

Elinkaariarviointien käyttö Suomen jätehuollon ympäristö- vaikutusten tarkastelussa

**Yhteenveto Suomen jätehuollon elinkaariarvioinneista ja ohjeita
päätöksentekoa varten**

Tuuli Myllymaa ja Helena Dahlbo

Elinkaariarviointien käyttö Suomen jätehuollon ympäristö- vaikutusten tarkastelussa

**Yhteenveto Suomen jätehuollon elinkaariarvioinneista
ja ohjeita päätöksentekoa varten**

Tuuli Myllymaa ja Helena Dahlbo

Helsinki 2012

YMPÄRISTÖMINISTERIÖ



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment

YMPÄRISTÖMINISTERIÖN RAPORTTEJA 24 | 2012
Ympäristöministeriö
Ympäristönsuojeluosasto

Taitto: Marjatta Naukkarinen, Marianne Laune

www.ymparisto.fi/julkaisut

Helsinki 2012

ISBN 978-952-11-4104-1 (PDF)
ISSN 1796-170X (verkkokj.)

ESIPUHE

Suomen uusi jätelaki (646/2011) tuli voimaan 1.5.2012. Jätelain uudistuksen keskeinen osa on jätelain etusijajärjestyksen sitovuuden lisääntyminen aiempaan lainsäädäntöön verrattuna. Jätelain mukaan kaikessa toiminnassa on mahdollisuuksien mukaan noudatettava etusijajärjestystä. Ensiksi on vähennettävä jätteen määrää ja haitallisuutta. Jos jätettä kuitenkin syntyy, jätteen haltijan on ensisijaisesti valmisteltava jäte uudelleenkäyttöä varten tai toissijaisesti kierrätettävä se. Jos kierrätys ei ole mahdollista, jätteen haltijan on hyödynnettävä jäte muulla tavoin, esimerkiksi hyödyntämällä jätteen energia. Etusijajärjestys sitoo ammattimaisia toimijoita, kuten jätteen tuottajia, käsittelijöitä, kerääjiä sekä kunnallisia toimijoita. Etusijajärjestyksestä poikkeamisen edellytyksenä on, että etusijajärjestyksen alemmalla tasolla oleva vaihtoehto toteutaisi paremmin jätelain tavoitteita koko tuotteen ja jätteen elinkaaren aikana.

Ympäristöministeriö on tilannut tämän julkaisun Suomen ympäristökeskukselta. Tavoitteena on ollut tehdä katsaus, jonka avulla päättäjät eri tasoilla, jätealan toimijat sekä muut toiminnanharjoittajat saavat pohjatietoa jätehuollon päätöksenteon tueksi ja jätelain tavoitteiden toteuttamiseksi jätehuollon päätöksenteossa.

Julkaisuun on koottu ohjeita siitä, mitä asioita tulisi ottaa huomioon tehtäessä tai tilattaessa elinkaariarvioita jätehuollon ratkaisuihin. Vaikka elinkaariarvioiden tulokset ovat aina tapauskohtaisia, julkaisun ensimmäiseen osaan on koottu Suomessa yleisesti päteviä ohjeita kunkin jätelajin käsittelyn ympäristövaikutusten pienentämiseksi sekä elinkaariarvioissa huomioitavista seikoista. Toisessa osassa on katsaus Suomessa tehtyihin jätehuollon elinkaariarvioihin.

Julkaisun valvojana on ollut ylitarkastaja Sirje Stén ympäristöministeriöstä ja ohjausryhmässä on toiminut ympäristöministeriön jätealan ja -lainsäädännön asiantuntijoita.

12.11.2012

Ympäristöministeriö

SISÄLLYS

Esipuhe	3
Lyhenne- ja käsiteluettelo	7
Johdanto	9

OSA I

Ohjeita ja periaatteita elinkaariajattelun huomioimiseen jätehuollon päätöksenteossa	11
---	-----------

1 Lainsäädännölliset lähtökohdat	13
2 Yleisiä kriteerejä huomioitavaksi jätehuollon elinkaari-tarkasteluissa	15
3 Jätelajikohtaiset ohjeet	18
3.1 Biojäte	18
3.2 Metallit	20
3.3 Puu	20
3.4 Paperi ja pahvi	21
3.5 Muovi	22
3.6 Sekajäte	23
3.7 Kuljetukset	24
4 Esimerkki jätehuollon etusijajärjestyksen soveltamisesta käytännön ohjeeksi Iso-Britanniassa	26

OSA II

Jätteiden elinkaariperusteisen ohjeen tausta ja lähteet	29
--	-----------

1 Elinkaariarviointimenetelmä (LCA) osana ympäristövaikutuksiin perustuvaa päätöksentekoa	30
1.1 Elinkaariarviointiprosessin kuvaus ja vaiheet	30
1.2 Elinkaariarviointiin liittyvät EU:n ohjeet	33
1.3 Elinkaariajattelu jätelainsäädännössä	34
1.4 Elinkaariarviointimenetelmän vahvuuksia ja heikkouksia	35

2 Tuloksia jätehuollon suomalaisista elinkaariarvioinneista	37
2.1 Elinkaariarvioiteja käsittelevän luvun rakenne ja tutkimusten käsittelytapa.....	37
2.2 Biojätteen käsittelyvaihtoehtojen kasvihuonekaasupäästöt – biojätteen erilliskeräyksen elinkaariarvio Länsi-Uudellamaalla.....	37
2.3 Biojätteen käsittelyvaihtoehdot pääkaupunkiseudulla.....	42
2.4 Biojätehuollon järjestämisen kasvihuonekaasupäästöt Turun seudulla.....	45
2.5 Pienmetallin keräyksen ja hyödyntämisen ympäristövaikutukset pääkaupunkiseudulla.....	51
2.6 Pääkaupunkiseudun keräyskartongin ympäristövaikutusten elinkaariarviointi	55
2.7 Jätteiden kierrätyksen ja polton ympäristövaikutusten ja kustannusten vertailu erilaisissa alueellisissa olosuhteissa.....	62
2.8 Sanomalehden jätehuollon kestävyystarkastelu elinkaariarvioinnin avulla	70
3 Muualla kuin Suomessa tehtyjen jätehuollon elinkaaritarkastelujen tuloksia	73
3.1 Materiaalikohtaisten tulosten taustalla olevat LCA-tutkimukset tai niistä laaditut katsaukset	73
3.2 Paperi ja pahvi.....	75
3.3 Muovi	76
3.4 Ruoka- ja puutarhajäte.....	77
3.5 Puu.....	78
3.6 Tekstiili.....	79
3.7 Lasi, metallit	79
3.8 Renkaat.....	79
Lähteet.....	80
Liite 1.....	82
Kuvailulehti	83
Presentationsblad	84
Documentation page	85

Lyhenne- ja käsiteluetelo

Lyhenteet

Defra	Department for Environment, Food and Rural Affairs, on Iso-Britanniassa toimiva hallinnollinen osasto, joka on vastuussa mm. ympäristönsuojelusta ja alan standardeista
GWP	Global warming potential, ilmastonmuutosta kiihdyttäviä vaikutuksia kuvaava lyhenne, jonka yksikkönä käytetään tässä työssä kg CO ₂ -ekv
ILCD	International Reference Life Cycle Data System
ISO	International Organization for Standardization
JRC	Joint Research Centre
Khk	Kasvihuonekaasu
LCA	Life cycle assessment, standardoitu, elinkaariperusteinen arviointimenetelmä, jolla tutkitaan tuotteen tai palvelun ympäristövaikutuksia koko sen elinkaaren ajalta.
PYR	Pakkausalan ympäristörekisteri PYR ry, pakkausten tuottajayhteisöjen palveluorganisaatio
SRF	Solid recovered fuel, mekaanisesti valmistettu kierrätyspolttoaine
SFS	Suomen Standardisoimisliitto ry
YVA	Ympäristövaikutusten arviointi, ympäristöluvitukseen liittyvä vaihe, jossa suunnitellun toiminnan ympäristövaikutukset ympäristöön ja terveyteen arvioidaan

Käsitteet

Hyvitys	Elinkaarianalytiikkaan liittyvä termi, jolla tarkoitetaan (jätehuolto) järjestelmässä syntyviä hyötyjä, kun tuotejärjestelmästä syntyy tuotteita tai palveluja käytettäväksi muissa tuotejärjestelmissä
Velvoiteraja	Kuntien jätehuoltomääräyksissä määritelty kiinteistön kokoraja (huoneistoa/kiinteistö) tai tuotetun jätteen tuotantoraja (kg/v), jonka ylittävältä osin kiinteistöt on velvoitettu osallistumaan jätteen erilliskeräykseen.

Johdanto

Elinkaariajattelu ja elinkaariarviointi ovat menetelmiä, joilla voidaan tuottaa monia eri kriteerejä huomioivaa tietoa päätöksenteon tueksi. Elinkaariarvioinnin toteutuksesta on olemassa kansainväliset standardit (ISO 2006), jotka perustuvat laajaan yhteisymmärrykseen menetelmän soveltamisesta. Elinkaariarviointia ja -ajattelua käytetään erityisesti modernissa ympäristöpolitiikassa ja yritysten päätöksenteossa, kun etsitään kestäviä, eli yhtä aikaisesti sekä ympäristön, sosiaalisten tekijöiden ja talouden näkökulmasta mahdollisimman suotuisia, teolliseen tuotantoon ja kulutustottumuksiin liittyviä ja niitä ohjaavia ratkaisuja ja ohjauskeinoja.

Katsauksen tarkoituksena on selvittää, minkälaisia elinkaariperusteisia tutkimuksia on laadittu Suomen jätehuollosta, minkälaisiin tuloksiin niissä on päädytty ja millaisia johtopäätöksiä ja väittämiä tulosten perusteella on esitetty. Työhön valittiin vuoden 2000 jälkeen tehtyjä tutkimuksia, jotka on määritelty elinkaariarvioinneiksi. Työssä on myös referoitu laajoja, jätehuoltovaihtoehtoja vertailevista LCA-tutkimuksista ja niiden tuloksista laadittuja ulkomaisia katsauksia (mm. Iso-Britanniassa), joissa tarkasteltavat tutkimukset on valittu kriittisin perustein. Lisäksi on käyty läpi joitakin näiden katsausten jälkeen laadittuja tutkimuksia mm. pohjoismaista. Ulkomaiset tutkimukset on valittu sillä perusteella, että ne edustavat viimeisimpiä elinkaariarviointien tuloksia. Iso-Britanniassa on vastaava jätehuollon murrosvaihe kuin Suomessa molempien maiden pyrkiessä siirtymään pois kaatopaikkapainotteisesta jätehuollosta. Ruotsalaiset tulokset puolestaan on toteutettu muulta kuin jätehuoltoltaan hyvin samanlaisessa yhteiskunnassa kuin Suomi.

Ensimmäisessä osassa on esitetty synteeseinä ja yleisinä johtopäätöksinä jätelajikohtaisia tuloksia, joita voidaan pitää selkeinä ja Suomen jätehuollolle tunnusomaisina. Aineistosta on koottu ohje elinkaariperusteisten seikkojen huomioimiseen jätehuoltoon liittyvässä päätöksenteossa. Ohjetta voidaan soveltaa ympäristövaikutusten arviointiprosessissa (YVA), ympäristölupien käsittelyssä, alueellisia ja kansallisia jätehuoltosuunnitelmia laadittaessa, ja mietittäessä soveltuvia jätehuoltoratkaisuja kuntien jätelautakunnissa ja tuottajayhteisöissä.

Julkaisun toisessa osassa on esitetty läpikäytyjen kotimaisten elinkaaritarkastelujen tuloksia. Katsauksessa arvioidut tutkimukset ja selvitykset ovat kukin rajauksiltaan, laajuudeltaan ja käyttötarkoitukseltaan erilaisia kokonaisuuksia, joissa on tarkasteltu vaihtelevia määriä eri ympäristövaikutusluokkia. Kaikki valikoidut aineistot eivät siis ole kokonaisvaltaisia elinkaariarviointeja. Läpikäydyssä aineistossa yhdistävänä tekijänä on, että siinä on sovellettu elinkaariajattelua ja johtopäätöksissä on esitetty toiminnan ympäristökuormitukseen tai erilaisten toimintavaihtoehtojen paremmuuteen ympäristön kannalta liittyviä väittämiä. Useat tutkimukset rajautuvat tarkastelemaan ilmastonmuutosvaikutuksia, eli ns. hiilijalanjälkiä. Ilmastonmuutos on yksi elinkaariarvioinnissa tarkasteltavista vaikutusluokista, joten hiilijalanjälkitarkasteluidenkin tulee olla toteutettu elinkaariarvioinnin periaatteiden mukaisesti.

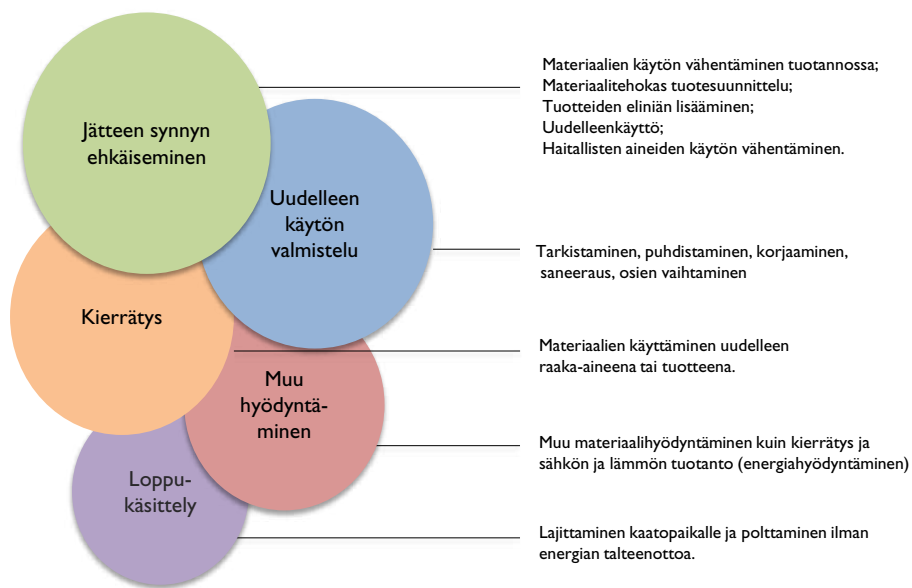
Tämä julkaisu on tehty ympäristöministeriön rahoituksella, ja sen tarkoituksena on tukea uuden jätelainsäädännön käyttöönottoa ja yhtenäistää siihen perustuvaa päätöksentekoa.

OSA I

Ohjeita ja periaatteita elinkaariajattelun huomioimiseen jätehuollon päätöksenteossa

1 Lainsäädännölliset lähtökohdat

Jätelaissa (646/2011, jäljempänä jätelaki) määritellyn jätehierarkian tavoitteena on ohjata jätteiden käsittelyä ympäristön kannalta suotuisimmalla tavalla. Jätelaissa määritellyn etusijajärjestyksen mukaisesti jätteiden syntyminen tulisi ensisijaisesti välttää (kuva 1.). Mikäli tämä ei ole mahdollista, tuotteet tulisi käyttää uudelleen tai valmistella uudelleenkäyttöön. Tämän jälkeen etusijalla on kierrätys ennen energiahyödyntämistä. Viimeisenä vaihtoehtona on loppukäsittely.



Kuva 1. Jätehierarkian mukainen jätteen käsittelyn etusijajärjestys ja eri vaiheisiin sisältyvät toimet (mm. Defra 2011a).

Jätteen tuottajan tai toiminnanharjoittajan sekä muun jätehuoltoon osallistuvan ammattimaisen toimijan on noudatettava etusijajärjestystä sitovana velvoitteena siten, että saavutetaan kokonaisuutena arvioiden lain tarkoituksen kannalta paras tulos. Arvioinnissa otetaan huomioon tuotteen ja jätteen elinkaaren aikaiset vaikutukset, ympäristönsuojelun varovaisuus- ja huolellisuusperiaate sekä toiminnanharjoittajan tekniset ja taloudelliset edellytykset noudattaa etusijajärjestystä. (Jätelaki 8 §).

Yksiselitteinen etusijajärjestys ei välttämättä tuota kokonaisuuden kannalta parasta lopputulosta kaikissa olosuhteissa ja kaikille jätteille, jolloin lainsäädäntö antaa

mahdollisuuden valita soveltuva ratkaisu elinkaariajattelun mukaisen menetelmän osoittamien tulosten, teknisten edellytysten ja taloudellisten seikkojen perusteella.

Käytännössä ratkaisuihin vaikuttavat myös jäte- ja ympäristöpoliittiset strategiset tavoitteet sekä lainsäädännölliset tavoitteet ja velvoitteet, kuten kierrätystavoitteet.

Tämän ohjeen tavoitteena on antaa jätelajikohtaisia suosituksia siihen, mitkä ovat jätehuollon koko elinkaaren kattavien tarkastelujen pohjalta ympäristön kannalta suotuisimpia ratkaisuja erilaisten jätteiden käsittelyyn. Ohje ei sisällä jätteiden jätehuollon kestävyuden arviointia taloudellisesta näkökulmasta. Taloudellisia seikkoja on kuitenkin joidenkin jätelajien kohdalla sivuttu lyhyesti, mikäli taloudelliset näkökulmat ovat sisältyneet aineistoon. Kustakin jätelajista on koottu tietoja erityisesti kotimaisista elinkaaritutkimuksista, ja näiden tulosten perusteella on tehty ehdotuksia ja huomioon otettavia seikkoja eri jätelajien jätehuollon järjestämiseksi ympäristövaikutukset minimoivalla tavalla.

Tässä ohjeessa ei ole käsitelty uudelleenkäyttöä, koska näistä toimenpiteistä ei ole ollut käytävissä riittävää elinkaari pohjaista vertailuaineistoa. Siten ohjeessa keskitytään elinkaariarviointimenetelmän soveltamiseen vain jätteiden käsittelytoimiin, eli etusijajärjestyksen kolmeen viimeiseen tasoon. Elinkaariarviointia voidaan kuitenkin käyttää myös etusijajärjestyksen ensimmäisten tasojen tarkasteluun laajentamalla rajaukset käsittämään myös jätteeksi muodostuvien tuotteiden valmistuksen.

Tämä ohje on tarkoitettu

- yksityisille ja julkisille toimijoille, jotka suunnittelevat tuottamiensa tai käsittelemiensä jätteiden jätehuoltoa,
- kunnallisille päätöksentekijöille, jotka suunnittelevat alueensa jätehuoltoa,
- tuottajavastuuyhteisöille, jotka suunnittelevat tuottajavastuun piiriin kuuluvien jätteidensä jätehuoltoa ja
- avuksi ympäristölupien valmistelijoille, jotka ovat luvittamassa sellaisia yksityisiä ja julkisia toimijoita, jotka tuottavat tai käsittelevät jätettä ja määrittelevät näiden toimijoiden toimintaan liittyviä lupaehtoja.

2 Yleisiä kriteerejä huomioitavaksi jätehuollon elinkaaritarkasteluissa

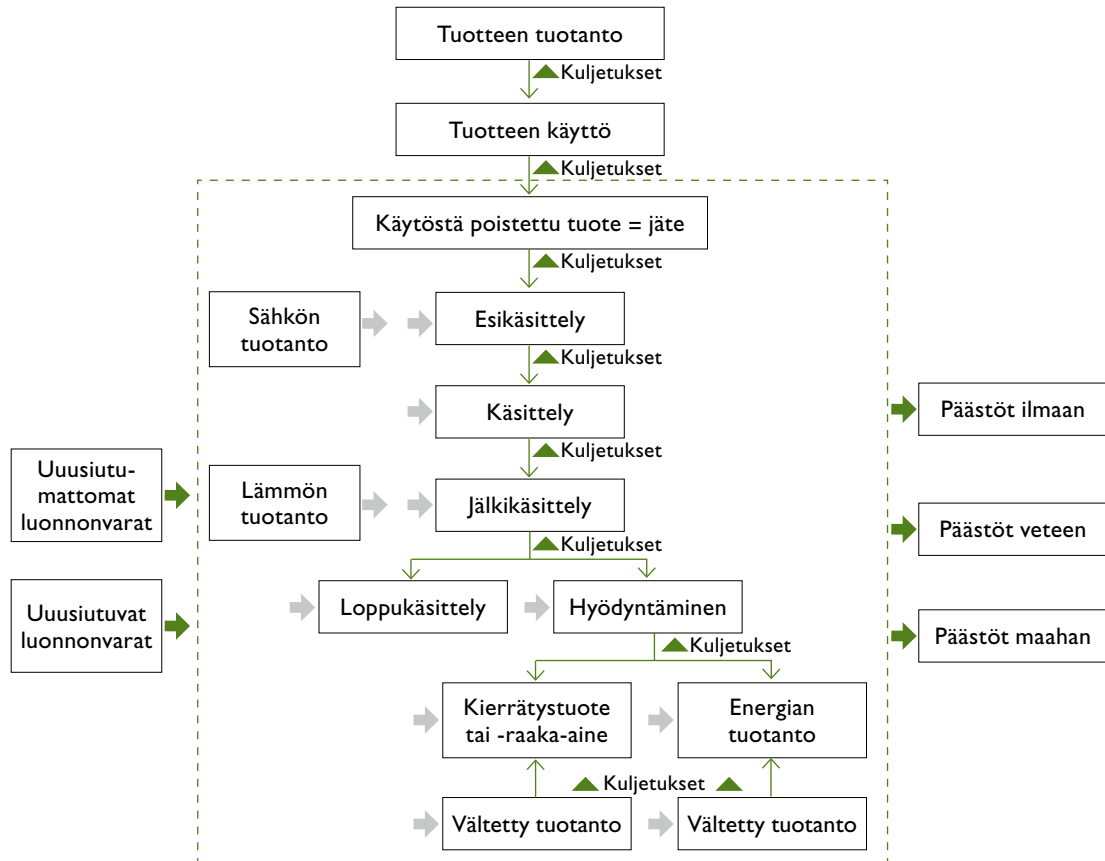
Elinkaaritarkastelujen avulla voidaan saada kokonaisvaltainen käsitys jätehuollon suorista ja välillisistä ympäristövaikutuksista ja elinkaaren aiheuttaman ympäristökuormituksen kannalta kriittisistä vaiheista.

Laadittujen elinkaaritarkastelujen on kuitenkin täytettävä eräitä kriteereitä, jotta niiden tuloksia voitaisiin pitää objektiivisina ja luotettavina:

- Elinkaariprosessin käynnistyessä on arvioitava tarvittavan elinkaariarvioinnin laajuus. Tällöin laajuus tulee suhteuttaa työn tavoitteisiin: mitä merkittävämpiä työn vaikutukset ovat (esim. poliittisesti tai muilla kriteereillä mitattuna), sitä laajempi LCA on tarpeen. Vaadittavan laajuuden arvioinnin apuna voi käyttää Euroopan komission laatimaa päätöksentekoprosessimallia (liite 1).
- Kattavan elinkaariarvioinnin toteuttaminen on toisaalta myös sitä tarpeellisempaa, mitä tuntemattomammasta ratkaisusta on kyse.
- Yksittäinen ympäristövaikutus (hiilijalanjälki) ei anna riittävän kattavaa kuvaa toiminnan alueellisista ympäristövaikutuksista tai niiden merkittävyydestä alueen olosuhteissa. Muiden mahdollisten ympäristövaikutusten merkitystä tulisi myös arvioida vähintään kvalitatiivisesti.
- Mitä useampaa ympäristövaikutusta työssä on arvioitu, sitä kattavamman kuvan sen voidaan arvioida antavan toiminnan potentiaalisista ympäristövaikutuksista.
- Vaikutusten arviointi, kuten tutkimukselliset rajaukset ylipäättään, tulee vastata työn tavoitteita. Työn tulee siis kattaa ne prosessit ja ympäristövaikutukset, joihin liittyy on tarkoitus tehdä johtopäätöksiä ja joihin asti toiminnan vaikutukset ulottuvat.
- Johtopäätöksiä voidaan tehdä vain sellaisten muuttujien ja ympäristövaikutusten suhteen, joita tutkimuksessa on käsitelty.
- Jotta tuloksissa voidaan oikeutetusti puhua yleisesti kestävästä ratkaisusta, tulisi analyysin kattaa sekä ympäristövaikutukset (päästöjen ja luonnonvarojen käytön aiheuttamat), taloudelliset näkökulmat että sosiaaliset vaikutukset.
- Järjestelmävalintoja toteutettaessa arvioinnin tulisi kattaa koko käsiteltävä jättemäärä, josta osa voi kertyä sekajätteen mukana. Vertailtavien vaihtoehtojen tulee kaikkien käsitellä samat jättemäärät ja jätelaadut.

