukiin tuotannosta satotasolla 3172 kg/ha.

Kokolihaleikkele

Kokolihaleikkeleen tapaustutkimuksessa huomioitiin sianlihan tuotannossa käytettyjen rehujen valmistukseen käytetyt panokset ja panosten valmistuksessa syntyvät päästöt kukin panosketju kokonaisuudessaan huomioon otettuna. Rehut jakaantuvat tiloilla tuotettuihin ja teollisesti valmistettuihin rehuihin. Rehujen tuotannossa käytetyn veden käsittelyn energia sisältyy malliin. Panosten käytön osalta lähtötietoina käytettiin ProAgrian lohkotietokannan aineistoja vuosilta 2002–2006.

Teollisesti valmistettujen rehujen kuormituksen mallinnus perustui suurimmilta rehunvalmistajilta saatuihin rehuresepteihin ja rehujen kotimaisten raaka-aineiden (viljat ja rypsi) tuotantotietoihin sekä ulkomaisen raaka-aineen (soija – käytetty tietoja brasilialaisesta soijan viljelystä) tuotannon ympäristökuormitusten kirjallisuustietoihin (Ecoinvent-tietokanta). Rypsin ja rapsin kuormitustiedot perustuivat kokonaan kotimaisen rypsin tuotannon malleihin.

Sikojen kasvatuksesta aiheutuvien ympäristövaikutusten arvioinnissa huomioitiin se, mitä ja minkä verran eläimet syövät kasvatuksen eri vaiheissa, kuinka paljon eläimet kasvavat/kasvattavat lihassmassaa, ja kuinka paljon eläimet tuottavat lantaa ja suoraa päästöjä. Sianlihan alkutuotannon panosten (rehunkulutus) ja tuotosten arvioimiseksi kerättiin aineistoa lukuisista eri tietolähteistä. Päälähteet on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4: Sikojen kasvatuksen mallinnuksen pohjatietojen lähteet.

Tiedon kuvaus	Tietolähde	Ajallinen edustavuus
Eläinten tuotostasot	TIKE, ProAgria	2005
Teollisten rehujen koostumus	Suurimmat kotimaiset rehunvalmistajat	2005
Eläinten populaatorakenne	ProAgria, Serenius ym. 2007	2005
Sikojen rehunkulutus	MTT:n ruokintanormeihin perustuvat yhtälöt	2006
Ruokinnan jakautuminen eri tuotantovaiheisiin	Leeson ja Summers 2006	2005
Nautaeläinten ja sikojen ruoansulatuksen metaanipäästöt	Tilastokeskus 2006	2004

Edellä kuvatun sikojen rehunkulutuksen lisäksi mallinnuksessa huomioitiin myös sikatiloilla käytettävien panosten tuotannosta syntyvät päästöt. Näitä panoksia ovat eläinsuojissa, tuotantoprosesseissa ja lannan käsittelyssä käytetty sähköenergia ja polttoaineet sekä viimeksi mainittujen käytöstä syntyvät päästöt. Mallinnuksessa käytetyt tiedot eläinsuojien ja tuotantoprosessien tyypeistä sekä niiden ja paikallisen lannan käsittelyn ja varastoinnin sähkö- ja lämpöenergian käytöstä perustuvat MTT:n teknologiatutkimuksen asiantuntija-arvioihin. Lannan levitys pelloille sisältyi viljelymalleihin. Käytetyn veden osalta huomioitiin vain veden pumppaukseen kuluva energia.

Sikojen kasvatuksessa eläinperäisiä päästöjä syntyy eläinten ruoansulatukselta (CH₄) sekä lannasta suoraan (CH₄, NH₃, N₂O sekä N- ja P-huuhtoumat) ja epäsuorasti (NH₃->N₂O ja N-huuhtouma-> N₂O).

Kaikki eläinperäiset suorat ja epäsuorat päästöt ovat sianlihantuotannon mallissa mukana sikäli kuin arviointiin oli saatavilla malleja tai muuten riittäviä perustietoja päästömallien muodostamiseksi. Päästömallinnus on kuvattu tarkemmin alla. Sikojen ruoansulatuksen metaanipäästöjen arviointiin käytettiin Suomen kasvihuonekaasuinventoinnissa käytetyistä malleista (Tilastokeskus 2006) johdettuja malleja.

Tutkimuksessa arvioitiin myös sonnan ja virtsan muodossa olevien typen ja fosforin määrät. Arvio muodostettiin vähentämällä eläinten tilalta poistuessaan mukanaan viemät typen ja fosforin laskennalliset määrät syödyissä rehuissa eläimiin kulkeutuneista vastaavista määristä. Erotus on siirtynyt lantaan. Menetelmät ovat samat kuin kansallisissa inventaarioissa (fosforihuuhtouma, ammoniakkipäästöt). Ulostetun typen arvioita käytettiin lähtöarvoina eläinsuojien ja lannan varastoinnin NH₃- ja N₂O -päästöjen arviointimallissa, jota on kehittänyt Suomen ympäristökeskus.

2.4.3 Raaka-aineiden ja välituotteiden valmistusprosessit

Soygurt

Mustikkalisän pääasialliset raaka-aineet ovat itse mustikat ja kidesokeri. Mustikkalisän tuotannon sähkö- ja lämpöenergiankulutustiedot on saatu toimittajalta ja ne perustuvat vuoden 2008 tietoihin.

Sokerin valmistuksen tietolähteenä ovat Nordzucker Oy:n Säköylän tehtaan tiedot vuodelta 2007. Sokerin valmistuksen sivutuotteina syntyy melassia, puristeleikettä ja puristekalkkia. Pää- ja sivutuotteiden osuus prosessissa syntyvistä kuormituksista on allokoitu käyttäen tuotteiden taloudellista arvoa. Prosessissa käytettävä lämpöenergia saadaan kivihiilen ja öljyn poltosta.

Muut raaka-aineet: Polydekstroosituote tuotetaan USA:ssa maissitärkkelyksestä, jonka valmistusprosessia on approksimoitu käyttämällä perunatarkkelyksen valmistusprosessin tietoja (Voutilainen ym.2003). Pektiinin teollisessa prosessoinnissa on käytetty keskimääräistä Daniscon tuotteiden sähköenergiankulutusta. Glukoosin valmistuksesta käytettiin polydekstroosin tuotantotietoja, koska tietoja tuotteen valmistajalta ei saatu.

Ruispalaleipä

Ruispalaleivän täysjyväruis- ja vehnä jauho sekä sihtiruisjauho valmistetaan Fazer Myllyssä Lahdessa. Myllyn prosessi käsittää viljan vastaanoton ja varastoinnin, puhdistuksen, seoksen valmistamisen ja jauhatuksen sekä seulonnan. Fazer Myllyltä saadun arvion mukaan eri jauhojen tuotantoprosessien energian- ja vedenkulutukset sekä jätteiden ja jätevesien määrät eivät kyseisellä laitoksella eroa merkittävästi toisistaan. Tästä johtuen keskimääräisiä laitoskohtaisia tietoja käytettiin kaikkien jauhoraaka-aineiden sekä täysjyvärouheen ja vehnäleseeseen valmistusprosessien mallinnuksiin. Allokointi ruis- ja vehnä jauhojen valmistuksessa syntyvien sivutuotteiden ja päätuotteen osalta tehtiin siten, että päätuotteelle allokoitiin kaikki kuormitukset.

Ruismaltaan, -mallasuutteen sekä hiivan prosessointitiedot saatiin suoraan raaka-aineiden toimittajilta ja tiedot ovat keskimääräisiä tietoja tuotantolaitosten vuosittaisista syötteistä ja tuotoksista. Tiedot kattoivat raaka-aineiden, energian ja veden kulutukset sekä päästöistä kiinteät jätteet ja jätevedet. Perunahiutaleiden valmistus jätettiin pienenä raaka-ainekomponenttina tutkimuksen ulkopuolelle. Suolan valmistuksen osalta päästötiedot perustuvat APME:n (Association of Plastics Manufacturers in Europe) keräämiin ja julkaisemiin tietoihin.

Kokoliuhaleikkele

Sikojen teurastus ja lihan leikkaaminen tapahtuu HK Ruokatalo Oy:n teurastamossa Forssassa. Teurastamossa siat tainnutetaan ensin hiilidioksidin avulla. Forssan teurastamolta saatiin tiedot vuodelta 2008 teurastamolle tulleiden elävien sikojen määrästä, leikkuuseen ostetun lihan määrästä, käytetyn veden ja hiilidioksidin määrästä, sähkön- ja kaukolämmön kulutuksista, energianlähteinä käytettyjen nestekaasun ja raskaan polttoöljyn kulutuksista, syntyneiden kaatopaikkajätteen ja jäteveden määrästä sekä tuotantomää-

ristä. Kierrätykseen tai energiahyötykäyttöön menevien jätejakeiden jatko-prosessointia ei tutkimuksessa huomioitu. Koska tarkempia arvioita ei ollut käytettävissä, käytettiin mallinnuksessa kaikkien syötteiden sekä jätteiden ja jäteveden osalta keskimääräisiä, koko teurastamon kattavia lukuja eli koko teurastamon (pois luettuna jatkojalostus, koska tarkasteltavan tuotteen raaka-aineena käytettyä sianlihaa ei jatkojalosteta Forssan teurastamolla) vuosittaiset kulutusluvut. Jätevesi- ja sekajättemäärät jaettiin elintarvikekäyttöön menevien lihatuotteiden (leikatut lihatuotteet, ruhot ja ruhonosat pois lukien niiden sisältämien liuden paino, elintarvikekäyttöön menevä ihra ja elimet, mahat ja saparot) vuosittaisella tuotantomäärällä. Energiahyötykäyttöön, biodieselin tuotantoon, rehuntuotantoon tai muuhun hyötykäyttöön meneville sivutuotteille (luut, karvat, muut poltettavat sivutuotteet, muuhun kuin elintarvikekäyttöön menevä ihra ja elimet ja minkinrehu) ei allokoitu mitään. Laskelmissa huomioitiin myös tainnutukseen käytettävän hiilidioksidin valmistus.

Suolan valmistuksen osalta päästötiedot perustuvat APME:n (APME CD-ROM 1999/Eco-Profiles n:o 6 1998) laskemiin tietoihin ja maltodekstriinin Ecoinventistä saatuihin tietoihin modifioidusta maissitärkkelyksestä. Muiden huomioitujen raaka- ja apuaineiden valmistuksesta aiheutuneiden päästöjen arviointi perustui toimittajilta saatuihin tietoihin ja osittain EcoInvent-tietokannan tietoihin.

2.4.4 Elintarviketeollisuuden valmistusprosessit

Soygurt

Soygurt -tuote valmistetaan Raision Non Dairy tehtaalla Turussa. Juoman valmistusprosessin jälkeinen kylmävarastointi suoritetaan Raision Orikedon varastossa Turussa. Soygurtin lisäksi Turun tehtaalla valmistetaan erilaisia kaura- soija- ja riisijuomia sekä hapatettuja soijavalmisteita ja kaurapohjaisia elintarviketuotteita. Tehtaan energiankulutuksen, tuotantomäärien, vedenkulutuksen, jätevesimäärien ja kiinteiden jätteiden osalta on käytetty vuoden 2010 tuotantotietoja tammi-toukokuulta. Sähkö- ja lämpöenergiankulutus on laskettu keskimääräisenä arvona koko tehtaan kokonaistuotantomäärää kohden, sillä kuormitusta ei pystytty tämän tutkimuksen puitteissa jyvittämään eri tuotteille. Pääasialliset prosessivaiheet ovat soijan kuorinta, soijabaasin valmistus, jossa kuoritut soijapavut sekoitetaan veteen ja baasin jalostus, sekä useat vaiheet, joissa juomaa lämmitetään korkeisiin lämpötiloihin. Lämpöenergian tuottaa raskasta polttoöljyä käyttävä erillinen kattila, josta tutkimusta varten saatiin kattilakohtaiset päästötiedot. Kaukolämmön tuotannon ympäristökuormitustiedot saatiin kaukolämmön toimittajalta.

Ruispalaleipä

Ruispalaleivän valmistusprosessia koskevat tiedot on kerätty kolmelta ruispalaleipää valmistavalta leipomolta. Ruispalaleivän valmistusprosesseista kerätyt tiedot vastaavat kyseisten leipomoiden todellisia prosessitietoja vuodelta 2008 koskien tuotantolaitosten energiankulutusta, veden kulutusta, jäteveden määrää ja laatua sekä kiinteitä jätteitä. Raaka-aineiden käyttö laskettiin ruispalaleivän reseptin mukaisesti huomioiden myös paistohävikin. Ruispalaleivän valmistukseen kuuluvat raaka-aineiden vastaanotto ja varastointi, taikinan valmistus ja nostatus, paisto, jäädytys ja pakkaaminen.

Leipomoiden kuormitukset, kuten energiankulutus, allokoitiin leipomoiden tuotteille, esim. kahvilleiville ja erilaisille leiville, massaperusteisesti, koska tuotantolinjakohtaisia mittaustietoja ei ollut saatavissa pelkän ruispalaleivän tuotannon kulutuksista ja jätteistä. Ruispalaleivän tuotannon kuormitukset laskettiin siis jakamalla koko tuotantolaitoksen vuosittaiset energiankulutus- ja jättemäärät laitoksen vuosittaisella kokonaistuotantomäärällä. Raaka-aineiden käyttö laskettiin tuotekohtaisen reseptin mukaisesti. Myös paistohävikki huomioitiin. Tutkimuksessa huomioitiin leipomoiden erisuuruiset ruispalaleivän valmistusmäärät siten, että syötteiden ja tuotosten osalta käytettiin painotettuja keskiarvoja kunkin leipomon ruispalaleivän valmistusmäärän suhteen. Ruispalaleivän valmistuksessa syntyville vähempiarvoisille sivutuotteille, kuten sekundalle, ei allokoitu kuormitusta. Leipomoissa käytetyn energian tuotantotavat ja kulutukset olivat erilaiset. Valmistettavat tuotteet sekä syntyvien sivutuotteiden määrät olivat erilaiset eri leipomoilla.

Kokolihaleikkele

Kokolihaleikkele valmistetaan ja pakataan HK Ruokatalo Oy:n Vantaan tuotantolaitoksella. Prosessin päävaiheet ovat massan sekoitus ja maseeraus, kokolihaleikkeleen kypsennys, savustus ja siivuttaminen sekä siivujen pakkaaminen. Leikkeleen savustus jätettiin tutkimuksen ulkopuolelle. Vantaan tuotantolaitokselta saatiin tiedot tuotteen reseptistä, tuotteen valmistamisessa syntyvästä sekajätteen määrästä sekä vuoden 2008 osalta tiedot koko tuotantolaitoksen sähkön-, lämmön- ja polttoaineiden (propani ja maakaasu) kulutuksesta, koko tuotantolaitoksen jätevesimäärästä sekä koko tuotantolaitoksen tuotantomäärästä. Koska tarkempia arvioita juuri ylikypsän saunapalvikinkun tuotantoprosessista ei ollut käytettävissä, käytettiin mallinnuksessa energiankulutusten ja jäteveden osalta keskimääräisiä koko tuotantolaitoksen kattavia lukuja eli koko tuotantolaitoksen vuosittaiset energiankulutus- ja jätevesimäärät jaettiin laitoksen vuosittaisella tuotantomäärällä. Tuotteen raaka-ainetarve laskettiin tuotteen reseptin kautta.

2.4.5 Tuotejakelu

Valmiin tuotteen kuljetuksista runkokuljetukset ja tuotejakelu mallinnettiin Soygurtin osalta Inex Partners Oy:ltä saatujen tietojen perusteella. Kokolihaleikkeleen osalta runkokuljetukset mallinnettiin HK Ruokatalon lähtötietojen perusteella ja tuotejakelu Inex Partners Oy:ltä saatujen tietojen perusteella. Kyseiset kuljetustiedot sisälsivät polttoainemäärät suhteessa kuljetettuihin tuotemääriin. Ruispalaleivän kuljetustiedot mallinnettiin Fazer Leipomoilta saatujen tietojen perusteella. Tuotejakelu mallinnettiin kahden tyypillisen esimerkkireitin mukaan. Tiedot sisälsivät reittien polttoaineiden kulutuksen suhteessa kuljetettuihin tavaramääriin. Ruispalaleivän runkokuljetukset mallinnettiin käyttämällä Fazer Leipomoilta saatuja lähtötietoja kuljetusmatkoista, kuormien täyttöasteista, kuljetusmääristä ja polttoaineiden kulutuksista.

Loput tiedot kuljetusmatkoista ja kuljetustavoista perustuivat kuljetusyriyksille tehtyihin kyselyihin. Kuljetusten hiilijalanjälkitietojen päästökertoimien laskentaperusteina toimi VTT:n ylläpitämä LIISA-tietokanta. Maataloustuotteiden keskimääräiset kuljetusmatkat laskettiin painotettuja keskiarvoja käyttäen tilojen keskimääräisistä etäisyyksistä kuljetuskohteisiin. Allokointi kuljetuserässä kuljetettujen erilaisten tuotteiden välillä tehtiin massa-allokointina.

2.4.6 Kauppa

Kaupan osalta huomioitiin tuotehävikki sekä keskusvarastojen ja vähittäiskauppojen lämmön- ja sähkökulutus, jotka arvioitiin Inex Partners Oy:n toimittamien tietojen pohjalta. Tiedot sisälsivät kauppaketjun kokonaisenergiankulutukset jaoteltuna lämpöenergiaan, kylmälaitteiden sähköenergiankulutukseen sekä muuhun sähkökulutukseen. Kylmälaitteiden sähkökulutukset suhteutettiin kauppaketjun kylmätuotteiden kokonaismäärään ja muut energiankulutukset suhteutettiin kauppaketjun kokonaisuuteen. Sähköenergian tuotannon päästökertoimina käytettiin suomalaisen keskimääräisen sähkön päästökertoimia ja lämpöenergian tuotantoon keskimääräisiä suomalaisen kaukolämmön päästökertoimia. Kaupan hävikistä saatiin tuotekohtaisin tietoja Inex Partners Oy:ltä.

2.4.7 Kotitalouksien ruokahävikki

Kotitalouksissa syntyvä ruokahävikki koskien kaikkia tapaustutkimustuotteita selvitettiin Research Insightin suorittamassa kuluttajakyselyssä. Kysely toteutettiin Internet -kyselynä ja vastaajat rekrytoitiin Research Insightin kuluttajaneelistasta. Tutkimukseen vastasi jokaisen tuoteryhmän osalta yli 500 18–64 -vuotiasta henkilöä, jotka käyttivät kyseisten tuoteryhmien tuotteita vähintään kerran vuodessa. Tutkittujen tuotteiden kuluttajahävikin arvioitiin olevan suurin piirtein samaa luokkaa kuin muiden saman tuoteryhmän tuotteiden, joten kyselyä laajennettiin tuotteiden käyttäjien tavoittamisen helpottamiseksi koskemaan jokaisen tapaustutkimus-tuotteen tuoteryhmäkohtaista hävikkiä kotitalouksissa. Kyselyssä vastaajaa pyydettiin arvioimaan, kuinka paljon heidän talouteensa ostetaan ruispalaleipiä, kokolihaleikkeleitä ja jogurtteja tai vastaavia soijapohjaisia tuotteita erikokoisissa pakkauksissa ja kuinka paljon tuotteista syn-

tyy ruokahävikkiä. Lisäksi kysyttiin ruokahävikin subjektiivisesta kokemisesta, vähentämisestä ja jätteen kierrätyksestä.

Kyselytutkimuksen tulosten mukaan kyseisten tuoteryhmien kuluttajahävikit ovat hyvin pieniä ja suurimmalla osalla kuluttajista ei synny ollenkaan hävikkiä kyseisten tuoteryhmien kohdalla. Kuitenkin useampien ruokahävikkitutkimusten mukaan hävikiksi päätyy kotitalouksissa 10 -20 % hankitusta ruuasta. Lisäksi vastaajien huomattiin arvioivan kotitaloutensa tuoteryhmäkohtaiset ostovolyymit selkeästi todellisia suuremmaksi ja niitä jouduttiin painottamaan alaspäin tuoteryhmien kokonaismyyntivolyymien perusteella. Ruuan ostomäärien ja hävikin syntymäärien arviointi on kuluttajille hyvin vaikeaa ja näin ollen kyselyn tuloksena saadut kotitalouksien ruokahävikkiprosentit ovat vain karkeita arvioita kyseisten tuotteiden hävikeistä kotitalouksissa.

Soygurtin osalta ruokahävikkiä syntyy kuluttajien tietoisesti pois heittämän tuotemäärän lisäksi tyhjennettyjen pakkausten seinämille jäävistä tuotejäämistä. Tuotejäämien määrät selvitettiin Raision tekemissä tyhjennyskokeissa. Kyseisissä kokeissa tyhjennettiin sekä tölkkejä että pikareita erilaisilla tavoilla ja selvitettiin punnitsemalla tyhjennettyyn pakkaukseen jääneiden tuotejäämien painon osuus suhteessa täyden pakkauksen tuotesisällön painoon. Molemmille pakkauksille tehtiin useammalla tyhjennystavalla useita toistoja, joiden tuloksista laskettiin keskiarvot. Kuluttajakyselyssä kysyttiin kuluttajilta, millä tavoin he tavallisesti tyhjentävät vastaavanlaiset jogurttipakkaukset ja näin saatiin arviot eri tyhjennystapojen käyttösuuksista kuluttajien keskuudessa. Tölkkiin ja pikariin keskimäärin jäävien tuotejäämien määrät arviointiin laskemalla eri tyhjennystapojen hävikeistä kyseisten tyhjennystapojen käyttösuuksilla painotetut keskiarvot.

Soygurtin kotitalouksien hävikiksi saatiin pienemmällä pakkauskoolla 1,5 % ja suuremmalla pakkauskoolla 2,3 %. Lisäksi pakkausten reunoille ja pohjaan jäi tuotetta seuraavasti: pienempään pakkaukseen 2,5 % ja suurempaan pakkaukseen 6,1 %. Kokonaishävikiksi tuli siis pikarivaihtoehdolla 4 % ja tölkkivaihtoehdolla 8,4 %.

Ruispalaleivän hävikiksi kotitalouksissa saatiin tässä tutkimuksessa käytettävissä olleilla kahdella pakkauskoolla keskimäärin noin 4 %, mikä mitä todennäköisimmin on pienempi, kuin mitä se todellisuudessa on.

Kuluttajakyselyssä kysyttiin kahden erityyppisen kokohihaleikkeleen hävikkiä, joista toisen kuluttajahävikiksi saatiin tässä tutkimuksessa tarkastelun kohteena olleilla kahdella pakkauskoolla noin 1,5 %. Toisen kokolihaleikkeleen 300 gramman pakkauksen kuluttajahävikiksi saatiin 1,4 % ja 150 gramman pakkauksen kuluttajahävikiksi 0,7 %. Tämän tutkimuksen perusteella pakkauskoolla ei näin ollen ole välttämättä vaikutusta kotitalouksien ruokahävikkiin tämän tuotteen osalta. Myös kokolihaleikkeleen osalta kotitalouksien hävikkiprosentin arvioitiin todellisuudessa olevan kuluttajakyselyn osoittamaa tulosta suurempi.

Tutkimuksessa selvitettiin myös tuotteiden poisheittojen syitä ja hävikin syntyyn vaikuttavia tekijöitä. Ruispalaleipien osalta yleisin syy poisheitolle oli homehtuminen tai kuivuminen ja leikkeleen ja jogurttien osalta viimeisen käyttöpäivän tai parasta ennen –päivän ohittuminen. Yleisin hävikin syntyyn vaikuttanut taustatekijä oli ruispalaleipien osalta tuoreemman leivän ostaminen, jolloin edellinen jää syömättä, kokolihaleikkeleiden osalta unohtuminen jääkaappiin tai ostettaessa liian vähän säilyvyysaikaa jäljellä ja jogurttien osalta unohtuminen jääkaappiin. Jokaisen tuoteryhmän osalta hävikkiä syntyi eniten niissä talouksissa, joissa kyseisen tuoteryhmän tuotteita käytettiin vähän. Pienten ostovolyymien vuoksi eniten haaskaavien vaikutus kokonaishävikkiin jää kuitenkin pieneksi.

Suurin osa kuluttajakyselyyn vastanneista ilmoitti, ettei heillä synny lainkaan ruokahävikkiä tutkituissa tuoteryhmissä. Koska kuluttajakyselyn tuloksiin liittyy paljon epävarmuutta ja saadut kotitalouksien ruokahävikkiarviot olivat kansainvälisten ruokahävikkitutkimusten tuloksiin verrattuna hyvin pieniä, laskettiin tutkittujen tuotteiden ympäristövaikutukset seuraavilla kuluttajahävikkiprosentteilla:

Soygurt: muovipikari 2,4 ja 6 % ja nestepakkauksen tölkki 5, 8 ja 11 %.

Ruispalaleipä: 0, 0,5 ja 1 leipäpalaa kaikille pakkauksille (yhden palan massa 56g)

Kokolihaleikkele: 0, 1 ja 2 siivua kokolihaleikkelettä (siivun massa 12 g)

2.4.8 Veden ja jäteveden käsittely

Talousveden puhdistusprosessin veden ja jäteveden käsittelyn osalta käytettiin lähdettä Tenhunen ym. (2000), joka on mallinnettu Tampereen vesilaitoksen tuotantoprosessista.

2.4.9 Jätteiden käsittely

Kiinteiden jätteiden käsittely, lukuun ottamatta kuluttajahävikkiä ja pakkausten loppukäyttöä, rajattiin tarkastelun ulkopuolelle, koska tuotantoketjussa syntyvien kaatopaikkajätteiden määrät ovat erittäin pieniä. Muiden kuin kierrätykseen tai energiahyötykäyttöön toimitettavien jätteiden kuljetukset on laskelmassa huomioitu.