- Realistisuus ja todennäköiset muutokset ovat lähtökohtana, kun mallinnetaan järjestelmää ja sen ulkopuolisia tekijöitä.
- Työstä tulisi läpinäkyvyyden ja luotettavuuden vuoksi käydä ilmi sekä tekijät, tilaajat että rahoittajat.
- Tulokset olisi hyvä ilmoittaa lähtöarvojen todennäköisinä vaihteluväleinä ja herkimmillä lähtöoletuksilla testaten, korvattavaan energiaan liittyvissä tarkasteluissa useammalla lämmön ja sähkön polttoaineoletuksella mallintaen (esim. parhaalla ja huonoimmalla eli minimi- ja maksimipäästöoletuksilla).
- Tulosten tulkinnassa epävarmuuden, herkkyyden ja puuttuvan tiedon merkityksen arviointi on tärkeää ja tulisi aina sisällyttää arviointeihin. Kaikista potentiaalisista päästöistä ei välttämättä ole saatavilla tietoja riittävän kattavasti, jolloin jokin vaikutusluokka voidaan joutua jättämään tulosten ulkopuolelle. Tällöin voidaan tukeutua myös laadulliseen analyysiin.
- Hyvää käytäntöä noudattaen käsiteltävät ympäristövaikutukset valittaisiin alueen ympäristöolosuhteet huomioiden; vesistöjen läheisyys painottaisi esim. rehevöitymisen arviointia, metsäisillä alueilla tulisi arvioitaviksi esim. happamoittavat vaikutukset, kalavesistörikkaalla alueella rehevöittävät vaikutukset, kaivannaisteollisuutta sisältävällä alueella puolestaan luonnonvarojen käytön ja vesipäästöjen vaikutukset. Alueen kannalta relevanttien ympäristövaikutusluokkien ja kriittisten ympäristövaikutusten valintaan soveltuisi alueellinen painottaminen.
- Kaikkia ympäristövaikutuksia ei toistaiseksi pystytä arvioimaan elinkaariarviointimenettelyn avulla, tai ne pystytään arvioimaan vain osittain. Mikäli tällaisia muita vaikutuksia tunnistetaan tarkasteltavista järjestelmistä syntyvän (esim. melu- ja hajuvaikutukset, uusiutuvien luonnonvarojen käytön vaikutukset), on ne syytä tuoda esiin laadullisena arviona.
- Mikäli elinkaariarvioinnin tuloksiin perustuen esitetään julkisia vertailuväittämiä, työ tulisi arvioituttaa ulkopuolisella asiantuntijalla. Antikainen ja Seppälä (2012) ovat lisäksi esittäneet, että yrityksen julkisten väittämien tuotteiden ja palveluiden ympäristövaikutuksista tulee perustua elinkaariarviointiin, ja että väittämien taustalla olevat elinkaariselvitykset tulisi varmentaa kolmannen, päteväksi osoitetun tahon toimesta ISO-standardin suositusten mukaisesti.
 - Ulkopuolisen kriittisen arvioinnin tulisi olla sitä kattavampi, mitä vaikuttavampien päätösten teossa hyödynnettävistä tuloksista on kyse
 - Jätelain mainitseman elinkaariajattelun tavoitteiden ja hengen tavoittamiseksi ei oleteta, että kriittisen arvioinnin olisi vastattava vaatimuksiltaan ja laajuudeltaan standardeissa määriteltyä prosessia.
 - Objektiviseksi ulkopuoliseksi tahoksi voidaan arvioida riittävän hankkeesta riippumaton, elinkaariarviointimenetelmän vaatimukset tunteva henkilö, joka toimii joko hankkeen projekti- tai ohjausryhmän jäsenenä tai antaa työstä erillisen arvion.

Jätehuollon elinkaariarvioinnissa tulisi huomioida kaikki jätehuollon prosessit, kuljetukset sekä oletetut vaikutukset muissa järjestelmissä ja niistä johtuvat välilliset vaikutukset (kuva 2). Tuotteen tuotannon ja käytön päästöt eivät sisälly jätehuollon tarkasteluun, mikäli tarkoituksena on vertailla ja arvioida erilaisia käsittelyprosesseja. Järjestelmän tuottamien kuormitteiden ympäristövaikutusten arvioimiseen voidaan käyttää valmiita vaikutusarviointimenetelmiä ja -kertoimia, jotka työn toteuttajan tulisi tuntea riittävän hyvin.



Kuva 2. Rajaukset jätehuollon elinkaaritarkastelulle. Katkoviivalla rajatussa järjestelmässä syntyneet päästöt ja sen tarvitsemien luonnonvarojen käyttö huomioidaan elinkaaritarkastelussa.

3 Jätelajikohtaiset ohjeet

3.1

Biojäte

Biojätteellä tarkoitetaan kotitalouksissa, ravintoloissa, ateriapalveluissa ja vähittäisliikkeissä syntyvää biologisesti hajoavaa elintarvike- ja keittiöjätettä, elintarviketuotannossa syntyvää vastaavaa jätettä sekä biologisesti hajoavaa puutarha- ja puisto-jätettä.

Biojätteen energiahyödyntäminen näyttäytyy suomalaisissa elinkaaritutkimuksissa mädätystä parempana vaihtoehtona poiketen monista eurooppalaisista tutkimuksista ilmeisesti pääasiassa energiajärjestelmien eroista johtuen. Tulokset ovat poltolle myönteisiä etenkin silloin, kun tarkastellaan vain ilmastomuutosta kiihdyttäviä ympäristövaikutuksia. Alla olevissa suosituksissa on annettu enemmän painoarvoa tutkimuksille, joissa on tutkittu useita ympäristövaikutuksia. Euroopan tasolla suosituksia on annettu Euroopan komission Joint Research Centren (JRC) laatimassa ohjeistuksessa elinkaariarvioinnin toteutuksesta biojätteiden käsittely- ja hyödyntämisvaihtoehdoille, tavoitteena biojätehuoltoon liittyvän, ympäristön kannalta kestävän, päätöksenteon tukemiseksi (European Commission 2011a).

Ympäristönäkökulmasta kestävin tapa käsitellä biojätteet on hyödyntää sekä niiden energiapotentiaali että niiden sisältämät ravinteet.

Biojätteiden elinkaariarviointia laadittaessa keskeisiä mallinnuksessa huomioitavia tekijöitä ovat:

- Biojätteiden ravinnepitoisuus.
- Biojätteiden orgaanisen aineksen määrä.
- Biojätteiden tuotettu määrä.
- Biojätteisiin päässeet haitalliset aineet (esim. laitosmaisesti lajiteltu biojäte voi sisältää raskasmetalleja, mikä voi estää komposti- tai mädätystuotteen hyödyntämisen viherrakentamisessa tai lannoitteena).
- Elinkaaren aikaisista tuotetuista tai vältetyistä ympäristövaikutuksista olisi syytä tarkastella vähintään elinkaaren aikana tuotetut kasvihuonekaasupäästöt ja niiden ilmastomuutosvaikutus sekä veteen ja ilmaan päässeiden ravinteiden vaikutukset (mm. rehevöitymiseen, happamoitumiseen, hiukkasvaikutuksiin). Myös luonnonvarojen käyttö on vaikutusluokka, jonka merkitystä olisi syytä arvioida ainakin laadullisena tarkasteluna.
- Biojätteen keräyksen ja kuljetuksen päästöt.
- Käsittelyprosessien (mädätys ja/ tai kompostointi, poltto) energiankulutus
- Tuotetun biokaasun hyödyntämiseen soveltuvat laitokset.
- Biokaasua hyödyntävien ja muiden energiantuotantolaitosten tuottaman energian hyötysuhde ja hyödyksi käytetyn energian osuus.

- Realistinen arvio tuotetulla energialla korvattavista polttoaineista.
- Mahdolliset hyödyt humuksen palauttamisesta maaperään kompostina.
- Mahdolliset metaanihäviöt mädätyksestä.
- Biojätteiden kompostoinnin metaanipäästöt.
- Mikäli mädätyksen biomassasta lingotaan neste erikseen, on mietittävä sille soveltuva hyödyntämis- tai käsittelytapa. Nesteen korkea typpipi-toisuus voi estää sen käsittelyn jätevedenpuhdistamalla.
- Ravinteiden levitykseen käytettävissä oleva pinta-ala.
- Tuotetun jätteen määrä suhteessa jätteestä tuotettavien maanparannus- ja ravinnetuotteiden markkinoihin ja pienimpään perustettavaan laitostokoon; mahdollisuudet käsitellä biojätteet yhdessä muiden - sekä yhdyskuntien, teollisuuden ja alkutuotannon tuottamien - biohajoavien jätteiden, kuten esimerkiksi jätevesilietteiden ja lannan kanssa.

Biojätteiden käsittelyn ympäristövaikutusten minimoimiseksi keskeisiä tekijöitä ovat:

- Hyödyntää biojätteiden energiapotentiaali yhtä aikaa ravinnepotentiaalin kanssa. Mädättämällä syntyy biokaasua hyödynnettäväksi energialähteenä ja mädätettä hyödynnettäväksi ravinnelähteenä.
- Biojätteestä tuotettu biokaasu tulisi hyödyntää kohteessa, jossa se mahdollisimman todennäköisesti korvaa fossiilisia polttoaineita. Tällaisia kohteita ovat mm. kaasun liikennepolttoainekäyttö (niin kauan kuin käytössä on bensiini- ja dieselkäyttöisiä ajoneuvoja) ja kaasun polttaminen fossiilisia polttoaineita käyttävässä energialaitoksessa.
- Mädätetystä biojätteestä jäljelle jäävien ravinteiden hyödyntäminen tulisi suunnitella etukäteen ja hyödyntää ne tavalla, joka mahdollisimman pitkälti tukee maaperän ravinnetarpeita.
- Tarvittaessa kuiva-aines ja neste kannattaa tarvittaessa erotella, jolloin typpi- ja fosforiravinteet saadaan talteen ja hyödynnettäviksi erikseen.
- Mikäli ravinnepitoiselle mädätteelle ei löydy ravinteita hyödyntäviä käyttökohteita (esim. vapaata peltoalaa), se tulisi hyödyntää viherrakentamisessa.
- Jälkikompostointi ennen viherrakennuskäyttöä muuttaa mädätteen fysikaalisia ominaisuuksia siten, että kompostoitu massa soveltuu käytettäväksi myös jyrkille rinteille.
- Kompostoidulla biojätteellä kannattaa korvata mullassa tyypillisesti käytetty turve. Turpeen korvaaminen mullan raaka-aineena korvaa sekä turpeen oton että turpeen hajoamisesta syntyvän hiilidioksidin vapautumisen.
- Mikäli biojätteen käsittelyä arvioidaan vain ilmastonmuutoksen näkökulmasta, sen polttamista suoraan voidaan myös pitää ympäristöllisesti mahdollisena ratkaisuna. Biojätteet ovat bioperäisiä polttoaineita, joiden käyttö ei vaaranna ruuan tuotantoa tai vaikuta biodiversiteettiin. Polttaminen sopii etenkin haitallisia aineita sisältäville tai muuten kierrätykseen soveltumattomille biojätteille.
- Mahdollisuudet käsitellä biojätteet mädättämällä yhdessä teollisuuden tai maatalouden biomassojen kanssa tulisi hyödyntää.

Tekijöitä, joiden vaikutuksesta edellä esitettyä on syytä tarkastella uudessa valossa:

- Jos valtakunnalliset energialähteet muuttuvat nykyistä vähäpäästöisemmiksi, energiahyödyntämisestä saatavat ympäristöhyödyt pienenevät. Mädätykseen ja polttoon panostaminen ovat ympäristön kannalta hyödyllisiä erityisesti fossiilisten polttoaineiden käytön vähenemisen takia.
- Fosforiravinteen riittävyteen liittyvien arvioiden kiristyminen vahvistaa tarvetta panostaa ravinteita kierrättäviin menetelmiin.

Metallit

Metallien elinkaariarviointia laadittaessa keskeisiä mallinnuksessa huomioitavia tekijöitä ovat:

- Eri metallilajien määrä ja laatu.
- Tinametallien kierrätystapa – laimentaminen puhtaaseen metalliin vai tinanpoisto ennen hyödyntämistä ilman laimentamista.
- Ympäristövaikutuksista olisi syytä tarkastella vähintään elinkaaren aikana tuotetut kasvihuonekaasupäästöt ja niiden ilmastonmuutosvaikutus. Veteen ja ilmaan päässeiden metallien toksisuusvaikutuksia sekä luonnonvarojen ehtymiseen liittyviä tekijöitä olisi syytä arvioida ainakin laadullisena tarkasteluna.
- Metallijätteiden keräyksen ja kuljetuksen päästöt.
- Käsittelyprosessien energiankulutus.
- Käsittelyprosessien saanto ja hävikki ja hävikkimateriaalin käsittely.
- Mahdollisuudet kerätä eri metallilajia yhdessä.

Metallien käsittelyn ympäristövaikutusten minimoimiseksi keskeisiä tekijöitä ovat:

- Kaikki metallit on mahdollista kierrättää. Metallin tuottaminen mineraaleista on energiaintensiivinen prosessi, joten kierrätys on ympäristöystävällistä ja järkevää.
- Metallit kannattaa lajitella syntypaikalla tai erotella mekaanisesti muista jätteistä, mielellään myös eri metallijakeiksi ja kierrättää erillisinä fraktioina esimerkiksi ennen jätteiden polttoa.
- Myös polttouunin läpi kulkeneet metallit ovat kierrätettävissä, ja polttoonkin erilliskeräyksestä huolimatta päätyneet metallit kannattaa erottaa tuhka- ja kiertokäyttöön.
- Metalleista olennaista on panostaa alumiinin kierrätykseen, koska sen kohdalla kierrätyksen hyödyt ovat merkittävimmät.
- Tinaa sisältävät, metalliset säilyketölkit voidaan kierrättää käytännössä lähinnä vain laimentamalla muuhun metalliromuun. Pakkausmateriaalia valittaessa olisi syytä panostaa muun kuin tinapitoisen (esimerkiksi kromipitoisen) teräksen käyttöön pakkausmateriaalina.
- Metallipakkaukset kannattaa sekä ympäristö- että kustannusvaikutusten kannalta kerätä kotitalouksista yhdessä muiden metallijätteiden (esim. kattilat) kanssa, jotta saanto on riittävä.

Tekijöitä, joiden vaikutuksesta edellä esitettyä on syytä tarkastella uudessa valossa:

- Mikäli raaka-aineena käytettävän metallin puhtausvaatimukset olennaisesti muuttuvat, erilliskeräyksen ja/tai mekaanisen käsittelyn vaatimuksia voidaan joutua tiukentamaan.

Puu

Puun elinkaariarviointia laadittaessa keskeisiä mallinnuksessa huomioitavia tekijöitä ovat:

- Puun laadun ja sen sisältämien haitallisten aineiden arviointi jätteen alkuperä huomioiden; rakentamisen puujäte on laadultaan huonompaa kuin esim. sahojen puujäte, ja Suomessa merkittävä osa puujätteestä on peräisin rakennustyömailta (uudisrakentaminen, korjausrakentaminen ja purkurakentaminen).

- Realististen kierrätyskohteiden valinta ja tuotetun jätteen määrän suhteuttaminen tuotteiden markkinoihin.
- Uutta käsittely- tai hyödyntämislaitosta perustettaessa on muistettava suhteuttaa käsiteltäviksi suunnitellut jätemäärät pienimpään toteuttamiskelpoiseen laitospöytäkokoon.
- Ympäristövaikutuksista olisi syytä tarkastella vähintään elinkaaren aikana tuotetut kasvihuonekaasupäästöt ja niiden ilmastonmuutosvaikutus sekä veteen ja ilmaan päässeiden ravinteiden vaikutukset (mm. rehevöitymiseen, happamoitumiseen, hiukkasvaikutuksiin). Myös luonnonvarojen ehtyminen ja vaikutukset biodiversiteettiin ovat vaikutusluokkia, joiden merkitystä olisi syytä arvioida ainakin laadullisena tarkasteluna.
- Puun keräyksen ja kuljetuksen päästöt.
- Käsittelyprosessien energiankulutus.
- Käsittelyprosessien saanto ja hävikki ja hävikkimateriaalin käsittely.
- Puuta hyödyntävien laitosten tuottaman energian hyötysuhde ja hyödyksi käytetyn energian osuus.
- Realistinen arvio tuotetulla energialla korvattavista polttoaineista.

Puun käsittelyn ympäristövaikutusten minimoimiseksi keskeisiä tekijöitä ovat:

- Puu sopii sekä raaka-aineeksi että polttoaineeksi. Hyvälaatuisen puun kierrätys on ympäristön kannalta järkevää, mikäli tuotteelle löytyy markkinat. Puun kierrätykselle on nykyisin vähän kotimaisia kierrätyskonsepteja samoin kuin vähän kotimaista elinkaaritutkimusaineistoa, jota olisi hyvä tuottaa lisää. Puun kierrätyksellä hiili voidaan sitoa pitkäaikaiseen varastoon ja näin vähentää lyhyen aikavälin ilmastonmuutosvaikutuksia.
- Puujätteen polttaminen on hyvä tapa hyödyntää puun energiasisältö bioperäisenä energialähteenä. Polttoon soveltuu huonolaatuisempikin puu, ja laadullisesti ongelmalliset puujätteet kannattaa polttaa, mutta vaarallisia aineita sisältävä puu on poltettava vaarallisten jätteiden polttoon tarkoitetuissa polttolaitoksissa.
- Riittävän hyvälaatuisen ja puhtaan puujätteen voi soveltaa kierrätettäväksi esimerkiksi lastu-/kuitulevyksi, kompostin tukiaineeksi, muovikomposiittimateriaaleiksi tai lannan kuivikeaineeksi.
- Erityisesti on syytä panostaa sahapöytäpuun, puhtaan puujätteen kierrätyksen järjestämiseen.

Tekijöitä, joiden vaikutuksesta edellä esitettyä on syytä tarkastella uudessa valossa:

- Mikäli puuta polttavan laitoksen tuottamasta energiasta merkittävälle osalle ei löydy käyttöä.
- Mikäli raaka-aineena käytettävän puun puhtausvaatimukset olennaisesti muuttuvat.
- Mikäli puujätteiden käsittely- ja erottelutekniikat kehittyvät olennaisesti.
- Mikäli kehitetään uusia puuta hyödyntävää kierrätystä.

3.4

Paperi ja pahvi

Paperin ja pahvin elinkaariarviointia laadittaessa keskeisiä mallinnuksessa huomioitavia tekijöitä ovat:

- Realististen kierrätyskohteiden valinta ja tuotetun jätteen määrän suhteuttaminen tuotteiden markkinoihin. Uutta käsittely- tai hyödyntämislaitosta perustettaessa on muistettava suhteuttaa käsiteltäviksi suunnitellut jätemäärät pienimpään toteuttamiskelpoiseen laitospöytäkokoon.

- Ympäristövaikutuksista olisi syytä tarkastella vähintään elinkaaren aikana tuotetut kasvihuonekaasupäästöt ja niiden ilmastonmuutosvaikutus, veteen ja ilmaan päässeiden ravinteiden vaikutukset (mm. rehevöitymiseen, happamoitumiseen, hiukkasvaikutuksiin). Myös luonnonvarojen ehtyminen ja vaikutukset biodiversitetiin ovat vaikutusluokkia, joiden merkitystä olisi syytä arvioida ainakin laadullisena tarkasteluna.
- Paperin ja pahvin keräily ja kuljetuksen päästöt.
- Käsittelyprosessien energiankulutus.
- Käsittelyprosessien saanto ja hävikki ja hävikkimateriaalin käsittely.
- Paperia ja pahvia hyödyntävien laitosten tuottaman energian hyötysuhde ja hyödyksi käytetyn energian osuus.
- Realistinen arvio tuotetulla energialla korvattavista polttoaineista.

Kuitumateriaalien käsittelyn ympäristövaikutusten minimoimiseksi keskeisiä tekijöitä ovat:

- Paperin ja pahvin kierrätys on polttoa parempi energian- ja vedenkulutuksen osalta, mutta ilmastonmuutosvaikutus riippuu siitä, oletetaanko poltolla korvattavan bioperäisiä vai fossiilisia polttoaineita. Mikäli paperin poltolla voidaan korvata fossiilista energiaa, sen energiahyödyntäminen bioperäisenä energialähteenä on tutkimusten mukaan yleensä ilmastonmuutoksen kannalta kierrätystä parempi vaihtoehto. Toisaalta tutkimuksissa on myös todettu, että kierrätyksen ja polton vertailu tulisi tehdä tapauskohtaisesti, sillä valituilla teknologioilla ja rajauksilla on ratkaiseva merkitys kierrätyksen ja polton suoriutuvuuteen.
- Hyvälaatuinen keräyspaperikuitu soveltuu kierrätettäväksi paperiksi ja pahvi uudelleen pahviksi tai hylsykartongiksi.

Tekijöitä, joiden vaikutuksesta edellä esitettyä on syytä tarkastella uudessa valossa:

- Jos valtakunnalliset energialähteet muuttuvat nykyistä vähäpäästöisemmiksi, energiahyötykäytöstä saatavat ympäristöhyödyt pienenevät.
- Mikäli hylsyille löytyy hylsykartongin rinnalle muu kierrätysmateriaaleihin perustuva valmistusmateriaali (esim. laadultaan muuhun materiaalihyötykäyttöön soveltumaton kierrätysmuovi, metalli tms.), kierrätyksestä saatava hyöty muuttuu.
- Mikäli kuituja polttavan laitoksen tuottamasta energiasta merkittävälle osalle ei löydy käyttöä.

3.5

Muovi

Muovin elinkaariarviointia laadittaessa keskeisiä mallinnuksessa huomioitavia tekijöitä ovat:

- Realististen kierrätyskohteiden valinta ja tuotetun jätteen määrän suhteuttaminen tuotteiden markkinoihin. Uutta käsittely- tai hyödyntämlaitosta perustettaessa on muistettava suhteuttaa käsiteltäviksi suunnitellut jätemäärät pienimpään toteuttamiskelpoiseen laitostokoon.
- Muovin laatua kuvaavat tekijät.
- Ympäristövaikutuksista olisi syytä tarkastella vähintään elinkaaren aikana tuotetut kasvihuonekaasupäästöt ja niiden ilmastonmuutosvaikutus, veteen ja ilmaan päässeiden ravinteiden vaikutukset (mm. rehevöitymiseen, happamoitumiseen, hiukkasvaikutuksiin). Myös luonnonvarojen ehtyminen ja vaikutukset biodiversitetiin ovat vaikutusluokkia, joiden merkitystä olisi syytä arvioida ainakin laadullisena tarkasteluna.

- Muovin keräyksen ja kuljetuksen päästöt.
- Käsittelyprosessien energiankulutus ja mahdolliset päästöt.
- Käsittelyprosessien saanto ja hävikki ja hävikkimateriaalien ja jätevesien käsittely.
- Muovia energiana hyödyntävien laitosten tuottaman energian hyötysuhde ja hyödyksi käytetyn energian osuus.
- Realistinen arvio tuotetulla energialla korvattavista polttoaineista.

Muovien käsittelyn ympäristövaikutusten minimoimiseksi keskeisiä tekijöitä ovat:

- Hyvälaatuisen muovin kierrätys uudelleen muovin raaka-aineeksi on ympäristön kannalta kestävin tapa hyödyntää muovijäte.
- Tarvittaessa muovia voi lajitella, käsitellä ja pestä, jotta se saataisiin jalostettua kierrätykseen soveltuvaksi raaka-aineeksi ja mahdollisimman suuren osuuden saamiseksi uudelleen raaka-aineeksi. Kohtuullisista prosessointivaatimuksista huolimatta muovin hyödyntäminen on edelleen ympäristönäkökulmista järkevää. (Kotimaista tutkimustietoa ei ole käytettävissä siitä, mikä on erotteluprosessin rajasaanto, jonka jälkeen hyödyntäminen energiana on kierrätystä parempi vaihtoehto, mutta eräässä ulkomaisessa tutkimuksessa rajaksi osoittautui 70 % (Schonfield 2008)).
- Kierrätykseen soveltumattoman muovi on ympäristön kannalta järkevää polttaa polttolaitoksessa tai sementtiuunissa fossiilista energiaa korvaten.

Tekijöitä, joiden vaikutuksesta edellä esitettyä on syytä tarkastella uudessa valossa:

- Mikäli muovia polttavan laitoksen tuottamasta energiasta merkittävälle osalle ei löydy käyttöä.
- Jos valtakunnalliset energialähteet muuttuvat nykyistä vähäpäästöisemmiksi.
- Lajittelu-, erotus- ja puhdistustekniikoiden tehostuminen ja kehittyminen
- Mikäli muovin hyödyntämiselle pelkistimenä masuunissa (ns. feedstock recycling, kierrätys syöttöaineena) löytyy mahdollisuuksia.
- Kemiallisten erottelutekniikoiden kehittyminen (lisää kierrätymahdollisuuksia).
- Mikäli pyrolyysitekniikat yleistyvät energiantuotannossa tai käsittelymenetelminä.

3.6

Sekajäte

Sekajätteiden elinkaariarviointia laadittaessa keskeisiä, mallinnuksessa huomioitavia tekijöitä ovat:

- Sekajätteen laatua kuvaavat tekijät.
- Ympäristövaikutuksista olisi syytä tarkastella vähintään elinkaaren aikana tuotetut kasvihuonekaasupäästöt ja niiden ilmastonmuutosvaikutus, veteen ja ilmaan päässeiden ravinteiden vaikutukset (mm. rehevöitymiseen, happamointumiseen, hiukkasvaikutuksiin), luonnonvarojen ehtyminen, raskasmetallipäästöjen ja muiden haitallisten aineiden ilmapäästöjen toksisuusvaikutukset. Myös luonnonvarojen ehtyminen on vaikutusluokka, jonka merkitystä olisi syytä arvioida ainakin laadullisena tarkasteluna.
- Sekajätteen keräyksen ja kuljetuksen päästöt.
- Käsittelyprosessien energiankulutus ja mahdolliset päästöt.
- Käsittelyprosessien saanto ja hävikki ja hävikkimateriaalien ja jätevesien käsittely.

- Sekajätteitä energiana hyödyntävien laitosten tuottaman energian hyötysuhde ja hyödyksi käytetyn energian osuus.
- Realistinen arvio tuotetulla energialla korvattavista polttoaineista.

Mikäli asetus orgaanisen jätteen kaatopaikkakiellosta astuu voimaan, sekajätteelle ei enää ole muita käsittelyvaihtoehtoja kuin energiahyödyntäminen tai mekaaninen lajittelu, jossa kierrätykseen soveltuvat materiaalit erotellaan sekajätteistä. Lajittelu-prosesseista jäävälle rejektille voidaan sen laadusta riippuen tarkastella vaihtoehtoina sijoittamista kaatopaikalle tai hyödyntämistä energiana.

Sekajätteen käsittelyn ympäristövaikutusten minimoimiseksi keskeisiä tekijöitä ovat:

- Sekajäte tulisi polttaa sellaisenaan tai esikäsiteltynä hyötysuhteeltaan mahdollisimman tehokkaassa polttolaitoksessa, jonka tuottama energia hyödynnetään mahdollisimman tehokkaasti.

Tekijöitä, joiden vaikutuksesta edellä esitettyä on syytä tarkastella uudessa valossa:

- Mikäli energia tuotetaan bioperäisillä polttoaineilla tai vähäpäästöisemmällä energiamuodoilla.
- Mikäli mekaanisten erottelutekniikoiden kehittyminen mahdollistaa kierrätykseen soveltuvien materiaalien erottelun sekajätteistä esim. erillisinä, homogeenisina fraktioinaan.

3.7

Kuljetukset

Erottamaton osa jätteiden elinkaarta on niiden kuljettaminen. Jätteiden kuljetustyö jakaantuu useaan eri vaiheeseen, joita voidaan mallintaa karkeasti jakaen kuljetukset keräily- ja kuljetustyöhön (Myllymaa et. al. 2005). Nykyiset ajotietokoneet mahdollistavat yksityiskohtaisemman tiedonkeruun, jolloin työ voidaan jakaa esim. noutoon, siirtymiseen, jättöön ja edelleen noutokierroksiin jne. (Jätelaitosyhdistys 2012)

Elinkaaritutkimuksissa kuljetukset jäävät yleensä koko elinkaareissa vähäiselle merkitykselle, jos verrataan kuljetusten aiheuttamaa ympäristökuormitusta elinkaaren kokonaiskuormitukseen. Kuljetusten merkitys kasvaa, mikäli tarkastellaan vain jätteiden elinkaaren aikana tuotettuja suorja päästöjä, ja jätetään hyvitystarkastelut ulkopuolelle.

Kustannusvaikutuksiltaan kuljetukset ovat yksi merkittävimmistä tai merkittävistä jätteiden elinkaaren vaiheista (Myllymaa et. al. 2008), joten sen vuoksi ohessa on esitetty myös kuljetuksiin liittyviä seikkoja huomioitavaksi kuljetusten elinkaarimallinnuksessa.

Jätteiden kuljetusten elinkaariarviointia laadittaessa keskeisiä, mallinnuksessa huomioitavia tekijöitä ovat:

- Jätetonnin kohti laskettu keräys- ja kuljetussuorite kilometreinä tai aikana ja perustelut.
- Ajoneuvojen käytön aiheuttamat päästöt tonnia tai tonnikipometriä kohden laskettuna (tarvittaessa perustuen arvioon moottorityyppistä, polttoaineen kulutuksesta, kuorman koosta ja tyhjennystiheydestä).
- Vähintään tuotetut kasviuonekaasupäästöt, rikin ja typen oksidit ja hiukkaspäästöt.
- Arvio aluekeräysjärjestelmän saavutettavuudesta ja henkilöautokuljetuksen tarpeesta aluekeräyspisteisiin (kuljetuksen päästöillä on merkittävä vaikutus silloin, jos jätettä joudutaan kuljettamaan henkilöautolla).

Työssä ei ole tarkasteltu eri kuljetusmuotoja ja -tapoja vertailevia elinkaaritutkimuksia, joten tässä työssä ei arvioida kuljetusten ympäristövaikutusten minimoimiseksi keskeisiä tekijöitä. Yleisesti voidaan todeta, että ajoneuvon moottorin päästoluokka, kuljettajan ajotapa ja käytetyt polttoaineet ovat keskeisimpiä kuljetusten päästöihin vaikuttavia tekijöitä, kun arvioidaan erilaisten keräily- ja kuljetusjärjestelmien kuormitusta.

4 Esimerkki jätehuollon etusijajärjestyksen soveltamisesta käytännön ohjeeksi Iso-Britanniassa

Iso-Britanniassa on käytössä pisimmälle viedyin menettely, jolla ohjeistetaan, miten jätedirektiivin säätämästä etusijajärjestyksestä voidaan poiketa elinkaariajattelua hyödyntäen. Iso-Britannia on laatinut toimijoille jätelajikohtaisen ohjeen, jossa on kuvattu kunkin jätelajin hyödyntämistavat elinkaariajatteluun pohjautuvassa etusijajärjestyksessä (Defra 2011a). Tässä luvussa on esitelty Iso-Britanniassa laadittua ohjetta.

Ohjeessa ehdotetut etusijajärjestykset perustuvat erikseen koottuun aineistoon, joka on julkaistu omana julkaisunaan (Defra 2011b). Defra (Department for Environment, Food and Rural Affairs) on Iso-Britanniassa toimiva hallinnollinen osasto, joka on vastuussa mm. ympäristönsuojelusta ja alan standardeista. Ohje sisältää jätelajikohtaisen käsittelyn etusijajärjestyksen lisäksi ohjeita yrityksille jätteiden synnyn ehkäisemiseksi ja niiden määrän vähentämiseksi. Ohje ei ole lainsäädännöllisesti sitova.

Ohjeessa on mainittu muutamia jättemateriaaleja, joiden käsittely kannattaa elinkaariajatteluun pohjautuen toteuttaa etusijajärjestyksestä poiketen:

- Ruokajäte: mädätys on parempi vaihtoehto kuin kompostointi ja muut käsiteltävät
- Puutarhajäte ja ruoka- ja puutarhajätteen seos: kuivamädätys ja jälkikompostointi ovat ympäristön kannalta parempi vaihtoehto kuin pelkkä kompostointi
- Heikkolaatuinen puu: energiahyödyntäminen on paremmin soveltuva käsittely kuin kierrätys.

Tällä hetkellä Defra kokoaa lisäaineistoa tehdyistä elinkaaritutkimuksista, ja päivittää ohjeen tarpeen mukaan. Annettaessa taulukon mukainen ohje jätelajikohtaisesta etusijajärjestyksestä, tiedot on tarkistettava ja päivitettävä ajoittain.

Taulukko I. Defran laatima elinkaariperusteiseen tietoon pohjautuva jätehuollon käsittelyiden etusijajärjestys eri jätelajeille (Defra 2011a).

Paper and Card	Food	Garden Waste	Textiles	Wood	Glass	Metals	Plastics±	WEEE	Tyres	Residual 'black bag'
Prevention	Prevention	Prevention	Prevention	Prevention	Prevention	Prevention	Prevention	Prevention	Prevention	Prevention
Preparation for re-use			Preparation for re-use	Preparation for re-use	Preparation for re-use	Preparation for re-use	Preparation for re-use	Preparation for re-use	Re-treading	
Recycling	Anaerobic Digestion	Anaerobic Digestion (dry) ²	Recycling	Recycling; energy recovery ♦ (preferable to recycling for lower grade materials)	Recycling in a remelt process	Recycling	Closed loop recycling	Recycling (esp. suitable for metals and high quality plastic)	Recovery: use in road surfaces	Solid recovered fuel derived from MHT or MBT, where it replaces coal*
Energy recovery ♦ (esp. suitable for short fibres or contaminated materials)	Composting; other energy recovery technologies	Composting; other energy recovery technologies			Other recycling		Other recycling	Energy recovery in cement kilns	Energy recovery through pyrolysis	Energy Recovery, all technologies (Heat Only)
			Energy recovery ♦		Energy recovery ♦	Recycling after energy recovery	Energy recovery ♦	Energy recovery ♦ (esp. suitable for non-hazardous mixed plastic)	Other recovery (eg drainage fill & sea defences)	Energy Recovery, all technologies (CHP)
									Gasification/incineration with EFW	Recovery, all technologies (Electricity Only)
Disposal	Disposal	Disposal	Disposal	Disposal	Disposal	Disposal	Disposal	Disposal	Microwave treatment	MBT or MHT outputs used as fuel (but do not replace coal) or †
										Disposal

OSA II

Jätteiden elinkaariperusteisen ohjeen tausta ja lähteet

1 Elinkaariarviointimenetelmä (LCA) osana ympäristövaikutuksiin perustuvaa päätöksentekoa

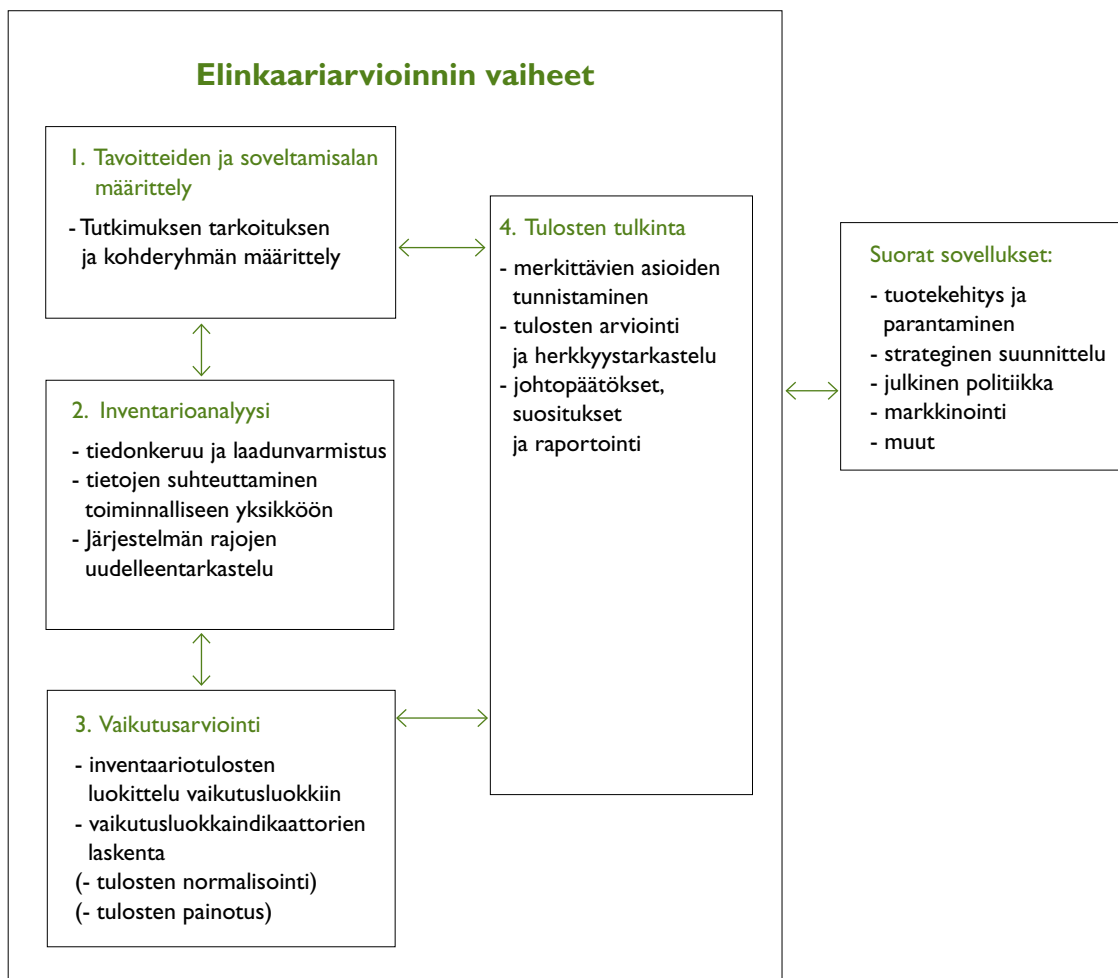
1.1

Elinkaariarviointiprosessin kuvaus ja vaiheet

Elinkaariarviointi (LCA, life cycle assessment) on tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaisen ympäristökuormituksen tunnistamiseen, määrällistämiseen, arviointiin ja tulkintaan tarkoitettu tiedon keruu- ja analysointimenetelmä. Elinkaariarviointi on tieteellinen lähestymistapa, jota voidaan käyttää moniulotteisissa ympäristöpoliittisissa ja liiketoiminnallisissa kysymyksissä erityisesti kestävään tuotantoon ja kulutukseen liittyvän päätöksenteon apuvälineenä (European Union 2010). Elinkaariarviointi (LCA) on myös kansainvälisesti standardoitu menetelmä, ja sen laatimista ja tulosten tulkintaa määrittelevät standardit SFS ISO 14040:2006 ja 14044:2006.

Elinkaarella tarkoitetaan tuotteen tai palvelun tuottamiseen, käyttöön ja käytön jälkeiseen jätehuoltoon (uudelleenkäytön valmisteluun, kierrätykseen, muuhun hyödyntämiseen ja loppukäsittelyyn) liittyviä prosesseja ja kuljetuksia. Elinkaariarviointimenetelmä huomioi kaikki elinkaaren aikana kulutettavat luonnonvarat, energian ja raaka-aineet samoin kuin eri toiminnoista ympäristöön vapautuvat kuormitteet, jotka selvitetään systemaattisesti. Lopuksi arvioidaan näiden erilaisten ympäristöä kuormittavien tekijöiden potentiaaliset ympäristövaikutukset. Ympäristövaikutuksilla tarkoitetaan päästöjen aiheuttamia vaikutuksia kasveille, vesistöille, eliöille, ihmisen terveydelle, ilmakehälle ja maaperälle. Vaikutuksina voidaan arvioida myös esim. uusiutuvien ja uusiutumattomien luonnonvarojen ehtymistä ja maankäytön muutosten aiheuttamia vaikutuksia sekä ympäristön biodiversiteetin muutoksia.

ISO-standardien mukaan elinkaariarvioinnissa on neljä vaihetta: 1. tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely, 2. inventaarioanalyysi, 3. vaikutusarviointi ja 4. tulosten tulkinta. Eri vaiheiden vuorovaikutusta arvioinnin kuluessa havainnollistaa kuva 3, jonka vaiheisiin liittyvät selitykset (perustuen mm. Myllymaa ym. 2005) löytyvät kuvan alta.



Kuva 3. Elinkaariarvioinnin vaiheet (ISO 14040;2006) (soveltaen, ja ks. myös Myllymaa ym. 2005).

I. Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely

Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyllä ratkaistaan laadittavan LCA:n lähtökohdat. Tällöin määritellään, miksi elinkaariarviointi tehdään, mikä on sen tavoite eli minkälaisiin kysymyksiin sillä haetaan vastausta ja kohderyhmä eli kenelle tulokset on tarkoitettu. Koska LCA on luonteeltaan iteratiivinen prosessi, sen edetessä voidaan tarvittaessa palata muuttamaan tai tarkentamaan lähtötietoja tai jopa alun perin asetettuja tavoitteita. (SFS-EN ISO 14040)

Vaiheen tärkeimpiä päätöksiä ovat järjestelmän ns. toiminnallisen yksikön (functional unit, FU) ja rajauksien määrittäminen. Esimerkkirajaus jätehuoltojärjestelmälle on esitetty osan 1 kuvassa 2. Järjestelmän syötteet (järjestelmään tulevat aine- ja energiavirrat), tuotokset (päästöt ja muut järjestelmästä lähtevät aine- ja energiavirrat) ja mahdolliset muut tekijät lasketaan valittua toiminnallista yksikköä kohden. Clift ym. (2000) ovat suositelleet jätehuoltoratkaisuja vertailevissa tutkimuksissa toiminnalliseksi yksiköksi jätemäärää syntyypisteessä (fixed quantity of waste at the point of arising).

Valittava toiminnallinen yksikkö riippuu tutkimuksen rajauksista ja tavoitteista. Mikäli vertaillaan yksittäisen jätelajin vaihtoehtoisia käsittelyprosesseja, toiminnalliseksi yksiköksi soveltuu 1 t jätettä (lähtötilanteessa). Mikäli puolestaan etsitään alueellisia jätehuoltoratkaisuja, rajaus voi olla tarkoituksenmukaista ulottaa kattamaan

tietyn alueen kaikki tietyllä ajanjaksolla tuotetut jätteet. Vertailuissa on huolehdittava, että järjestelmissä on yhtä suuret määrät jätteitä, mikä usein tarkoittaa, että on ulotettava järjestelmä kattamaan jätteen käsittely erillisenä fraktionä sekä jäljelle jäävä osuus sekajätteessä.

2. Inventaarioanalyysi

Tiedon keruuta ja siihen liittyviä laskelmia kutsutaan inventaarioanalyysiksi. Tiedot ympäristöä kuormittavista tekijöistä kootaan valituista yksikköprosesseista valitulla tarkkuudella. Tarkkuus ja tiedonkeräysmenetelmät voivat vaihdella eri yksikköprosesseissa riippuen saatavilla olevasta tiedosta. Kokonaistulosten kannalta jollakin tiedolla on suuri merkitys, toisella taas vähäisempi. Tiedon laatua seurataan tiedonkeruun kuluessa massataseiden, vertailuarvojen ja herkkyystarkastelujen avulla. Loppuraportointia ja tietojen tarkistusta varten kaikki tietolähteet dokumentoidaan huolellisesti. Lopulliset syötteiden ja tuotosten inventaariotulokset ilmoitetaan toiminnallista yksikköä kohden. (SFS-EN ISO 14040)

3. Vaikutusarviointi

Elinkaari-inventaariota seuraa ympäristövaikutusten arviointi (LCIA, life cycle impact assessment), jonka avulla pyritään muodostamaan käsitys tuotejärjestelmän päästöjen ja muiden ympäristökuormitusta aiheuttavien tekijöiden potentiaalisista ympäristövaikutuksista. Vaikutusarvioinnissa tarkasteltavia ympäristökysymyksiä (tai -ongelmia) nimitetään standardin mukaan vaikutusluokiksi (SFS-EN ISO 14040).

Kuormitustekijöiden inventaariotiedot luokitellaan vaikutusluokkiin ympäristövaikutuksiin liittyvien syy-seuraussuhteiden perusteella. Tämän jälkeen kuormitustekijöiden arvot muutetaan kussakin vaikutusluokassa yhteismitallisiksi ns. vaikutusluokkaindikaattorien suhteen. Tiettyyn vaikutusluokkaan luokiteltujen tekijöiden yhteismitallistetut arvot lasketaan yhteen vaikutusluokkaindikaattoritulokseksi.

Vaikutusluokkaindikaattoritulokset voidaan suhteuttaa tietyn alueen vastaaviin tietoihin normalisoinnilla. Normalisoidut tulokset kertovat tutkittavan tuotteen tai palvelun kuormittavuuden suhteessa vertailtavan alueen tietoihin. Yhden tai muutamien vaikutusluokan erottuminen kuvaa keskimääräistä suurempaa kuormitusta suhteessa vertailtavan alueen vallitsevaan tilanteeseen.

Vaikutusluokkakohtaiset tulokset eivät kuitenkaan kerro, mitkä vaikutukset ovat haitallisimpia tai mikä on ympäristön kannalta kuormittavin osa järjestelmää. Tätä voidaan arvioida painottamalla vaikutusluokkia painokertoimien avulla toisiinsa nähden. Painokertoimet kuvaavat eri vaikutusluokkien haitallisuutta tai merkittävyyttä ympäristönsuojelun vallitsevassa poliittisessä ilmapiiirissä. Painokertoimet voidaan määritellä esim. asiantuntijoiden näkemyksiin tai ympäristövaikutusten taloudelliseen arvottamiseen pohjautuen.

Viimeisenä vaiheena painotetut vaikutusluokkaindikaattoritulokset voidaan vielä yhdistää toisiinsa laskemalla eri vaikutukset yhteen. Näin saatu kokonaisvaikutusindikaattoritulos kuvaa tuotejärjestelmän potentiaalisia kokonaisvaikutuksia ja tietoa voidaan joskus soveltaa vertailtaessa erilaisia vaihtoehtoja. Vaikutusluokkien painotus on aina subjektiivista ja perustuu asiantuntija-arvioihin. Sekä normalisointi että painotus ovatkin standardin (SFS-EN ISO 14040) määritelmän mukaan vapaaehtoisia vaikutusarvioinnin vaiheita.

4. Tulosten tulkinta

Tulosten tulkintavaihe on tulosten ja niiden luotettavuuden ja johdonmukaisuuden analysointia, johtopäätösten tekemistä, tulosten käytön rajoitusten arviointia ja suositusten laatimista. Tulkinta tehdään alussa määriteltyjen tavoitteiden ja oletusten rajoissa ja tarvittaessa voidaan palata alkuun täydentämään ja/tai muuttamaan lähtötietoja tai muuttamaan rajausta. (SFS-EN ISO 14040)

Tuloksia raportoitaessa on kiinnitettävä huomiota ymmärrettävyyteen ja avoimuuteen, jotta tieto tutkimuksen aikana tehdyistä olettamuksista, valinnoista ja arvovallinnoista tulee selkeästi ja läpinäkyvästi dokumentoiduksi.

Mikäli elinkaariarvioinnin tuloksia käytetään tuotteita ja palveluita vertailevien tai markkinoivien väittämien esittämiseen, tulokset tulisi tarkistuttaa ulkopuolisen kriittisen arviointiprosessin avulla. Kriittisessä arvioinnissa arvioidaan, 1) onko tutkimus toteutettu standardien ISO 14040 ja 14044 ja mukaisesti, 2) onko tutkimus toteutettu tieteellisesti ja teknisesti pätevästi, 3) vastaako käytetty aineisto tutkimuksen tavoitteita, 4) onko tehdyissä tulkinnoissa huomioitu esiin tulleet rajoitukset ja hankkeen tavoitteet ja 5) onko tutkimus toteutettu läpinäkyvästi ja johdonmukaisesti (SFS-EN ISO 14040 ja European Commission 2010a). Kriittistä arviointia on käsitelty myös osan 1 luvussa 2.

1.2

Elinkaariarviointiin liittyvät EU:n ohjeet

Euroopan komission alaisuudessa toimivista pääosastoista Joint Research Centre (JRC) tarjoaa komissiolle ja jäsenmaille tieteellistä ja teknistä tukea. Yksi sen seitsemästä tieteellisestä instituutista on Institute for Environment and Sustainability (IES), jossa on tutkittu elinkaariarviointimenetelmää ja sen soveltamista, ja se on julkaissut yksityiskohtaisen käsikirjan (International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook) elinkaariarvioinnin soveltamiseen. Käsikirjassa on kuvattu sekä menetelmän vahvuudet että sen puutteet. Käsikirjassa on kuvattu taakansiirron problematiikkaa ja todetaan, että kriittisesti arvioituna menetelmän avulla voidaan ratkaista jokin ympäristöongelma aiheuttaen samalla joitakin muita (European Commission 2010a). Käsikirjan mukaan menetelmä on kuitenkin välttämätön ja vahva päätöksenteon tukimenetelmänä, joka voi täydentää muita, yhtä tärkeitä menetelmiä, joita tarvitaan pyrittäessä lisäämään tuotannon ja kulutuksen kestävyyttä (European Commission 2010a). Näitä muita tarkoitettuja menetelmiä ovat mm. ympäristömerkintä, ympäristömyötäinen suunnittelu, hiilijalanjälkilaskenta ja ympäristöystävällisten julkisten hankintojen menettelyt (European Commission 2010a, Antikainen & Seppälä 2012).