2.4.10 Kuluttajapakkausten ja kotitalouksien ruokahävikin kierrätys ja jätehuolto

Tuotteen elinkaaren mallintamista tuotteen oston jälkeen hankaloitti se tekijä, ettei voi tietää, missä elintarvike käytetään, lajitteleeko kuluttaja syntyneen jätteen ja millaiset ovat käytettävissä olevat jätteenkäsittelyratkaisut jätteen syntypaikalla. Ongelmaa pyrittiin ratkaisemaan jäljempänä esitetyin erilaisin jätteenkäsittelymallien avulla. Nämä kuvaavat kahta tyypillistä tilannetta Suomessa jäteratkaisujen osalta. Jätehuoltolaitokset eivät tarkalleen kuvaa jonkin tietyn kaatopaikan, jätevoimalan tai kompostointilaitoksen käytössä olevia menetelmiä tai niissä syntyviä päästöjä. Kaikissa yksikköprosesseissa on kuitenkin pyritty mallintamaan tyypillinen Suomeen sijoittuva ratkaisu. Mallinnettuja nykytiloja voidaan soveltaa myös muun Suomen kuin pääkaupunkiseudun tilanteeseen, mikäli valitaan 1b-nykytilassa - energiajätteen hyötykäyttö sopivin korvattu lämmöntuotantomuoto. Jätehuollon yksikköprosessit -kappaleessa on tehty tarkemmin selkoa oletuksista eri jätteenkäsittelyprosesseista.

Jätekuljetusten vaikutusta on arvioitu valitsemalla etäisyys Helsingin keskustasta pääkaupunkiseudulle tyypilliseen jätehuoltolaitokseen. Jätekuljetusten osalta etäisyydet ovatkin yksinkertaistavia ja ne riippuvat aina tarkasteltavasta paikkakunnasta.

Tässä jätehuoltotarkastelussa ei tarkoituksena ole vertailla jätehuoltoratkaisuja keskenään, vaan tarkastella, millaiset ympäristökuormat eri pakkauskominaatioilla syntyvät erilaisissa jätehuoltoympäristöissä. Nykytilaa kuvaavissa jätteenkäsittelyskenaarioissa tuotteen käyttäjän lajittelevä käyttäytymistä on mallinnettu materiaalien kierrätyksen ja hyötykäytön suomalaisten keskiarvojen avulla.

1a) Nykytila kuvaa tilannetta, jossa ei ole jätteiden energiahyötykäyttömahdollisuutta. Sekajäte sijoitetaan kaatopaikalle, kuitupakkauksista osa kierrätetään ja osa lopputuotetaan kaatopaikalle. Elintarvikkeista kokolihaleikkele ja ruispalaleipä kompostoidaan suurelta osalta, loppu ruokahävikistä päätyy kaatopaikalle. Soygurt oletetaan olevan koostumukseltaan sellaista, ettei kuluttaja laita sitä ensisijaisesti biojäteastiaan, vaan tässä mallissa Soygurt päätyy pakkauksen pohjalla kokonaan kaatopaikalle.

1b) Nykytila – energiajätteen hyötykäyttö kuvaa tilannetta, jossa jätteillä on energiahyötykäyttömahdollisuus. Sekajäte menee pääsääntöisesti energiahyötykäyttöön ja pieni osuus sekajätteestä päätyy kaatopaikalle. Kuitupakkaukset päätyvät suurelta osin materiaali kierrätykseen, osa kuitupakkauksista menee myös energiahyötykäyttöön ja osa kaatopaikalle. Kokolihaleikkele ja ruispalaleipä kompostoidaan suurelta osalta, loppu kuluttajahävikistä päätyy kaatopaikalle. Tässä mallissa oletetaan, että kuluttaja huuhtelee viemäristä alas Soygurt-jäämät, jolloin ne päätyvät jäteveden käsittelyyn.

2a) Massapolttoskenaario painottaa energiahyötykäyttöä. Tässä skenaariossa oletetaan, että kaikki materiaalit ja elintarvikejäämät hyödynnetään energiantuotantoon 100 prosenttisesti.

2b) Energiajätteen hyötykäyttö – maksimaalinen kierrätys olettaa, että pakkausmateriaalit, jotka käytössä olevin keinoin pystytään kierrättämään, kierrätetään materiaalina, ja loput materiaalit (sekajäte) hyödynnetään energiana. Kokolihaleikkele- ja ruispalaleipäjäämät kompostoidaan 100 prosenttisesti ja Soygurt-jäämät päätyvät jätevedenkäsittelyyn.

Edellä kuvatuissa niin sanotuissa polttoskenaarioissa (2a ja 2b) materiaalit päätyvät kokonaisuudessaan aina tiettyyn jätteenkäsittelylaitokseen, jotta saataisiin lajitteluasteesta riippumatonta selkeyttä eri jäteratkaisujen välille.

Kaikkien neljän jätteenkäsittelymallin yhteenveto ja pakkausmateriaalien ja elintarvikejäämien päätyminen eri osuuksilla eri jätteenkäsittelyvaihtoehtoon on esitetty taulukoissa 4 ja 5. Prosenttiosuudet perustuvat PYR:n (Pakkausalan ympäristörekisteri Oy) pakkausten hyötykäyttö- ja kierrätystilastoihin vuodelta 2007 (PYR 2009), henkilökohtaisiin tiedonantoihin (Leppänen-Turkula 2009; Jokela 2009) sekä biojätteen ja sekajätteen osalta Tilastokeskuksen jätetilastoihin vuodelta 2004 (Tilastokeskus 2005). Kaupan kiristekalvojen osalta prosenttiosuudet on määritelty S-ryhmän tarjoamien arvioiden perusteella (Nekkula ja Niinivaara 2010).

Taulukko 4: Eri jätteenkäsittelyvaihtoehtoihin päätyvien materiaalien ja elintarvikejäämien osuudet tarkastelluissa nykytilaa kuvaavissa malleissa 1a ja 1b.

	Kaato- paikka	Kierrätys	Energia- hyöty- käyttö	Kom- postointi	Jäte- veden käsittely	lähde % -osuudelle
1A) NYKYTILA						
PE, PP, PA, PET,, muovitettu paperi, kartonki/PE/EVOH, sulkimen teräs, alumiinikannet ja nestepakkauskartongin alumiini	100 %					
Aaltopahvi (jätteen tuottajana kaupan yksiköt)		100 %				PYR; Leppänen-Turkula 2009
PE-kiristekalvo (jätteen tuottajana kaupan yksiköt)	30 %	70 %				Nekkula, Niinivaara 2010
Nestepakkauskartonki	62 %	38 %				PYR; Leppänen-Turkula 2009
Kokolihaleikkele ja ruispala-leipä	18 %			82 %		Tilastokeskus 2005
Soygurt	100 %					
1B) NYKYTILA ENERGIAHYÖTY- KÄYTÖLLÄ						
PE, PP, PA, PET,, muovitettu paperi, kartonki/PE/EVOH, sulkimen teräs, alumiinikannet ja nestepakkauskartongin alumiini	1 %		99 %			Tilastokeskus 2005
Aaltopahvi (jätteen tuottajana kaupan yksiköt)		92 %	8 %			PYR; Leppänen-Turkula; Jokela 2009
PE-kiristekalvo (jätteen tuottajana kaupan yksiköt)		70 %	30 %			Nekkula ja Niinivaara 2010
Nestepakkauskartonki	7 %	38 %	55 %			PYR; Leppänen-Turkula 2009
Kokolihaleikkele ja ruispala-leipä	18 %			82 %		Tilastokeskus 2005
Soygurt					100 %	

Taulukko 5: Eri jätteenkäsittelyvaihtoehtoihin päätyvien materiaalien ja elintarvikejäämien osuudet tarkastelluissa skenaarioihin 2a ja 2b perustuvissa malleissa.

	Kaato- paikka	Kierrätys	Energia- hyöty- käyttö	Kom- postointi	Jäte- veden käsittely	lähde % -osuudelle
2A) MASSAPOLTTO- SKENAARIO						
PE, PP, PA, PET,, muovitettu paperi, kartonki/PE/EVOH, aaltopahvi, sulkimen teräs, alumiinikannet ja nestepakkauskartongin alumiini			100 %			
Kokolihaleikkele, ruispalaleipä ja Soygurt			100 %			
2B) ENERGIAHYÖTY- KÄYTTÖ + MATERIAALIN KIERRÄTYS						
PE, PP, PA, PET,, muovitettu paperi, kartonki/PE/EVOH, sulkimen teräs, alumiinikannet ja nestepakkauskartongin alumiini			100 %			
Aaltopahvi, kartonki/PE/EVOH ja nestepakkauskartongin kartonkiosa		100 %				
PE-kiristekalvo		100 %				
Kokolihaleikkele ja ruispalaleipä				100 %		
Soygurt					100 %	

Jätteiden kuljetukset

Jätteiden syntypaikaksi on oletettu pääkaupunkiseutu. Kuljetukset jätteenkäsittelylaitokseen on otettu huomioon. Kuljetusetäisyydet on arvioitu Google Maps -karttapalvelun avulla Helsingin keskustasta kulloiseenkin jätteenkäsittelylaitokseen.

Kuljetusetäisyydeksi on valittu Helsingin keskustan ja alueelle tyypillisen jätteenkäsittelylaitoksen välinen etäisyys. Kaatopaikkasijoitus ja kompostointi oletetaan tapahtuvan Ämmäsuon jätteenkäsittelykeskuksessa, jolloin kuljetusetäisyytenä on käytetty 30 kilometriä. Energiahyötykäyttö oletetaan tapahtuvan vuonna 2014 valmistuvassa jätteenpolttolaitoksessa Vantaalla, jolloin etäisyydeksi muodostuu 20 kilometriä. Kuitupakkausten kierrätys tapahtuu tällä hetkellä Porissa Corenson tehtailla, jonne matkaa Helsingistä on n. 250 kilometriä. Kuidun kierrätysprosessissa syntyvä rejekti poltetaan Porin Kaanaan voimalaitoksella, jonne Porin Corenson tehtaalta on noin 40 kilometrin matka. Kierrätettävien muovikalvojen kuljetusetäisyytenä on käytetty L&T:n Keravan kierrätyslaitoksen ja Muoviportin Merikarviolla sijaitsevan toimipisteen välistä noin 300 kilometrin mittaista etäisyyttä.

Kuljetukset on mallinnettu Euro 3-päästöluokan kuorma-autolla, jonka kokonaiskapasiteetti 12–14 tonnia. Lastin täyttöasteena on käytetty 85 prosenttia. Kuljetuksissa on huomioitu dieselin kulutus ja sen tuotanto.

Kierrätys

Suomessa kotitalouksissa syntyvien kuitupakkausten kierrätys keskitetään tulevaisuudessa kokonaan Porin Corenson tehtaalle (Stora Enso 2010). Keräyskuiduista valmistetaan uusiomassaa, jota Suomessa käytetään

tetään hylsykartongin raaka-aineena. Uusiomassan ja hylsykartongin tuotanto ovat omaa tuotejärjestelmäänsä. Kierrätysprosessissa pystytään käyttämään luonnollisesti hyödyksi vain pakkausten kuidun osuus, ja nestepakkauskartongin polyeteeni- ja alumiiniosat ovat prosessissa syntyvää rejektiä. Tällä hetkellä rejekti poltetaan Porissa Kaanaan biovoimalaitoksella (Nyberg 2010), jonka polttoaineena voidaan käyttää turvetta, haketta, hiiltä ja kierrätyspoltoainetta. Mallinnuksessa on oletettu, että rejektiä polttoaineena käyttämällä vältytään sillä osuudella turpeen poltolta.

Kaupan yksiköissä syntyvää polyeteenikalvoa voidaan kierrättää materiaalina. Kierrätyskäytännöt vaihtelevat kauppoittain ja alueellisesti. Jos kalvomuovi kierrätetään materiaalina, siitä tehdään muoviteollisuuden käyttöön granulaattia, josta valmistetaan yleensä alemman jalostusasteen tuotteita. Kierrätys- ja granulointilaitoksia on käytössä useita, sekä Suomessa että ulkomailla. Kierrätysprosessissa tapahtuva hävikki johtuu materiaalin sisältämistä asiaankuulumattomista komponenteista, kuten etiketeistä ja hävikin määrä on arviolta 15–25 prosentin luokkaa (Oksanen 2010). Mallinnuksessa on käytetty alinta hävikki-prosenttia, eli 15 prosenttia, sillä hävikin voidaan olettaa olevan vähäistä, kun yhtä kuormalavaa kohden käytetään yhtä A5-kokoista etikettiä.

Kun materiaaleja kierrätetään, saadaan uusiomateriaalia uusien tuotteiden raaka-aineeksi ja vältytään neitseellisen materiaalin käytöltä. Tällöin olisi kohdennettava osa primaarituotteen aiheuttamista päästöistä ja sen vaatimista panoksista myös sekundaarituotteelle. ISO 14044 -standardi kehottaa mahdollisuuksien mukaan käyttämään uudelleenkäyttö- ja kierrätystilanteissa allokointiperusteena 1) fysikaalisia ominaisuuksia, 2) taloudellista arvoa ja 3) kierrätetyn materiaalin myöhempien käyttökertojen määrää. Tutkimuksessa on katsottu parhaimmaksi käyttää edellä olevista kolmatta allokointiperustetta lisätynä allokointikertoimiin tuotteiden taloudelliset arvot, jotka saatiin EUWID-tietokannasta. Eli tutkimuksessa allokointiongelmaa on lähestytty ISO/TR 14049 -raportissa (2000) esitellyn avoimen tuotejärjestelmän avoimen allokointimenettelyn kautta, jossa lasketaan primaari- ja sekundaarituotteelle allokointikertoimet, joiden avulla syötökset ja tuotokset jaetaan primaari- ja sekundaarituotteen kesken. Liitteessä 1 on esitelty lyhyesti laskennan teoriaa ja sen soveltamista kyseisiin tapaustutkimus-pakkauksiin.

Energiahyötykäyttö

Energiahyötykäytön osalta mallinnuksessa on käytetty pakkausmateriaaleille ELCD/PE-GaBin polttoprosesseja kunnallisessa jätteenkäsittelylaitoksessa. Mallinnuksessa on käytetty, mikäli mahdollista, tietokannan materiaalikohtaisia polttoprosesseja. Polttoprosessi perustuu arinatekniikkaan. Mallinnuksessa höyryntuotannon hyötysuhde on 94 % ja höyrystä 12 % käytetään sähköntuotantoon. Tuotetusta höyrystä osa käytetään prosessihöyrynä, ja loput päätyvät kotitalouksien ja teollisuuden tarpeisiin. Prosessiin on sisällytetty savukaasujen puhdistus sekä tuhkan loppusijoitus. (GaBi 4.3)

Mallinnusta tehdessä ei löydetty riittävää tietoa alumiiniin eikä teräksen polttoprosesseille, ja ne jätettiin mallintamatta. Tämä tuskin tuottaa kovin suurta virhettä tarkasteluun ainakaan energiahyödyn osalta, sillä metallit ainoastaan lämmitetään ja jäädytetään jätteenpolttokattilassa, eivätkä ne lisää jätteen lämpöarvoa (Maskuniitty 2002). On kuitenkin huomioitava, että metallien poltolla voi olla joitakin ympäristövaikutuksia ja ne ovat kattilan kannalta haitallisia.

Elintarvikejäte menee polttoon 2a massapolttoskenaariossa. Keittiöjätteen kosteuspitoisuus vaihtelee, mutta se on noin 70 %:n luokkaa. Tästä johtuen myös jätteen lämpöarvo on hyvin alhainen, noin 3 MJ/kg (Wellinger et al 2006). Kokolihaleikkeleen ja ruispalaleivän lämpöarvoksi valittiin edellä mainittu 3 MJ/kg, Soygurtin kuiva-ainepitoisuus on alhaisempi, joten sen lämpöarvona käytettiin 2 MJ/kg.

Biojätteen poltosta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt katsotaan bioperäisiksi. Eräiden arvioiden mukaan biojätteen polton CO₂-päästökerroin (bioperäinen hiilidioksidi) on 62–69 g/MJ (Lettojärvi lähteessä Virtavuori 2009). Tarkastelussa CO₂-päästökertoimeksi valittiin 65 g/MJ. Biojätteen energiahyötykäytölle oli vaikea löytää muita luotettavia päästöarvoja, joten tarkastelussa on huomioitu vain ruoan poltosta syntyvät hiilidioksidipäästöt (bioperäisiä) ja tuotettu energia. On kuitenkin huomioitava, että ruokajätteen poltolla voi olla joitakin ympäristövaikutuksia. Biojätteen polton metaanipäästöjä ei pidetä merkittävänä polton korkeista lämpötiloista ja riittävän pitkistä viipymäajoista johtuen. Poltossa syntyy N₂O-päästöjä, mutta merkittävästi vähemmän kuin CO₂-päästöjä. N₂O-päästöjen syntyminen riippuu lämpötilasta, viipymäajasta ja esimerkiksi ammoniakkin syötöstä NO_x-yhdisteiden vähentämistarkoituksessa. (IPCC 2000.) Jätteenpolton N₂O-päästöille on esitetty arvoja esimerkiksi yhdyskuntajätteelle, mutta tarkempaa tietoa ruokajätteen polton N₂O-päästöille ei löydetty.

Jätettä poltettaessa tuotetaan siis lämpöä ja sähköä. Näin vältetään energian tuotantoa muilla keinoin. Korvattuna sähköntuotantona on mallinnuksessa käytetty Suomen keskimääräistä sähköntuotantoa. Korvattuna lämmöntuotannon polttoaineena on käytetty maakaasua.

Kaatopaikkasijoitus

Kaatopaikkasijoituksessa on valittu tarkastelujaksoksi 100 vuotta. Kaatopaikkasijoituksessa on huomioitu jätteen anaerobisesta hajoamisesta syntyvät metaani- ja hiilidioksidipäästöt sekä jätekuormien käsittelyssä tarvittavien työkoneiden päästöt. Syntyvän kaatopaikkakaasun koostumus on yksinkertaistettu pelkästään metaaniksi ja hiilidioksidiksi, ja niitä on oletettu syntyvän suhteessa 50/50. Tuotetun metaanin keräysasteen on oletettu olevan 50 % ja kerätty metaani poltetaan hiilidioksidiksi ilman energiahyötykäyttöä.

Elintarvikejätteiden DOC-pitoisuudeksi (Degradable Organic Carbon, hajoavan orgaanisen hiilen osuus) on valittu 16 % (Petäjä 2002; Smith et al 2001) ja DOC:ista kaatopaikkakaasuja aiheuttavaksi osuudeksi 75 % (Smith et al 2001), olettaen, että kaikki orgaaninen hiili ei hajoa tai hajoaa hyvin hitaasti (IPCC 2000). Elintarvikejätteiden kaatopaikkasijoituksesta syntyvä hiilidioksidi ja metaanista hapettuva hiilidioksidi oletetaan bioperäisiksi (esim. Manfredi ym.2009).

Vastaavasti paperilla, nestepakkauskartonilla ja pahvilla DOC-pitoisuus on 40 % (Petäjä 2002), josta kaatopaikkakaasuja muodostaa 35 %:n osuus (Smith et al 2001). Kuitujen kaatopaikkasijoituksesta syntyvä hiilidioksidi ja metaanista hapettuva hiilidioksidi oletetaan bioperäisiksi.

Tarkastelussa mukana olleet muovit (PE, PP, PA, PET) ja metallit (teräs, alumiini) oletetaan inerteiksi, eivätkä ne hajoa tarkastelujakson aikana eivätkä täten muodosta kaatopaikkakaasuja. Näin ollen näitä materiaaleja voidaan ilmastonmuutosnäkökulmasta pitää hiilen varastona.

Kaatopaikkasijoituksessa syntyviä suotovesiä tai niiden käsittelyä ei ole otettu tarkastelussa huomioon. Hiilen osalta suotovesiin liukenee noin 1-4 prosenttia jätteen sisältämästä hiilestä (Manfredi ym.2009) Kaatopaikalla tarvittavien työkoneiden dieselin käyttö on huomioitu. Dieselin kulutuksena on käytetty 0,83 kg/t_{jäte} ja CO₂-päästönä 3 kg/t_{jäte} (Myllymaa et al 2008).

Kompostointi

Kompostiin päätyy jätteenkäsittelymallista riippuen osa syntyvästä ruokahävikistä. Kompostoinnissa syntyvät päästöt riippuvat paljon jätteen ominaisuuksista ja kompostointitavasta, esimerkiksi kompostin kääntelystä, ilmastuksesta, kosteudesta ja lämpötilasta. Tarkastelussa on käytetty tyypillisen biojätteen kompostointiprosessin päästöjä (Myllymaa et al 2008): Biojätteen kuiva-ainepitoisuudeksi on oletettu ennen kompostointia 33 % ja kompostoinnin jälkeen 45 %. Hiilestä oletetaan hajoavan 65 %. Kompostoinnin tuki-aineena käytetään haketta, jonka ei oleteta kuluvan kompostointiprosessissa. Kompostoinnissa syntyy metaani-, ammoniakki-, dityppioksidi- ja hiilidioksidipäästöjä, joista CO₂-päästöt katsotaan bioperäisiksi, sekä prosessissä sähkökulutuksen aiheuttamia päästöjä.

Kompostoinnin lopputuotteena syntyy kasvualustaa, jota voidaan käyttää esimerkiksi viherrakentamisessa. Tällä tavoin korvataan kasvualustan hankinta muusta raaka-aineesta, tässä tutkimuksessa korvattuna raaka-aineena on käytetty turvetta. Kompostoidun biojätteen oletetaan korvaavan turvetta suhteessa 1:1, joten korvattuna yksikköprosessina on käytetty turpeen tuotantoa. Turpeen tuotannon päästön arvoina on käytetty Myllymaan ynnä muiden (2008) ilmoittamia arvoja.

Jäteveden käsittely

Jäteveden käsittelyn yksikköprosessia tarvitaan Soygurtille 1b- ja 2b-jätehuoltomalleissa. Tällöin kuluttajan oletetaan huuhtelevan Soygurt-jäämät viemäristä alas, jolloin se päätyy jätevedenpuhdistamolle. Prosessina on käytetty PE-GaBin orgaanista ainesta sisältävän jäteveden puhdistusprosessia. Se sisältää jäteveden mekaanisen, biologisen ja kemiallisen käsittelyn sekä lietteen käsittelyn (sakeutus, kuivaus, käsittely ja poltto). (GaBi 4.3). Prosessi kuvastaa eurooppalaista tilannetta, mikä ei välttämättä vastaa täysin suomalaista jäteveden puhdistamaa.

3 Tulokset ja tuloksen tarkastelu

3.1 Tapaustutkimus Soygurt

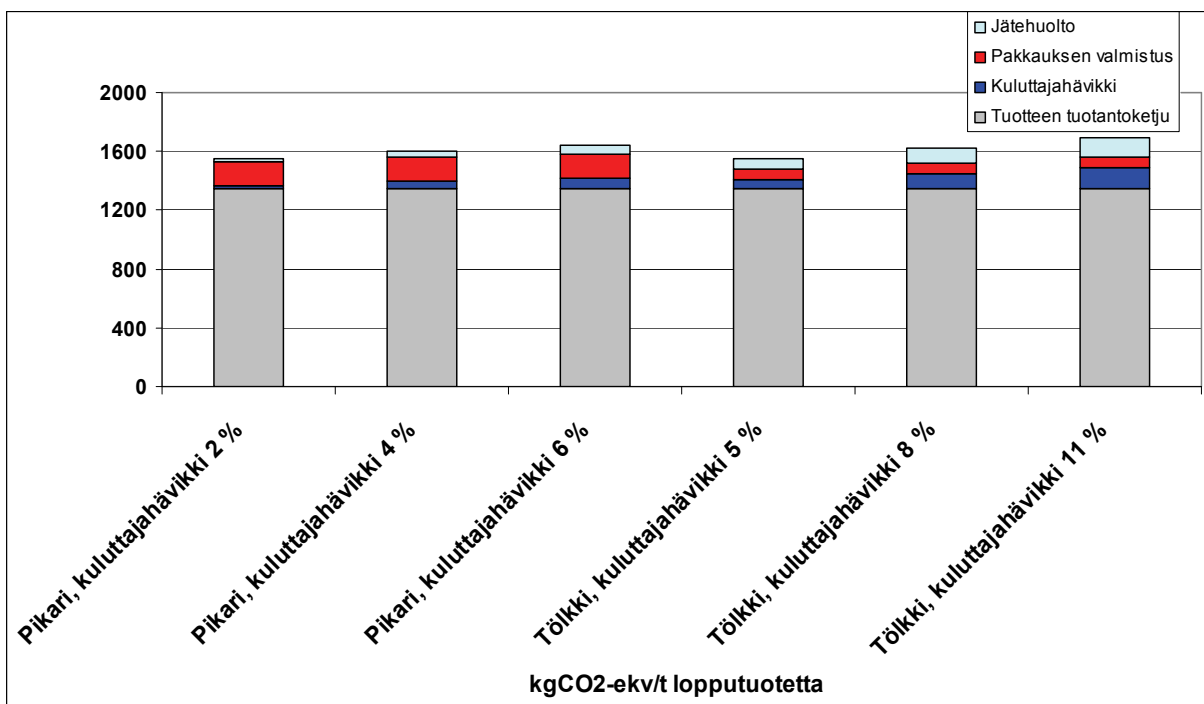
3.1.1 Hiilijalanjälki

Tapaustutkimus Soygurtin osalta tuotteen tuotantoketjun osuus on noin 80–90 % pakatun tuotteen kokonaishiilijalanjäljestä loppukäyttöskenaariosta riippuen. Pakkausten valmistuksen osuus on tölkkivaihtoehdolla noin 5 % ja pikarivaihtoehdossa noin 10 %. Energiahyötykäyttöskenaarioissa pakkausten jätehuollon osuus kokonaishiilijalanjäljestä on tölkkivaihtoehdolla 1-1,5 % ja pikarivaihtoehdolla 8 %. Mikäli pakkaukset päätyvät kaatopaikalle, jää pakkausten jätehuollon osuus pikarivaihtoehdon osalta alle prosenttiin koko elinkaaren aikana syntyvistä kasvihuonekaasupäästöistä. Kuluttajahävikin eli kotitalouksien ruokahävikin osuus oli pikarivaihtoehdolla 3-8 % ja tölkkivaihtoehdolla 5-15 %, kun myös kuluttajahävikin jätehuolto huomioidaan.