Toteutetun tieteellisen ja standardinmukaisen elinkaariarvioinnin tulosten kriittistä arviointia pidetään standardissa ja ILCD-käsikirjassa hyvinkin olennaisena osana elinkaariarviointia (European Commission 2010a). Ohjeessa todetaan, että kriittisen arvioinnin toteutustapa tulisi itse asiassa suunnitella jo arvioinnin määrittelyvaiheessa.

Eri tarkoituksiin laadittujen elinkaariarviointien kriittisille arvioinneille todetaan olevan erilaiset minimivaatimukset. Tutkimuksen tasolle asetettavat vaatimukset ovat sitä suurempia, mitä julkisempaan ja keskeisempään tarkoitukseen tulokset on tarkoitettu käytettäväksi. Tulosten hyödyntäminen yrityksen sisäisessä käytössä asettaa pienemmät vaatimukset kuin käyttö ulkoisessa keskustelussa. Vertailevan tutkimuksen tasovaatimukset ovat korkeammat kuin yksittäisen tutkimuksen. Edelleen vaatimustaso kasvaa, mikäli tietoa kootaan päätöksenteon tueksi verrattuna

tilanteeseen, jossa tulokset on tuotettu yleisesti lisäämään tietoa aiheesta. (European Commission 2010a).

Lisäksi komissio on julkaissut erillisen oppaan, Review schemes for Life Cycle Assessment (European Commission 2010b), jolla ohjeistetaan kriittisen arvioinnin toteuttamista. Kriittisen arvioinnin voi sen mukaan toteuttaa työn tavoitteista ja kohderyhmästä riippuen joko sisäinen riippumaton arvioija, ulkoinen riippumaton arvioija tai riippumaton arviointipaneeli (European Commission 2010b). Päätöksenteossa eritasoisten LCA-tutkimusten toteuttamiselle on esitetty liitteessä 1.

Koska kriittisen arvioinnin toteuttamiseen liittyvät ohjeet täsmennyksineen ovat melko tuoreita, niitä ei ole vielä sovellettu elinkaariarvioinneissa Suomessa. Elinkaariarviointien tulosten luotettavuuden ja hyväksyttävyyden varmistamiseksi olisi jatkossa syytä miettiä kansallisia käytäntöjä kriittisen arvioinnin sisällyttämiseksi elinkaariarviointien toteutukseen. Puolueettoman arvioinnin tarve korostuu erityisesti silloin, kun työ on toteutettu yritysten toimeksiannosta, tuloksia käytetään päätöksenteossa, lainsäädännön valmistelussa tai niihin vedoten esitetään vertailevia tuoteväitteitä.

Jätehuollon elinkaariarvioinneissa voitaisiin ajatella minimissään riittävän, että työn toteutuksen yhteydessä perustetaan ohjausryhmä, jonka hankkeen ulkopuoliset, elinkaariarvioinnin vaatimukset tuntevat jäsenet toimivat sovitusti työn ulkopuolisina ja riippumattomina arvioijina.

Elinkaariarvioinnin yleisohjeiden lisäksi JRC on julkaissut jätehuollon päätöksenteon tukemiseksi tarkoitettuja ohjeita yleisesti jätehuollon LCA-tarkasteluista (European Commission 2011b) sekä erikseen biojätteiden ja rakennus- ja purkujätteiden LCA-tarkasteluista (European Commission 2011a ja 2011c).

1.3

Elinkaariajattelu jätelainsäädännössä

EU:n jätedirektiivi säätelee viisiportaisen etusijajärjestyksen (jätehierarkia), jonka mukaan jätehuollon käytännön järjestämisessä on noudatettava seuraavaa järjestystä: ehkäiseminen, valmistelu uudelleenkäyttöön, kierrätys, muu hyödyntäminen, loppukäsittely. Direktiivissä on kuitenkin todettu, että etusijajärjestyksestä voidaan poiketa silloin, kun se on elinkaariajattelun mukaisesti perusteltua tietyn jätteen syntyminen ja jätehuoltoa koskevien kokonaisvaikutusten tarkastelun perusteella (artikla 4).

Jätelaissa (8 §) on säädetty yleinen velvollisuus noudattaa jätteisiin ja jätehuoltoon liittyvässä toiminnassa etusijajärjestystä. Sen mukaisesti kaikessa toiminnassa on noudatettava seuraavaa etusijajärjestystä: Ensisijaisesti on vähennettävä syntyvän jätteen määrää ja haitallisuutta. Jos jätettä kuitenkin syntyy, jätteen haltijan on ensisijaisesti valmistettava jäte uudelleenkäyttöä varten tai toissijaisesti kierrätettävä se. Jos kierrätys ei ole mahdollista, jätteen haltijan on hyödynnettävä jäte muulla tavoin, mukaan lukien hyödyntäminen energiana. Jos hyödyntäminen ei ole mahdollista, jäte on loppukäsiteltävä. Yksiselitteinen etusijajärjestys ei kuitenkaan välttämättä päde kaikissa olosuhteissa ja kaikille jätteille. Lainsäädäntö antaa tällöin mahdollisuuden valita muun soveltuvan ratkaisun elinkaariajattelun mukaisen menetelmän osoittamien tulosten, teknisten edellytysten ja taloudellisten seikkojen perusteella. Ratkaisuihin on ensisijaisesti otettava huomioon lain tarkoituksen kannalta parhaan tuloksen saavuttaminen. Lisäksi on otettava huomioon ympäristönsuojelun varovaisuus- ja huolellisuusperiaate sekä tekniset ja taloudelliset edellytykset noudattaa etusijajärjestystä.

Ympäristönsuojelulaissa (86/2000, 43 §) säädetään lupamääräyksistä pilaantumisen ehkäisemiseksi. Pykälän kolmannen momentin mukaan lupamääräyksiä annettaessa olisi otettava huomioon myös materiaalien käytön tehokkuus, mikä rinnastuisi

säännöksessä ennestään olevaan energian käytön tehokkuuden huomioon ottamiseen. Ympäristöministeriö on julkaissut ympäristöopas 2012 -sarjassa aihetta käsittelevän oppaan ”Materiaalitehokkuuden edistäminen ympäristölupaprosessissa”.

Ympäristönsuojeluasetuksessa (169/2000, muutos 180/2012, 1.5.2012, 9 §) puolestaan säädetään lupahakemuksen sisällöstä ja todetaan että toiminnan luonne ja sen vaikutukset huomioon ottaen lupahakemuksen tulee sisältää lupaharkinnan kannalta tarpeelliset seikat, joista yhtenä mainitaan selvitys suunnitelluista toimista jätteen määrän ja haitallisuuden vähentämiseksi, jätteiden hyödyntämiseksi ja loppukäsittelmiseksi, jätteiden keräyksestä ja kuljetuksesta sekä siitä, mihin jätteet on tarkoitettu toimittava hyödynnettäviksi tai loppukäsiteltäviksi. Lisäksi asetuksen 19 §:ssä säädetään lupapäätöksen ratkaisuosan sisällöstä, että siitä on tarvittaessa käytävä ilmi, miten jätelain 8 §:ssä säädetty yleinen velvollisuus noudattaa etusijajärjestyksestä on otettu huomioon lupamääräyksiä asetettaessa.

Lisäksi jätelaissa todetaan, että ympäristöministeriön on jätelain tarkoituksen toteuttamiseksi ja säännösten täytäntöönpanon edistämiseksi valmistettava valtakunnallinen jätesuunnitelma. Sen tulee sisältää arvio jätteen määrän ja haitallisuuden vähentämisen sekä jätehuollon nykytilasta, näitä koskevat tavoitteet ja toimet tavoitteiden saavuttamiseksi. Suunnitelmaan on liitettävä arvio sen vaikuttavuudesta. Ympäristöministeriön on arvioitava valtakunnallisen jätesuunnitelman ja erillisen suunnitelman toteutumista ja vaikuttavuutta vähintään joka kuudes vuosi sekä tarvittaessa valmistettava tarkistettu suunnitelma valtioneuvoston hyväksyttäväksi. Jätesuunnitelmassa voidaan asettaa reunaehdot jätehuollon järjestämiselle, jolloin sekin liittyy osaltaan jätteiden etusijajärjestyksen toteuttamiseen ja edelleen välillisesti elinkaariajattelun soveltamiseen.

Jäteasetuksessa (179/2012) säädetään edelleen, että valtakunnallisen jätesuunnitelman on sisällettävä jätehuollon kehittämistä koskevat tavoitteet, joihin on mahdollisuuksien mukaan sisällytettävä jätteen kierrätystä ja muuta hyödyntämistä koskevat määrälliset tavoitteet. Jätelaissa todetaan lisäksi, että elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskusten on laadittava valtakunnallisessa jätesuunnitelmassa asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi ja siinä esitettyjen toimien täytäntöönpanon edistämiseksi toimialueelleen alueellinen jätesuunnitelma. Suunnitelma voidaan tehdä yksin tai yhdessä useamman elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen kanssa. Alueellisessa jätesuunnitelmassa voidaan esittää myös alueellisista oloista johtuvia muita tarpeellisia tavoitteita ja toimia jätteen määrän ja haitallisuuden vähentämiseksi sekä jätehuollon kehittämiseksi. Nämä määritelmät kytkevät elinkaariajattelun myös osaksi alueellista jätehuollon suunnittelua.

1.4

Elinkaariarviointimenetelmän vahvuuksia ja heikkouksia

Elinkaariarviointiprosessi antaa toteuttajalleen kattavan kuvan tuotteen tai palvelun elinkaaren eri vaiheista ja niiden aiheuttaman ympäristökuormituksen merkityksestä kokonaisuuden kannalta. Lisäksi vertailevien analyysien avulla saadaan tietoa eri vaihtoehtojen eroista.

Elinkaariarvioinnin tulosten hyödyntämisessä viestinnässä ja päätöksenteossa haasteena on, että eri ympäristövaikutusluokkien tulokset on suhteutettava toisiinsa. Lisäksi tutkittavaan järjestelmään ja etenkin sen energiajärjestelmiin liittyvät oletukset vaikuttavat olennaisesti työn tuloksiin. Karakterisointivaiheeseen saakka elinkaariarviointi pohjautuu tieteellisen tutkimuksen tuloksiin ympäristövaikutusten mekaniismeista ja vaikutusketjuista, kun taas normalisointi- ja painotusvaiheet perustuvat subjektiivisiin näkemyksiin ympäristöongelmien laajuudesta ja merkityksestä.

Elinkaariarvioinnilla voidaan tunnistaa tuotteen tai palvelun elinkaaren kriittisimpiä kohtia ympäristökuormituksen kannalta, tai vertailla vaihtoehtoisia tapoja tuottaa sama tuote, toiminto tai palvelu. Kun etenkin vertailevien elinkaariarviointien tuloksia käytetään päätöksenteossa, joudutaan tekemään valintoja ja priorisointia sen suhteen, mikä aiheutuvista ympäristövaikutuksista arvioidaan merkittävimmäksi, ja minkä yhden tai useamman vaikutuksen pienentämistä tavoitellaan. Vertailtavissa ratkaisuihin vaikutukset eivät todennäköisesti ole keskenään täysin samansuuntaiset kaikissa arvioiduissa vaikutusluokissa, vaan esim. prosessin ilmaan vapautuvien päästöjen vähentämisen ratkaisusta toinen voi kuluttaa vähemmän energiaa, mutta kuormittaa enemmän vesistöjä kuin toinen. Valintoja on tehtävä, mutta elinkaariarviointimenetelmän soveltamisella vältetään se, että päätöksenteko perustuisi vain suppeaan osaan järjestelmän aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Elinkaariarviointiprosessin tuloksista raportoidessa lopullisten tulosten kanssa yhtä olennaisia ovat läpinäkyvästi raportoidut, prosessin kuluessa tehdyt rajaukset, valinnat ja painotukset, joiden seurauksena lopputuloksiin on päädytty.

2 Tuloksia jätehuollon suomalaisista elinkaariarvioinneista

2.1

Elinkaariarviointeja käsittelevän luvun rakenne ja tutkimusten käsittelytapa

Luvussa kaksi on esitelty suomalaisten jätehuollon elinkaariarviointien tuloksia. Kukin tutkimus on esitelty samalla tavoin jakautuen neljään kappaleeseen:

Ensimmäisessä kappaleessa (*Tavoite*) on esitelty työn tavoitteet, toteuttaja ja rahoittaja.

Toisessa kappaleessa (*Aineisto ja menetelmät*) on kuvattu työssä käytetyt lähtötiedot, oletukset, vertailtavat järjestelmät ja käytetty tutkimusmenetelmä.

Kappaleessa (*Tuloksia ja johtopäätöksiä*) on esitetty tiivistetysti työssä kuvatut tulokset ja johtopäätökset. Kappaleen sisältö koostuu siis aiempien kappaleiden tavoin vain läpikäydyn tutkimuksen tai selvityksen esittämistä tuloksista.

Kutakin tutkimusta esittelevän luvun viimeisessä kohdassa (*Arvio tutkimuksen vahvuuksista ja heikkouksista sekä johtopäätösten relevanttiudesta*) on esitetty arvio tutkimuksessa tehdyistä lähtöoletuksista, tuloksista ja tehdyistä johtopäätöksistä. Tämä kappale on sisällöltään tämän julkaisun kirjoittajien laatimaa.

2.2

Biojätteen käsittelyvaihtoehtojen kasvihuonekaasupäästöt – biojätteen erilliskeräyksen elinkaariarvio Länsi-Uudellamaalla

Tavoite

Työssä on arvioitu Länsi-Uudenmaan alueella tuotetun biojätteen erilaisten käsittelyvaihtoehtojen ja kattavuudeltaan erilaisten keräysjärjestelmien aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä (FCG 2011). Työn tilaajan (Rosk'n Roll Oy Ab) tavoitteena on uudistaa jätehuoltojärjestelmänsä vuoteen 2016 mennessä, ja työn tuloksia käytetään ratkaisujen tekemisessä.

Työn rajauksena ovat biojätteen keräyksen, kuljetusten ja käsittelytoimintojen kasvihuonekaasupäästöt (khk-päästöt). Muita ympäristövaikutuksia ei ole tarkasteltu. Päästötaseissa on huomioitu päästöhyvityksinä fossiilisten polttoaineiden korvaaminen käsittely- ja hyödyntämisprosesseissa tuotetulla energialla. Sen sijaan lopputuotteiden aineena hyödyntämisen (esim. mädätteen käyttö viherrakentamisessa turvepohjaisen mullan sijaan tai käyttö pellolla maanparannusaineena) mahdollisia hyvityksiä ei ole huomioitu.

Aineisto ja menetelmät

Työssä arvioidaan kooltaan 133 000 asukkaan Länsi-Uudenmaan alueen tuottaman biojätteen käsittelyvaihtoehtoja. Biojätteen saanto nykyisillä jätehuoltomääräyksillä (seitsemän kunnan alueella erilliskeräyksen piirissä ≥ 5 huoneiston kiinteistöt ja kiinteistöt, jotka tuottavat biojätettä ≥ 20 kg/vk, ja yhden kunnan alueella ainoastaan yli 50 kg/vk biojätettä tuottavissa liikekiinteistöissä) on 3900 tonnia vuodessa. Kaikkiaan erilliskerättyä biojätettä tuotettiin vuodessa 40 kg/as. Työssä pidettiin saannon lähtöoletuksena arvoja 43 kg/as/v ja 4500 t/v.

Käytetystä menetelmästä todetaan, että työssä tarkastellaan elinkaarianalyysin tapaan Länsi-Uudenmaan alueen biojätehuollon vaihtoehtoisten toteutustapojen ilmastovaikutuksia. Ilmastovaikutuksia arvioidaan hiilidioksidiekvivalentteina, joihin on sisällytetty hiilidioksidi, metaani ja typpioksiduuli.

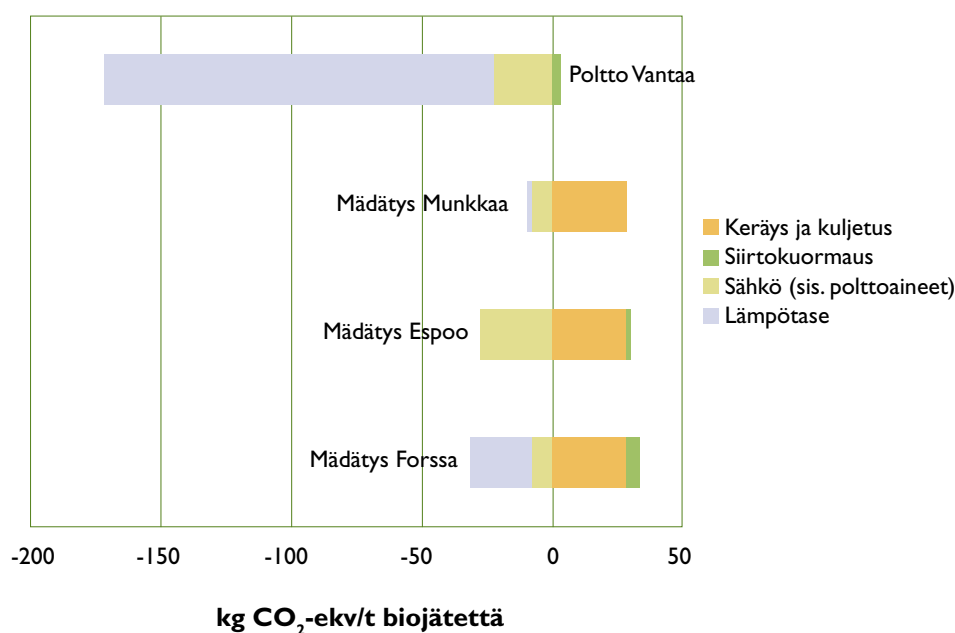
Kuljetusten ja energiantuotannon päästökertoimet on kuvattu alkuperäisen työn erillisessä liitteessä. Keräystoimintojen aiheuttamien päästöjen arvioinnissa on käytetty kuljetusurakoitsijoiden ajokirjanpitotietoja (kerätyt biojättemäärät, ajatut kilometrit ja tehdyt astiathyjennykset). Keräilyajon polttoaineen kulutukseksi on arvioitu 5,5 litraa/km ja päästökseksi (2,7 kg CO₂-ekv/litra) 14,9 kg CO₂-ekv/km. Kuljetusajolle vastaavat arvot ovat 2,5 litraa/km, 1,1 kg CO₂-ekv/litra ja siten 2,75 kg CO₂-ekv/km. Yhden astian tyhjennystä kohti (keräily ja kuljetus) polttoaineen kulutukseksi on arvioitu 0,39 litraa/tyhjennys eli 1,27 kg CO₂-ekv/astiathyjennys ja 28,7 kg CO₂-ekv/jätetonni, kun keräys kattaa nykyiset velvoiterajat. Velvoiterajan laajentaminen kattamaan kaikki kiinteistöt lisää tonnikohtaista keräilyn kuormitusta lukemaan 104-207 kg CO₂-ekv/jätetonni, riippuen biojäteastioiden tyhjennystiheydestä.

Taulukko 2. Biojätteen käsittelyvaihtoehtojen järjestelmäoletukset ja vaiheittaiset khk-päästöt (FCG 2011).

	Nykytila	Mädätys Espoo (1)	Mädätys Forssa (2)	Mädätys Munkkaa (3)	Poltto Vantaa (4)
Erilliskeräyksen laajuus	a) nykyinen 1384	a) nykyinen 1384 b) kaikki kiinteistöt 18200	a) nykyinen b) kaikki kiinteistöt	a) nykyinen b) kaikki kiinteistöt	Ei erilliskeräystä
Biojätteen saanto	a) 4544 t/v	a) 4544 t/v b) 5944 t/v	a) 4544 t/v b) 5944 t/v	a) 4544 t/v b) 5944 t/v	3902 t/v
Keräyksen ja kuljetuksen kuormitus, kg CO ₂ -ekv/t	28,7	a) 28,7 b) 104–207	a) 28,7 b) 104–207	a) 28,7 b) 104–207	ei huomioitu kuljetusten päästöjä
Käsittelyn siirtoetäisyys (edestakainen)	Munkkaa, 0 km	Ämmässuo, 70 km	Forssa, 170 km	-	Vantaa, 136 km
Siirtokuljetuksen kuormitus, kg CO ₂ -ekv/t	ei kuljetusta	a) 2,24 b) 2,24	a) 5,4 b) 5,4	ei kuljetusta	4,3
Käsittely	Mädätys	Mädätys	Mädätys	Mädätys	Poltto jätteen-polttolaitoksessa
Jälkikäsittely	ei	Kompostointi	ei	ei	ei
Käsittelyprosessien käyttämä sähköenergia kWh/t (GWh/v)		Pohjoismainen ka, 20 (kompostointi)	Mädätyksen sähkö ja lämpö vähennetty kaasuntuotannosta	Mädätyksen sähkö ja lämpö vähennetty kaasuntuotannosta	Mädätyksen sähkö ja lämpö vähennetty kaasuntuotannosta
Käsittelyn kuormitus, kg CO ₂ -ekv/t		3,29 (ei huomioitu kompostoinnin metaanipäästöä)	-	-	-
Ulkopuolelle tuotettu energia, sähkö kWh/t / lämpö kWh/t		sähköverkkoon 250 / lämmitykseen 0	sähköverkkoon 60 / lämmitykseen 89	sähköverkkoon 60 / lämmitykseen 6	sähköverkkoon 176 / lämmitykseen 530
Tuotetulla energialla säästetty sähköenergia, säästö kg CO ₂ -ekv/t		Pohjoismainen ka, - 31	Pohjoismainen ka, - 7,4	Pohjoismainen ka, - 7,4	Pohjoismainen ka, - 22
Tuotetulla energialla säästetty lämpöenergia, säästö kg CO ₂ -ekv/t			Jätteenkäsittelylaitoksen lämmitysöljy, - 27,4	Jätteenkäsittelylaitoksen lämmitysöljyn osuus, - 1,6	Vantaan energian päästöt 2007, - 151
Nettotase, kg CO ₂ -ekv/t		3,25	- 0,73	19,6	-169

Tulokset ja niiden pohjalta tehdyt johtopäätökset

Selvityksessä vertailtujen käsittelyketjujen khk-päästötaseet elinkaarivaiheittain laajennettaessa velvoiteraja koskemaan kaikkia kiinteistöjä on esitetty kuvassa 4 ja taulukossa 3.



Kuva 4. Biojätteen käsittelyvaihtoehtojen khk-päästöt elinkaarivaiheittain käsiteltävää biojätetonna kohti (FCG 2011).

Taulukko 3. Biojätteen käsittelyvaihtoehtojen khk-päästöt elinkaarivaiheittain sekä nettotase käsiteltävää biojätetonna kohti (FCG 2011).

	Mädätys Forssa	Mädätys Espoo	Mädätys Munkkaa	Poltto Vantaa
Keräys + kuljetus	28,7	28,7	28,7	0
Siirtokuormaus	5,4	2,2	0	3,7
Sähkö (sis polttoaineet)	-7,4	-28	-7,4	-22,0
Lämpötase	-27	0	-1,6	-151
Yhteensä	-0,73	3,3	19,6	-169

Tuloksena todetaan, että

- 1) Biojätteen erilliskeräyksen laajentaminen haja-asutusalueelle (kattamaan kaikki kiinteistöt) 7-kertaistaa keräyksestä ja kuljetuksesta aiheutuvat khk-päästöt kerättävää biojätetonna kohden. Ajosuoritteista aiheutuvaa khk-päästökuormaa voidaan vähentää pidentämällä biojäteastioiden tyhjennysväliä.
- 2) Biojätteen poltto sekajätteen mukana on ilmaston kannalta mädätysvaihtoehtoja parempi, koska poltto mahdollistaa biojätteen käsittelyketjulle negatiivisen khk-päästötaseen. Tämä on seurausta poltossa syntyvän energian korvaamasta fossiilista energiantuotannosta.
- 3) Tarkasteltaessa biojätteen erilliskeräystä ja käsittelyä mädätyslaitoksessa (ilman että tuloksiin sisällytetään materiaalin hyödyntämistä energiana tai materiaalina ja siitä syntyviä hyötyjä), muodostavat biojätteen keräys ja kuljetus suurimman osan käsittelyketjun khk-päästöistä.
- 4) Jos biojäte siirtokuormataan jäteasemalla ja kuljetetaan suurina erinä käsittelylaitokselle alle 100 km etäisyydelle, ovat tästä aiheutuvat khk-päästöt korkeintaan viidennes koko käsittelyketjun päästöistä.

- 5) Määtysvaihtoehtojen khk-päästöissä suurimmat erot syntyvät siitä, miten prosessissa syntyvää sähköä ja lämpöä voidaan hyödyntää ja miten tämän tuotannon korvausvaikutus lasketaan. Jos biojätteen määtyksessä syntyvää lämpöä voidaan hyötykäyttää paikallisesti lämmitykseen ja jos tällä korvataan fossiilista lämmöntuotantoa, on määtuksen sisältävälle biojätteen käsittelyketjulle saavutettavissa negatiivinen khk-päästötase.

Arvio tutkimuksen vahvuuksista ja heikkouksista sekä johtopäätösten relevanttiudesta

Työssä on rajattu tarkasteltavaksi vaikutusluokaksi kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttamat ilmastonmuutosvaikutukset. Tulosten raportoinnissa rajausta on ilmaistu selkeästi ja tehdyt johtopäätökset tukevat työn rajauksia. Vain yhden vaikutusluokan tarkastelu toisaalta tekee työstä melko suppean.

Keräyksen ja kuljetuksen päästöjen 7-kertaiseen lisääntymiseen liittyvä väite (1) perustuu päästömaksimiin. Mikäli huomioidaan kuljetusten keräilytiheydestä riippuva vaihteluväli, lisäyksen voidaan todeta olevan 4-7-kertainen. Lisäksi keräilyn ja kuljetuksen lisäyksellä saavutetaan samanaikaisesti myös hyötyjä hyvitysten muodossa, kuten kuvan 2 pylväät osoittavat.

Esitettyyn vaihtoehtojen paremmuusjärjestykseen vaikuttavia oletuksia voidaan tunnistaa kolmenlaisia:

Yksi tehdyistä oletuksista on, että biojätteen keräilyllä ei ole oletettu olevan vaikutusta sekajätteen keräilyn tiheyteen tai muuhun sekajätteen keräilyrasitukseen. Teoriassa vaikutuksen voisi ajatella olevan biojätteen keräilyn tehostuessa sekajättekuljetuksia vähentävä ja biojätteen jäädessä kokonaan sekajätteeseen sekajättekuljetuksia lisäävä. Perusteluina on kuitenkin esitetty, että sekajäteauton kapasiteetti on harvoin täysin käytössä ja että biojäte tiheänä materiaalina mahtuu kuormaan helposti. Lisäksi selvityksessä todetaan, että biojätteellä on vaikutusta sekajätteen kuormapainoon, vaikka biojätteen ja sekajätteen seos kulkisikin samassa tilavuudessa kuin pelkkä sekajäte. Tämä oletus kerrotaan jätetyn huomiotta, koska asian selvittäminen olisi vaatinut koeajoja. Edellä mainitut yksinkertaistukset voivat jonkin verran vääristää khk-tasetta polttovaihtoehdon hyväksi. On mahdollista että ero, kuten selvityksessäkin on todettu, ei ole merkittävä. Kotimaista tutkimustietoa aiheesta ei ole käytettävissä, mutta vastaavia tarkasteluja olisi voitu etsiä ulkomaisista tutkimuksista.

Toinen keskeinen oletus on, että työssä on jätetty huomioimatta biojätteen hyötykäytön hyödyt. Perusteluksi todetaan, että määtteen hyötykäyttökohteet saattavat vaihdella vuoden aikana, ja että määtteen hyötykäytölle ei kaikissa tapauksissa ole määriteltävissä kvantitatiivista hyötyä. Biojätteen käyttö viherrakentamisessa voi korvata viherrakentamisessa tyypillistä turvemullan käyttöä ja käyttö maanparannusaineena voi korvata typpi- ja fosforilannoitteiden valmistusta siltä osin, mitä jätteessä on ravinteita. Viherrakennuskäytön hyödyksi on tutkimuksessa todettu khk-päästöinä mitattuna -29 kg CO₂-ekv/biojätetonne. Lannoitteen korvaamisen hyödyksi todetaan 50 000 tonnia biojätettä vuodessa käsittelevälle Ämmäsuon laitokselle yhteensä 816 t CO₂-ekv/v, mikä tarkoittaisi noin -16 kg CO₂-ekv/biojätetonne.

Nykyisen tietämyksen mukaan tulisi biojätteen kompostoinnin ja määtuksen tuotteen hyötyjä viherrakentamisessa arviotaessa ottaa huomioon turpeen noston välttämisen ohella myös turpeen hajoamisen välttäminen. Multatuotteeseen käytetty turve nimittäin hajoaa ajan mittaan fossiiliseksi CO₂:ksi. Tämän huomioon ottaminen parantaa kompostoinnin ja määtuksen ilmastonmuutosvaikutuksia huomattavasti. Turpeen hajoamisen kasvihuonekaasupäästöt voidaan arvioida turpeen energiasisällön ja poltossa syntyvien päästöjen avulla. Lisäksi tulee ottaa huomioon, että mikäli suo ojitetaan, sieltä ei synny metaanipäästöjä noin 20 vuoden aikana, mikä

hieman vähentää turpeen hajoamisen laskennallisia päästöjä. (Kirkinen ym. 2007). Näin saatavan turpeen hajoamisen ns. worst case-arvion mukaan yhden biojätetonnin kompostointi ja hyödyntäminen multatuotteessa turpeen sijaan voisi vähentää kasvihuonekaasupäästöjä maksimissaan jopa noin -200 kg CO₂-ekv.

Kaikkien edellä mainittujen hyötyjen huomioiminen siis vähintäänkin tasoittaisi vaihtoehtojen välisiä eroja.

Kolmas ja suuruusluokaltaan merkittävin tuloksiin vaikuttava tekijä ovat lämmön hyödynnettävyyteen liittyvät oletukset. Työssä oletetaan, että mädätysprosessien tuottamalle lämmölle ei löydy käyttöä. Koska mädätyslaitokset perustetaan uusina laitoksina, eikä osaksi olemassa olevaa energiantuotantoinfraa, oletus vaikuttaa perustellulta. Sen sijaan on mahdollista tai jopa todennäköistä, ettei polttolaitoksenkaan tuottamasta lämmöstä 100 % päädy hyötykäyttöön vuoden mittaan, kuten tutkimuksessa on oletettu. Biokaasun hyödyntämisvaihtoehtona olisi voitu tarkastella käyttöä liikennepolttoaineena fossiilisia polttoaineita korvaten.

2.3

Biojätteen käsittelyvaihtoehdot pääkaupunkiseudulla

Tavoite

Työssä vertailtiin pääkaupunkiseudun biojätteen käsittelyvaihtoehtojen kasvihuonekaasu- eli khk-päästöjä. HSY:n tilaama ja rahoittama työ on tehty opinnäytetyönä Teknillisen korkeakoulun Energiatekniikan laitokselle (YTV 2009). Työn tavoitteena on ollut tuottaa tietoja biojätteiden toteutettavissa olevien käsittelyvaihtoehtojen kasvihuonekaasupäästöistä ja erilliskeräyksen kattavuuden vaikutuksesta jätehuollon päästöihin.

Aineisto ja menetelmät

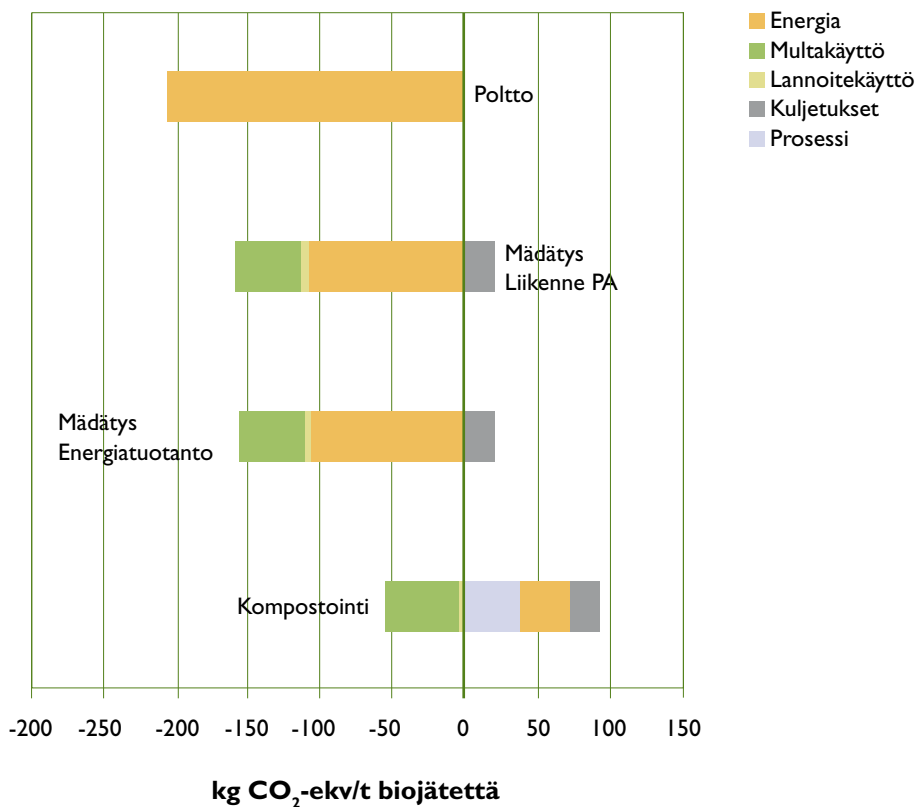
Kasvihuonekaasupäästötaseiden laskemiseen käytettiin elinkaariperusteista lähes-tymistapaa, jossa otettiin huomioon sekä suorien että välillisten prosessien päästöt. Laskennassa huomioitiin myös khk-päästöjen hyvitykset, joita saatiin biojätteen käsittelyssä syntyvien lopputuotteiden hyötykäytöllä. Käsittelyn khk-tase oli negatiivinen, jos sen saamat hyvitykset olivat suuremmat kuin sen khk-päästöt.

Biojätteen erilliskäsittelyvaihtoehdoiksi valittiin mädätys ja kompostointi, joka on pääkaupunkiseudun nykyinen biojätteen käsittelymenetelmä. Näiden lisäksi tarkasteltiin biojätteen polttoa sekajätteen mukana. Tutkimuksessa arvioitiin myös biojätteen erilliskeräysjärjestelmän laajuuden vaikutusta biojätteen keräyksestä ja kuljetuksesta aiheutuviin kasvihuonekaasupäästöihin. Keräystä tarkastellaan tilanteessa, jossa kiinteistökohtaista biojätteen erilliskeräystä tehostetaan kattamaan yli 5 huoneistoa käsittävät kiinteistöt ja tilanteessa, jossa erilliskeräystä rajoitetaan siten, että se kattaa ainoastaan yli 20 huoneistoa käsittävät kiinteistöt.

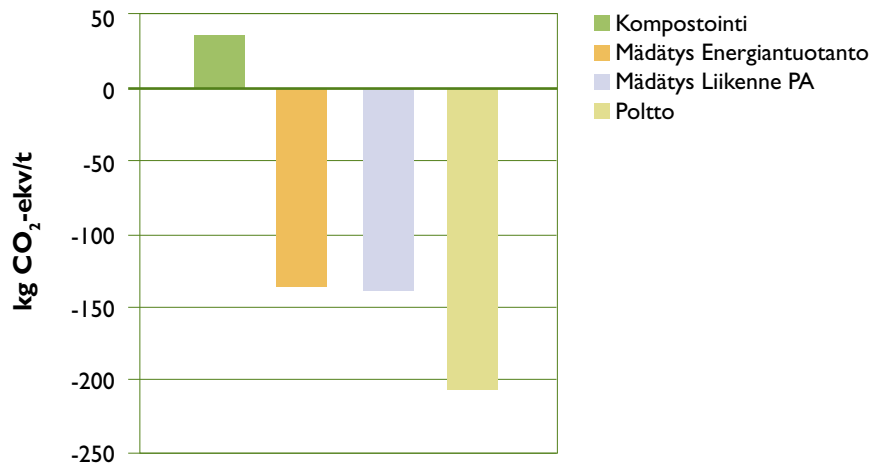
Tutkimuksessa on tehty seuraavat lähtöoletukset ja rajaukset.

- biojäte on jäteastiasta noutamiseen saakka päästötön
- Työtä ei ole sidottu tiettyyn aikaan tai ajanjaksoon.
- Jätevoimala polttaa vuosittain 250 000–320 000 tonnia yhdyskuntajätettä, josta enintään 260 000 on YTV-alueelta kerättyä.

- Jätteenpolttolaitoksen sijainnista ei tehdä oletusta, koska sijaintipaikka ratkesi vasta työn loppuvaiheessa.
- Biojätteen materiaalihyödyntäminen, eli kompostointi ja mädätys, tapahtuu Ämmässuon jätteenkäsittelykeskuksessa.
- Käsittelyyn ohjautuvan biojätteen määrä on vähintään vuoden 2007 kotitalouksien ja julkishallinnon kiinteistöistä erilliskerätty biojättemäärä, 35 484 tonnia.
- Biojätteen käsittelyllä tuotettavissa oleva sähkö korvaa Suomen keskimääräisellä energiatuotantorakenteella (vuonna 2005) tuotettua sähköä.
- Biojätteen käsittelyllä tuotettavissa oleva lämpö korvaa pääkaupunkiseudun keskimääräistä kaukolämmöntuotantoa.
- Biojätteen käsittelyprosessissa syntyvälle sähkölle ja lämmölle oletetaan rajaton kysyntä.
- Biojätteen käsittelystä aiheutuvia muita päästöjä ja ympäristövaikutuksia ei oteta huomioon vaihtoehtojen vertailussa



Kuva 5. Biojätteen käsittelyvaihtoehtojen khk-päästöt lähteittäin (YTV 2009).



Kuva 6. Biojätteen käsittelyvaihtoehtojen khk-päästötaseet (YTV 2009).

Tulokset ja niiden pohjalta tehdyt johtopäätökset

Tutkimuksessa vertailtujen biojätteen käsittelyvaihtoehtojen khk-päästötaseet elinkaarivaiheittain on esitetty kuvissa 5 ja 6.

Tuloksena todetaan, että

- 1) Biojätteen poltto sekajätteen mukana tuottaa tutkituista vaihtoehtoista suurimman khk-päästöjen vähennyspotentiaalin, koska biojätteistä tuotetulla energialla voidaan korvata fossiilista energiantuotantoa.
- 2) Mädätyksen khk-päästötase jää myös negatiiviseksi, sillä biokaasun palaessa syntyvät päästöt ovat bioperäisiä ja biojätteen keräyksen ja kuljetuksen aiheuttamat khk-päästöt ovat biokaasun energiahyödyntämisellä saavutettuihin hyvityksiin nähden vähäiset.
- 3) Biokaasun käyttö sähkön- ja lämmöntuotannossa vähentää lähes yhtä paljon khk-päästöjä kuin sen hyödyntäminen liikenteen polttoaineena.
- 4) Mädätyksen jälkeen syntyvä komposti on khk-päästöjen näkökulmasta kannattavinta hyötykäyttää multatuotteen raaka-aineena, jolloin turpeen ja keino-lannoitteen korvauksesta aiheutuu khk-päästöhyvityksiä, ja mädätyksen khk-päästötase jää hyvityksien puolelle.
- 5) Kompostointi on prosesseista ainoa, joka jää khk-päästöiltään positiiviselle eli päästöjä tuottavalle puolelle.
- 6) Kompostoinnin khk-päästöjä aiheuttavat biojätteen keräys- ja kuljetus noin 20 %:n osuudella sekä kompostoinnissa suoraan vapautuvat N₂O- ja CH₄-päästöt sekä kompostointilaitoksen sähkönkulutus, molemmat noin 40 %:n osuuksilla.
- 7) Mikäli keräystä tehostetaan nykyisestä vähintään 10 huoneistoa kiinteistöllä käsittävstä järjestelmästä kattamaan myös 5–9 huoneiston kiinteistöt, on biojätteen lisäsaantoon suhteutettu kuljetuspäästö viisinkertainen alkuperäiseen tilanteeseen verrattuna.
- 8) Biojätteen erilliskeräys on khk-päästöjen näkökulmasta kannattamatonta kiinteistöillä, jotka käsittävät alle 20 huoneistoa.

Arvio tutkimuksen vahvuuksista ja heikkouksista sekä johtopäätösten relevanttiudesta

Työssä käytetyt lähtötiedot ja tehdyt oletukset ja rajaukset on raportoitu läpinäkyvästi, ja työssä on myös arvioitu mahdollisia virhelähteitä. Lisäksi tarkempia tietoja on saatavissa diplomityöstä, johon YTV:n julkaisu perustuu. Tässä työssä on tutustuttu vain diplomityöstä laadittuun YTV:n julkaisuun.

Työn heikkoutena on, että se kattaa vaikutusluokista vain ilmastonmuutosvaihtokutukset. Mädätyksestä ja kompostoinnista syntyy ravinnepitoisia vesiä, joiden rehevöittävät vaikutukset olisi hyvä arvioida. Lisäksi tuloksiin saattaa vaikuttaa polttovaihtoehtoa suosivasti oletus, että polttovaihtoehdossa biojätteen keräys- ja kuljetusjärjestelmä on ajateltu päästöttömäksi, koska biojätteen keräyksen ja kuljetuksen sekajätteen mukana polttoon ei ole oletettu aiheuttavan ylimääräistä kuljetusrasitusta olemassa olevaan sekajätteen kuljetusjärjestelmään. Samoin polttovaihtoehtoa suosiva saattaa olla oletus, että lämmölle on käyttöä läpi vuoden.

Työssä esitetään väitteenä, että biojätteen erilliskeräys on khk-päästöjen näkökulmasta kannattamatonta alle 20 huoneistoa käsittävillä kiinteistöillä. Työn kuljetuspäästöjä esittämissä kuvaajissa päästöt on kuitenkin suhteutettu kerättyjä lisätönneja kohti, ei kokonaissaantona saatuja biojätetönneja kohti. Esitettyjen tulosten perusteella on siten vaikea päätellä koko elinkaaren päästöjä alle 20 kiinteistöä sisältävässä tapauksessa. Sen voi sinänsä todeta pitävän paikkansa, että jokaisen lisäbiojätetönneräjäminen vaatii uhrauksia kuljetuspäästöinä. Olisi ollut informatiivista esittää koko elinkaaren päästöt kaikkien tarkasteltujen kiinteistökatavuuksien tapauksessa.

Virhelähteiden tarkastelun yhteydessä on todettu, että mädätyksessä syntyvään biokaasumäärään liittyvä oletus voi muuttaa vaihtoehdon taseeltaan yhtä suotuisaksi tai suotuisammaksi kuin polttovaihtoehto.

2.4

Biojätehuollon järjestämisen kasvihuonekaasupäästöt Turun seudulla

Tavoite

Työssä tuotetaan tietoja ilmastonmuutosta kiihdyttävien kasvihuonekaasupäästöjen määristä vaihtoehtoisissa biojätteen jätehuoltoratkaisuissa Turun seudun jätepolitiikan ja kuntien päätöksenteon tueksi (Knuutila 2012). Työ on rajattu käsittelemään ainoastaan ilmastonmuutosvaikutuksia aiheuttavat kasvihuonekaasupäästöt. Työn on rahoittanut Turun seudun jätehuolto Oy.

Aineisto ja menetelmät

Työssä on arvioitu asumisessa syntyviä biojättemääriä ja sen käsittelyn ja keräilyyn kasvihuonekaasupäästöjä erilaisilla erilliskeräysjärjestelmän kattavuuksilla ja hyödyn-tämistavoilla. Laskennassa on huomioitu eri käsittelyprosessien päästöt ja energian kulutus sekä ne tuotteet, raaka-aineet ja energia, joita jäteperäisellä materiaalilla tai energialla voidaan korvata. Tarkastelu on rajattu koskemaan Turun seudun jätehuollon (TSJ) toimialuetta ja elinkaari on laskettu alkavaksi siitä, kun biojäte on sijoitettu keräysvälineeseen. Ilmastovaikutuksia arvioidaan hiilidioksidiekvivalentteina, joihin on sisällytetty hiilidioksidi, metaani ja typpioksiduuli.

Työssä arvioidaan kooltaan 325 600 asukkaan, 180 000 kotitalouden ja 20 500 vapaa-ajanasunnon Turun seutua ja alueen tuottaman biojätteen käsittelyvaihtoehtoja. Alueella ei tällä hetkellä ole velvoitetta biojätteen erilliskeräykseen, vaan asumisessa syntyvä biojäte kerätään polttokelpoisen jätteen mukana, mikäli asukkaat eivät sitä kompostoi omaehtoisesti omalla kiinteistöllään. Tehtyjen kyselyjen perusteella 26 % alueen asukkaista ilmoittaa kompostoivansa biojätteensä. Biojätteen erilliskeräys on pakollista kaupoissa, ravintoloissa ja laitoskeittiöissä silloin kun biojätettä syntyy yli 100 litraa viikossa.

Keräilyssä syntyvät päästöt lasketaan kahdella kattavuusprosentilla: kun rajana on ≥ 4 huoneiston kiinteistöt, jolloin erilliskeräyksen piirissä olisi 57 % asumisessa tuotetusta biojätteestä ja kun rajana on ≥ 20 huoneiston kiinteistöt, jolloin erilliskeräyksellä katettaisiin 36 % asumisessa tuotetusta biojätteestä. Eri vaihtoehtoisissa käytetyt oletukset on esitetty taulukossa 4.

Noutotyön (astioiden tyhjennykset) polttoaineen kulutukseksi on arvioitu 1,5 litraa/h, siirtymäajolle (liikkuminen pisteeltä toiselle) 14–16 l/h ja jättökuljetusajolle (kuorman vientiajo) 0,2 l/km. Yhden astian tyhjennystä kohti aikaa on arvioitu kuluvaksi 0,9 min/tyhjennys. Kiinteistökohtaiset astialukumäärät on arvioitu laskennallisesti syntyvän jätemäärän, kerran viikossa tapahtuvan tyhjennysvälin, astian koon ja jätteen tiheyden avulla. Edellä mainituin oletuksin keräily- ja kuljetustyön polttoaineen kulutukseksi todettiin tarkastellulla alueella pienemmällä velvoiterajalla 25 litraa/tonni ja suuremmalla velvoiterajalla 14 litraa/tonni.

Asumisessa vuosittain syntyväksi potentiaaliseksi biojätteeksi on arvioitu 80 kg/as, ja kiinteistökohtaisen keräyksen vuosittaiseksi saannoksi on arvioitu 43 kg/as (lajittelutehokkuus 53 %). Julkisten palveluiden tuottama biojäte vaihtelee välillä 12–166 kg/hlö (henkilökunta ja/tai asiakkaat, oletussaanto 65 %). Nykytilassa syntyvä biojättemäärä on keräyksen kattaessa ≥ 4 huoneiston kiinteistöt noin 9822 t/v koko alueelta. Jos keräys kattaa ≥ 20 huoneiston kiinteistöt, syntyvä biojättemäärä on vastaavasti koko alueelta 7066 t/v.

Lisäksi on arvioitu jätteen tuotantomäärien kannalta kaksi muuta vaihtoehtoa. Toisessa oletetaan, että valistuksen avulla asumisessa syntyneen biojätteen saanto on kasvanut 65 %:iin. Toisessa oletetaan, että tulevaisuudessa lajittelutehokkuus on 85 % sekä asuin- että palvelukiinteistöissä, ja jätteen synnyn oletetaan vähenevän 30 %. Näillä oletuksin jätemäärä ovat: Kun keräys kattaa ≥ 4 huoneiston kiinteistöt, 11407 t/v ja 11037 t/v. Kun keräys kattaa ≥ 20 huoneiston kiinteistöt, 8081 t/v ja 7818 t/v.

Taulukko 4. Biojätteen käsittelyvaihtoehtojen järjestelmäoletukset ja vaihteittaiset khk-kuormitukset (Knuutila 2012).