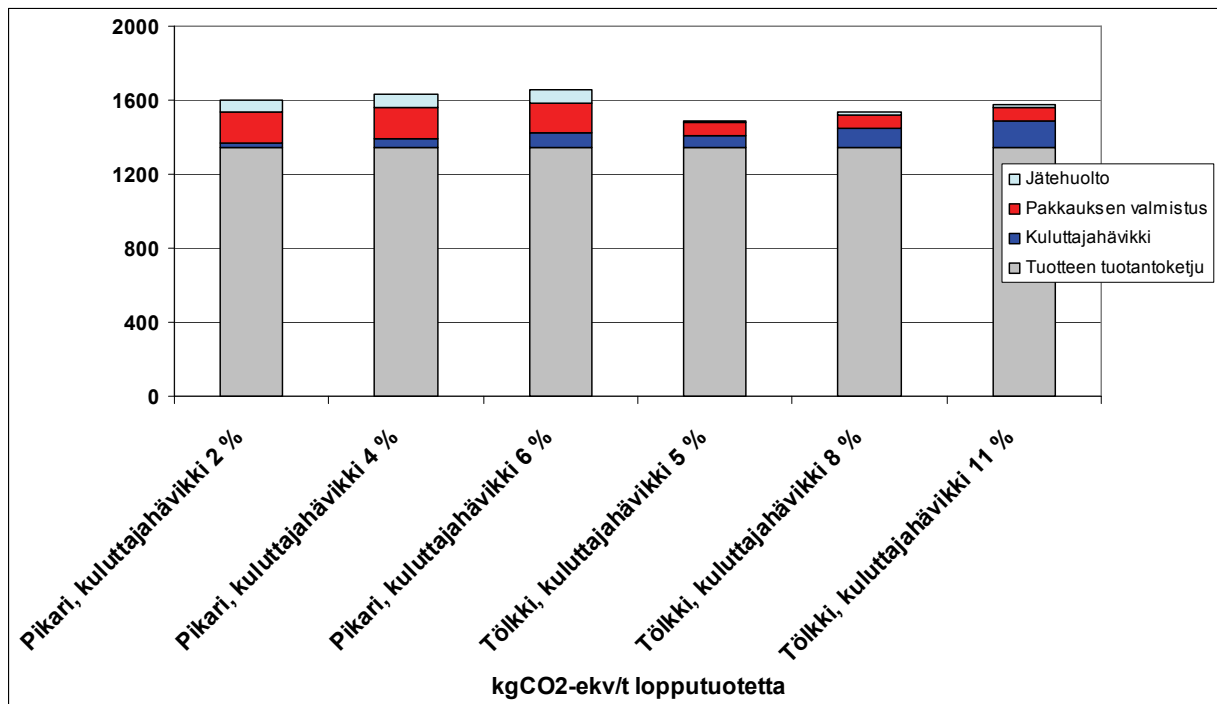
Kuvissa 2 ja 3 on esitetty Soygurtin hiilijalanjälki elinkaaren vaiheittain molemmilla pakkausvaihtoehdoilla ja kumpikin kolmella eri hävikkiskenaariolla. Kuva 2 kuvaa kierrätys- ja loppukäsittelytapaa ”Nykytila 1a” ja kuva 3 kierrätys- ja loppukäsittelytapaa ”Nykytila energiahyötykäytöllä 1b”. Kierrätys- ja loppukäyttötavat on esitetty raportissa aiemmin taulukossa 4.

Kuvissa 2 ja 3 tuotteen tuotantoketju käsittää Soygurtin elinkaaren kaikki vaiheet lukuun ottamatta jätehuoltoa ja pakkausten valmistusta. Jätehuolto sisältää sekä pakkausjätteen että kuluttajahävikin käsittelyä syntyvät kasvihuonekaasupäästöt. Kuluttajahävikki kuvaa kuluttajilta hävikiksi päätyneen tuotemäärän koko tuotantoketjun aikana ennen sen jätteeksi päätymistä syntyviä kasvihuonekaasupäästöjä.

Sekundaaripakkausten osuus pakkausten hiilijalanjäljestä on pikarivaihtoehdon osalta 6,5 % ja tölkkivaihtoehdolla 1,5-2,5 % riippuen loppukäyttöskenaariosta. Sekundaaripakkausten osuus riippuu paljon kierrätysvaiheen allokontikertoimista, sillä massapolttoskenaarioissa 2a kuitupakkausten päästöistä ei allokoitu päästöjä kierrätystuotteille, koska pakkausjäte poltetaan.



Kuva 2. Soygurtin hiilijalanjälki komponenteittain nykytila-loppukäyttöskenaariolla 1a.



Kuva 3. Soygurtin hiilijalanjälki komponenteittain nykytila-energiajätteen hyötykäyttö- loppukäyttöskenaariolla 1b.

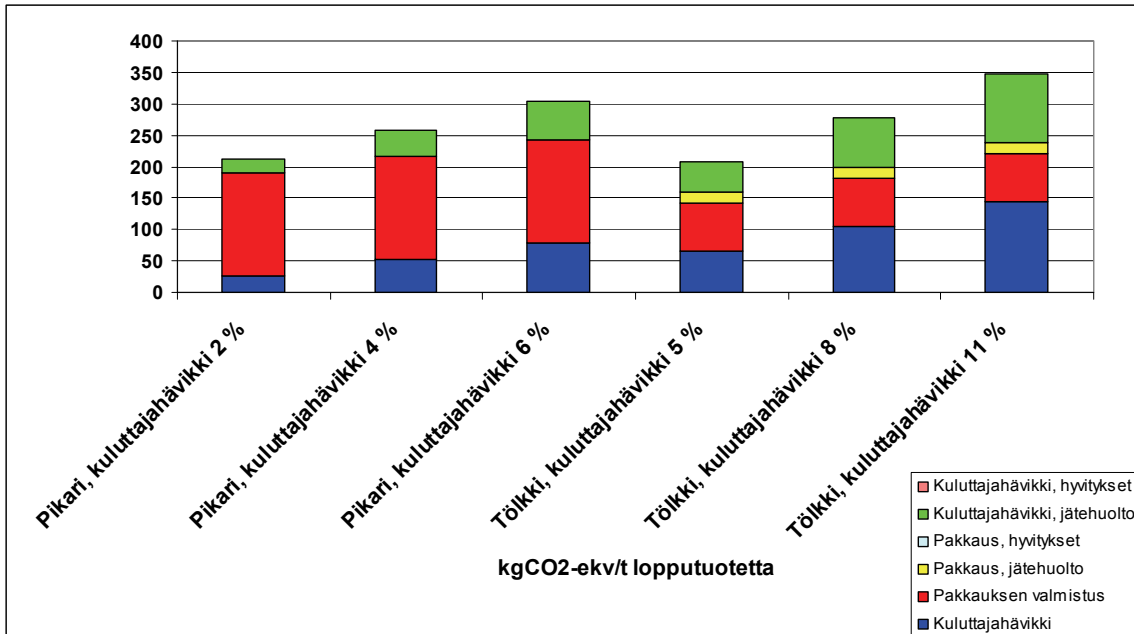
Kuvissa 4 ja 5 esitetään Soygurtin hiilijalanjäljestä pelkästään kuluttajahävikin, pakkauksen ja jätehuollon osuus. Kuvissa 2 ja 3 näkyvät jätehuolto-komponentti on kuvissa 4 ja 5 jaettu neljään komponenttiin. ”Pakkauksen jätehuolto” -komponentti kuvaa pakkajätteen käsittelyn hiilijalanjälkeä. ”Pakkaus hyvikset” -komponentti tulee esiin vain kuvassa 5, jossa se havainnollistaa pakkajätteen poltosta saatavalla energialla korvattavan energiantuotannon kasvihuonekaasupäästöjä. Jätteenpoltolla korvattavan energiantuotantomuodon on ajateltu olevan sähköenergian osalta Suomen keskimääräistä sähköntuotantoa ja lämpöenergian osalta maakaasua. ”Kuluttajahävikki, jätehuolto” -komponentti kuvaa kuluttajien tuottaman tuotehävikin. ”Kuluttajahävikki hyvikset” komponentin kuvaamat päästöhyvikset perustuvat oletukseen, että kuluttajahävikin kompostoinnissa tuotteena saatu maanparannusaine korvaa tiettyä määrää turvetta.

Kuvaajista on hyvin nähtävissä pakkauksen valmistuksen ja jätehuollon suuri osuus verrattuna kuluttajahävikkiin. Kuvasta 4 näkee, että jos kuluttajahävikkiä pystytään pienentämään pikarivaihtoehdolla 2 prosenttiin ja kuluttajahävikin ja pakkajätteen loppusijoitusvaihtoehtona on kaatopaikka, on sen hiilijalanjälki pienempi kuin tölkkivaihtoehdon, mikäli tölkkivaihtoehdon kuluttajahävikki jää yli viiteen prosenttiin. Vastaavasti taas, jos pikarivaihtoehdon kuluttajahävikki on 4 %, on sen hiilijalanjälki pienempi kuin tölkkivaihtoehdon, mikäli tölkkivaihtoehdon kuluttajahävikki on yli 8 %. Kuvasta 4 nähdään, että hiilijalanjäljen osalta kuluttajien tuottaman ruokahävikin kaatopaikkakäsittelystä syntyy merkittäviä metaanipäästöjä. Myös kuitupakkausten käsittelystä tulee kaatopaikalla metaanipäästöjä, kun taas kaatopaikalle sijoitettujen muovipakkausten sisältämä hiili ei vapaudu ilmakehään, jolloin ”Pakkaus, jätehuolto” -komponentti jää hyvin pieneksi.

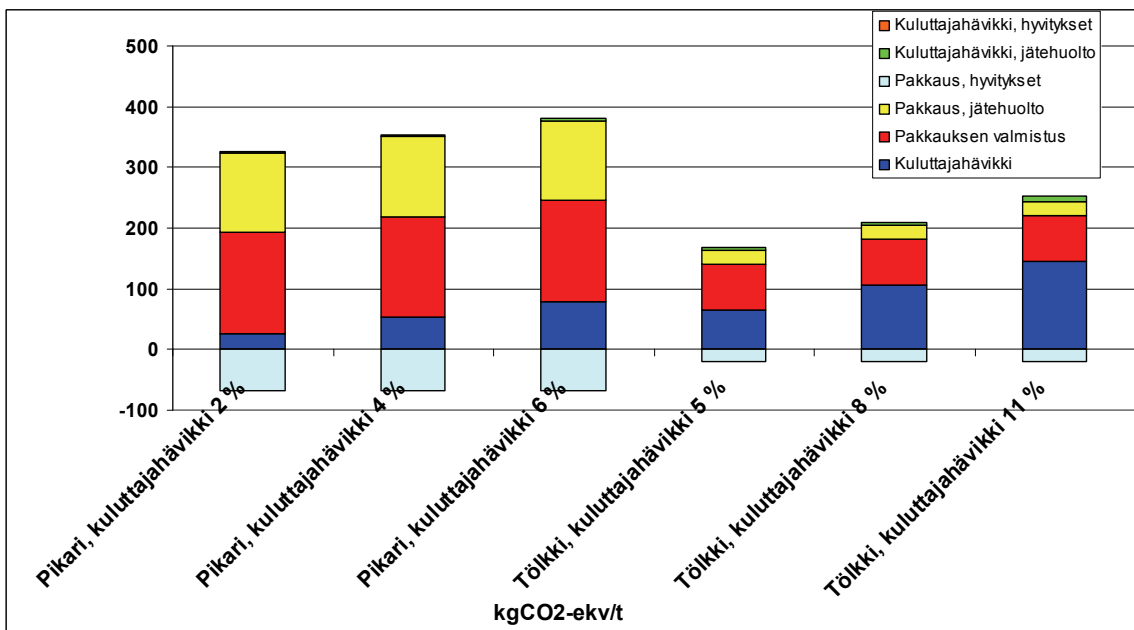
Kuvasta 5 taas nähdään, että jos jätteenkäsittelyvaihtoehtona on pakkajätteen energiahyötykäyttö ja kuluttajahävikin jätteenkäsittelyvaihtoehto jätevedenpuhdistus, on pikarivaihtoehdon hiilijalanjälki kaikilla tutkituilla kuluttajahävikiskenaariolla tölkkivaihtoehtoa suurempi. Tämä johtuu siitä, että nestepakkaukskartongin ja aaltopahvin poltosta syntyvät kasvihuonekaasupäästöt lasketaan biogeenisiksi ja muovipakkausten fossiiliseksi sekä siitä, että kuluttajahävikki päättyy jätevedenkäsittelyyn, mistä aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt ovat pienempiä kuin kaatopaikkakäsittelyn. Nestepakkaukskartongin kaatopaikkakäsittelyyn päätyvästä osuudesta syntyy yhä jonkin verran metaanipäästöjä ja lisäksi nestepakkaukskartongin polyeteeniä ja polypropeenia sisältävien komponenttien poltosta syntyy jonkin verran fossiilisia hiilidioksidipäästöjä. Korvaavan maakaasun poltosta syntyvät kasvihuonekaasupäästöt ovat pienemmät kuin poltettavien muovipakkausten. Kartonkitölkkien poltosta saadaan vähemmän energiaa Soygurt-tonnia

kohden kuin muovipikarien poltosta, joten muovipikarien poltolla voidaan korvata enemmän energiantuotantoa kuin kartonkipakkausten poltolla. Näin ollen muovipikareille tulee pakkausjätteen poltosta enemmän kasvihuonekaasupäästöhyvityksiä kuin kartonkitölkeille.

Kuvien 4 ja 5 mukaan jätehuollon toteuttamistapa vaikuttaa siihen, kummalla tutkituista pakkausvaihtoehdoista on matalampi hiilijalanjälki. Kaatopaikkakäsittely tuottaa metaanipäästöjä sekä kuluttajien tuottaman ruokahävikin, että kuitupohjaisten pakkausten osalta, kun taas muovipakkausten sisältämä hiili ei vapaudu tarkasteluajanjakson puitteissa. Energiahyötykäyttöskenaarioissa taas polypropeenipakkauksen hiilijalanjälki suurenee ja kuitupakkauksen pienenee, koska kuidusta poltettaessa vapautuvat hiili lasketaan biogeeniseksi. Huomioitavaa on se, että polypropeenipakkauksen hiilijalanjälki riippuu siitä, mitä energianmuotoa jätteen energiahyötykäytöstä saatavan energian on oletettu korvaavan.

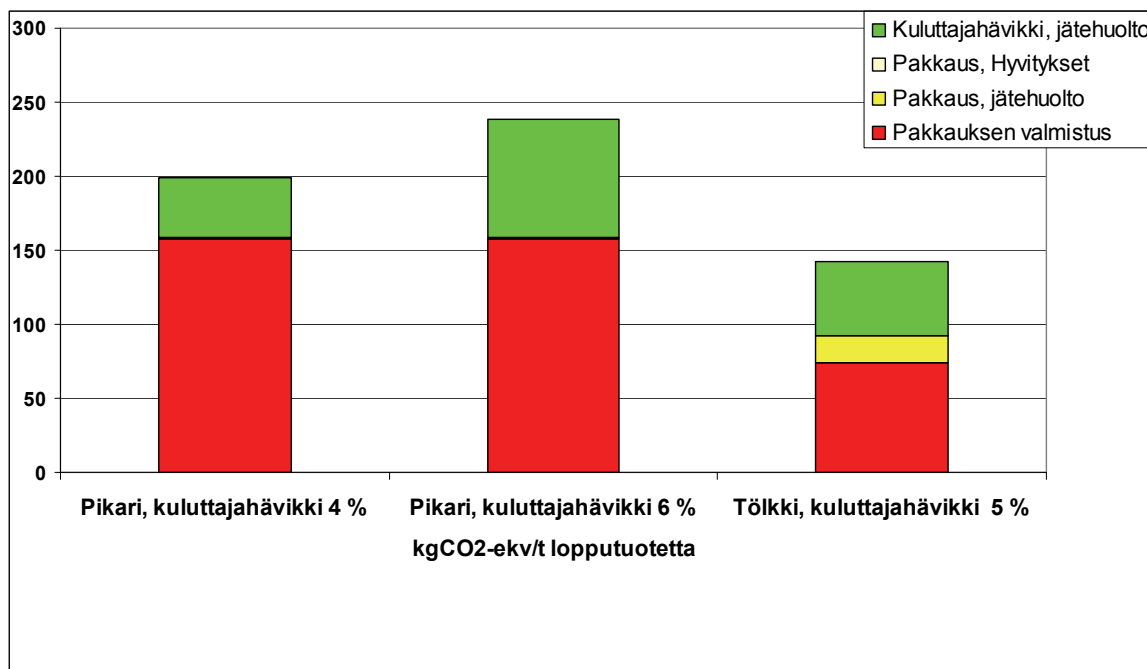


Kuva 4: Tapaustutkimus Soygurt: Kuluttajahävikin, pakkausten valmistuksen ja jätehuollon hiilijalanjälki (jätehuoltoskenaario nykytila – 1a).

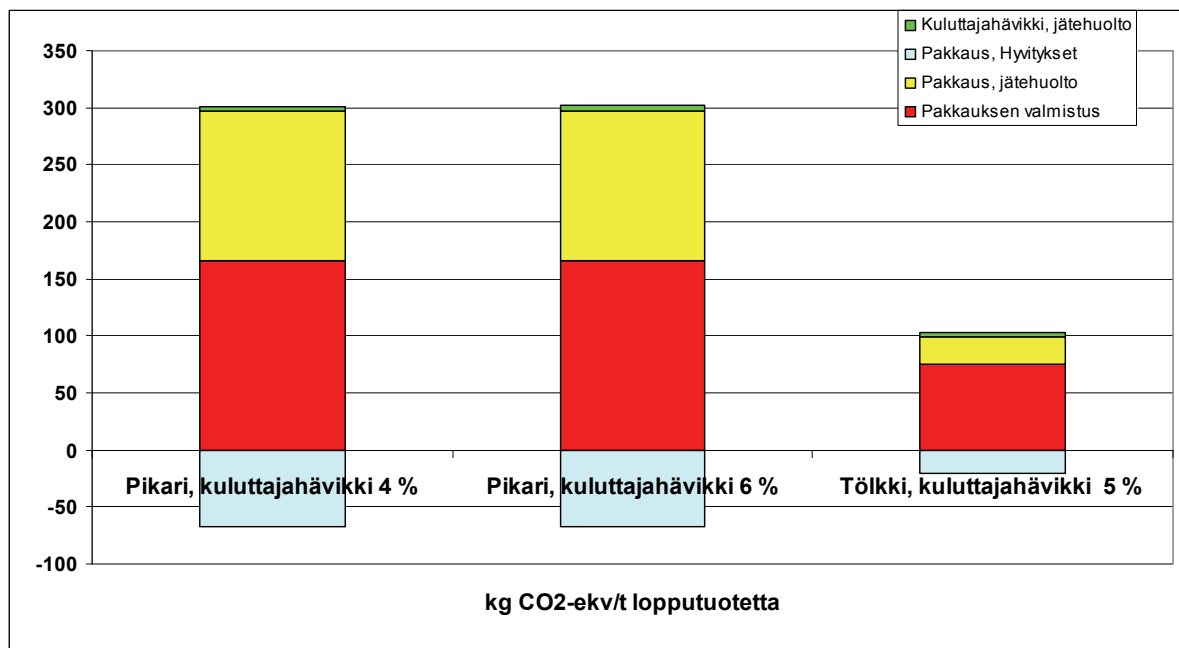


Kuva 5: Tapaustutkimus Soygurt: Kuluttajahävikin, pakkausten valmistuksen ja jätehuollon hiilijalanjälki (jätehuoltoskenaario nykytila energiahötykäytöllä – 1b).

Kuvissa 6 ja 7 on vertailtu pelkästään pakkausten valmistuksen ja jätehuollon sekä kuluttajahävikin jätehuollon yhteenlaskettuja hiilijalanjälkiä eri pakkausvaihtoehdoille. Kuvista nähdään, että tölkkivaihtoehdon pakkausten valmistuksen sekä pakkaus- ja tuotejätteen jätehuollon yhteinen hiilijalanjälki on pienempi kuin pikarivaihtoehdon. Jos siis kuluttajahävikki olisi molemmilla vaihtoehdoilla prosentuaalisesti yhtä suuri, olisi muovipikarin hiilijalanjälki suurempi kuin tölkkivaihtoehdon. Tämä johtuu osittain pikarivaihtoehdon suuremmasta pakkausmateriaalimäärästä tuoteyksikköä kohden ja energiahyötykäytön osalta suureksi osaksi siitä, että tölkkivaihtoehdon kartonkiosan poltosta vapautuva hiilidioksidi lasketaan bio-geeniseksi.

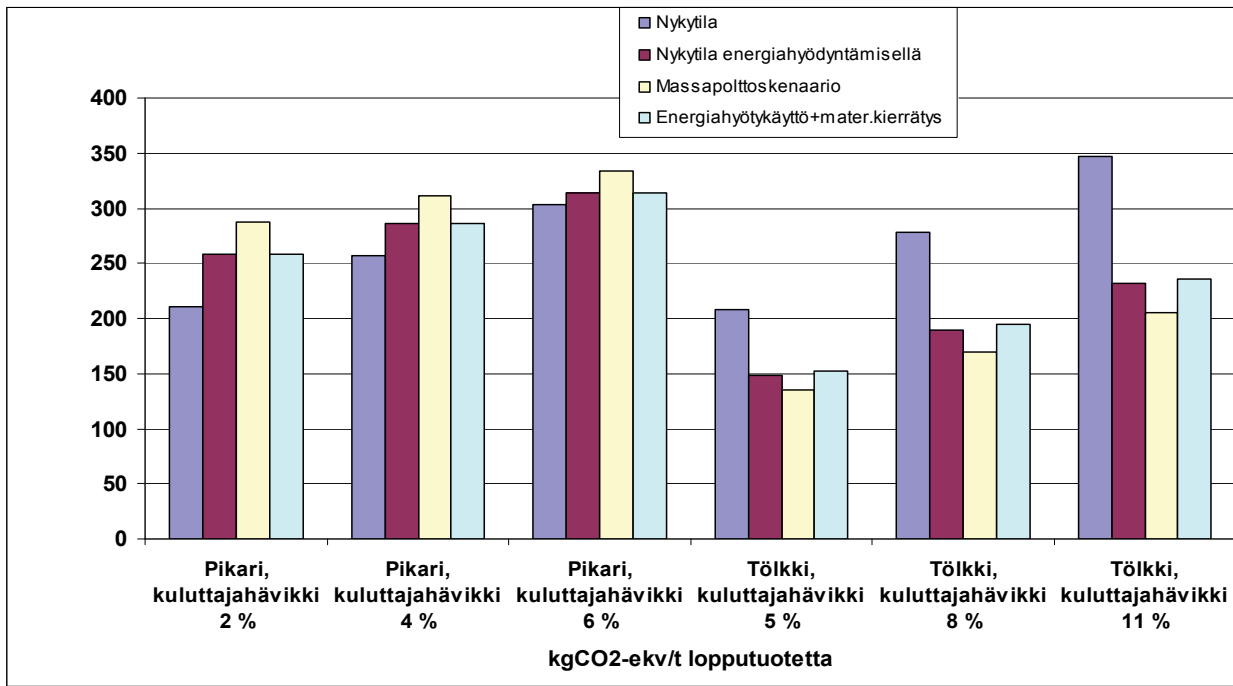


Kuva 6: Tapaustutkimus Soygurt: Pakkausten valmistuksen ja jätehuollon hiilijalanjälki (jätehuoltoskenaario nykytila – 1a).



Kuva 7: Tapaustutkimus Soygurt: Pakkausten valmistuksen ja jätehuollon hiilijalanjälki (jätehuoltoskenaario nykytila energiahyötykäytöllä – 1b).

Kuvassa 8 on esitetty pakkausten valmistuksen sekä pakkaus- ja tuotejätteen jätehuollon yhteinen hiilijalanjälki kaikilla tutkimuksessa käytetyillä jätehuoltoskenaarioilla. Kuvaajassa on hyvin näkyvissä kuluttajien tuottaman ruokahävikin ja kartongin suuret metaanipäästöt tölkkivaihtoehdon jätehuoltoskenaariossa ”Nykytila 1a”. Pikarivaihtoehdossa muovipakkausten poltossa tulevat kasvihuonekaasupäästöt ovat merkittävät, joten ”Nykytila 1a”:n kuluttajahävikin kaatopaikan metaanipäästöt kompensoituvat muihin hyötykäyttöskenaarioihin nähden sillä, että kyseisessä skenaariossa muovipakkauksia ei polteta. Erot erilaisten energiahyötykäyttöskenaarioilla välillä ovat pienet.

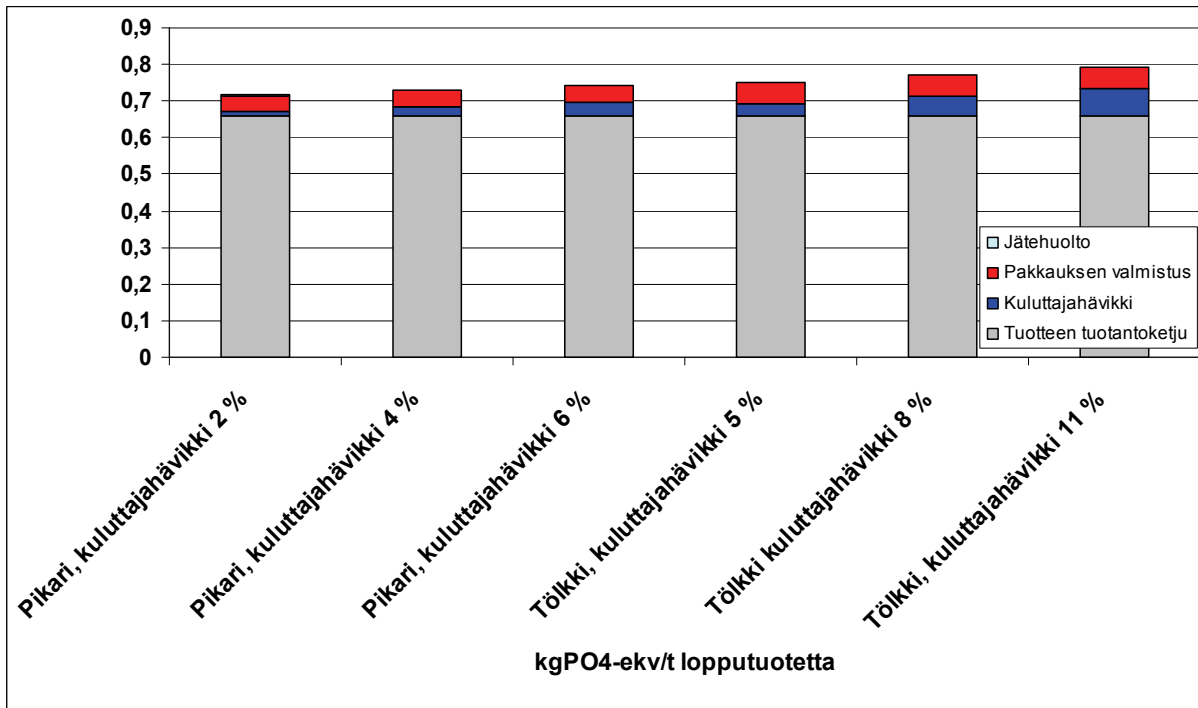


Kuva 8: Tapaustutkimus Soygurt – hiilijalanjälki: Kuluttajahävikki, pakkausten valmistus ja jätehuolto eri jätehuoltoskenaarioilla.

3.1.2 Rehevöittävät päästöt

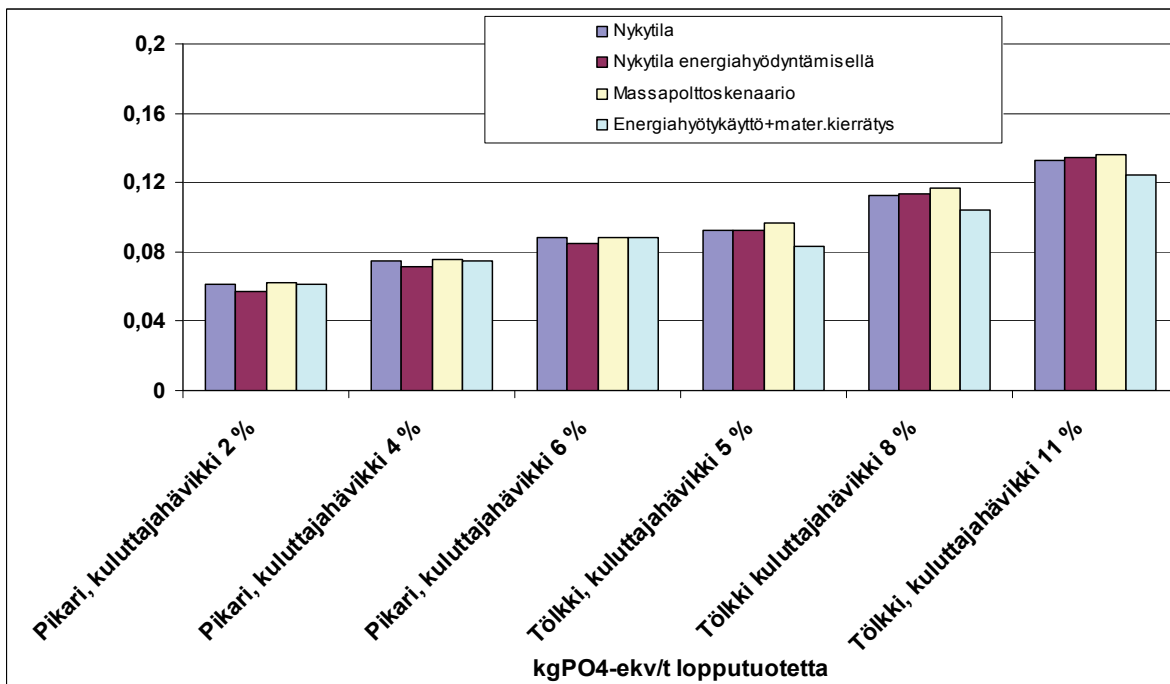
Kuvasta 9 havaitaan, että Soygurt-tutkimuksessa pakkauksen osuus rehevöittävästä päästöistä on pikarilla 6-7 % ja tölkillä 6,5-8,5 % kuluttajahävikistä riippuen. Kuluttajahävikin osuus rehevöittävästä päästöistä on puolestaan pikarivaihtoehdolla 1,5-5,5 % ja tölkkivaihtoehdolla 4-10 %, kun myös kuluttajahävikin loppukäyttö lasketaan mukaan. Jätehuollon osuus on minimaalinen, mutta toisaalta kaatopaikkakäsittelyn suotovesiä ei ole huomioitu laskelmissa. Pakkausten osuus rehevöittävästä päästöistä on suunnilleen yhtä suuri kummallekin pakkausvaihtoehdolle. Muovipikarin osalta valmistuksen NO_x-päästöt ovat suuremmat kuin kartonkitölkin NO_x-päästöt, mutta toisaalta taas kuitupakkausten muut rehevöittävät päästöt ovat muovipikaria suuremmat. Sekundaaripakkausten määrä suhteessa toiminnalliseen yksikköön on suurempi muovipikarivaihtoehdolla, mikä lisää vaihtoehdon rehevöittäviä päästöjä tölkkivaihtoehtoon nähden. Sekundaaripakkausten rehevöittävät päästöt ovat pikarivaihtoehdolla 5-20 % pakkausten rehevöittävästä päästöistä ja tölkkivaihtoehdolla 1-3 %. Myös rehevöittävässä päästöissä sekundaaripakkausten osuuden suuri vaihtelu johtuu erilaisista kierrätysprosentteista.

Kuvissa 9 ja 11 tuotteen tuotantoketju käsittää kaikki Soygurtin elinkaaren vaiheet, lukuun ottamatta jätehuoltoa ja pakkausten valmistusta. Jätehuolto sisältää sekä pakkaus- että tuotejätteen käsittelystä syntyvät päästöt. Kuluttajahävikki kuvaa kuluttajilta hävikiksi päätyneen tuotemäärän koko tuotantoketjun aikana syntyviä päästöjä.



Kuva 9: Tapaustutkimus Soygurt – rehevöittävät päästöt: (Nykytila energiahyötykäytöllä). Tuotteen valmistustolppa käsittää koko tuotteen elinkaaren lukuun ottamatta pakkauksia ja jätehuoltoa.

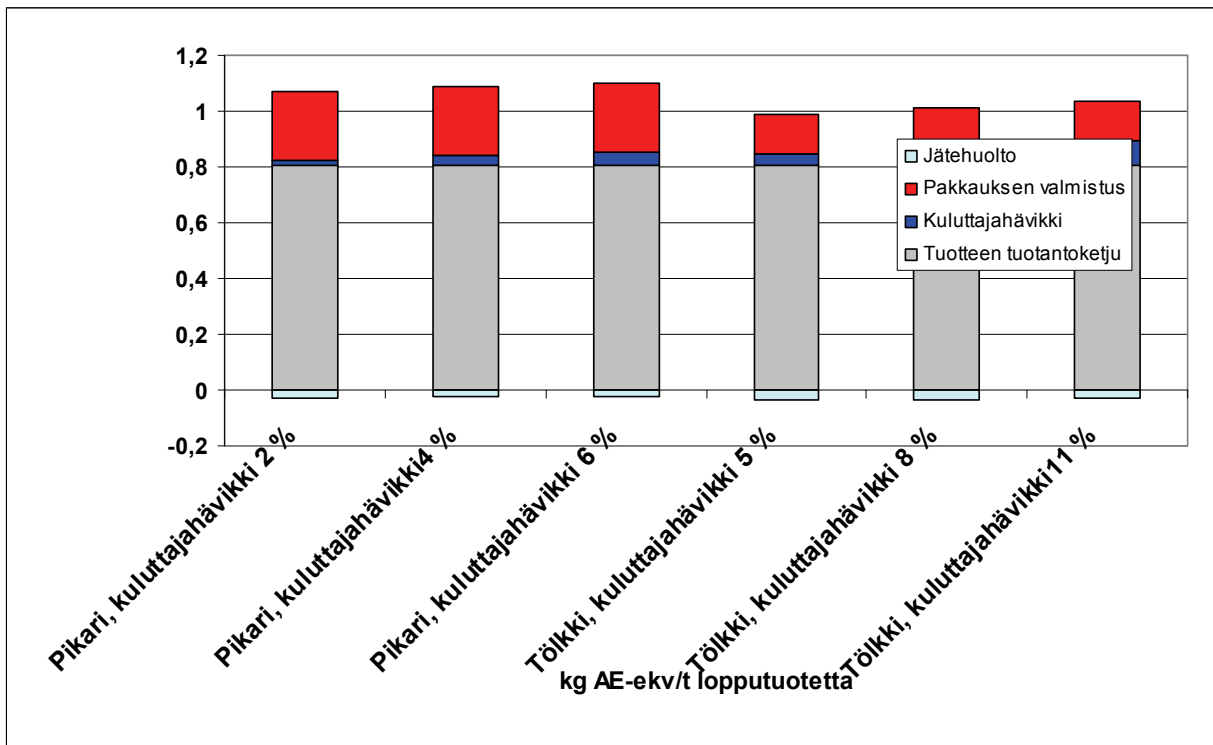
Kuvasta 10 voidaan havaita, että tölkkivaihtoehdon osalta erot eri jätehuoltoskenaarioiden rehevöittämissä päästöissä eivät ole merkittäviä. Pikarivaihtoehdossa aaltopahvisten sekundaaripakkausten osuus on suurempi ja näin ollen skenaarioiden välillä on suuremmat erot. Skenaarioiden väliset erot johtuvat pääasiassa eroista sekundaaripakkausten kuitujen kierrätysasteissa ja niihin liittyvissä allokoinneissa. Pikarivaihtoehdon rehevöittävät päästöt ovat pienemmät kuin tölkkivaihtoehdon. Kuvaajasta on selvästi nähtävissä, että kuluttajahävikin määrä vaikuttaa eniten rehevöittäviin päästöihin, sillä itse pakkausten valmistuksen ja jätehuollon rehevöittävät päästöt ovat suurin piirtein samat.



Kuva 10: Tapaustutkimus Soygurt – rehevöittävät päästöt: Kuluttajahävikki, pakkausten valmistus ja jätehuolto eri jätehuoltoskenaarioilla.

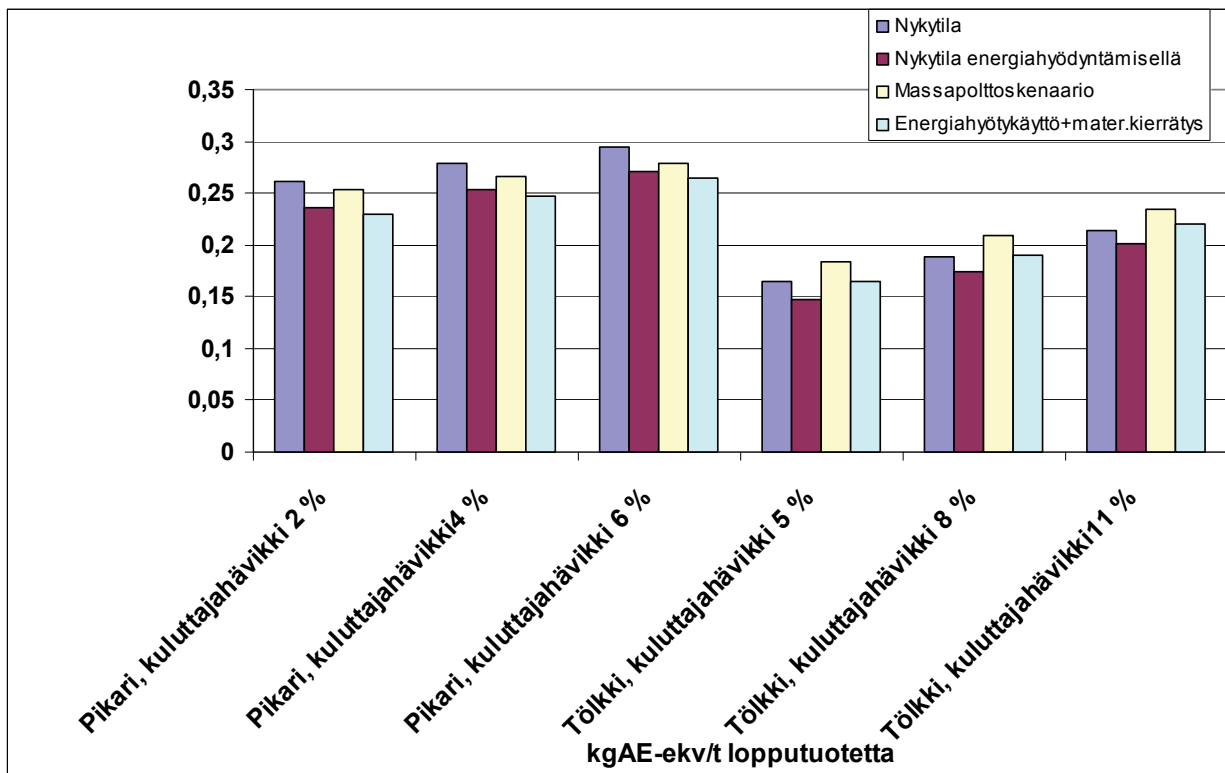
3.1.3 Happamoittavat päästöt

Happamoittavissa päästöissä pakkausten valmistuksen merkitys on tölkillä 12-15 % ja pikarilla noin 23% happamoittavista päästöistä loppukäsittelyvaihtoehdosta riippuen (Kuva 11). Happamoittavien päästöjen suuri osuus johtuu sekä tuotteen tuotantoketjun pienestä happamoittavien päästöjen kokonaismäärästä että suuresta pakkausmateriaalin tarpeesta verrattuna esim. ruispalaleipään. Jätehuollon merkitys on pieni. Kuluttajahävikin osuus on pikarivaihtoehdolla 1,5-5 % kokonaispäästöistä ja tölkkivaihtoehdolla 4-10 % kokonaispäästöistä. Sekundaaripakkausten osuus pakkausten happamoittavista päästöistä oli pikarivaihtoehdolla 5-16 % ja tölkkivaihtoehdolla noin 2,5 – 8 % Myös happamoittavissa päästöissä sekundaaripakkausten osuuden suuri vaihtelu johtuu erilaisista kierrätysprosentteista.



Kuva 11: Tapaustutkimus Soygurt – happamoittavat päästöt. (Nykytila energiahyötykäytöllä).

Kuvasta 12 voidaan havaita, että erot eri jätehuoltoskenaarioiden happamoittavien päästöjen välillä ovat pieniä.

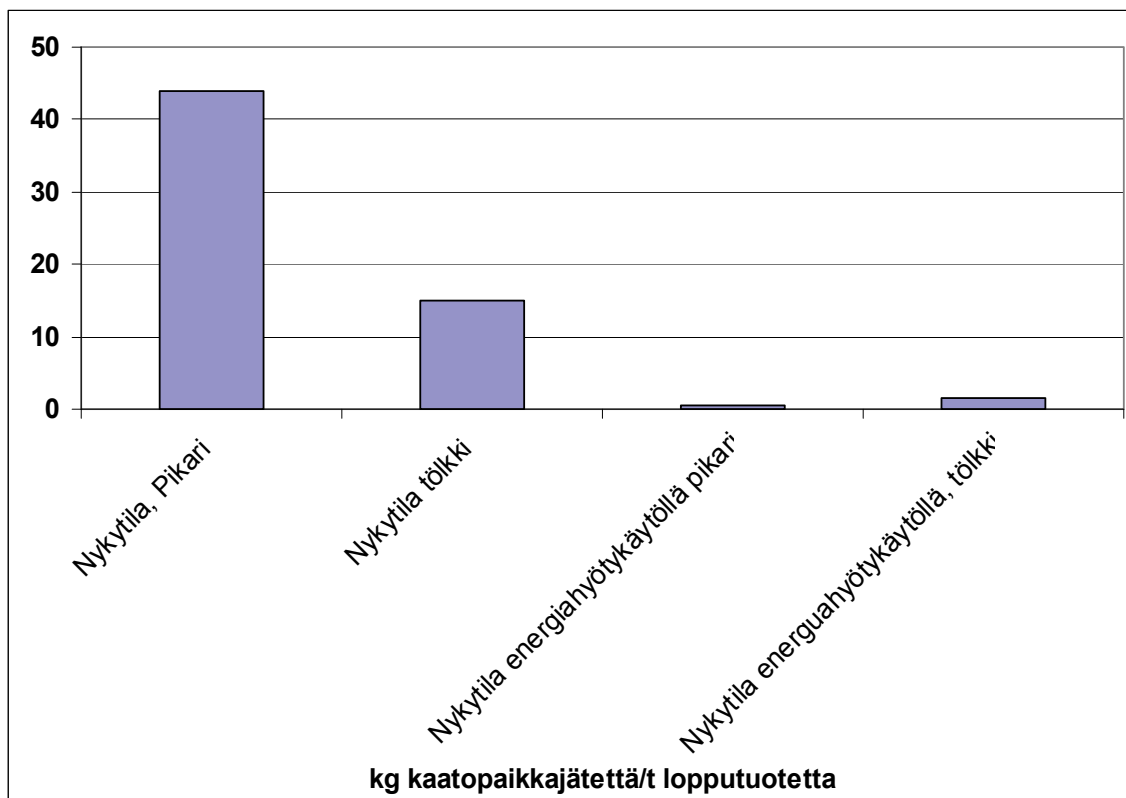


Kuva 12: Tapaustutkimus Soygurt – kuluttajahävikin, pakkausten valmistuksen ja jätehuollon happamoitavat päästöt eri jätehuoltoskenaarioilla.

3.1.4 Kaatopaikkajätteen määrä

Kuvassa 13 on esitetty kaatopaikkajätteen määrä tarkasteluajanjakson (100 vuotta) jälkeen. Tulevasta jätteen massasta on vähennetty syntyvän kaatopaikkakaasun määrä, olettaen, että kaatopaikkakaasu on puoleksi hiilidioksidia ja puoliksi metaania. Jos materiaali ei sisällä kuitua, vaan koostuu vain muovi- ja metallijätteestä, se oletetaan inertiksi ja jätteen määrässä ei tapahdu muutoksia. Lähteissä on todettu, että suotovesien mukana tapahtuva hiilen huuhtouma arvioidaan yleensä melko pieneksi (esim. Tuhkanen 2002). Manfredin ym.(2009) mukaan 1-4 % jätteen sisältämästä kokonaishiilestä liukenee suotovesiin, ja tähän laskentaan valittu vaihteluvälin maksimi eli 4 prosenttia. Suotoveden osuus jää kuitenkin hyvin pieneksi verrattuna kaatopaikkakaasuun tai kaatopaikkajätteen hiilivarastoon. Jätejakeiden (nestepakkaus ja paperi) kokonaishiilen määrän lähteenä on käytetty ”LCA-Waste” -projektia (SY750 2005).

Tölkkipaihtoehdoissa sisältää pakkausmateriaalia jo ennen kaatopaikkasijoittamista vähemmän kuin pikarivaihtoehdoissa. Kun lisäksi tölkkipaihtoehdon kuituosuudesta muodostuva jätemäärä pienenee sen hajoessa kaatopaikalla vajaalla kolmanneksella, on tölkkipaihtoehdon kaatopaikkajättemäärä tarkasteluajanjakson jälkeen huomattavasti pikarivaihtoehdosta pienempi. (Kuva 13.)



Kuva13: Kaatopaikkajätteen määrä loppukäyttöskenaarioilla Soygurt –tapaustutkimuksessa Nykytila 1a ja Nykytila energianhyötykäytöllä – 1b.

3.2 Tapaustutkimus ruispalaleipä

3.2.1 Hiilijalanjälki

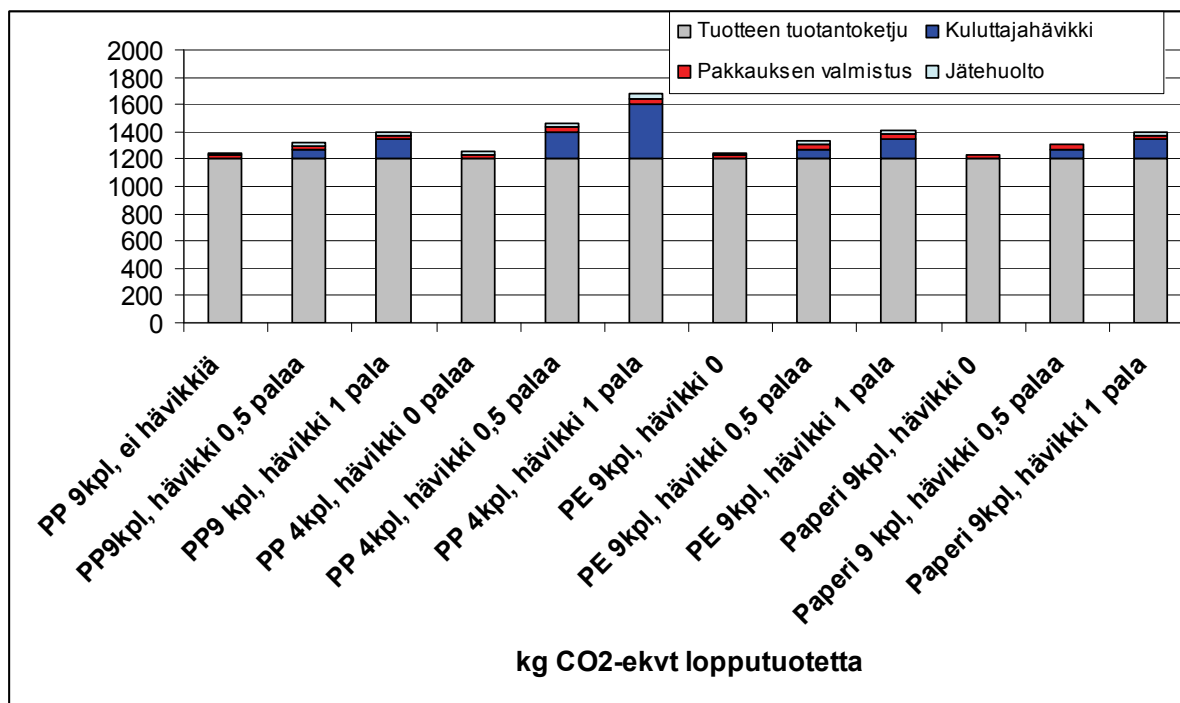
Ruispalaleivässä leivän tuotantoketjun osuus on 96-98 % tuotteen kokonaishiilijalanjäljestä, jos kuluttajahävikkiä ei huomioida. Kuluttajahävikin osuus tutkituilla hävikkiskenaarioilla on 9 kpl:n pusseilla 0-12 % ja 4 kpl:n pussilla 0-26 % ruispalaleivän kokonaishiilijalanjäljestä. Pakkauksen valmistamisen osuus on 2-3 % ruispalaleivän hiilijalanjäljestä, joten kuluttajahävikiksi päätyvän ruispalaleivän tuotannon osuus ruispalaleivän hiilijalanjälkeen on tutkituilla hävikkiskenaarioilla suurempi kuin itse pakkausten valmistamisen (Kuvat 14 ja 15). Pakkauksen jätehuollon osuus hiilijalanjäljestä on noin 1,5 % silloin, kun pakkausjäte päätyy energiahyötykäyttöön ja paperipussivaihtoehdolla 1 %, jos paperipussi päätyy kaatopaikalle. Muovipakkausten kaatopaikkakäsittelystä ei aiheudu juurikaan kasvihuonekaasupäästöjä.

Kuvan 14 jätehuoltoskenaario on 1b – nykytila energiahyötykäytöllä, jossa 99 % sekajätteestä päätyy kaatopaikalle ja kuluttajahävikistä 82 % päätyy kompostin ja 18 % kaatopaikalle. Näin ollen korkeilla kuluttajahävikin määrillä kaatopaikkakäsittelyn määrä voi olla merkittävä (Kuva 15). Kuvassa 14 tuotteen tuotantoketju käsittää kaikki ruispalaleivän elinkaaren vaiheet, lukuun ottamatta jätehuoltoa ja pakkausten valmistusta. Jätehuolto sisältää sekä pakkaus- että tuotejätteen käsittelystä syntyvät kasvihuonekaasupäästöt. Kuluttajahävikki kuvaa kuvissa 14 ja 15 kuluttajilta hävikiksi päätyneen tuotemäärän koko tuotantoketjun aikana syntyviä kasvihuonekaasupäästöjä. ”Kuluttajahävikki”-komponentin kuvaamat päästöhyvikset perustuvat oletukseen, että kuluttajahävikin kompostoinnissa tuotteena saatu maanparannusaine korvaa tiettyä määrää turvetta.