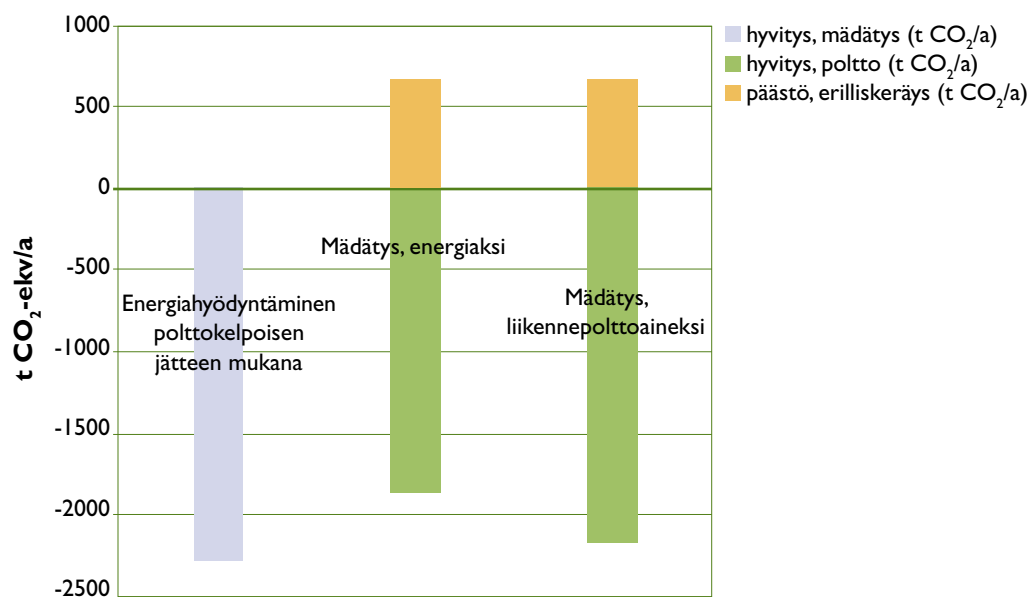
	Biojätteen poltto	Biojätteen mädätys ja kaasun poltto	Biojätteen mädätys ja kaasun liikennepäkäyttö
Erilliskeräyksen laajuus	a) ≥ 4 huon./kiint. + palvelut b) ≥ 20 huon./kiint. + palvelut	a) ≥ 4 huon./kiint. + palvelut b) ≥ 20 huon./kiint. + palvelut	a) ≥ 4 huon./kiint. + palvelut b) ≥ 20 huon./kiint. + palvelut
Biojätteen saanto	9822 b) 7066	a) 9822 b) 7066	a) 9822 b) 7066
Keräyksen ja kuljetuksen kuormitus, kg CO ₂ -ekv/t	-	a) 68 (49 - 285) b) 37 (32 - 75)	a) 68 (49 - 285) b) 37 (32 - 75)
Käsittelyn siirtoetäisyys (edestakainen)	a) - b) -	a) - b) -	a) - b) -
Siirtokuljetuksen kuormitus, kg CO ₂ -ekv/t	a) - b) -	a) - b) -	a) - b) -
Käsittely	Poltto jätevoimalassa	Mädätys	Mädätys
Jälkikäsittely	-	Kaasun polttaminen, mädätteen käyttö viherrakentamisessa	Kaasun käyttö liikennepolttoaineena, mädätteen käyttö viherrakentamisessa
Käsittelyprosessien käyttämä sähköenergia kWh/t (GWh/v)	-	Mädätyksen 20 % vähennetty nettotuotosta	Kaasun puhdistuksen energian kulutusta ei huomioitu
Käsittelyn kuormitus, kg CO ₂ -ekv/t	-	-	-
Ulkopuolelle tuotettu energia, sähkö kWh/t / lämpö kWh/t	sähköverkkoon 176 / lämmitykseen 529	sähköverkkoon 182 / lämpöverkkoon 272	-
Tuotetulla energialla säästetty sähköenergia, säästö kg CO ₂ -ekv/t	Suomen ka 2006-2008, - 51	Suomen ka 2006-2008, - 52	Dieselin käyttö (2,7 kg CO ₂ -ekv/l + valmistus), - 177
Tuotetulla energialla säästetty lämpöenergia, säästö kg CO ₂ -ekv/t	Turku energia kaukolämpö 2010, - 180	Turku energia kaukolämpö 2010, - 93	
Mädätteen lannoitekäytöllä saavutettava säästö, kg CO ₂ -ekv/t	-	5	5
Mädätteen viherrakennuskäytöllä saavutettava säästö, kg CO ₂ -ekv/t	-	40	40
Nettotase, kg/t	-232	a) - 117 ¹ b) - 148 ¹	a) - 149 ² b) - 180 ²

¹ mädätteelle huomioitu tässä taulukossa vain viherrakentamishyvitys.

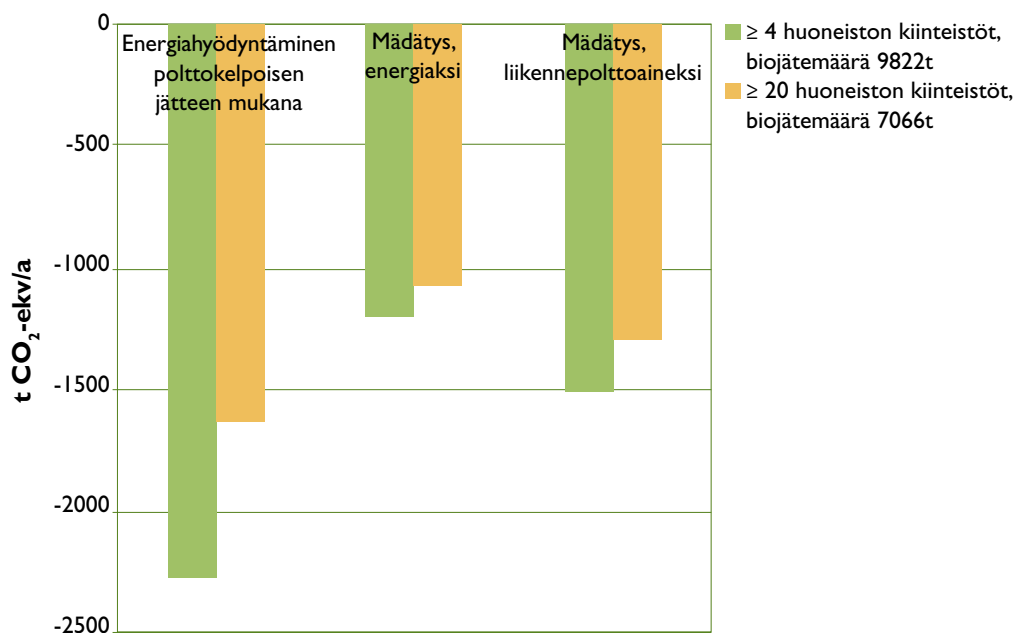
² summassa huomioitu vain mädätteen viherrakentamishyvitys.

Tulokset ja niiden pohjalta tehdyt johtopäätökset

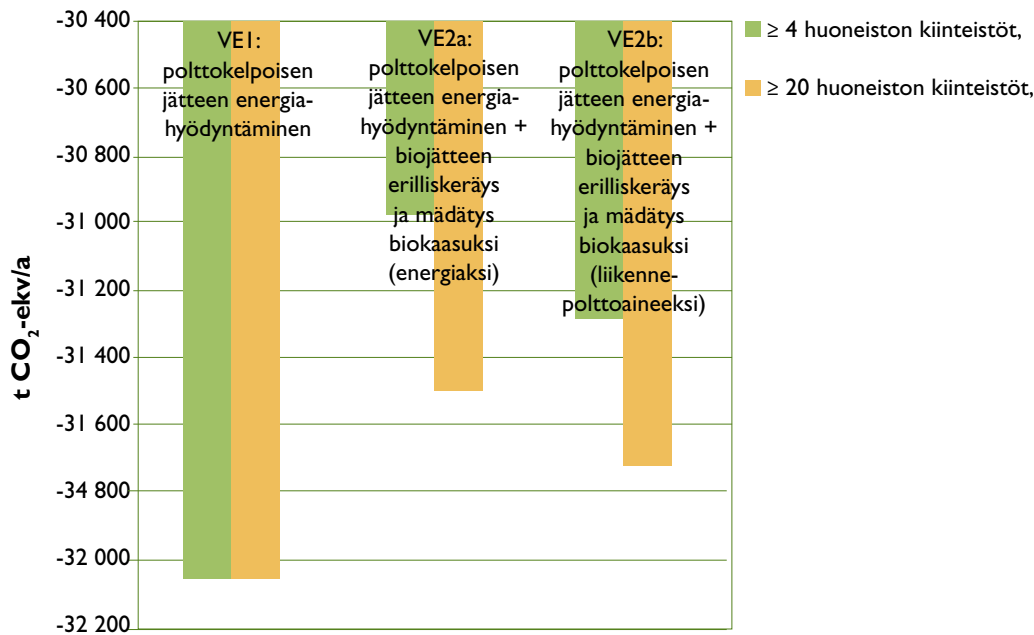
Selvityksessä vertailtujen käsittelyketjujen khk-päästötaseet elinkaarivaiheittain ja eri velvoiterajoilla on esitetty kuvissa 7, 8 ja 9.



Kuva 7. Biojätteen käsittelyvaihtoehtojen khk-päästöt elinkaarivaiheittain Turun seudulla (Knuutila 2012).



Kuva 8. Biojätteen käsittelyvaihtoehtojen khk-nettopäästöt eri velvoiterajoilla saatavalla biojättesaannolla Turun seudulla (Knuutila 2012).



Kuva 9. Turun seudun alueen koko biohajoavan jätemäärän hyödyntämismahdollisuuksien kkh-päästö-taseet eri velvoiterajoilla (huom. asteikko) (Knuutila 2012).

Tutkimuksen tuloksina todetaan:

- 1) Vain suurimmat kiinteistöt kattavalla erilliskeräysjärjestelmällä saavutettaisiin 44 % vähemmän kuljetuksen kkh-päästöjä verrattuna erilliskeräyksen laajentamiseen vähintään 4 huoneiston kiinteistöihin.
- 2) Alueen jätehuollon kuljetuksen päästöjä voitaisiin pienentää molemmilla keräilykattavuuksilla noin 15 %, mikäli erilliskeräysvelvoite asetettaisiin vain tiheimmin asuttuihin kuntiin, jolloin saantona olisi yhä yli 90 % alueen biojätteestä.
- 3) Noutokierroksen rajoittavaksi tekijäksi (ja siten tonnikohtaisia kilometrejä ja päästöjä lisääväksi tekijäksi) osoittautui harvaan asutulla alueella pääsääntöisesti työvuoron pituus, koska kuormat jäivät vajaiksi. Ratkaisuksi kuljetuksen päästöjen vähentämiseksi ehdotetaan työvuoromitoitusta ja tehostettua alueellista suunnittelua.
- 4) Kokonaistaseeltaan eniten kkh-päästöhyötyjä saataisiin vaihtoehdossa, jossa biojäte hyödynnetään suoraan energiana.
- 5) Tutkimuksen perusteella biojätteen suora hyödyntäminen energiana olisi jätelaissa määritellyn etusijajärjestyksen mukaista jätehuollon järjestämistä.
- 6) Myös mädätyksen avulla saavutettiin kkh-päästöhyötyjä, koska tuotettua kaasua hyödynnettiin energiantuotannossa ja liikennepolttoaineena. Mädätysvaihtoehdossa biokaasun hyödyntäminen liikennepolttoaineena osoittautui paremmaksi kkh-päästöhyötyjen osalta verrattuna sen energiahyödyntämiseen.

- 7) Kattavuudeltaan suuremmasta (≥ 4 huoneistoa/kiinteistö) vaihtoehdosta saadaan noin 10 % paremmat päästöhyvitykset kuin laajuudeltaan suppeammasta vaihtoehdosta (≥ 20 huoneistoa/kiinteistö), kun tarkastellaan koko alueen biojättesaantoa.
- 8) Kun tarkastellaan tonnikohtaisia tuloksia, kattavuudeltaan pienemmässä (≥ 20 huoneistoa/kiinteistö) vaihtoehdossa on noin viidenneksen suuremmat päästöhyvitykset kuin laajemmassa vaihtoehdossa (≥ 4 huoneistoa/kiinteistö).
- 9) Tarkasteltaessa alueen kaikkia polttokelpoisia jätteitä ja biojätehuoltoa osana koko jätehuoltoa, todetaan kaikkien vaihtoehtojen khk-päästötaseen olevan hyvitysten puolella ja erilliskeräysvaihtoehdoista selkeästi paremmat päästöhyvitykset todetaan olevan, kun rajana on vähintään 20 huoneiston kiinteistöt.

Arvio tutkimuksen vahvuuksista ja heikkouksista sekä johtopäätösten relevanttiudesta

Työ on selkeästi raportoitu ja laskelmat ja tehdyt oletukset ovat pääosin hyvin kuvattu ja siten helposti johdettavissa ja toistettavissa, mutta tutkimuksessa on tarkasteltu vain yhtä ympäristövaikutusluokkaa, mikä vähentää tulosten painoarvoa. Mädätyksestä ja kompostoinnista syntyy ravinnepitoisia vesiä, joiden rehevöittävät vaikutukset olisi hyvä arvioida. Kasvihuonekaasupäästötaseen mukaan biojätteen tarkasteltujen käsittelyvaihtoehtojen ilmastotaseet ovat kaikissa käsitellyissä tapauksissa negatiivisia, eli biojätteen hyödyntämisellä voidaan vähentää ilmastomuutosvaikutuksia enemmän kuin tuottaa niitä. Tulosten perusteella suora polttaminen on ilmastotaseeltaan paras, mädätyksen biokaasun käyttö liikennepolttoaineena toiseksi paras ja biokaasun käyttö energian tuotannossa kolmanneksi paras vaihtoehto.

Energiahyvitykset on kaikissa vaihtoehdoissa laskettu samoin oletuskertoimin, mikä helpottaa vertailua. Merkittävimmän tulokseen vaikuttaa oletus, että suoran polton tapauksessa ei ole huomioitu kuljetuksia, eikä muissa vaihtoehdoissa toisaalta ole huomioitu sekajätteen kuljetuksessa tapahtuvia muutoksia. Yksinkertaistus on erikseen mainittu ja perusteltu sillä, että biojätteen poistuminen sekajätteen seasta ei oleellisesti muuta sen tilavuuspainoa tai sekajätteen astiamäärää kiinteistöllä. Oletus perustuu asiantuntija-arvioon. Teoriassa vaikutuksen voisi ajatella olevan biojätteen keräilyyn tehostuessa sekajätekuljetuksia vähentävä ja biojätteen jäädessä kokonaan sekajätteeseen sekajätekuljetuksia lisäävä. Edellä mainitut yksinkertaistukset voivat jonkin verran vääristää khk-tasetta polttovaihtoehdon hyväksi, mutta on mahdollista että ero, kuten selvityksessäkin on todettu, ei olisi merkittävä. Kotimaista tutkimustietoa aiheesta ei ole käytettävissä, mutta vastaavia tarkasteluja olisi voitu etsiä ulkomaisista tutkimuksista.

Mädätteen on oletettu laskelmien perusteella olevan yhtäaikaaisesti hyödynnettävissä sekä lannoitteena että viherrakentamisessa, kun todellisuudessa massa voidaan toimittaa jompaankumpaan. Mutta johtuen etenkin lannoitteiden ilmastomuutokseen liittyvien korvaushyötyjen vähäisyydestä oletus ei muuta tuloksia niin merkittävästi, että se vaikuttaisi tulosten tulkintaan. Mikäli tarkasteltaisiin elinkaaren aikana syntyneitä jätteitä, lannoitteiden valmistuksen korvaaminen antaisi suuret korvaushyödyt, kun sivukivimassat jäisivät syntymättä (Mattila ym. 2011). Mädätteen hyödyntämisen osalta voidaan nostaa esiin myös edellä luvussa 2.2 esitetty seikka siitä, että mädätyksen tuotteen hyötyjä viherrakentamisessa arvioitaessa tulisi ottaa

huomioon turpeen noston välttämisen ohella myös turpeen hajoamisen välttäminen. Luvussa 2.2 esitettyjen tietojen pohjalta saatavan turpeen hajoamisen ns. worst case-arvion mukaan yhden biojätetonnin kompostointi ja hyödyntäminen multatuotteessa turpeen sijaan voisi vähentää kasvihuonekaasupäästöjä maksimissaan jopa noin -200 kg CO₂-ekv. Näiden hyötyjen huomioiminen tasoittaisi vaihtoehtojen välisiä eroja.

Alueen koko biohajoavien jätteiden jätehuollossa erot mädätysvaihtoehtojen eri velvoiterajojen (eli erilliskeräykseen osallistumaan velvoitettujen kiinteistöjen rajakokojen) kesken ovat hyvin pienet, alle 2 % suppeamman vaihtoehdon hyväksi. Näin ollen olisi perusteltua ehkä todeta, että alueen jätehuollon kokonaisuudessa velvoite-ajan asettamisella ei ole juuri merkitystä kasvihuonekaasupäästöjen kannalta.

2.5

Pienmetallin keräyksen ja hyödyntämisen ympäristövaikutukset pääkaupunkiseudulla

Tavoite

Työssä tuotetaan ympäristövaikutuksiin ja kustannuksiin liittyviä tietoja jätehuoltomääräyksiin sisällytettävän pienmetallien keräyksen velvoiteajan asettamista varten (Kuusiola 2010). Tavoitteena on löytää ympäristön kannalta paras ratkaisu pääkaupunkiseudun kotitalouksissa syntyvien pienmetallien keräykselle. Työn on rahoittanut Helsingin seudun ympäristöpalvelut (HSY), ja se on tehty lopputyönä Aalto-yliopiston teknilliseen korkeakouluun.

Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksessa on noudatettu linkaariajattelua, ja työn tarkoituksena oli pyrkiä tarkastelemaan kaikkien pienmetallilaatujen linkaarta jätteestä aina valmiiksi raaka-aineeksi asti. Tutkimuksen ulkopuolelle on rajattu kuljetusvälineiden, keräysastioiden, käsittelylaitosten tai muiden laitosten, aluekeräyspisteiden rakentamisesta ja ylläpidosta aiheutuvat päästöt, sekä kaatopaikalla syntyvät päästöt. Työn välituloksia on osittain ilmoitettu metallitonnikohtaisina kertoimina, mutta varsinaiset tulokset on ilmoitettu pääkaupunkiseudulla syntyvän pienmetallien kokonaismäärää, 5894 t, kohti.

Tutkimukseen on valittu käytettävien lähtötietojen laadun perusteella neljä vaikutusluokkaa: ilmastonmuutos, happamoituminen, vesien rehevöityminen ja hiukkaskäytös. Lisäksi tarkasteltiin kiinteistökeräyksen kustannuksia.

Lähtökohtana on oletus, että vuosittain pääkaupunkiseudulla erilaisia metalleja on sekajätteessä keskimäärin 5,4 kg/hlö ja erilliskeräys on noin 1,1 kg/hlö, joten vuosittain syntyvä metallijättemäärä on noin 6,5 kg/hlö. Tästä tinattua terästä on noin 53 %, alumiinia 24 %, ruostumatonta terästä 14 % ja loput ovat muita sekalaisia metalleja. Alueella on oletettu olevan asukkaita noin 906 264. Pienmetallien asukas-kohtaisena lajittelutehokkuutena on käytetty järjestelmään siirtymisen alkuvaiheessa 30 %, sekä aluekeräyksessä että erilliskeräyksessä. Vaiheittaiset oletukset on koottuna taulukkoon 5.

Taulukko 5. Metallijätteen käsittelyvaihtoehtojen järjestelmäoletukset ja vaihteelliset khk-kuormitukset (Kuusiola 2010).

	Sken 0: Polttolaitos	Sken 1. Aluekeräys	Sken 2. <5 huon./kiint.	Sken 3. >10	Sken 4. >20	Sken 5: Erilliskeräys 100 %
Erilliskeräyksen laajuus	Ei erilliskeräystä	Aluek.: 135 pistettä	Aluek.: 135 pistettä	Aluek.: 135 pistettä	Aluek.: 135 pistettä	
Metallin saanto	*Rautametallit 50 %, Ei-rauta- metallit 50 %, Al 0 %	Aluek.: 30 % Sekaj.: 50 % (paitsi Al 0 %)	Aluek.: 30 % Erillisk.: 30 % Sekaj.: 50 % (paitsi Al 0 %)	Aluek.: 30 % Erillisk.: 30 % Sekaj.: 50 % (paitsi Al 0 %)	Aluek.: 30 % Erillisk.: 30 % Sekaj.: 50 % (paitsi Al 0 %)	Erillisk.: 30 %- Sekaj.: 50 % (paitsi Al 0 %)
Keräyksen ja kuljetuksen kuormitus, kg CO ₂ -ekv/t	Sekaj: 8,1	Aluek: 93 Sekaj: 8,1	Aluek: 93 Erillisk.: 58 Sekaj: 8,1	Aluek: 93 Erillisk.: 57 Sekaj: 8,1	Aluek: 93 Erillisk.: 56 Sekaj: 8,1	Erillisk.: 79 Sekaj: 8,1
Siirtokuljetuksen kuormitus, kg CO ₂ -ekv/t	95	95	95	95	95	95
Käsittely	Poltto jätteen- polttolaitok- sessa	Murskaus ja erottelu	Murskaus ja erottelu	Murskaus ja erottelu	Murskaus ja erottelu	Murskaus ja erottelu
Jälkikäsittely	Murskaus ja erottelu, tina ei enää erotetta- vissa, vain lai- mennettavissa	Sekajätteen metallit polton jälkeen kuten sken 0	Sekajätteen metallit polton jälkeen kuten sken 0	Sekajätteen metallit polton jälkeen kuten sken 0	Sekajätteen metallit polton jälkeen kuten sken 0	Sekajätteen metallit polton jälkeen kuten sken 0
Käsittelyprosessien käyttämä sähköenergia kWh/t (GWh/v)	Tietopankkien tietoja	Tietopankkien tietoja	Tietopankkien tietoja	Tietopankkien tietoja	Tietopankkien tietoja	Tietopankkien tietoja
Hyödyntämisen kuormitus, kg CO ₂ -ekv/t	Al: 500 Teräs: 510-930	Al: 500 Teräs: 510-930	Al: 500 Teräs: 510-930	Al: 500 Teräs: 510-930	Al: 500 Teräs: 510-930	Al: 500 Teräs: 510-930
Säästetty primäärimetallin tuotanto, säästö, kg CO ₂ -ekv/t	Al: - 8900, Teräs: - 500 - - 4300	Al: - 8900, Teräs: - 500 - - 4300	Al: - 8900, Teräs: - 500 - - 4300	Al: - 8900, Teräs: - 500 - - 4300	Al: - 8900, Teräs: - 500 - - 4300	Al: - 8900, Teräs: - 500 - - 4300
Nettotase, kg CO ₂ -ekv/t	-636	-860	-1 610	-1 550	-1 490	-1 690

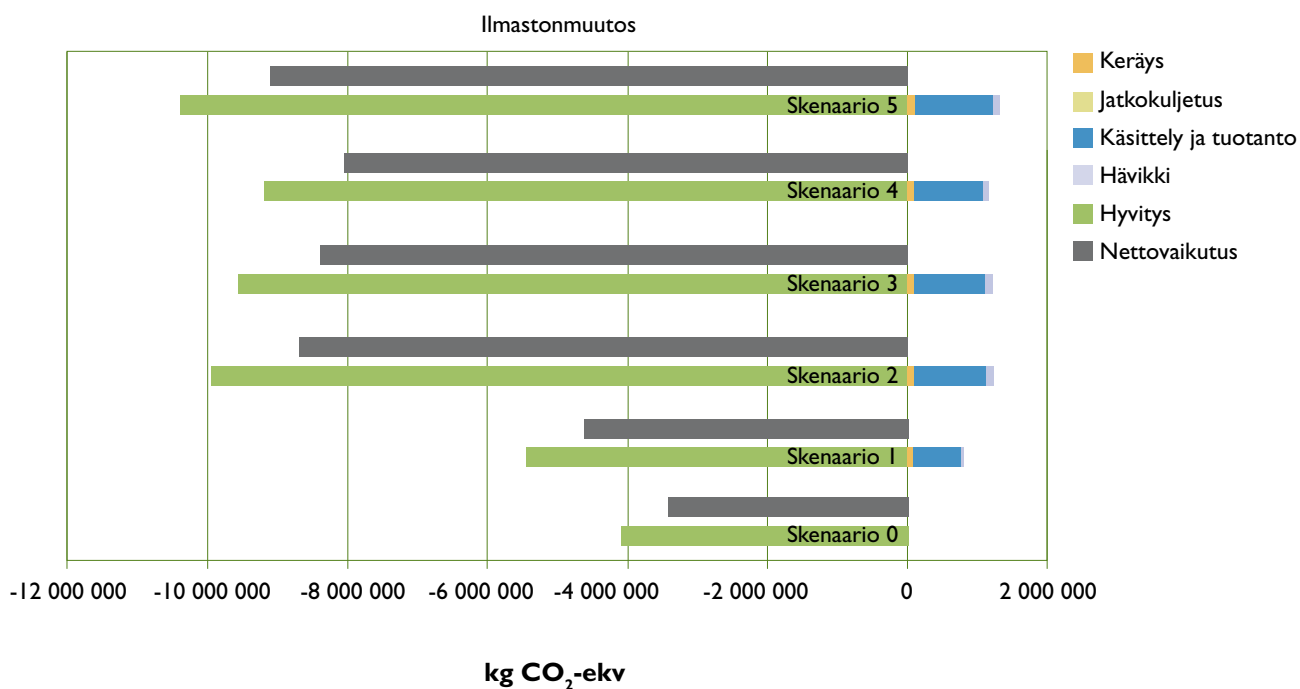
*Vaihteluvälit johtuvat eroille erikokoisten partikkeleiden erottumisessa. Rautapitoisuus tyypillisesti noin 25 %, koska metallit agglomeroituneet lasin ja muiden materiaalien kanssa.