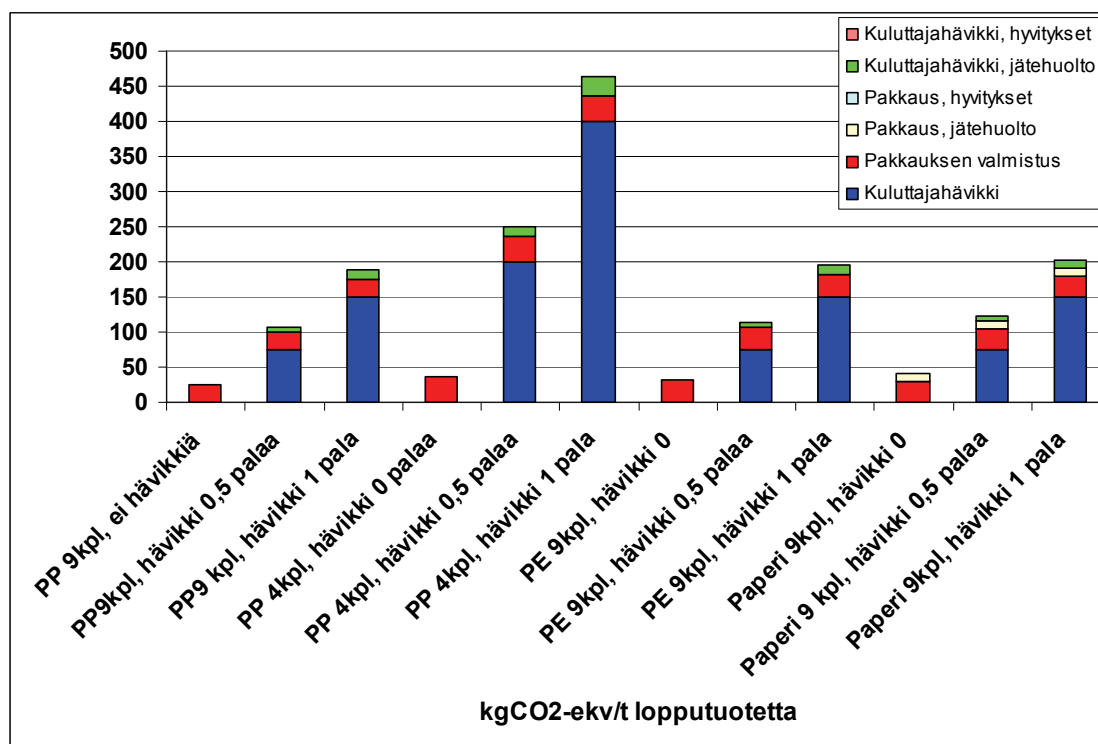
Kuvasta 15 on nähtävissä, että mikäli pienemmän pakkauskoon avulla vältetään kuluttajahävikin synty, jää pienemmän tuote-pakkausyhdistelmän hiilijalanjälki suuremmasta pakkausmateriaali/tuotepaino -suhteesta huolimatta suurempaa pakkauskokoa pienemmäksi. Mikäli neljän leivän polypropeenipakkauksesta ei synny lainkaan kuluttajahävikkiä ja muissa vaihtoehdoissa yhdeksästä leivästä hukkaan päätyy yli 0,5 palaa, jää neljän leivän pakkausvaihtoehdon hiilijalanjälki itse pakkausten valmistuksen verraten suuremmista kasvihuonekaasupäästöistä huolimatta kaikista alhaisimmaksi. Jo vähäinenkin kotitalouksis-

sa syntyvä ruokahävikki voi siis nostaa pakatun tuotteen hiilijalanjälkeä enemmän kuin se, että käytetään pienempää pakkauskokoa ja samalla tuotepainoa kohden enemmän pakkausmateriaalia. Toisaalta mikäli kuluttajahävikit ovat samat erikokoisille pakkauksille, tulevat pienemmän pakkauksen ympäristövaikutukset hieman suuremmiksi.

Painovärien ja liuottimien osuus pakkausten hiilijalanjäljestä on alle 7 %.

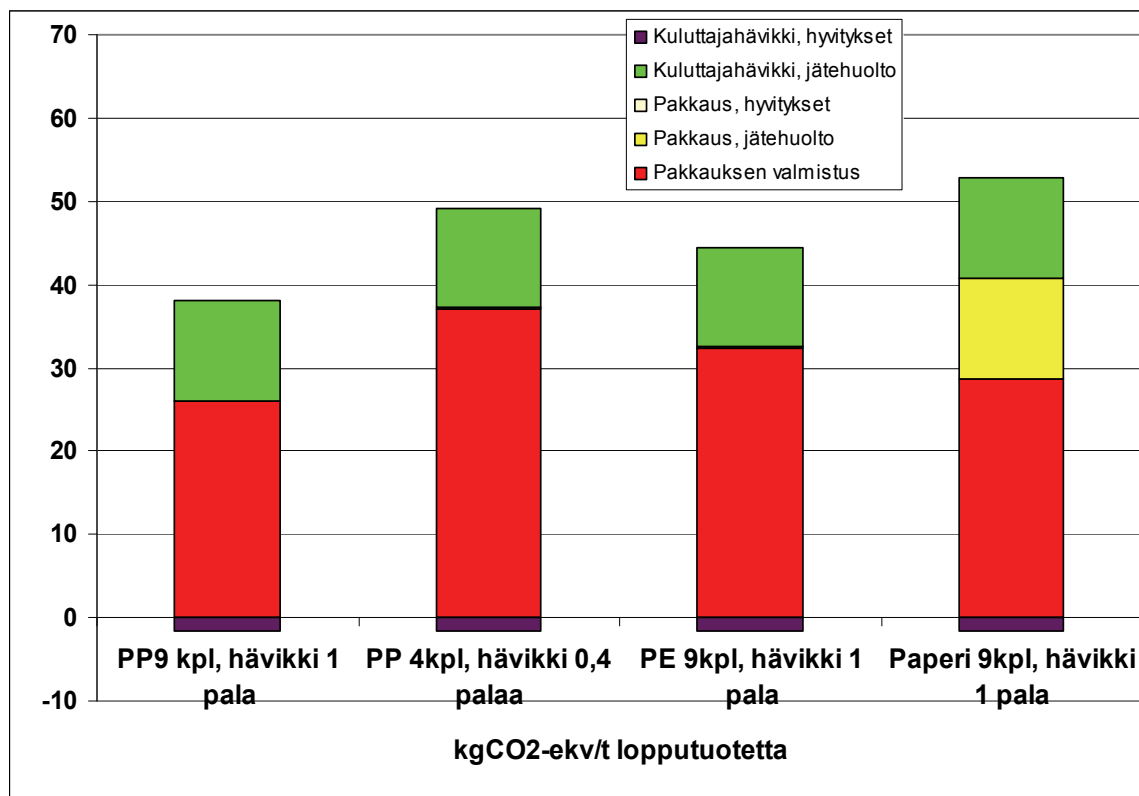


Kuva 14: Tapaus ruispalaleipä. Hiilijalanjälki komponentteittain nykytila-energiäjätteen hyötykäyttö-loppukäyttöskenaariolla 1b.

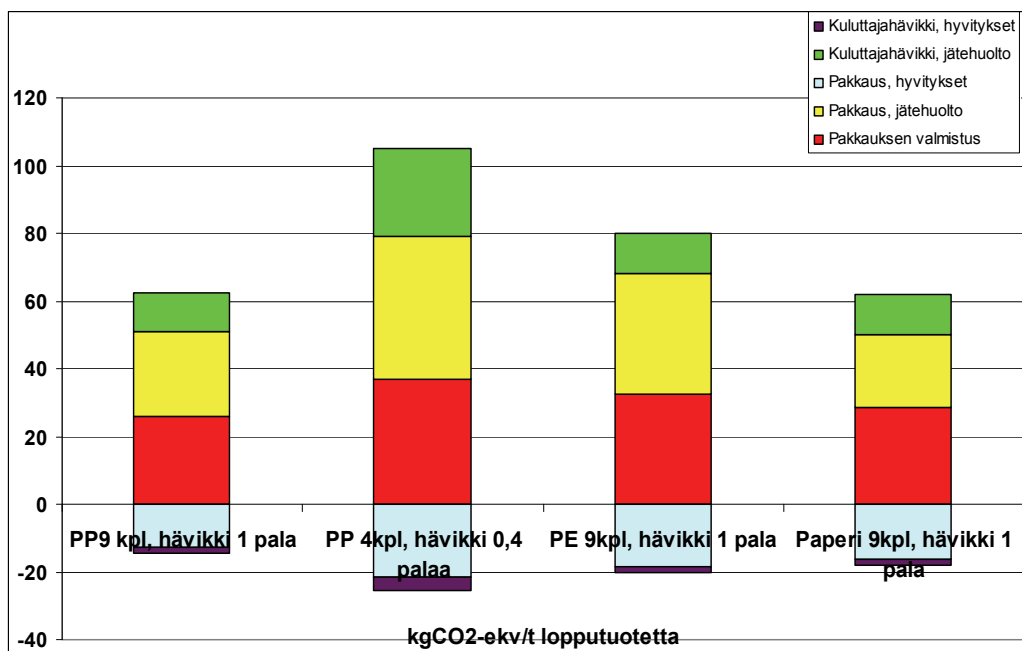


Kuva 15: Tapaus ruispalaleipä. Kuluttajahävikin, pakkausten valmistuksen ja jätehuollon hiilijalanjälki nykytila - loppukäyttöskenaariolla 1a.

Kuvissa 16 ja 17 on havainnollistettu pakkausten valmistuksen ja jätehuollon osuutta eri pakkausvaihtoehdoilla siten, että kuluttajahävikki on oletettu kaikille pakkausvaihtoehdoille prosentuaalisesti yhtä suureksi. Loppukäyttöskenaariossa ”Nykytila – 1a” paperipussista pakkausjätteen kaatopaikkakäsittelyssä aiheutuvat metaanipäästöt ovat merkittävät verrattuna muihin pakkausvaihtoehtoihin (Kuva 16). ”Nykytila - energian hyötykäyttöskenaario – 1b”-ssä paperipussin paperiosan poltosta syntyvät hiilidioksidipäästöt lasketaan biogeenisiksi ja näin ollen paperipussivaihtoehdon hiilijalanjälki on kyseisessä skenaariossa tutkituista vaihtoehdoista pienin, kun otetaan huomioon kompensatio paperipussin poltosta saatavasta energiasta (Kuva 17). Polyeteenipussin valmistuksen ja jätehuollon kasvihuonekaasupäästöt ovat suuremmat kuin polypropeenipussin johtuen siitä, että polyeteenipussissa on enemmän pakkausmateriaalia kuin polypropeenipussissa.

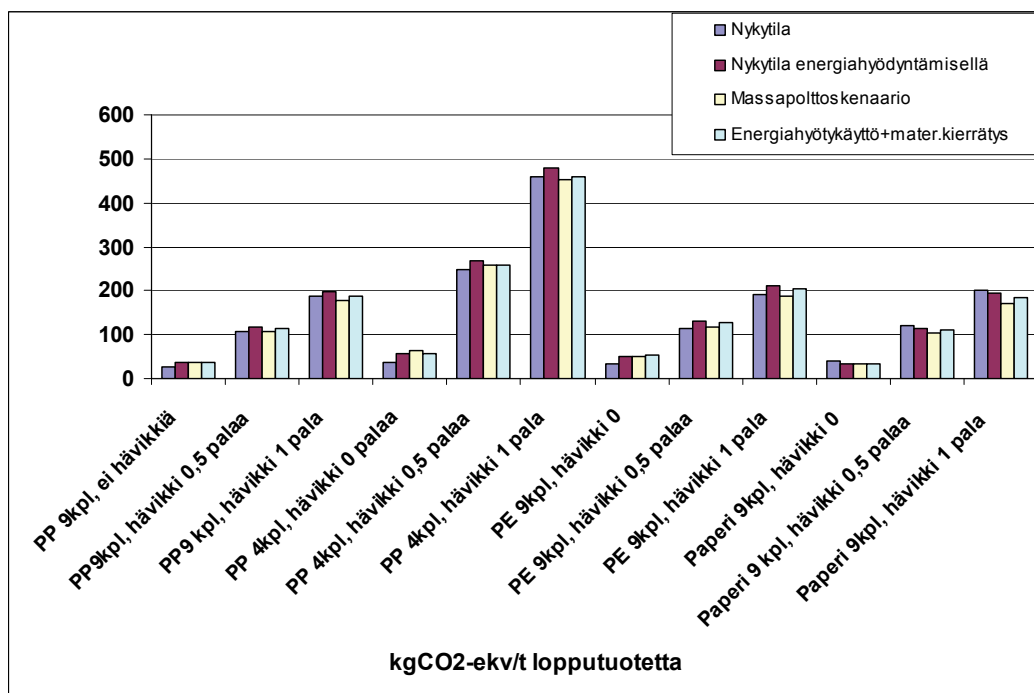


Kuva 16: Tapaustutkimus ruispalaleipä. Pakkausten valmistuksen ja jätehuollon hiilijalanjälki (jätehuoltoskenaario nykytila – 1a).



Kuva 17: Tapaustutkimus ruispalaleipä. Pakkausten valmistuksen ja jätehuollon hiilijalanjälki (jätehuoltoskenaario nykytila energiahyötykäytöllä – 1b).

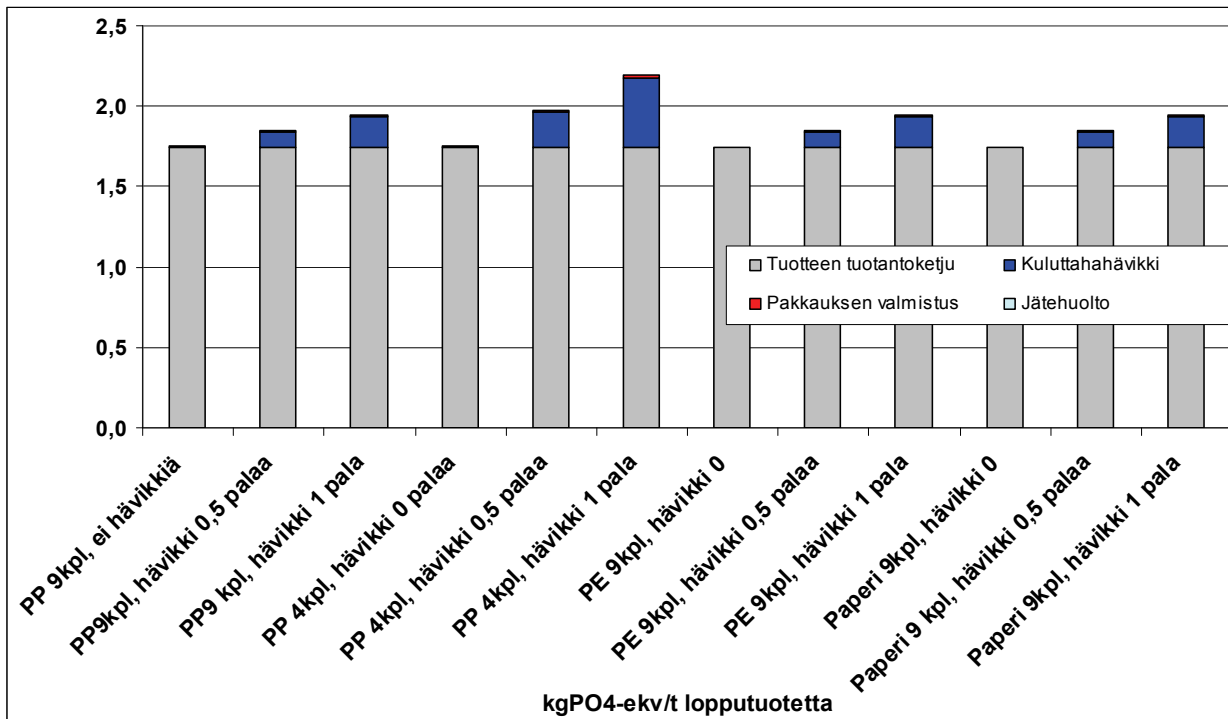
Kuvasta 18 voidaan nähdä, että kuluttajahävikin suuruudella on suuri vaikutus hiilijalanjälkeen verrattuna jätehuoltoskenaarioiden välisiin eroihin. Polyeteenipinnoitetun paperipussin kaatopaikkakäsittely tuottaa suuremmat kasvihuonekaasupäästöt kuin energiahyötykäyttö, johtuen siitä, että paperin poltossa syntyneet kasvihuonekaasupäästöt lasketaan biogeenisiksi. Nykytilaskenaariossa, jossa on mukana energiahyötykäyttö, päätyy 18 % kuluttajahävikistä kaatopaikalle, mikä aiheuttaa metaanipäästöjä. Näin ollen kyseisen skenaarion kasvihuonekaasupäästöt ovat suuremmat kuin muilla energiahyötykäyttöskenaarioilla, koska massapolttoskenaariossa 100 % kuluttajahävikistä päätyy materiaalihyötykäyttöön ja skenaariossa energiahyötykäyttö + materiaalin kierrätys 100 % kuluttajahävikistä päätyy kompostiin.



Kuva 18: Tapaustutkimus ruispalaleipä – hiilijalanjälki. Kuluttajahävikki, pakkausten valmistus ja jätehuolto eri jätehuoltoskenaarioilla.

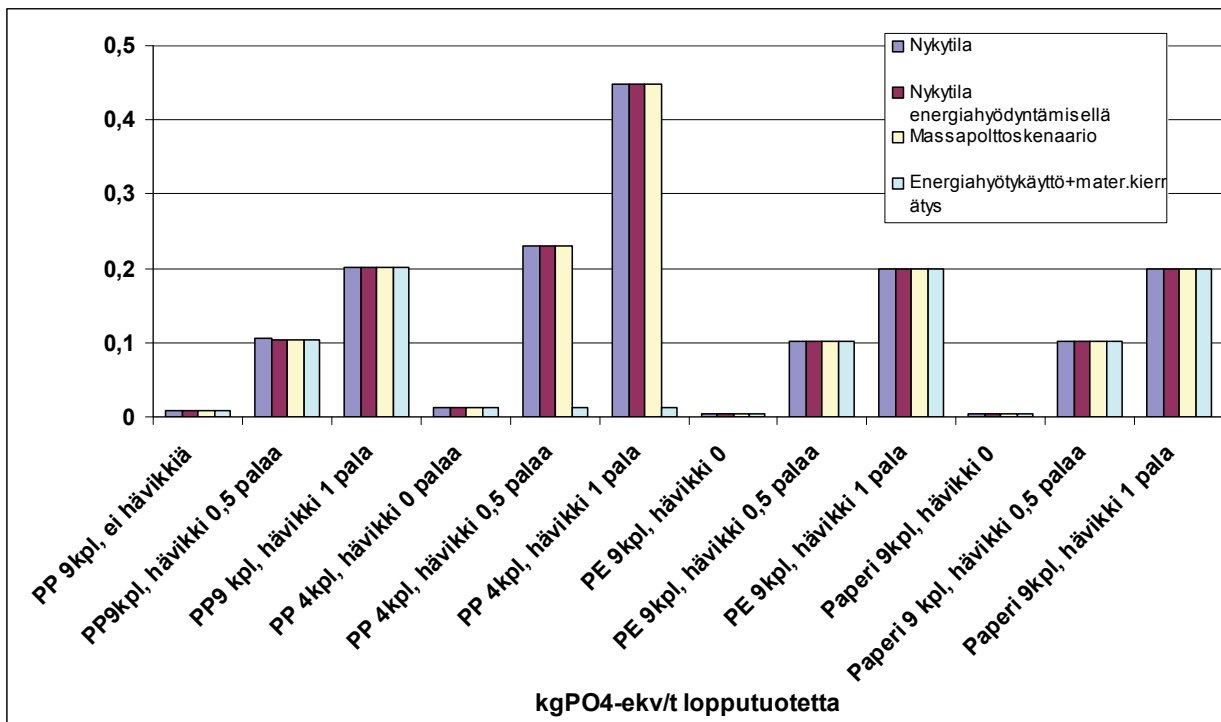
3.2.2 Rehevöittävät päästöt

Pakkausten ja jätehuollon yhteinen osuus on alle prosentti ruispalaleivän elinkaaren rehevöittävästä päästöistä, joten kuluttajahävikin osuus ruispalaleivän rehevöittävästä päästöistä on selvästi suurempi (Kuva 19). Kuvissa 19 ja 21 tuotteen tuotantoketju käsittää kaikki ruispalaleivän elinkaaren vaiheet, lukuun ottamatta jätehuoltoa ja pakkausten valmistusta. Jätehuolto sisältää sekä pakkaus- että tuotejätteen käsittelystä syntyvät päästöt. Kuluttajahävikki kuvaa kuluttajilta hävikiksi päätyneen tuotemäärän koko tuotantoketjun aikana syntyviä päästöjä.



Kuva 19: Tapaustutkimus ruispalaleipä – rehevöittävät päästöt. (Nykytila energiahyötykäytöllä). Tuotteen valmistustolppa sisältää koko tuotteen elinkaaren lukuun ottamatta pakkauksia ja jätteiden käsittelyä.

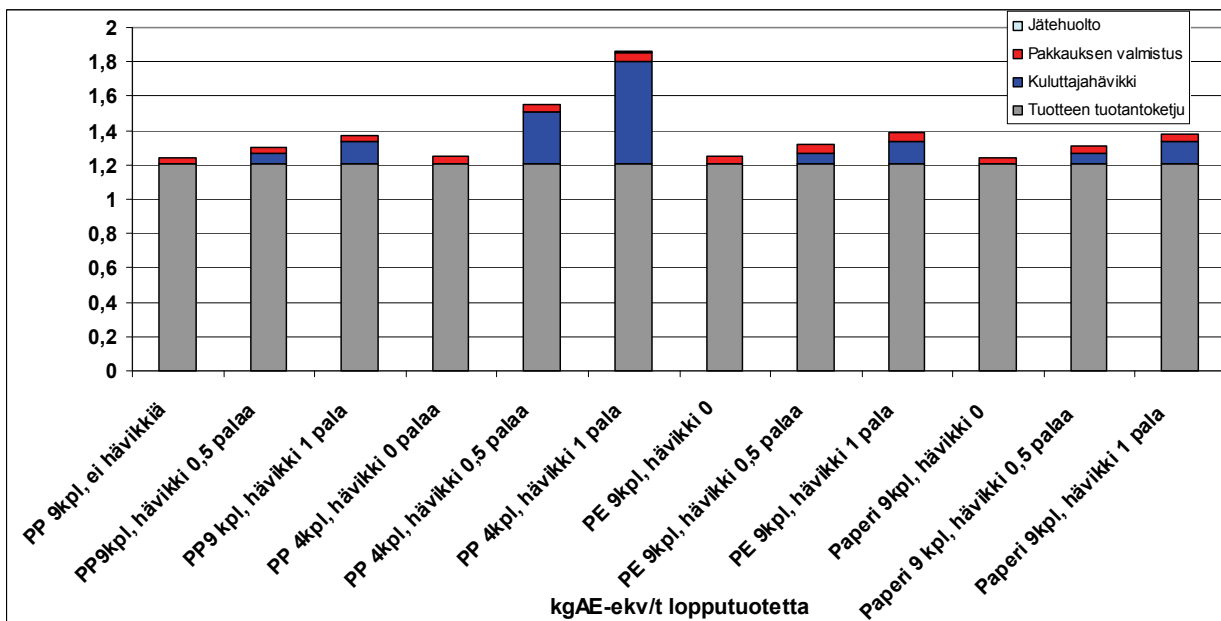
Kuva 20 osoittaa, että ruispalaleivän rehevöittävässä päästöissä ei ole suuria eroja eri jätehuoltoskenaarioiden välillä. Tosin kaatopaikkojen suotovesiä ei ole huomioitu. Samassa kuvassa näkyy myös kuluttajahävikin suuri vaikutus ruispalaleivän rehevöittäviin päästöihin. Jos neljän kappaleen pakkauskoolla pystytään pienentämään kuluttajahävikki nollaan, ovat ruispalaleivän rehevöittävät päästöt silloin selvästi pienemmät kuin yhdeksän kappaleen pussilla, jos sen kuluttajahävikki on vähintään puoli palaa leipää.



Kuva 20: Tapaustutkimus ruispalaleipä – kuluttajahävikin, pakkausten valmistuksen ja jätehuollon rehevöittävät päästöt eri jätehuoltoskenaarioilla.

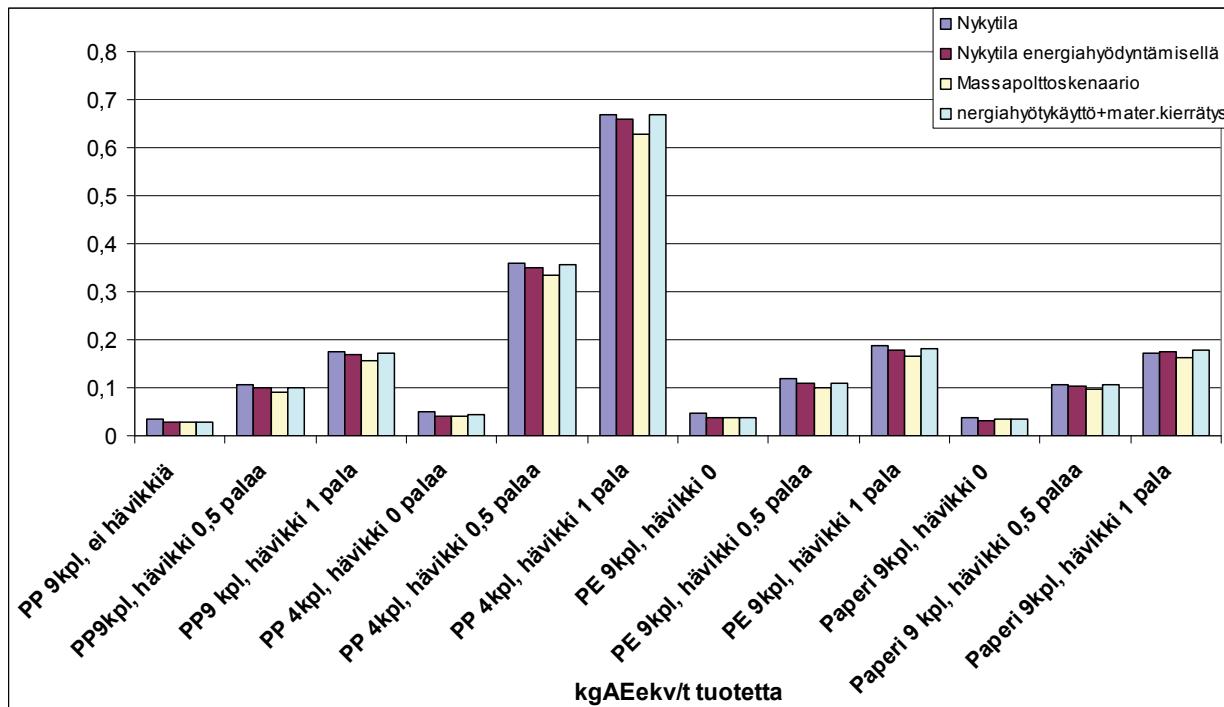
3.2.3 Happamoittavat päästöt

Kuluttajahävikki on suurempi happamoittavien päästöjen lähde kuin pakkausten valmistus ja jätehuolto (Kuva 21). Pakkauksen valmistuksen osuus oli 2-4 % ruispalaleivän happamoittavista päästöistä. Jätehuollon merkitys on hyvin pieni happamoittavien päästöjen osalta. Kuvasta 21 nähdään, että kuluttajahävikin suuruudella on suuri vaikutus happamoittaviin päästöihin verrattuna jätehuoltoskenaarioiden välisiin eroihin.



Kuva 21: Tapaustutkimus ruispalaleipä – happamoittavat päästöt (Nykytila energiahyötykäytöllä).

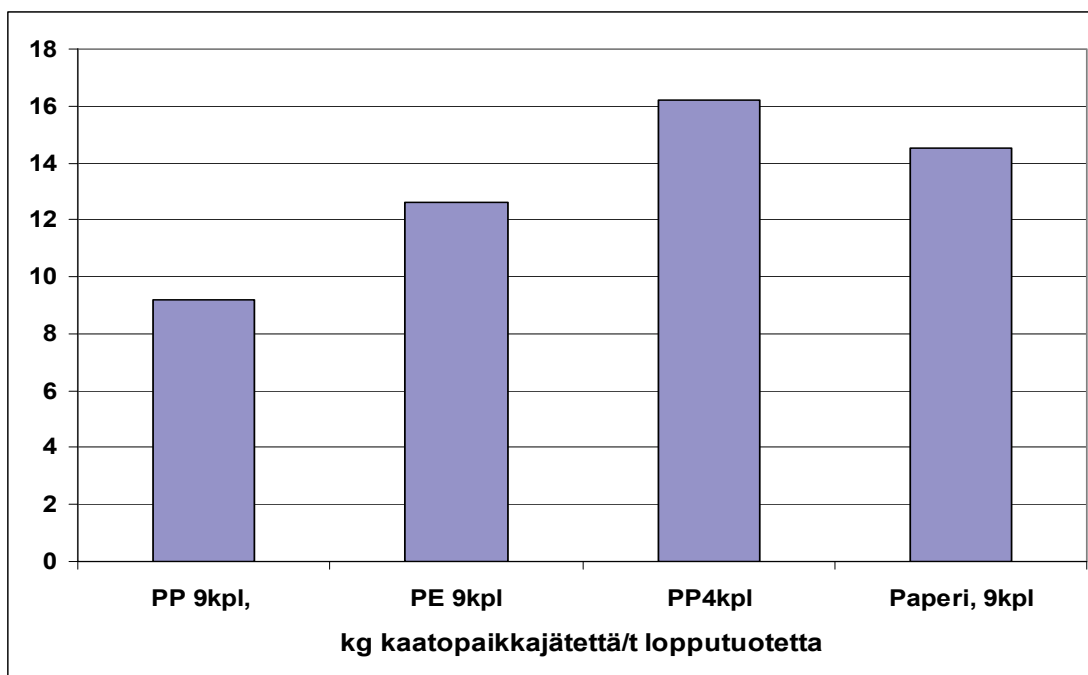
Kuvasta 22 voidaan havaita, että jätehuoltoskenaarioiden väliset erot ovat happamoittavien päästöjen osalta pieniä. Samassa kuvassa näkyy myös kuluttajahävikin suuri merkitys. Neljän leipäpalan pakkauskoon happamoittavat päästöt ilman kuluttajahävikkiä jäävät pienemmiksi kuin yhdeksän leipäpalan pakkauskoon päästöt puolen palan kuluttajahävikillä.



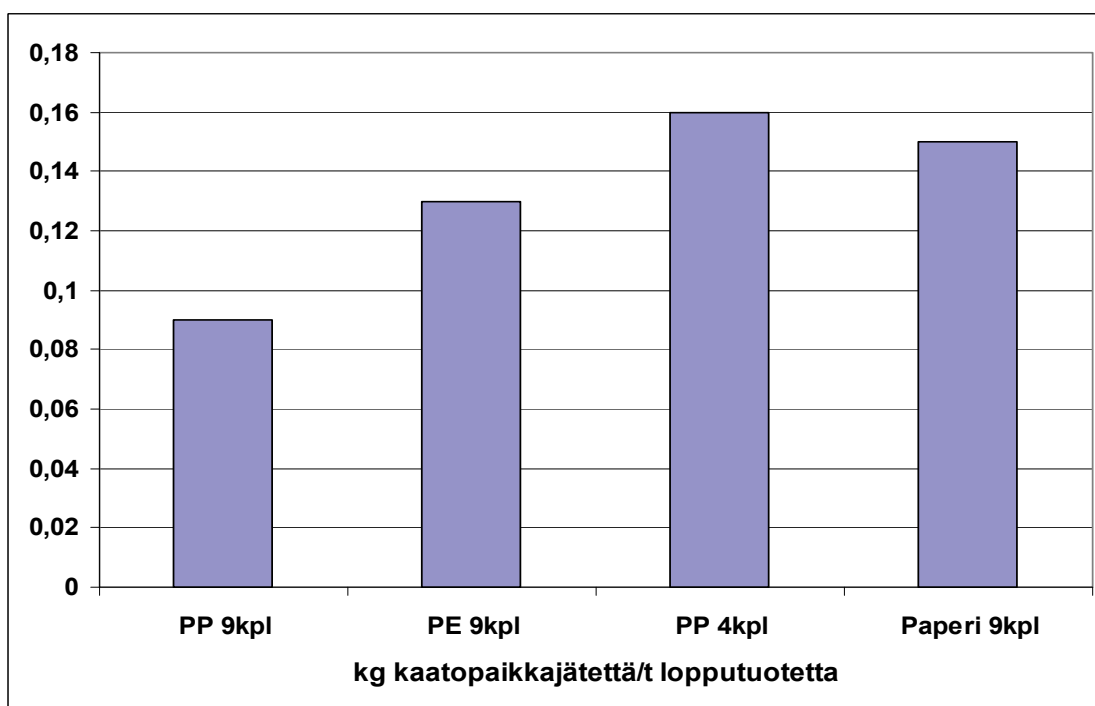
Kuva 22: Tapaustutkimus ruispalaleipä – kuluttajahävikin, pakkausten valmistuksen ja jätehuollon happamoittavat päästöt eri jätehuoltoskenaarioilla.

3.2.4 Kaatopaikkajätteen määrä

Kuvissa 23 ja 24 on esitetty kaatopaikkajätteen määrä tapaustutkimuksessa ruispalaleipä. Vaikka polyeteenipinnoitetun paperipussin paperista hajoaa kaatopaikkakaasuksi vajaa kolmannes, on polyeteenipinnoitetun paperipussi kuitenkin massaltaan sen verran painavampi, että kyseisen vaihtoehdon pakkausjätteen määrä jää hajoamisen jälkeenkin suuremmaksi kuin muilla 9 kpl:n pusseilla. Neljän kappaleen polypropeenipussista syntyy eniten kaatopaikkajätettä.



Kuva 23: Kaatopaikkajätteen määrä loppukäyttöskenaarioilla ruispalaleipä –tapaustutkimuksessa Nykytila 1a



Kuva 24: Kaatopaikkajätteen määrä loppukäyttöskenaarioilla ruispalaleipä –tapaustutkimuksessa loppukäyttöskenaariolla Nykytila energianhyötykäytöllä – 1b.

3.3 Tapaustutkimus kokolihaleikkele

3.3.1 Hiilijalanjälki

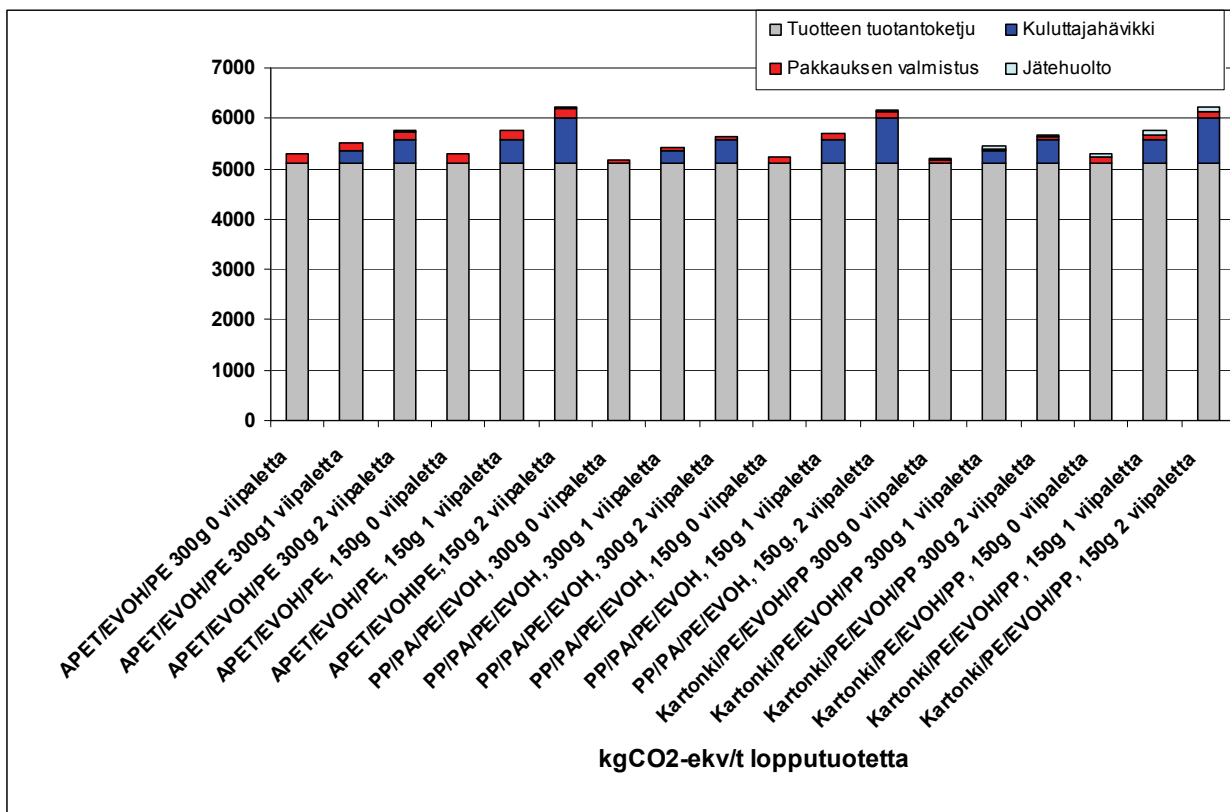
Kokolihaleikkeleessä tuotteen valmistus dominoi kaikkia ympäristövaikutuksia. Pakkauksen valmistamisen osuus on 1-3 % hiilijalanjäljestä ja niiden jätehuollon 0,5-2 % hiilijalanjäljestä, joten kuluttajahävikin

osuus on merkittävämpi, ollen suuremmalle pakkauskoolle 0-8 % hiilijalanjäljestä ja pienemmälle pakkauskoolle 0-15 % hiilijalanjäljestä (Kuvat 25 ja 26). Kuvasta 26 näkyy, että jos pienemmällä pakkauskoolla päästään nollahävikkiin, on kokonaishiilijalanjälki pienempi kuin suuremman pakkauskoon hiilijalanjälki vähintään yhden kinkkuviipaleen kuluttajahävikillä. Jätehuollon osuus on huomattava silloin, kun pakkausjäte päätyy energiahyötykäyttöön.

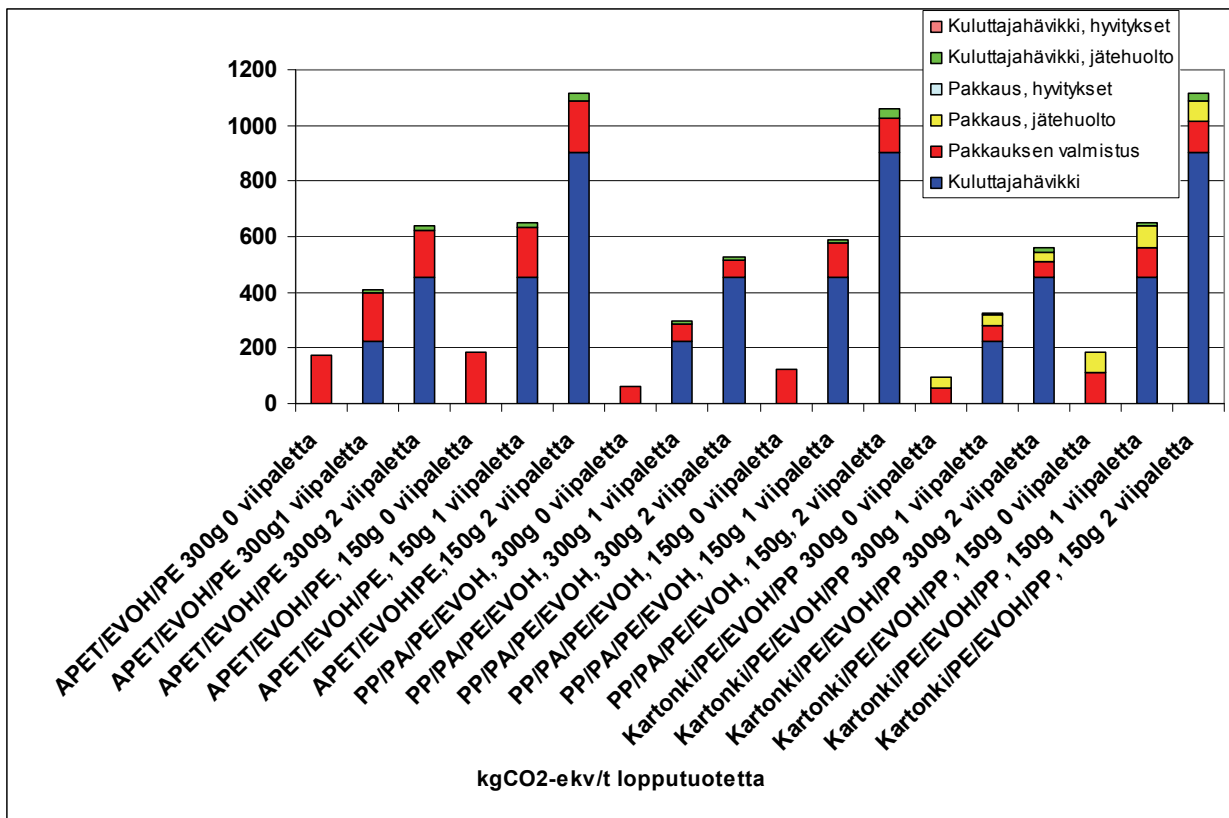
Jätehuoltoskenaarioissa 1a nykytila ja 1b – nykytila energiahyötykäytöllä, kuluttajahävikistä 82 % pääty kompostin ja 18 % kaatopaikalle. Näin ollen korkeilla kuluttajahävikin määrillä kaatopaikkäsittelyssä muodostuu jonkin verran metaania. Kuvasta 26 näkyy, että myös kartonkiosan kaatopaikkäsittelyssä syntyy jonkin verran metaanipäästöjä.

Kuvassa 25 tuotteen tuotantoketju käsittää kaikki kokolihaleikkeleen elinkaaren vaiheet, lukuun ottamatta jätehuoltoa ja pakkausten valmistusta. Jätehuolto sisältää sekä pakkaus- että tuotejätteen käsittelystä syntyvät kasvihuonekaasupäästöt. Kuluttajahävikki kuvissa 25 ja 26 taas kuvaa kuluttajilta hävikiksi päätyneen tuotemäärän koko tuotantoketjun kasvihuonekaasupäästöjä. ”Kuluttajahävikki”-komponentin kuvaamat päästöhyvitykset perustuvat oletukseen, että kuluttajahävikin kompostoinnissa tuotteena saatu maanparannusaine korvaa tiettyä määrää turvetta.

Painovärien ja liuottimien osuus pakkausten hiilijalanjäljestä on alle 5 %.



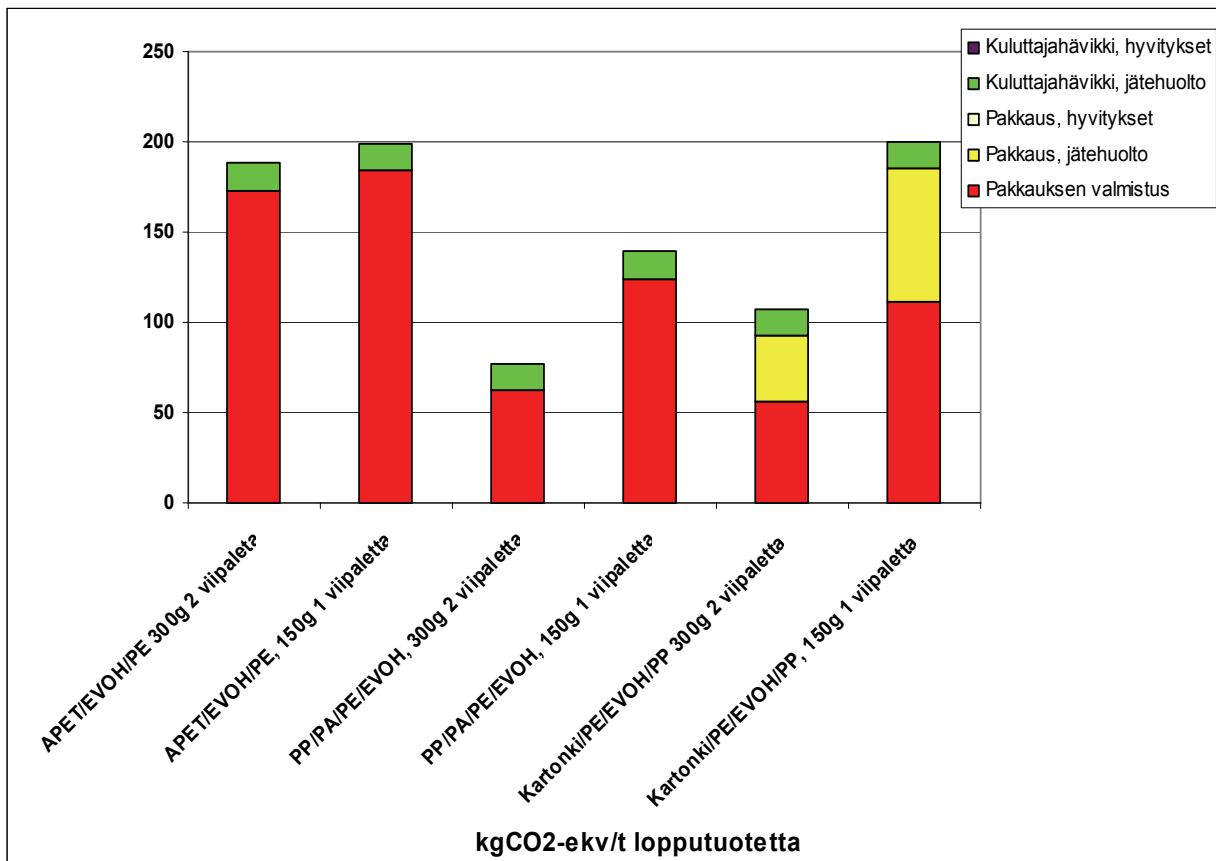
Kuva 25: Tapaustutkimus kokolihaleikkele. Hiilijalanjälki komponenteittain nykytila - loppukäyttöskenaariolla 1a.



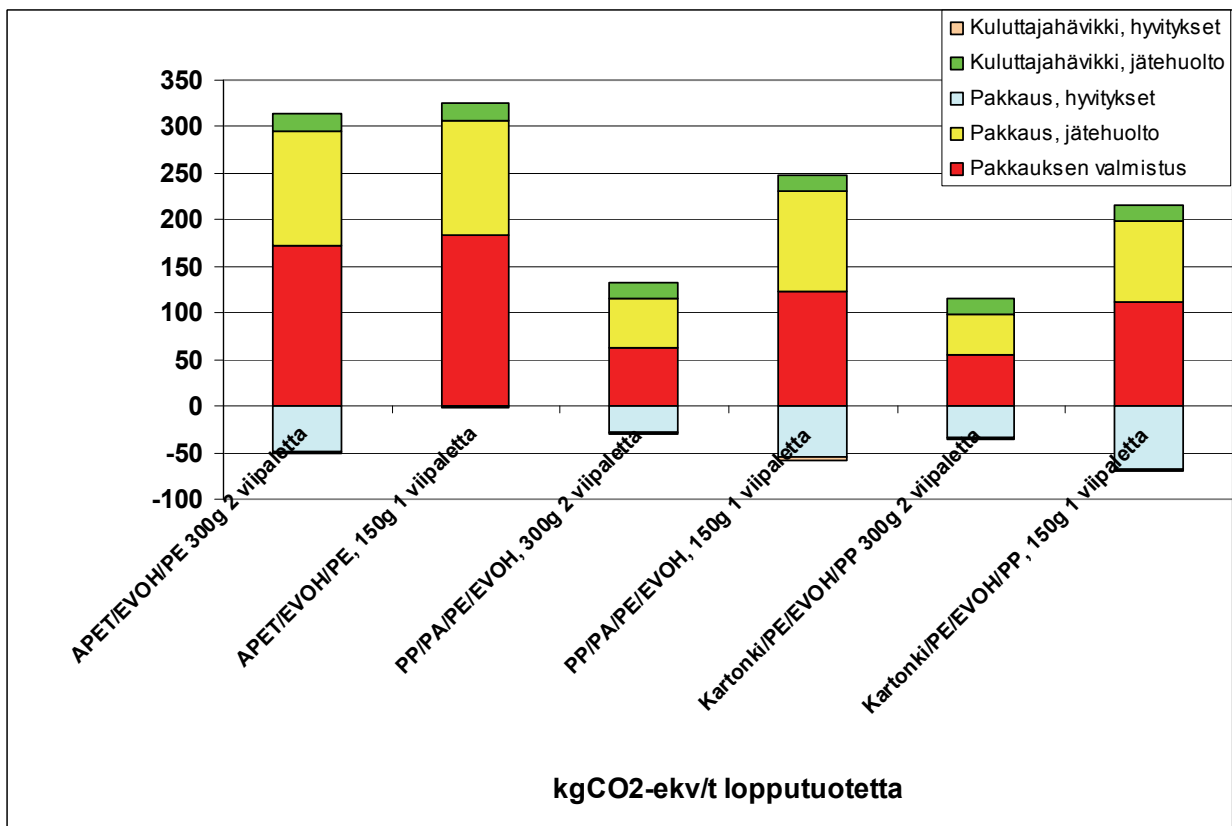
Kuva 26: Tapaus kokolihallekkele. Kuluttajahävikin, pakkausten valmistuksen ja jätehuollon hiilijalanjälki nykytila-energiajätteen hyötykäyttö- loppukäyttöskenaariolla 1a.

Kuvissa 27 ja 28 on havainnollistettu pakkausten valmistuksen ja jätehuollon osuutta eri pakkausvaihtoehdoilla siten, että kuluttajahävikki on oletettu samaksi. Loppukäyttöskenaariossa ”Nykytila – 1a” kartonkipakkauksesta kaatopaikkakäsittelyssä aiheutuvat metaanipäästöt ovat merkittävät verrattuna muihin pakkausvaihtoehtoihin (Kuva 27). ”Nykytila - energian hyötykäyttöskenaario – 1b”:ssä kartonkipakkauksen poltosta syntyvät hiilidioksidipäästöt lasketaan biogeenisiksi ja näin ollen kartonkipakkauksen hiilijalanjälki on kyseisessä skenaariossa tutkituista vaihtoehdoista pienin, kun pakkauksen poltosta saatavan energian tuomat päästöhyötykset otetaan huomioon (Kuva 28).