Tulokset ja niiden pohjalta tehdyt johtopäätökset

Metallin velvoiterajan kasvattamisesta aiheutuvista ympäristövaikutuksista kasvi-huoneilmiötä aiheuttavien päästöjen tulokset on esitetty taulukossa 6 ja kuvassa 10. Työssä tarkasteltiin myös muita ympäristövaikutuksia, mutta tulokset korreloivat ilmapäästöjen kanssa, joten niitä ei ole poimittu tähän työhön.

Taulukko 6. Metallin keräilyn ja hyödyntämisen päästötase nykytilassa vallitsevilla oletuksilla laskettuna (Kuusiola 2010)

	Skenaario 0	Skenaario 1	Skenaario 2	Skenaario 3	Skenaario 4	Skenaario 5
Keräys	"poltto-laitos"	"aluekeräys"	"vähintään 5 asunnon"	"vähintään 10 asunnon"	"vähintään 20 asunnon"	"erillis-keräys kaikilla"
Kiinteistö-	-	0	78 200	71 700	65 400	127 100
Alue-	-	33 630	14 400	13 000	14 100	-
Sekajäte-	43 500	39 990	31 400	32 100	32 900	30 400
Keräys yht.	43 500	73 620	124 100	116 800	112 400	157 600
Jatkokuljetus	1 700	2 399	4 600	4 500	4 300	4 900
Käsittely + tuotanto	568 300	676 400	1 045 000	1 016 000	986 600	1 083 000
Hävikki	40 800	54 440	99 300	95 700	92 000	103 900
Hyvitys	- 4 083 000	-5 444 000	-9 928 000	-9 573 000	-9 207 000	-10 393 000
Nettovaikutus (päästöt-hyvitys), kg CO ₂ -ekv	-3 428 000	-4 637 000	-8 655 000	-8 339 000	-8 012 000	-9 043 000
Metallitonnia kohti (kg CO ₂ -ekv/t)	-636	-860	-1 600	-1 550	1 490	1 680



Kuva 10. Biojätteen käsittelyvaihtoehtojen khk-päästöt elinkaarivaiheittain käsiteltävää biojätetonna kohti (Kuusiola 2010). Huom., pylväskuvaajat kuvaavat tillannetta lähitulevaisuudessa, eivät yllä olevan taulukon tavoin nykytilassa.

Tuloksena todetaan, että:

- 1) Pienmetallien kiinteistökohtainen keräys on ympäristön kannalta kannattavam-
paa kuin pienmetallien kerääminen polttolaitoksen pohjatuhkasta tai aluekeräys.
- 2) Pienmetallien kierrätys on ympäristövaikutusten osalta kannattavaa jo pienil-
läkin keräysmäärillä.
- 3) Tuloksista ei voida yksiselitteisesti sanoa, minkä kokoisilta kiinteistöitä pienme-
talleja kannattaisi alkaa kerätä, sillä skenaarioiden väliset erot olivat melko pieniä.
- 4) Herkkyystarkasteluilla pystyttiin todentamaan, että kierrätyksestä saatavien
hyötyjen laskentatapa, polttolaitoksen talteenottoaste tai polttolaitoksilta talteen
otettujen metallien metallipitoisuus ei vaikuttanut skenaarioiden paremmuus-
järjestykseen.
- 5) Pienmetallien talteenotolla polttolaitokselta ei pystytä mitenkään saavuttamaan
yhtä suuria ympäristöhyötyjä kuin pienmetallien kiinteistökohtaisesta kierrä-
tyksestä saadaan
- 6) Jätteenpoltossa osa metalleista menetetään, minkä vuoksi niiden syntypaikka-
lajittelu on tärkeää.
- 7) Kaikista haitallisinta jätteenpolto on alumiinille, joka saattaa hapettua samaksi
alumiinioksidiksi, mistä se on alkujaan pelkistetty.
- 8) Alumiinin kierrätyksen ympäristöhyödyt olivat tässä tutkimuksessa kaikkein
suurimmat, minkä vuoksi jo pienillä talteenottomäärillä saadaan aikaan mer-
kittävät ympäristöhyödyt.
- 9) Alumiinin talteenoton ympäristöhyödyt selittävät myös suurimmaksi osaksi mer-
kittävän eron polttolaitos-skenaarion ja kiinteistökohtaisen keräyksen välillä.
- 10) Tinapitoisten metallipakkausten kierrätys vaatii niiden sekoittamista puhtaam-
paan, ei-tinapitoiseen metallimassaan, koska tina on liiallisina pitoisuuksina
metallin ominaisuuksia huonontava ja kierrätysmetalliin kertyvä haitta-aine.
- 11) Skenaarioiden välinen järjestys on sama kaikilla ympäristöindikaattoreilla.
Kiinteistökohtaisten skenaarioiden ero "polttolaitos" -skenaarioon pysyi lähes
kaikissa skenaarioissa melko samana.
- 12) Pienmetallien keräyksen tonnikohtaiset kustannukset nousevat aika korkeiksi,
jos keräys tehdään ilman lasia. Yksi vaihtoehto olisi kerätä pieniä sähkölaittei-
ta pienmetallien kanssa, koska pienet sähkölaitteet päätyvät joka tapauksessa
samaa käsittelylaitokseen kuin pienmetallit. Lainsäädännössä määritellyt
tuottajavastuukysymykset asettavat kuitenkin vaihtoehdolle haasteita.
- 13) Herkkyystarkastelussa osoittautui, että pelkästään metallipakkauksia kier-
rätettäessä nettoympäristöhyödyt pienenevät lähes puolella. Siten on tärkeää,
että kiinteistökohtaisessa keräyksessä kerätään myös muita pienmetalleja kuin
pelkästään metallipakkauksia, jotta saanto pysyy riittävän suurena.

Muista ympäristövaikutuksista on todettu, että vaikka ekotoksisia ympäristövai-
kutuksia ei ole työssä tarkasteltu, metallit hapettuvat polttoprosessissa aiheuttaen
raskasmetallipäästöjä, jotka nykyaikaisella jätteenpolttolaitoksella kertyvät ilmapääs-
töjen suodatinjätteisiin ja kuonaan.

Arvio tutkimuksen vahvuuksista ja heikkouksista sekä johtopäätösten relevanttiudesta

Tehty työ on valtavan laaja. Työssä on tarkasteltu neljää ympäristövaikutusta, käsitel-
ty kuutta eri skenaariota kolmella erilaisella lähtöarvoasetelmalla ja rinnalla sivuttu
lasipakkausten käsittelyä yhdessä metallipakkausten kanssa. Lisäksi on tarkasteltu
tulosten herkkyyttä merkittävien muuttujien muutoksille ja vertailevia tuloksia on
myös haettu kansainvälisestä kirjallisuudesta.

Lähtötiedot on kuvattu läpinäkyvästi, mutta työn lähtötietojen laajuus ja runsaus tekevät laskennan toistamisesta ja osin tulosten hahmottamisesta monimutkaista, vaikka välituloksia onkin esitelty. Vaikka kaikilta osin työ ei monimutkaisuutensa vuoksi ole toistettavissa, kaikista tehdyistä oletuksista tuntuisi löytyvän tarvittaessa sanallinen kuvaus. Merkittävimmät oletukset liittyvät oletettuihin metallien saantoihin erilaisilla velvoiterajajärjestelyillä. Tehdyt johtopäätökset tukevat työn raportoituja tuloksia.

2.6

Pääkaupunkiseudun keräyskartongin ympäristövaikutusten elinkaariarviointi

Tavoite

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää elinkaariarvioinnin avulla, kuinka pääkaupunkiseudun keräyskartonki tulisi hyödyntää ja millä laajuudella erilliskeräys järjestää, jotta kartonkikeräyksen ympäristövaikutukset olisivat mahdollisimman vähäiset (Kiviranta & Tanskanen 2009). Työ tehtiin opinnäytetyönä Helsingin yliopistolle HSY:n (tuolloin Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta, YTV) toimeksiäntona. Opinnäytetyö on julkaistu verkkojulkaisuna (Kiviranta 2009). Tässä referoituun julkaisuun on koottu opinnäytetyön keskeiset tulokset.

Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksessa on elinkaariarviointimenetelmän avulla tarkasteltu keräyskartongin kierrätyksen ja energiahyödyntämisen ympäristövaikutuksia erilaisilla aluekeräyksen ja kiinteistökohtaisen keräyksen yhdistelmillä. Tarkastelualueeksi rajattiin pääkaupunkiseudun kuntien, Helsingin, Espoon, Vantaan ja Kauniaisten muodostama alue. Tarkasteltavana oli neljä skenaariota (taulukko 7). Skenaariossa 0 kaikki keräyskartonki kerätään sekajätteen mukana kiinteistöiltä ja poltetaan pääkaupunkiseudulle Långmossebergeniin rakennettavassa jätevoimalassa. Skenaariossa 1 kiinteistökohtainen keräysvelvoite koskee vähintään 20 huoneiston kiinteistöjä, mikä oli tilanne tutkimuksen toteutuksen aikaan. Aluekeräyspisteiden määrä on 135. Keräyskartonki, jota ei ole lajiteltu syntypaikalla päätyy sekajätteen mukana polttoon. Skenaariossa 2 kiinteistökohtainen keräysvelvoite koskee vähintään 5 huoneiston kiinteistöjä, aluekeräyspisteitä on edelleen 135. Skenaariossa 3 kiinteistökohtainen erilliskeräysvelvoite koskee kaikkia kiinteistöjä, mutta aluekeräyspisteitä ei ole lainkaan. Sekajätteeseen päätyvän kartongin määrä vähenee, sillä kiinteistökohtaisella keräyksellä saadaan aluekeräykseen verrattuna asukasta kohti kerättyä enemmän kartonkia. Keräysastioiden tyhjennysväliä harvennettiin 1 viikosta 16 viikkoon 1-4 huoneiston kiinteistöjen osalta, koska kaikilla kiinteistöillä oletettiin olevan samankokoinen keräysastia (600-800 l astia, 1 astia/kiinteistö), joka täyttyy hitaammin pienemmissä kiinteistöissä.

Tutkimuksen toiminnallisena yksikkönä oli vuoden aikana pääkaupunkiseudun asukkailla syntyvä keräyskartongin määrä, 25 259 tonnia. Keräyskartongin vuosittaiset ominaiskertymät määritettiin v. 2009 tilanteen perusteella erikseen kiinteistökeräykselle (12,5 kg/as) ja aluekeräykselle (5,6 kg/as) ja näitä kertymiä käytettiin skenaarioiden mallinnuksessa. Sekajätteessä oli vuoden 2007 selvityksen perusteella keräyskartonkia 15,3 kg/as, joten keräyskartongin kokonaismääräksi asukasta kohti saatiin 26,1 kg/v.

Taulukko 7. Keräyskartongin hyödyntämisvaihtoehtojen järjestelmäoletukset ja vaihteittaiset khk-kuormitukset (Kiviranta & Tanskanen 2009).

	Sken 0: Polttolaitos	Sken 1. Nykytilanne >20 huon.	Sken 2. >5 huon.	Sken 3. erillis- keräys kaikilla
Aluekeräyksen laajuus	Aluek.: 0 pistettä	Aluek.: 135 pistettä	Aluek.: 135 pistettä	Aluek.: 0 pistettä
Kiinteistökohtaisen keräyksen piirissä asukkaista (%)	0	76	81	100
Keräyskartongin määrä (t)	Aluek.: 0 Kiinteistök.: 0 Sekaj.: 25 259	Aluek.: 1 276 Kiinteistök.: 9 229 Sekaj.: 14 754	Aluek.: 1 014 Kiinteistök.: 9 813 Sekaj.: 14 432	Aluek.: 0 Kiinteistök.: 12 702 Sekaj.: 13 187
Keräysaste (%)	Aluek.: 0 Kiinteistök.: 0 Sekaj.: 100	Aluek.: 5,1 Kiinteistök.: 36,5 Sekaj.: 58,4	Aluek.: 4 Kiinteistök.: 38,9 Sekaj.: 57,1	Aluek.: 0 Kiinteistök.: 47,8 Sekaj.: 52,2
Keräilyn ja tyhjennysajojen kuormitus, kg CO ₂ -ekv/t	Aluek.: - Kiinteistök.: - Sekaj.: 9,4	Aluek.: 44,8 Kiinteistök.: 38,9 Sekaj.: 9,4	Aluek.: 44,8 Kiinteistök.: 46,9 Sekaj.: 9,4	Aluek.: - Kiinteistök.: 49,9 Sekaj.: 9,4
Käsittely	Poltto jätteen-poltto- laitoksessa	Erillisk.: Hylsy- kartonkiuusiomassan valmistus Sekaj.: poltto jätteenpolttolai- toksessa	Erillisk.: Hylsykar- tonkiuusiomassan valmistus Sekaj.: poltto jät- teenpolttolaitoksessa	Erillisk.: Hylsykar- tonkiuusiomassan valmistus Sekaj.: poltto jätteenpolttolai- toksessa
Käsittelyprosessien käyttämä sähkö-energia kWh/t (GWh/v)	Tietopankkien tietoja	Tietopankkien tietoja	Tietopankkien tietoja	Tietopankkien tietoja
Hyödyntämisen kuormitus, kg CO ₂ -ekv/t	Poltto: 300	Poltto: 300 Materiaalih.: 127	Poltto: 300 Materiaalih.: 127	Poltto: 300 Materiaalih.: 127
Vältetty tuotanto, säästö, kg CO ₂ -ekv/t	Sähkö: -211 Lämpö: -628	Sähkö: -211 Lämpö: -628 Neits. massa; -557	Sähkö: -211 Lämpö: -628 Neits. massa; -557	Sähkö: -211 Lämpö: -628 Neits. massa; -557
Nettotase, kg CO ₂ -ekv/t	-530	-472	-468	-459

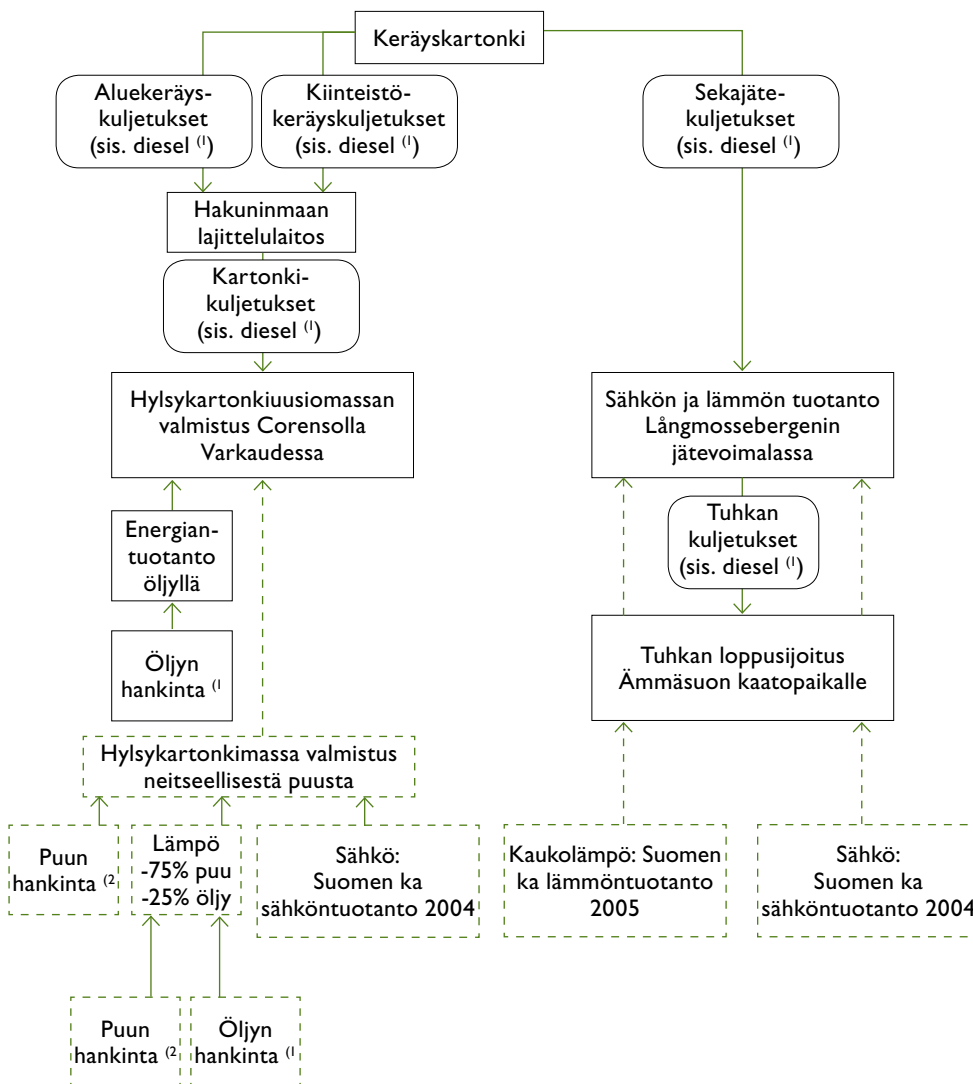
Tarkasteltu tuotejärjestelmä (kuva 11) alkaa keräyskartongin päätyemisestä sekajätteeneseen, erilliskeräykseen aluekeräyspisteessä tai kiinteistön keräyspisteessä. Tuotejärjestelmä sisältää keräyskartongin erillis- ja sekajättekuljetukset sekä hyödyntämisvaihtoehdot. Energiahyödyntämisessä keräyskartonki poltetaan sekajätteen seassa jätevoimalassa, jonka tuottama lämpö ja sähkö hyödynnetään. Energiahyödyntämisen tuotejärjestelmä päättyy poltossa syntyneen tuhkan kuljetukseen Ämmäsuon kaatopaikalle. Materiaalihyödyntämisessä keräyskartonki kuljetetaan Varkauten Corenson tehtaalle, jossa siitä valmistetaan uusiomassaa hylsykartongin raaka-aineeksi. Materiaalihyödyntämisen tuotejärjestelmä päättyy uusiomassan valmistukseen, sillä hylsykartongin valmistus uusiomassasta ja neitseellisestä massasta oletetaan samanlaisiksi prosesseiksi. Keräyskartongin tuotejärjestelmä saa hyvityksiä kierrätyskuidun korvauksena neitseellistä kuitua hylsykartonkimassan valmistuksessa ja kartongin poltosta syntyneen energian korvauksena Suomen keskimääräistä sähkön- ja lämmöntuotantoa.

Aluekeräyksen kuljetuskuormitukset (km ja polttoainekulutus) määritettiin erikseen syväkeräys- ja pintakeräysastioille. Kiinteistökohtaisen kartonkeräyksen päästöt laskettiin todellisessa tyhjennysajossa kulutetun polttoaineen perusteella ja tonnikohtainen polttoaineen kulutus vaihteli skenaarioissa 1-3 välillä 13,8-17,7 l/t keräyskartonkia. Sekajätteenä kuljetettavalle keräyskartongille allokoitiin sekajättekuljetus-

päästöt suoraan keräyskartongin painon mukaan, sillä oletettiin, että kuormat ajetaan täysin tyhjennyspaikkaan ja kartongin kuljetus sekajätteenä vastaa keskimääräisen sekajätteen synnyttämää kuljetustarvetta. Sekajätteen keräilyajojen keskimääräinen polttoaineen kulutus oli 1,61 l/t.

Keräyskartongin ympäristövaikutuksia tarkasteltiin kolmessa vaikutusluokassa, joista oli saatavilla luotettavimmin tietoa. Luokat olivat ilmastonmuutos, maaperän rehevöityminen sekä hiukkaset. Karakterisoinnissa käytettiin SYKEN ENVIMAT-mallin kertoimia (ENVIMAT 2008, Seppälä ym. 2009).

Tutkimuksessa tehtiin kolmenlaisia herkkyystarkasteluja, joissa muuttujina olivat poltettavan jätteen lämpöarvo (11 ja 15 MJ/kg) ja päästökertoimet (31,8 g CO₂/MJ ja 17 g CO₂/MJ) sekä jätevoimalassa syntyvän lämmön hyödyntämisaste (100 % , 50 % ja 25 %). Näiden lisäksi tarkasteltiin kierrätyksellä säästettävän puun vaihtoehtoista käyttöä. Tarkastelussa oletettiin, että säästynyt puu käytetään energiantuotannossa, sillä paineet puun käytön lisäämiselle energiasektorilla ovat ilmastonmuutoskeskustelun myötä kasvaneet. Puulla tuotetun energian oletettiin korvaavan turvetta, sillä puuta poltetaan usein voimalaitoksissa turpeen kanssa.



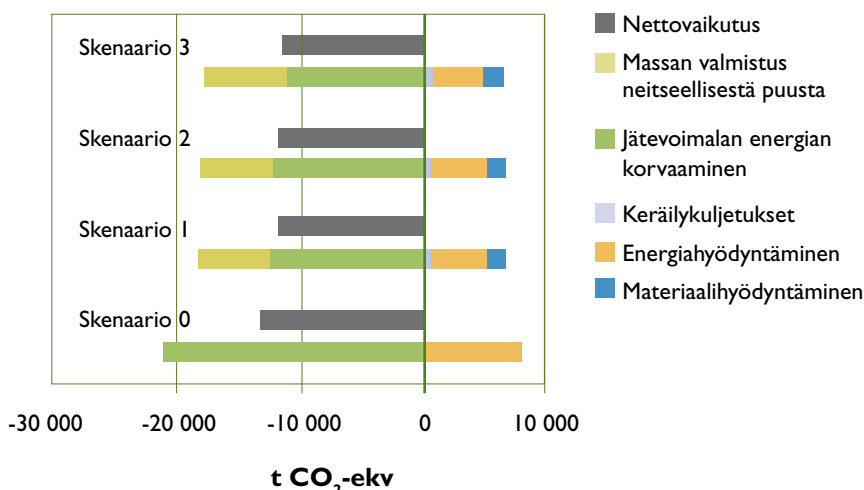
⁽¹⁾ sisältää raakaöljyn tuotannon, kuljetukset ja jalostuksen sekä kuljetukset loppukäyttäjille.

⁽²⁾ sisältää materiaalit ja energian, joka tarvitaan metsän perustukseen, hoitoon, hakkuisiin sekä metsäautoteiden ylläpitoon ja puun kuljetuksiin metsässä ja tehtaalle.

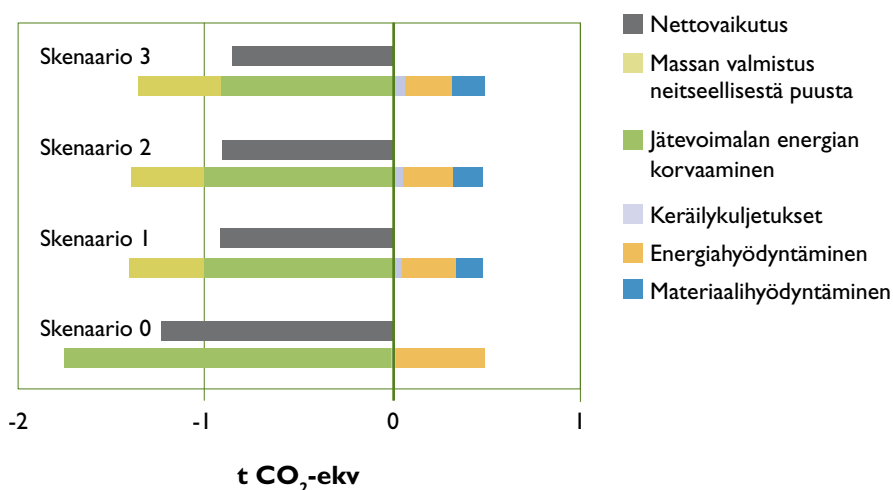
Kuva 11. Keräyskartongin tuotejärjestelmän rajaukset. Katkoviivalla ympyröidyt laatikot kuvaavat hyvitysprosesseja (Kiviranta & Tanskanen 2009).