APET/EVOH/PE-pakkausten suhteellisesti suurempi hiilijalanjälki verrattuna muihin pakkausvaihtoehtoihin johtuu pääasiassa suuremmasta pakkausmateriaalin määrästä.

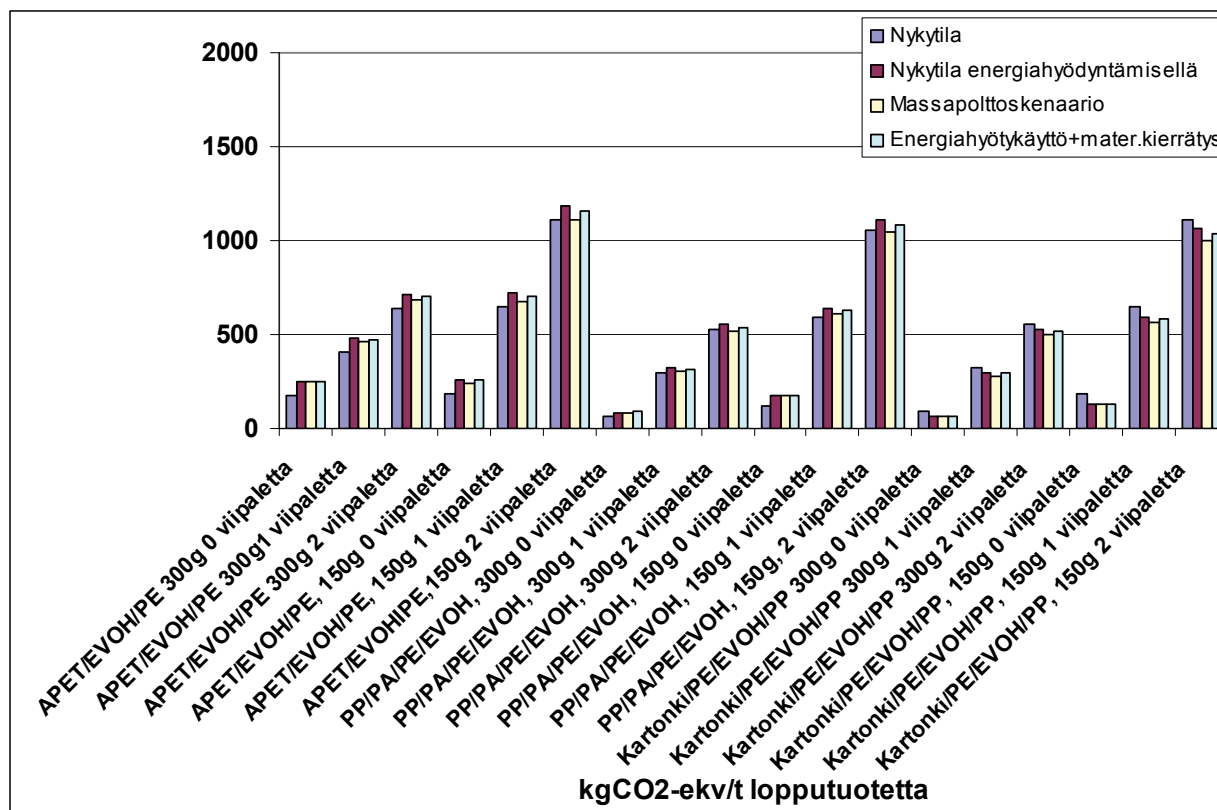


Kuva 27: Tapaustutkimus kokoliuhaleikkele. Pakkausten valmistuksen ja jätehuollon hiilijalanjälki (jätehuoltoskenaario nykytila – 1a).



Kuva 28: Tapaustutkimus kokoliuhaleikkele. Pakkausten valmistuksen ja jätehuollon hiilijalanjälki (jätehuoltoskenaario nykytila energiahyötykäytöllä – 1b).

Kuvasta 29 nähdään, että kuluttajahävikin suuruudella on suuri merkitys verrattuna jätehuoltoskenaarioiden välisiin eroihin. Kartonkipakkauksen kaatopaikkakäsittely tuottaa suuremmat kasvihuonekaasupäästöt kuin muut skenaariot kyseiselle pakkaukselle. Nykytilaskenaariossa, jossa on energiahyötykäyttö, päätyy 18 % kuluttajahävikistä kaatopaikalle, mistä aiheutuvat suuremmat kasvihuonekaasupäästöt (lähinnä metaania) kuin muissa energiahyötykäyttöskenaarioissa (massapolttoskenaario - 2a ja energiahyötykäyttö + materiaalin kierrätys - 2b).

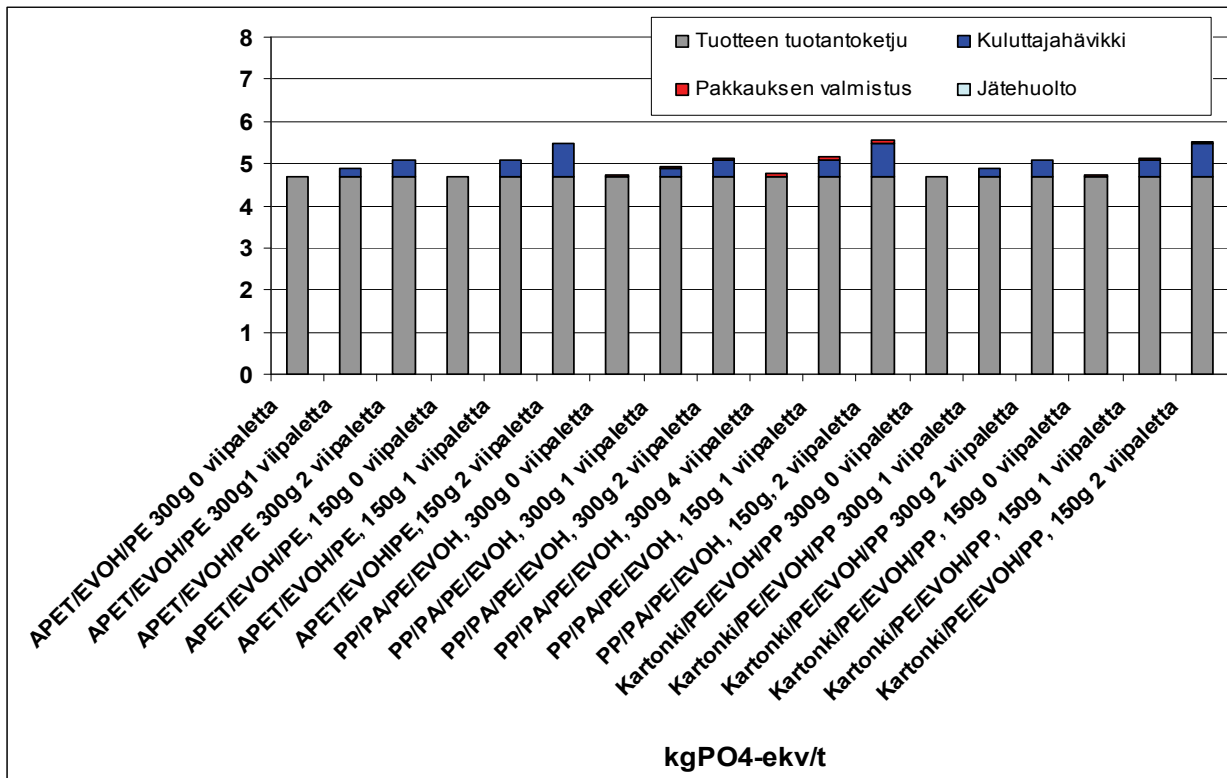


Kuva 29: Tapaustutkimus kokolihaleikkele – hiilijalanjälki. Kuluttajahävikki, pakkausten valmistus ja jätehuolto eri jätehuoltoskenaarioilla.

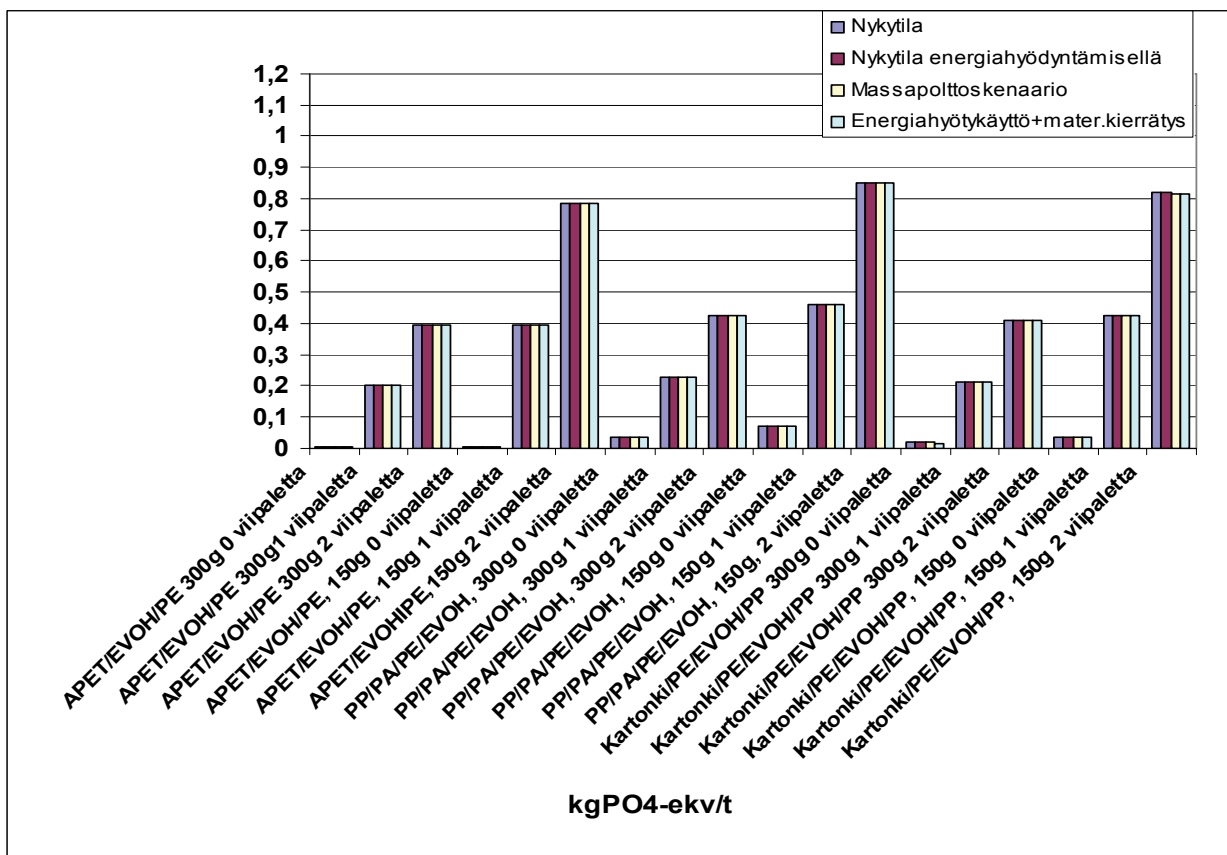
3.3.2 Rehevöittävät päästöt

Kuvista 30 ja 31 nähdään, että rehevöittävässä päästöissä kuluttajahävikin merkitys on selvästi suurempi kuin pakkausten valmistuksen ja jätehuollon. Pakkausten valmistuksen ja niiden jätehuollon merkitys on yhteensä vain alle 1,5 % kokolihaleikkeleen rehevöittävästä päästöistä. Kuvan 28 mukaan myöskään loppukäyttöskenaarioilla ei ole suurta merkitystä kokolihaleikkeleen elinkaaren rehevöittäviin päästöihin.

Kuvissa 30 ja 32 tuotteen tuotantoketju käsittää kaikki kokolihaleikkeleen elinkaaren vaiheet, lukuun ottamatta jätehuoltoa ja pakkausten valmistusta. Jätehuolto sisältää sekä pakkaus- että tuotejätteen käsitte-lystä syntyvät päästöt. Kuluttajahävikki taas kuvaa kuluttajilta hävikiksi päätyneen tuotemäärän koko tuotantoketjun päästöjä.



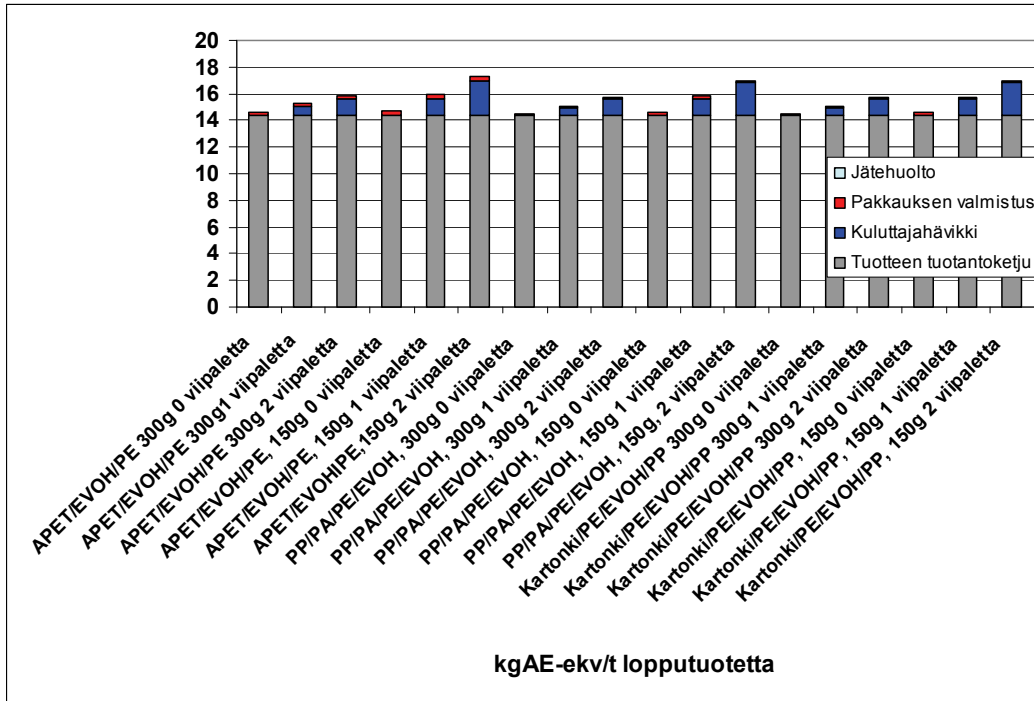
Kuva 30: Tapaustutkimus kokolihaleikkele – rehevöittävät päästöt komponenteittain nykytila energiahyötykäytöllä - loppukäyttöskenaariolla 1b. Tuotteen valmistustulppa sisältää koko tuotteen elinkaaren lukuun ottamatta pakkauksia ja loppukäyttöä.



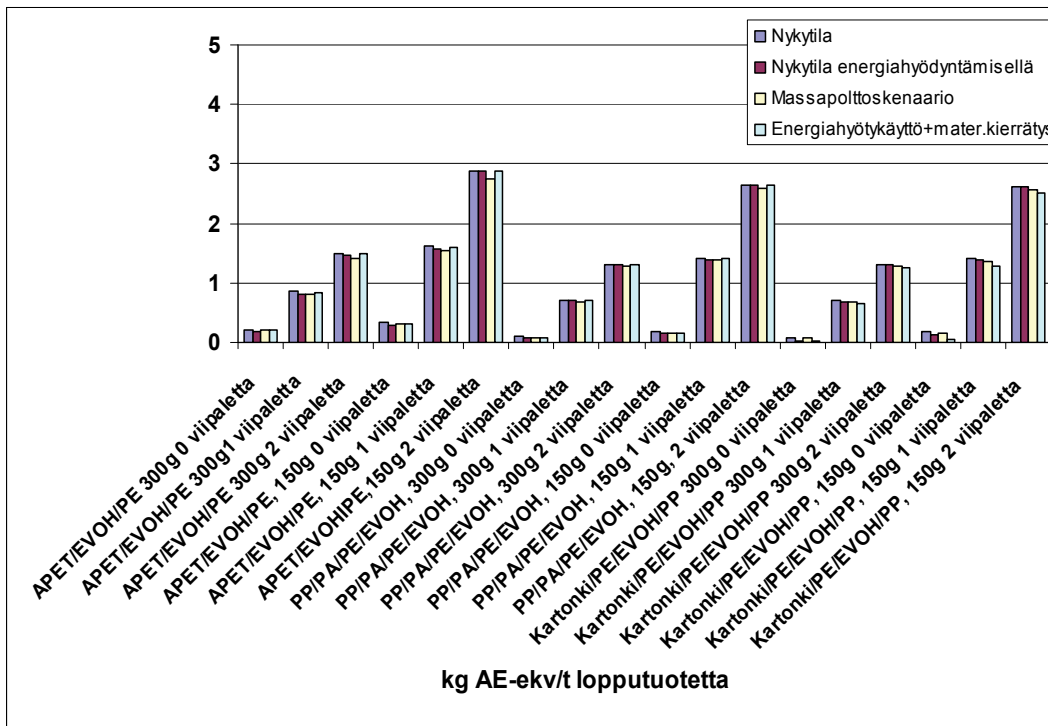
Kuva 31: Tapaustutkimus kokolihaleikkele – rehevöittävät päästöt. Kuluttajahävikki, pakkausten valmistus ja jätehuolto eri jätehuoltoskenaariolla.

3.3.3 Happamoittavat päästöt

Kuvista 32 ja 33 voidaan havaita, että kuluttajahävikin vaikutus happamoittavien päästöjen suuruuteen on selvästi suurempi kuin pakkausten valmistuksen ja jätehuollon, joiden yhteinen osuus päästöistä on vain alle 2,5 %. Kuvan 30 mukaan myöskään loppukäyttöskenaariolla ei ole suurta vaikutusta kokoliuhaleikkeen elinkaaren happamoittaviin päästöihin.



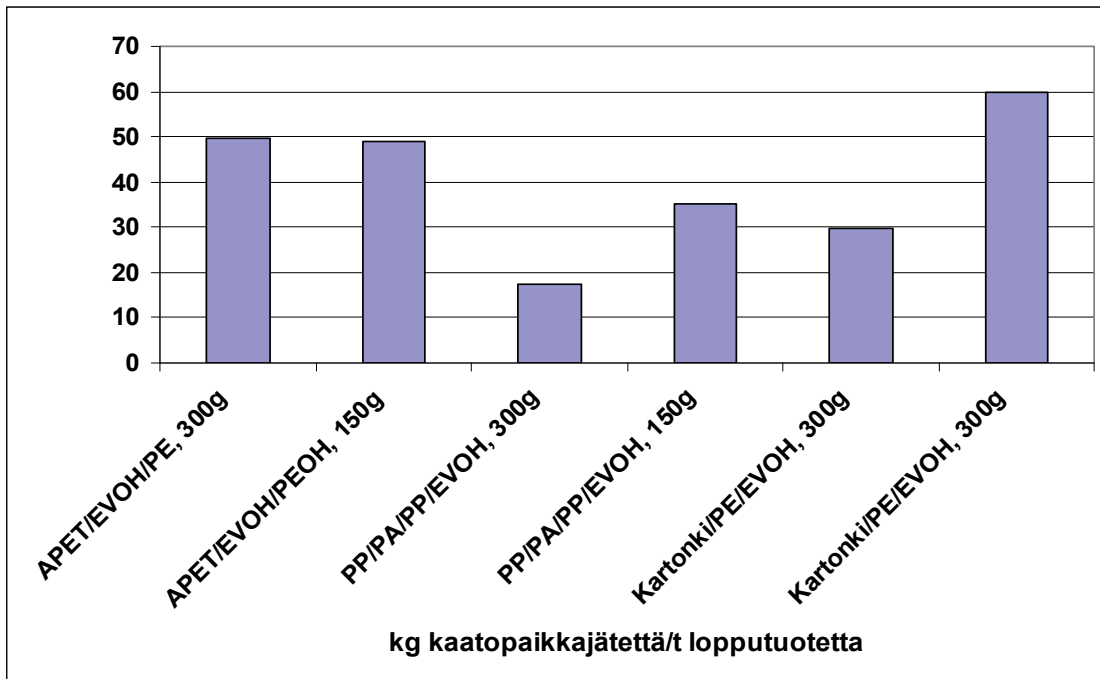
Kuva 32: Tapaustutkimus kokoliuhaleikkele – happamoittavat päästöt komponentteittain nykytila energiahyötykäytöllä - loppukäyttöskenaariolla 1b



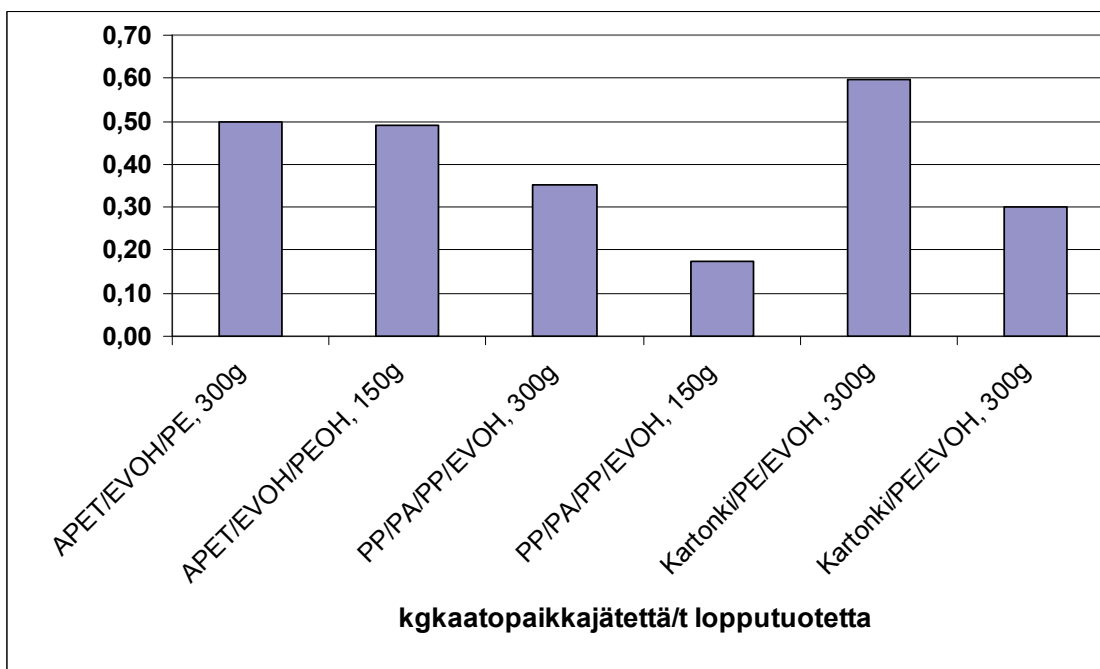
Kuva 33: Tapaustutkimus kokoliuhaleikkele – happamoittavat päästöt. Kuluttajahävikki, pakkausten valmistus ja jätehuolto eri jätehuoltoskenaarioilla.

3.3.4 Kaatopaikkajätteen määrä

Kuvissa 34 ja 35 on esitetty kaatopaikkajätteen määrä tapaustutkimuksessa kokolihalle. Vaikka kartonkipakkausten jätemäärä pienenee sen hajotessa kaatopaikalla vajaalla kolmanneksella, on kartonkipakkaus kuitenkin massaltaan sen verran painavampi, että kartonkivaihtoehdon pakkausjätteen määrä jää hajoamisen jälkeenkin PP/PA/PP/EVOH-vaihtoehtoa suuremmaksi.



Kuva 34: Kaatopaikkajätteen määrä loppukäyttöskenaarioilla Nykytila 1a tapaustutkimuksessa kokolihalle.



Kuva 35: Kaatopaikkajätteen määrä loppukäyttöskenaarioilla Nykytila 1b tapaustutkimuksessa kokolihalle.

4 Yhteenveto

Elintarvikkeiden valmistus dominoi tutkittujen tuote- ja pakkausyhdistelmien ympäristövaikutuksia. Pakkausten valmistuksen ja niiden jätehuollon osuus tuote- ja pakkausjärjestelmien elinkaaren aikaisista ympäristökuormituksista oli useimmiten alle 5 %. Ilmastovaikutuksista pakkausten osuus oli joissain tapauksissa vain 2 % koko tuote-pakkausjärjestelmän vaikutuksista. Myös rehevöittävässä ja happamoittavissa päästöissä pakkausten osuus oli samaa suuruusluokkaa. Kuitenkin Soygurtin tapauksessa pakkausten valmistuksen osuus oli 5-10 % kokonaisilmastovaikutuksesta ja 12-23 % happamoittavista päästöistä. Tämä johtui siitä, että tuote sisälsi paljon vettä ja siitä, että pakkausmateriaalia tarvittiin tuotepainoa kohden enemmän kuin ruispalaleipään. Kotitalouksissa hävikkiin päätyneen tuotemäärän tuotantoketjun osuus ilmastovaikutuksista vaihteli välillä 0-26 % käytetyissä kuluttajahävikkiskenaarioissa. Tutkimuksessa käytetyillä kuluttajahävikkiskenaarioilla kuluttajalta syntyvän tuotehävikin osuus tuotteen ympäristökuormituksesta oli useimmiten suurempi kuin itse pakkauksen valmistuksen osuus.

Pakkauksia suunniteltaessa olisi pyrittävä sellaisiin pakkausratkaisuihin koon, muodon ja muiden ominaisuuksien suhteen, että pakkaus säilyttäisi ja suojaisi tuotetta tehokkaasti ja pitkään minimoiden täten kotitalouksissa syntyvän tuotehävikin. Muutoin tuloksia ei voida laajemmin yleistää, sillä kunkin pakkaus- ja tuotejärjestelmän ympäristövaikutukset ja niiden jakaantuminen toisiinsa/ketjun eri osiin nähden vaihtelee riippuen erityisesti tuotteen kuormittavuudesta, mutta yhtä lailla myös kaikista järjestelmän tuotanto-, käyttö- ja jätehuoltovaiheista. Yksittäisistä tapaustutkimustuloksista ei voida esimerkiksi päätellä mitään siitä, mitä materiaalia vähiten kuormittavat pakkaukset ovat, vaan niiden paremmuus ja soveltuvuus vaihtelevat paljon riippuen erityisesti pakattavan tuotteen vaatimista säilyvyys- ja suojaavuusvaatimuksista. Lisäksi jokaisella pakkausmateriaalilla on käyttökohteesta riippuen omat hyvät ja huonot puolensa.

Olettaessa kuluttajahävikit samoiksi rinnakkaisten pakkausvaihtoehtojen välillä ympäristövaikutuserot eri tuotejärjestelmien välillä olivat suhteellisen pieniä, kun vertailun lähtökohtina olivat sekä pakkausten että tuotteiden tuotantoketjujen kokonaisympäristövaikutukset. Sellaiset pakkausratkaisut ja –muodot aiheuttivat kokonaisuudessaan vähiten ympäristövaikutuksia, jotka aiheuttavat mahdollisimman pienet tuotehävikit kotitalouksissa. Esimerkiksi pienimmät pakkauskoot saattaisivat näin ollen olla kokonaisuudessaan ympäristöä vähemmän kuormittavia kuin suuret pakkauskoot, mikäli kuluttajahävikki jäisi niissä pienemmäksi. Tutkimustuloksista käy selvästi ilmi se, että mikäli tutkituilla pienemmällä pakkauskoilla kotitalouksen ruokahävikki saadaan vähennettyä nollaan ja suuremmalla pakkauskoolla kuluttajahävikki on yli 5 %, on pienempi pakkauskoko tällöin ympäristöystävällisempi. Tämä ei kuitenkaan pätenyt Soygurt-tapaustutkimukseen silloin, kuin jätehuoltoskenaariona oli energiahyötykäyttö. Tämä johtui mm. siitä, että energiahyötykäytön päästöjä laskettaessa tölkkivaihtoehdon päästöt laskettiin biogeenisiksi ja pikarivaihtoehdon fossiiliseiksi sekä myös siitä, että itse tuotteen valmistuksen happamoittavat päästöt olivat pienet ja siitä, että pakkausmateriaalin määrä verrattuna esim. ruispalaleipään oli suurempi.

Kotitalouksien ruokahävikkejä selvittäneen kuluttajakyselyn tulosten perusteella ei voitu havaita merkittäviä eroja saman tuotteen erikokoisten pakkausten hävikkien välillä, Soygurt-tapaustutkimusta lukuun ottamatta. Kyseisessä tapaustutkimuksessa saatiin lisäksi pakkausvaihtoehtojen välille eroja myös tutkimuksessa toteutetuissa pakkausten tyhjennystestien kautta. Tutkimuksessa havaittiin, että kuluttajakyselyllä, on hyvin vaikeaa selvittää todellisen ruokahävikin määrää luotettavasti, varsinkaan erilaisten pakkausratkaisujen funktiona. Kuitenkin juuri kuluttajahävikki, mikäli eri pakkausvaihtoehtojen välillä on eroja, on suurin pakkausten ympäristövaikutuksiin vaikuttava tekijä. Tämä tarkoittaa sitä, että tutkittaessa ja vertaillaessa erilaisten pakkausten ympäristövaikutuksia, pakkausten tuotannon ja jätehuollon ohella tulee vertailuihin ehdottomasti sisällyttää tuotteiden ja sitä kautta eri tuotejärjestelmän vaiheissa syntyvän tuotehävikin arvioidut ympäristövaikutukset, ainakin hävikkiskenaarioiden kautta, jotta saadaan kokonaiskuva verrattavista asioista ja niiden suuruusluokista.

Kussakin tapaustutkimuksissa tuloksia vertailtiin lisäksi erilaisten jätehuoltoskenaarioiden mukaisesti. Pakkausjärjestelmien ympäristövaikutusvertailuissa ei yleensä tullut kokonaistasolla merkittäviä muutoksia kun pakkausten ja tuotteiden jätehuoltovaihtoehdot vaihtelivat. Jätehuoltoskenaarioiden osalta havaittiin, että kuluttajilta syntyvän tuotehävikin ja kuitupakkausten kaatopaikkakäsittely aiheuttavat metaanipäästöt, joten kaatopaikkakäsittely on näissä tapauksissa tuotejärjestelmän hiilijalanjälkeä kasvatta-

va tekijä. Eniten jätehuoltoskenaariolla oli merkitystä Soygurt-tapautkimuksessa, jossa eräänä nykytilaskenaariona (1a) kuluttajahävikki johdettiin kaatopaikalle, jossa tällöin syntyi merkittäviä metaanipäästöjä. Muovipakkaukset eivät hajoa kaatopaikalla synnyttäen hiilijalanjälkeä nostavia metaanipäästöjä, mutta sen sijaan niiden käyttö lisää luonnossa hajoamattomien jätteiden määrää. Tämän tutkimuksen oletusten perusteella leikkeleen ja ruispalojen kuitupakkaukset eivät tarkasteluajanjakson (100 vuotta) aikana kuitenkaan hajoa kuin alle kolmanneksen. Koska tässä tutkimuksessa käsiteltyjen ruispalaleivän ja kokolihallekkeleen kuitupakkaukset olivat painavimmat kuin muovipakkaukset, ei kuitupakkaukseen siirtymisen näissä tapaustutkimuksissa vähentänyt kaatopaikkajätteen määrää.

Kokolihallekkeleen ja ruispalaleivän tässä tutkimuksessa tarkastellut myyntieräpakkaukset olivat kiertäviä ja niillä oli pitkä käyttöikä, joten niiden valmistuksen ympäristövaikutuksia ei huomioitu tutkimuksessa. Myyntieräpakkausten kuljetuksista aiheutuvat päästöt kuitenkin huomioitiin. Niiden osuus pakkausten kokonaishiilijalanjäljestä oli alle 10 %. Soygurtin myyntieräpakkausina käytettiin aaltopahvilaatikoita, joiden osuus pakkausten kokonaisympäristövaikutuksista nousi pikarivaihtoehdolla happamoittavien ja rehevöittävien päästöjen osalta massapolttoskenaariossa jopa 20 %:n pakkausten kokonaispäästöistä, sillä pikarivaihtoehdon myyntieräpakkausten massa oli suurempi kuin tölkkivaihtoehdolla.

Pakkausten valmistamisen ja loppukäytön synnyttämät rehevöittävät päästöt ovat tämän tutkimuksen tulosten perusteella yleensä suhteellisen pieniä verrattuna kuluttajilta syntyneestä tuotehävikistä aiheutuviin päästöihin. Kuitenkin tarkasteltaessa vähän kuormittavia elintarvikkeita, kuten vesipitoisia juomia tai avomaavihanneksia, pakkauksenkin suhteellinen osuus ympäristövaikutuksista voi nousta merkittävästi. Happamoittavissa päästöissä pakkauksen valmistuksen merkitys on suurempi kuin rehevöittämissä päästöissä etenkin Soygurt-tapautkimuksessa, mutta myös happamoittavia päästöjä pystytään vähentämään oleellisesti ottamalla pakkaussuunnittelussa huomioon kuluttajahävikin määrä.

Näin ollen pakkaussuunnittelussa pystytään parhaiten vähentämään rehevöittäviä, happamoittavia ja kasvihuonekaasupäästöjä pyrkimällä kuluttajilta syntyvän hävikin minimointiin, esimerkiksi pyrkimällä valitsemaan pakkausmateriaaleja ja -muotoja, jotka mahdollistavat hyvän suojaavuuden ja tyhjennettävyyden, suunnittelemaan ulkomuodon siten, että pakkaus tavoittaa ja houkuttelee tuotteen potentiaalisia ostajia sekä valitsemaan tuotteelle pakkauskokoja, jotka sopivat kohderyhmien tarpeisiin

5 Kirjallisuus

- GaBi 4.3. "GaBi Databases 2006" - Documentation
- IPCC. 2000. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 5, Waste. Saatavilla: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>
- Grisso, R, Perumpral, J. ja Zoz, F. 2007. Spreadsheet for matching tractors and drawn implements. Applied Engineering in Agriculture, Vol. 23(3): 259-265, American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 0883-8542
- Hauschild, M., Bastrup-Birk, A., Hertel, O., Schöpp, W. & Potting, J. 2004. Photochemical ozone formation. Teoksessa: Potting, J. & Hauschild, M. (toim.). 2004. Background for spatial differentiation in life cycle assessment – the EDIP 2003 methodology. Institute of Product Development, Copenhagen. Environmental news 80.
- Hohenthal, Catharina 2010. VTT. Suullinen tiedonanto 25.8.2010.
- Hohenthal, C. & Wessman, H. 2003. Elinkaariarvio keskimääräiselle suomalaiselle aaltopahville.
- IPCC 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use, IPCC-NGGIP Publications. Saatavissa: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>
- ISO/TR 14049. 2000. Environmental management - Life cycle assessment - Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition inventory analysis. 43 s.
- Juostas, A. ja Janulevičius, A. 2008. Investigation of tractor engine power and economical working conditions utilization during transport operation. Research Journal of Vilnius Gediminas Technical University and Lithuanian Academy of Sciences. TRANSPORT. ISSN 1648-4142 print / ISSN 1648-3480 online. Lithuanian University of Agriculture, Studentų g. 15, LT-53361 Kaunas-Akademija, Lithuania
- Jokela, Eija. 2009. Suomen aaltopahviyhdistys. Suullinen tiedonanto, FutupackEKO2010 -hankkeen johdoryhmä 27.8.2009.
- Kalkitusyhdistys 2007. Kalkitusopas. Verkkojulkaisu
- Katajajuuri, J.-M., Virtanen, Y., Voutilainen, P., Tuhkanen, H.-R., Kurppa, S. 2003. Elintarvikkeiden ympäristövaikutukset: FOODCHAIN. MMM:n julkaisuja 6: 64 p.
- Katajajuuri, J.-M. & Virtanen, Y. 2007. Environmental Impacts of Product Packaging in Finnish Food Production Chains. Book of Proceedings, 5th International Conference LCA In Foods, 25 - 26 April 2007, Gothenburg, Sweden. The Swedish Institute for Food and Biotechnology P. 138-142.
- Lacuna-Richman, C. 2010. Henkilökohtainen tiedonanto 10.6.2010.
- Leppänen-Turkula, Annukka. 2009 ja 2010. Pakkausalan ympäristörekisteri PYR Oy. Sähköpostiviestit 11.8–24.8.2009, 12.4.2010 ja 4.6.2010.
- Manfredi S., Scharff, H., M., Tonini D., & Christensen, T., H. 2009. Landfilling of waste: accounting gases and global warming contributions. Teoksessa Environmental Assessment of Solid Waste Landfilling in a Life Cycle Perspective (LCA model EASEWASTE). PhD Thesis. Technical University of Denmark. ISBN: 978-87-91855-67-2.
- Maskuniitty Hannu. 2002. Arinapoltto. Teoksessa Poltto ja palaminen. Toim. Raiko Risto, Saastamoinen Jaakko, Hupa Mikko & Kurki-Suonio Ilmari. Toinen täydennetty painos. Jyväskylä: International Flame Research Foundation - Suomen kansallinen osasto/Gummerus Kirjapaino Oy. 482. ISBN 951-666-604-3.
- Myllymaa, Tuuli; Moliis, Katja; Tohka, Antti; Rantanen, Pirjo; Ollikainen, Markku & Dahlbo, Helena. 2008. Jätteiden kierrätyksen ja polton käsittelyketjujen ympäristökuormitus ja kustannukset. 82 s. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 28/2008. ISBN 978-952-11-3251-3 (pdf).
- Mäkelä, K. 2008. TYKO 2007 Suomen työkonoiden päästölaskentajärjestelmän tulostiedosto. 2008 päivitetty versio mallista Mäkelä, K. Tuominen, A. ja Rusila, K. (2000). TYKO 1999 Työkonoiden päästömalli. VTT Yhdyskuntatekniikka. Tutkimusraportti 546/2000. Saatavissa: <http://lipasto.vtt.fi/tyko/malli.htm>

- Ogle, S. M., Del Grosso, J., Adler, P. R. & Parton, W. J. Soil 2008. Nitrous Oxide Emissions with Crop Production for Biofuel: Implications for Greenhouse Gas Mitigation. Julkaisussa The Lifecycle Carbon Footprint of Biofuels, Proceedings of a conference January 29, 2008, in Miami Beach, FL, s. 12-18.
- Nekkula Kimmo ja Niinivaara Irina. 2010. SOK, Inex Partners Oy. Sähköpostiviestit 26.-27.5.2010
- Nyberg Kimmo. 2010. Corenso. Suullinen tiedonanto 22.6.2010.
- Oksanen Kari. 2010. L&T Muoviportti Oy. Suullinen tiedonanto 9.6.2010.
- Petäjä Jouko. 2002. Eri jätejakeiden DOC-osuudet, p-%. Teoksessa: Tuhkanen Sami, Jätehuollon merkitys Suomen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Kaatopaikkojenmetaanipäästöt ja niiden talteenotto. 19. VTT Tiedotteita 2142. ISBN 951-38-5896-0 (pdf). Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2002/T2142.pdf>
- PYR. PYR Oy kokoaa pakkaustilastot. [PYR Oy:n verkkosivuilta]. [viitattu 11.8.2009]. Saatavissa: <http://www.pyr.fi/tilastot.html>
- Seppälä, J., Posch, M., Johansson, M. & Hettelingh, J-P. 2006. Country-dependent characterisation factors for acidification and terrestrial eutrophication based on accumulated exceedance as an impact category indicator. International journal of life cycle assessment 11(6): 403-416.
- Seppälä, J., Knuuttila, S. & Silvo, K. 2004. Eutrophication of aquatic ecosystems. A new method for calculating the potential contributions of nitrogen and phosphorus. International journal of life cycle assessment 9(2): 90-100.
- Smith Alison, Brown Keith, Ogilvie Steve, Rushton Kathryn & Bates Judith. 2001. Waste Management Options and Climate Change. Final report. Luxemburg: European Commission, DC Environment. 205 s. ISBN 92-894-1733-1.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Alley, R.B., Berntsen, T., Bindoff, N.L., Chen, Z., Chidthaisong, A., Gregory, J.M., Hegerl, G.C., Heimann, M., Hewitson, B., Hoskins, B.J., Joos, F., Jozel, J., Kattsov, V., Lohmann, U., Matsuno, T., Molina, M., Nicholls, N., Overpeck, J., Raga, G., Ramaswamy, V., Ren, J., Rusticucci, M., Somerville, R., Stocker, T.F., Whetton, P., Wood, R.A. ja Wratt, D. 2007. Technical Summary. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge. Pages 19-91
- Stora Enso. Stora Enso keskittää keräyskuitupakkausten kierrätyksen Poriin. [Stora Enson verkkosivuilta. Lehdistötiedote 19.2.2010. [viitattu 12.3.2010]. Saatavissa: <http://www.storaenso.com/media-centre/press-releases/2010/02/Pages/stora-enso-keskitt-keryskuitupakkausten-kierryksen.aspx>
- Tilastokeskus. 2005. Suomalaiset lajittelevat yhdyskuntajätteitään entistä useammin. [Tilastokeskuksen verkkosivuilta]. [viitattu 12.8.2009]. Tiedote 13.12.2005. Saatavissa: http://www.stat.fi/ajk/tiedotteet/v2005/tiedote_071_2005-12-13.html
- Tilastokeskus 2006. Greenhouse gas emissions in Finland 1990-2004. National Inventory Report to the UNFCCC. Saatavissa: http://www.stat.fi/tup/khkinv/fin_nir_2006.pdf
- Tilastokeskus 2007. Polttoaineluokitus. Verkkajulkaisu. Saatavissa: http://www.tilastokeskus.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html
- Tsupari, E., Tormonen, K., Monni, S. ja Vahlman, T. 2006. Dityppioksidin (N₂O) ja metaanin (CH₄) päästökertoimia Suomen voimalaitoksille, lämpökeskuksille ja pienpoltolle. VTT working papers 43. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2006/W43.pdf>
- Virtanen, Y., Askola, R. & Juntila, V. 1996. Kenttäsuuntautunut elinkaaritietojen hankintamenetelmä. Suomen energiantuotannon elinkaaritietokanta - SEEP. Osa I. VTT Tiedotteita 1782. 62 s.
- Virtavuori Veera. 2009. Biojätteen käsittelyvaihtoehdot pääkaupunkiseudulla – kasvihuonekaasupäästöjen vertailu. Diplomityö. TKK, Energiateknikka.
- Wellinger Arthur, Edelmann Werner, Schmid Martin, Wochele Jörg, Angele Hans-Christian. 2006. Energieproduktion aus Küchenabfällen. Ein Vergleich der Vergärung mit der Verbrennung in KVA. 13 s. Biomasse Schweiz.

LIITE 1. Kierrätyksen allokoinnit

Kun materiaali kierrätetään käytön jälkeen ja käytetään raaka-aineena uudessa tuotteessa, jatketaan primaarituotteen materiaalin elinkaarta. Tälle kierrätysmateriaalista valmistetulle sekundaarituotteelle on tällöin allokoitava osa primaarituotteeseen käytetyistä syötteistä ja siitä aiheutuvista tuotoksista. Primaarituote saa näin hyvityksiä siitä, että materiaali kierrätetään raaka-aineeksi samaan tai aivan uuteen tuotejärjestelmään.

Tässä tutkimuksessa kierrätyksen allokoointia on sovellettava ensinnäkin Soygurt-tapaustutkimuksen nestepakkauskartongille ja kokolihaleikkeletapaustutkimuksen kartonki/PE/EVOH-pakkaukselle, joita kierrätetään malleissa 1a, 1b ja 2b (ks. taulukko 1). Kokolihaleikkeleen pakkauksen alakalvoa ei äsken mainitusta poiketen katsota kierrätettävän kuin mallissa 2b, sillä oletetaan, ettei kuluttaja osaa tai viitsi useammassa tapauksessa erottaa alakalvoa muusta pakkauksesta, vaikka alakalvo kierrätykseen kelpaisikin. Tätä allokoointimenettelyä on käytetty myös Soygurtin sekundaaripakkauksen aaltopahville ja PE-kiristekalvolle, joita kierrätetään materiaalina malleissa 1a, 1b ja 2b.

Seuraavassa pyritään tekemään selkoa allokoointimenettelystä käyttäen esimerkkinä nestepakkauskartonkia. Nestepakkauskartonki siis käytetään toisessa tuotejärjestelmässä ja materiaalin luontaisiin ominaisuuksiin tehdään muutoksia (hylsykartongin valmistus). Tällöin on ISO/TR 14049 (2000) mukaan käytettävä avointa allokoointimenettelyä avoimessa tuotejärjestelmässä. Seuraavassa esitetty laskentamenetelmä allokoointikertoimien määrittelyyn perustuu ISO/TR 14049 -raportissa esitettyyn teoriaan.

Avoin allokoointimenettely avoimessa tuotejärjestelmässä perustuu kierrätysmateriaalin myöhempien käyttökertojen määrään, eli siihen kuinka monta kertaa oletetaan, että sama materiaali kiertää aina uuden tuotteen raaka-aineeksi. Käyttökertojen lukumäärä u määritellään laskennallisesti seuraavalla yhtälöllä 1. Yhtälön johtaminen tähän muotoon on esitetty ISO/TR 14049 -raportissa.

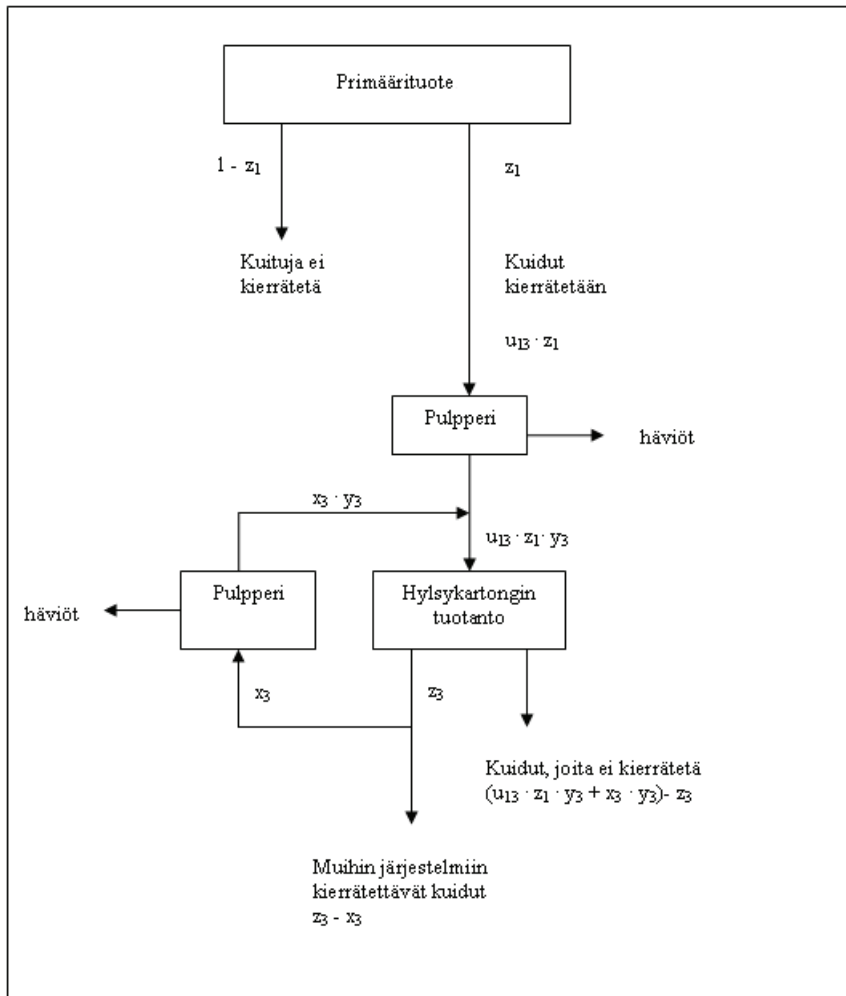
$$u = 1 + z_1 \cdot [(u_{12} \cdot y_2) + (u_{13} \cdot y_3) \cdot (1 / (1 - (z_3 \cdot y_3)))] \quad (1)$$

Tämän liitteen kuvassa 1 on esitetty nestepakkauskartongin kierto hylsykartongin materiaalina tarvittavine muuttujineen. Muuttuja z_1 kuvastaa sitä osuutta, joka nestepakkauskartonkipakkauksista päättyy kierrätykseen. Nämä kierrätykseen päätyvät osuudet vaihtelevat eri jätehuoltomalleissa ja ovat luettavissa taulukoista 4 ja 5.

Tarkasteltavissa nestepakkauskartonkipakkauksissa on kuitua erilaisia osuuksia, kuidun lisäksi ne sisältävät polyeteeniä, polypropeenia ja alumiinia. Muuttuja u_{13} kuvaa kuidun osuutta primaarituotteessa, joka Soygurtin nestepakkauskartonkivaihdohdossa on 78 %.

Keräyskuitu kuidutetaan pulpperissa, jossa syntyy jonkin verran kuluttajahävikkiä. Hävikin määräksi on arvioitu 10 % eli uusiomassasta saadaan hylsykartonkien tuotantoon 90 %, jolloin y_3 on 0,90.

Muuttujalla z_3 tarkoitetaan osuutta hylsykartongista, joka kierrätetään. Tässä tapauksessa on oletettu, että kaikki kierrätettävä hylsykartonki kierrätetään takaisin samaan tuotejärjestelmään, eli $z_3=x_3$. Hylsykartongin kierrätysasteeksi on oletettu 75 % (Leppänen-Turkula 2010). Yhtälössä 1 on vielä kaksi muuttujaa, u_{12} ja y_2 , joiden merkitystä ei ole avattu. Ne liittyvät tapaukseen, jossa primaarituotteen materiaalia kierrätettäisiin myös jonkin toiseen sekundaarituotteen raaka-aineeksi. Näin ei kuitenkaan tässä tapauksessa ole, kierrätyskuituja käytetään ainoastaan hylsykartongin valmistukseen, jolloin u_{12} ja y_2 saavat arvon nolla.



Kuva 1: Avoin allokontimenettely avoimessa tuotejärjestelmässä, kun primaarituote eli nestepakkauskartonki kierrätetään hylsykartongin raaka-aineeksi.

Kun eri tapauksille on laskettu kuidun käyttökertojen lukumäärä, voidaan sen avulla laskea allokontikerroimet primaarituotteelle ja sekundaarituotteelle. Allokontikerroin primaarituotteelle lasketaan yhtälöllä 2:

$$(1-z_1)+(z_1/u) \tag{2}$$

Allokontikerroin sekundaarituotteelle lasketaan yhtälöllä 3:

$$z_1 \cdot (u-1)/u \tag{3}$$

Näillä allokontikerroimilla voidaan kohdentaa osa nestepakkauskartongin aiheuttamista päästöistä ja sen tarvitsemista panoksista hylsykartongille.

MTT TEKEE TIETEESTÄ ELINVOIMAA

MTT RAPORTTI

www.mtt.fi/julkaisut

MTT Raportti -julkaisusarjassa julkaistaan maatalous- ja elintarviketutkimusta sekä maatalouden ympäristötutkimusta käsitteleviä tutkimusraportteja. Lukijoille tarjotaan tietoa MTT:n kaikilta tutkimusaloilta eli biologiasta, teknologiasta ja taloudesta.

MTT, 31600 Jokioinen.
Puh. (03) 41881, sähköposti julkaisut@mtt.fi