Tulokset ja niiden pohjalta tehdyt johtopäätökset

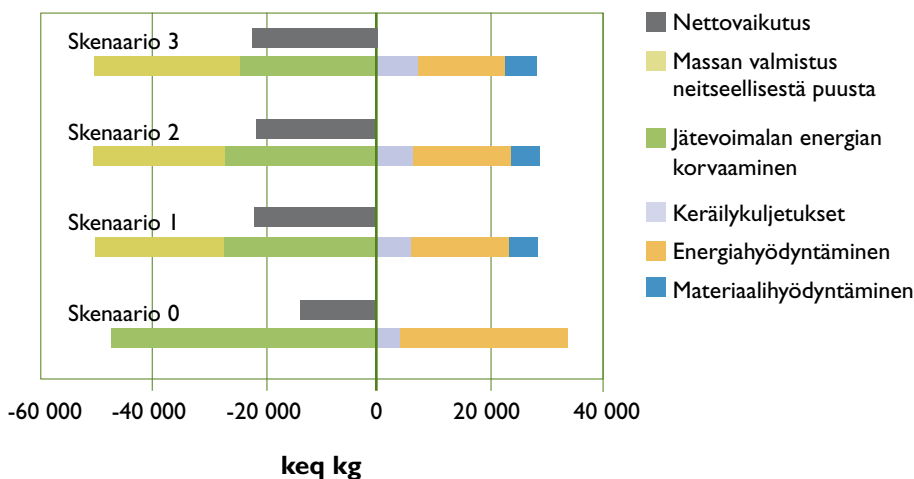
Skenaarioiden vertailussa todetaan, että ilmastonmuutosvaikutusluokassa "jätteenpoltto"-skenaario tuotti eniten ympäristöhyötyjä (kuva 12). "Jätteenpoltto"-skenaario erosi kuitenkin vain 12-16 prosenttiyksikköä kierrätyskkenaarioista 1-3. Hiukkasvaikutusluokassa tulokset olivat samansuuntaiset (kuva 13). "Jätteenpoltto" ja "erilliskeräys kaikilla" -skenaarioiden välillä eroa oli 44 prosenttiyksikköä. Maaperän rehevöitymisen kannalta kierrätyskkenaariot 1-3 olivat merkittävästi jätteenpolttoskenaariota parempia (kuva 14). Myös "jätteenpoltto"-skenaarion ja kierrätyskkenaarioiden 1-3 väliset erot (noin 60 %) olivat suuremmat kuin ilmastonmuutosvaikutusluokassa.



Kuva 12. Kartonkikeräyksen ilmastonmuutosvaikutus (Kiviranta & Tanskanen 2009).

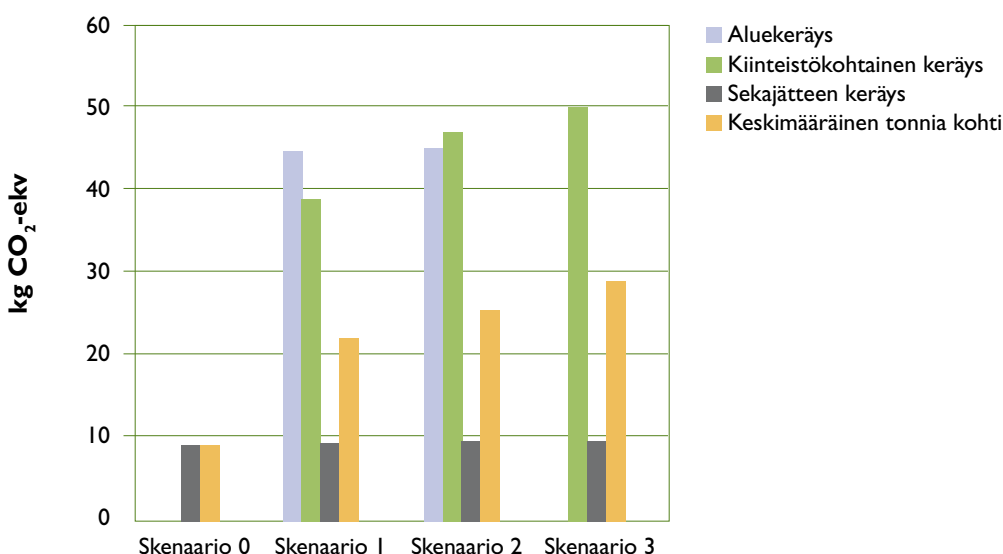


Kuva 13. Kartonkikeräyksen hiukkasvaikutukset (Kiviranta & Tanskanen 2009).



Kuva 14. Kartonkikeräyksen maaperän rehevöitymisvaikutukset (Kiviranta & Tanskanen 2009).

Kaikissa vaikutusluokissa kuljetusten ympäristövaikutukset kartonkitonnia kohti olivat "jätteenpolttu"-skenaariossa selvästi pienimmät, sillä tyhjennysajot suoritettiin yhdellä sekajätteen keräysajolla kolmen keräilyjärjestelmän sijaan (kuva 15). Kierrätyskäsittelyiden osalta "nykytilanne"-skenaario tuotti vähiten päästöjä ja "erilliske-räys kaikilla"-skenaario eniten.



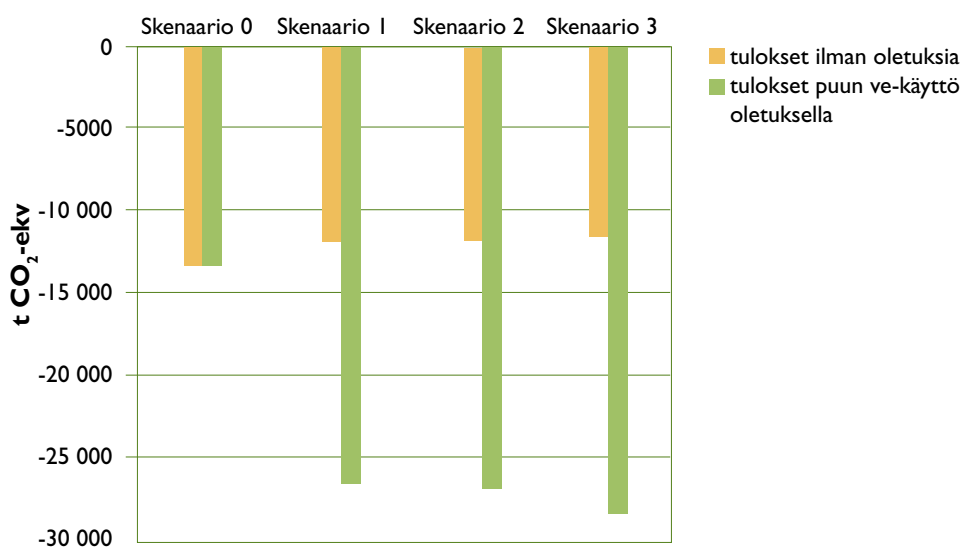
Kuva 15. Keräily- ja tyhjennysajojen ilmastomuutosvaikutukset kartonkitonnia kohti.

Herkkyystarkasteluiden tuloksena todettiin, että lämpöarvolla ja päästökertoimella oli kohtalaisen suuri vaikutus ilmastomuutosvaikutuksiin, mutta valinnat eivät vaikuttaneet skenaarioiden keskinäiseen järjestykseen: lämpöarvoa 15 ja päästökero-rinta 17 käytettäessä saatiin kaikissa skenaarioissa suurimmat ja lämpöarvoa 11 ja päästökero-rinta 31,8 käytettäessä pienimmät säästöt.

Jätevoimalassa syntyvän lämmön hyödyntämistäasteen heikkeneminen pienensi ilmastomuutokseen ja maaperän rehevöitymisen osalta merkittävästi järjestelmän saamia hyvityksiä. Mikäli lämpöenergiasta hyödynnetään vain puolet tai vähem-

män, muuttuu "jätteenpoltto"-skenaario vähiten ympäristöhyötyjä tuottavaksi ja "erilliskeräys kaikilla" -skenaario eniten. Kaikissa skenaarioissa jätevoimalan 25 % lämmön hyödyntämistä tuotti kuitenkin ympäristöhyötyjä. Hiukkasvaikutusluokan tulokset olivat samansuuntaiset ilmastonmuutoksen kanssa. Maaperän rehevöitymisluokassa "jätteenpoltto"-skenaario tuotti ympäristöhyötyjä 100 %:n lämmön hyödyntämistäasteella mutta pienemmällä hyödyntämistäasteella vaikutukset muuttuivat ympäristöhaitoiksi. Kierrätys-skenaarioissa 1-3 pienemmät hyödyntämistäasteet tuottivat ympäristöhyötyjä.

Jos oletettiin, että keräyskartongin kierrätyksellä säästynyt neitseellinen puu päätyy energiakäyttöön korvaamaan turvetta, muuttuivat ilmastonvaikutusluokan tulokset merkittävästi (kuva 16).



Kuva 16. Puun vaihtoehtoisen käytön vaikutus ilmastonmuutosvaikutuksiin.

Tulosten luotettavuuden arvioinnissa nostettiin esille seuraavat asiat:

- Kuljetuspäästöjä laskettaessa käytettiin kulutuskeskiarvoja, astioiden keskimääräisiä painoja ja oletuksia ajomatkoista. Mahdollisten virheoletusten ei kuitenkaan oletettu vaikuttavan merkittävästi lopputuloksiin
- Kartongin energiahyödyntämisen päästöjen suurimmat epävarmuustekijät liittyivät lämpöarvon ja CO₂ -päästökertoimen valintaan. Kartongin kierrätyksen energiankäytöstä ja muovin kaasutuksessa syntyvästä energiasta ei saatu kattavia tietoja. Mikäli tiedot olisivat saatavilla, saattaisivat kierrätyksen päästöt laskea ja kierrätys-skenaarioiden tuottamat ympäristöhyödyt kasvaa "jätteenpoltto"-skenaarioon verrattuna.
- Jätevoimalan energian korvaamiseen liittyvistä epävarmuuksista suurimpana yksittäisenä tekijänä vaikuttivat kartongin polton saamat hyvitykset korvattaessa Suomen keskimääräistä energiantuotantoa. Pidemmällä aikavälillä fossiilisten polttoaineiden käyttö todennäköisesti vähenee ja polton saamat hyvitykset pienenevät. Tällöin polton asema kierrätykseen verrattuna heikkenisi.
- Neitseellisestä puusta valmistettavan massan valmistuksen päästötietoina käytettiin esimerkkitehtaan päästöjä. Mikäli massanvalmistusprosessin energiankulutustiedot olisi saatu oikeasta massasta ilman valkaisua, prosessin energiankulutus olisi ollut alhaisempi. Tämän seurauksena kierrätys-skenaariot 1–3 olisivat saaneet pienemmät hyvitykset ja niiden asema "jätteenpoltto"-skenaarioon nähden olisi huonontunut.

Johtopäätökset

Johtopäätöksinä todettiin, että

- 1) jätteenpolttoskenaario oli ilmastonmuutos- ja hiukkasvaikutuksiltaan kierrätyskenaarioita parempi vaihtoehto, kun taas maaperän rehevöitymisen osalta tulokset olivat päinvastaiset. Erot skenaarioiden välillä olivat kuitenkin pieniä ja kaikki skenaariot tuottivat ympäristöhyötyjä.
- 2) tutkimuksen perusteella ei voida yksiselitteisesti puoltaa jätehierarkiasta poikkeamista
- 3) mikäli kartonkitekollisuus vähenee Suomessa eikä se enää tarvitse kierrätyskartonkia, nousee poltto varteenotettavaksi vaihtoehdoksi
- 4) tarkasteluun valituilla menetelmillä ja tehdyillä oletuksilla oli kohtalaisen merkittävä vaikutus tuloksiin. Erilliskerätylle kartongille olisi hyödyntämismavaihtoehtoina voitu tarkastella myös rinnakkaispolttoa tai biodieselin valmistusta. Lisäksi asukaskohtaisen keräyskartongin kertymää olisi voitu kasvattaa nykytilanteeseen nähden.
- 5) keräyskartongin hyödyntämistä koskevaan päätöksentekoon liittyy arvovalintoja ja lopulliset johtopäätökset skenaarioiden paremmuudesta riippuvat siitä mitä ympäristövaikutuksia painotetaan.
- 6) jotta elinkaariarviointia voitaisiin käyttää perustellusti päätöksenteon apuna, tulisi kaikki ympäristövaikutukset ja niiden lisäksi taloudelliset ja sosiaaliset vaikutukset tutkia. Toisaalta tulevaisuutta koskevia päätöksiä ei koskaan voida perustaa varmaan tietoon, vaan tuloksia joudutaan käyttämään suuntaa antavina.

Arvio tutkimuksen vahvuuksista ja heikkouksista sekä johtopäätösten relevanttiudesta

Työn objektiivinen kriittinen arviointi tässä raportissa ei ole mahdollista, koska Suomen ympäristökeskus on osallistunut työn ohjaukseen. Joitakin näkökulmia nostetaan seuraavassa esiin.

Työ on selkeästi raportoitu ja laskelmat ja tehdyt oletukset ovat hyvin esitetyt ja perustellut. Herkkyystarkastelu kattaa kuitupohjaisen jätteen tarkasteluiden osalta merkittävimmät muuttujat ja tuloksia on vertailtu myös muihin julkaistuihin kuitupohjaisten jätteiden elinkaariarviointeihin. Ympäristövaikutuksia on tarkasteltu kolmen vaikutusluokan osalta. Kuitupohjaisten materiaalien osalta esim. biodiversiteettivaikutukset ovat tärkeä vaikutusluokka, mutta sen arvioinnista elinkaarimetodologialla ei tiedeyhteisössä toistaiseksi ole yhteisymmärrystä. Tehdyt johtopäätökset tukevat työn raportoituja tuloksia. Johtopäätöksissä nostetaan selkeästi esiin työhön liittyvien epävarmuuksien, oletusten ja puuttuvien tietojen mahdolliset vaikutukset tuloksiin.

Jätteiden kierrätyksen ja polton ympäristövaikutusten ja kustannusten vertailu erilaisissa alueellisissa olosuhteissa

Tavoite

Työn tavoitteena on tuottaa polttokelpoisten jätteiden erilaisista hyödyntämistavoista vertailukelpoista ympäristö- ja kustannustietoa alueellisen jätesuunnittelun ja päätöksenteon tueksi (Myllymaa ym. 2008). Työ on tehty Suomen ympäristökeskuksessa ympäristöministeriön rahoituksella, ja muina tutkimusosapuolina ovat toimineet Helsingin yliopisto, TKK (nykyisin Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu), Åbo Akademi ja Tampereen teknillinen yliopisto.

Aineisto ja menetelmät

Tutkimuksessa on vertailtu elinkaariarviointimenetelmän avulla jätehuoltoketjujen ja alueellisten järjestelmien päästöjä. Ympäristövaikutusten rinnalla on tutkittu yhteiskunnalle aiheutuvia elinkaarisia kustannuksia. Toiminnallisena yksikkönä, eli määränä, jota kohti tulokset on ilmoitettu, on jätelajikohtaisissa tarkasteluissa käytetty yhtä tuotettua jätelajitonta. Alla olevissa tuloksissa on raportoitu vain jätelajikohtaisia tuloksia, ei alueellisten analyysien tuloksia.

Tarkastelu on rajattu pääasiassa yhdyskuntajäteluokkaan kuuluviin polttokelpoihin jätelajeihin, eli biohajoaviin jätteisiin ja muoveihin, sekä yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilla muodostuviin lietteisiin. Työssä on mallinnettu jokaiselle jätelajille useita hyödyntämis- ja käsittelyketjuja.

Tutkimusmenetelmänä on käytetty elinkaariarviointia. Ilmastonmuutosvaikutukset on nostettu keskeisimmäksi tarkasteltavaksi ympäristövaikutusluokaksi, mutta lisäksi tuloksia on esitelty seuraavissa muissa vaikutusluokissa: hiukkaset, myrkyllisyys ihmiselle, ekotoksisuus maaperässä, ekotoksisuus vesistöissä, otsonin terveysvaikutukset, kasvillisuuden otsonivauriot, maaperän rehevöityminen, vesien rehevöityminen ja ympäristön happamoituminen.

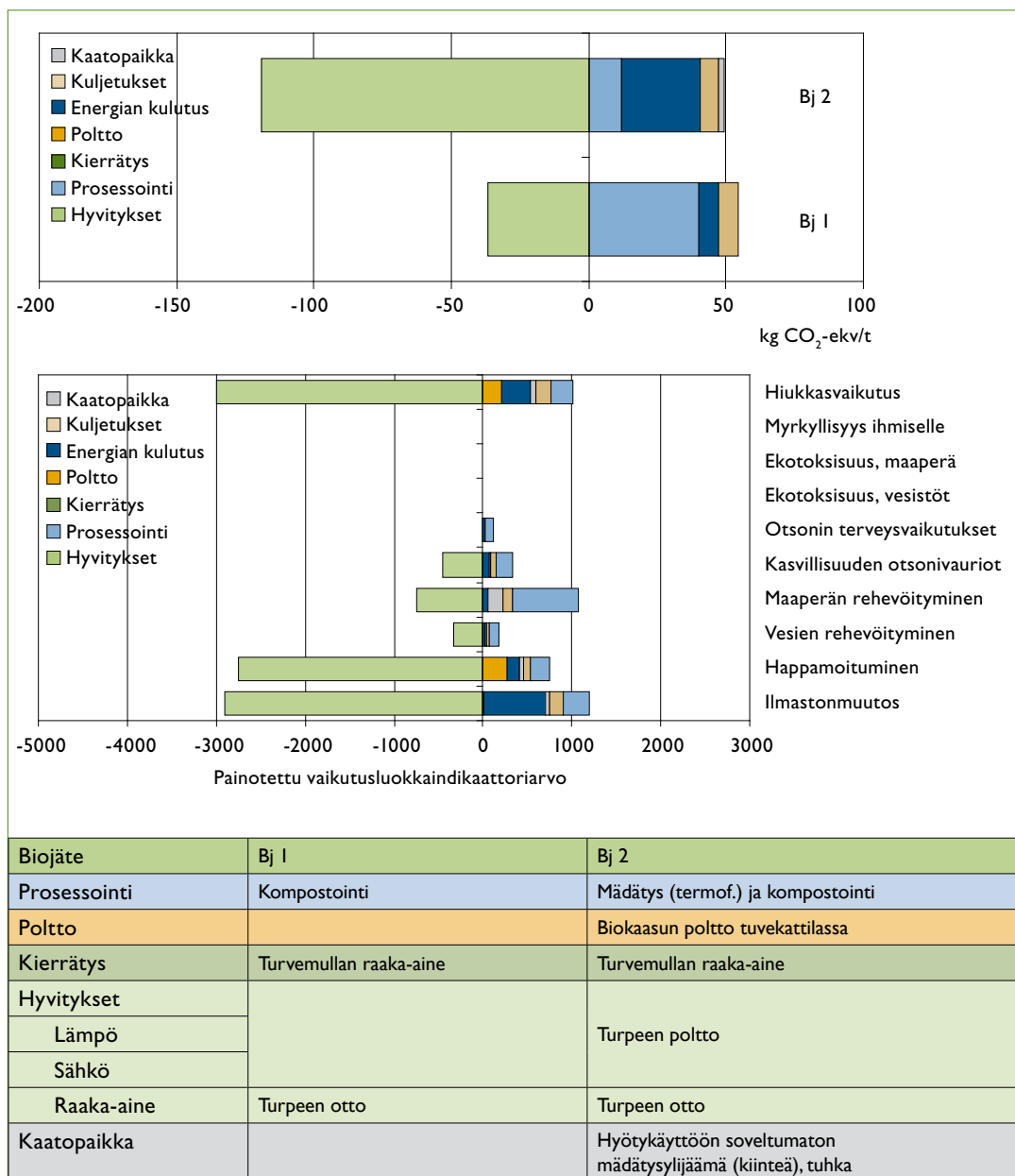
Jätelajeille laaditut järjestelmät ja niihin valitut käsittely- ja hyödyntämisratkaisut pohjautuvat olemassa oleviin laitoksiin ja/tai suunnitelmiin.

Tulokset ja niiden pohjalta tehdyt johtopäätökset

Biojätteen ja jätevesilietteen jätehuollon mallinnuksen tulokset on esitetty kuvissa 17 ja 18.

Tutkimuksen tuloksina todetaan:

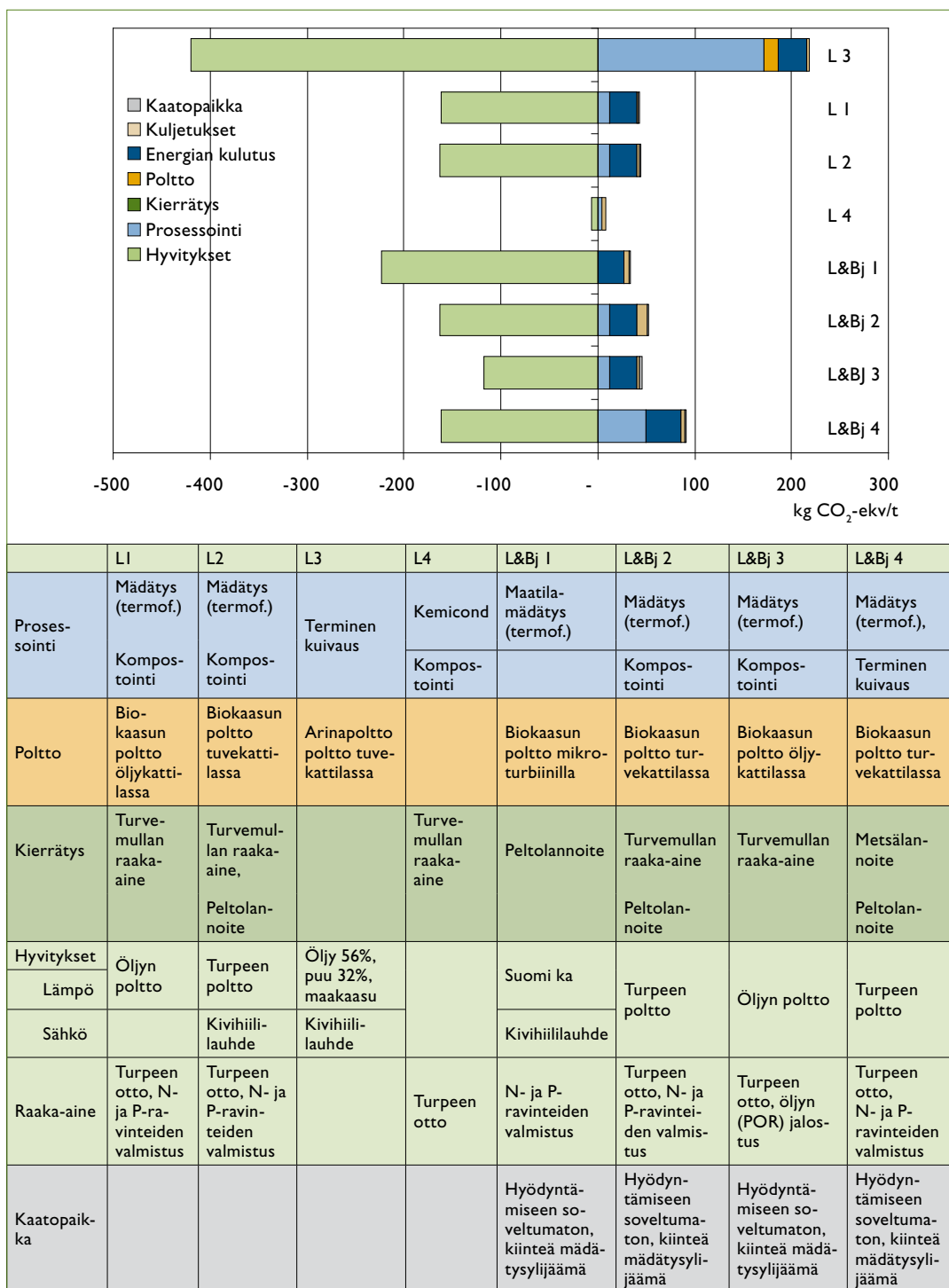
- 1) Biojätteen kompostoinnin suurimmaksi potentiaalisesti ympäristövaikutukseksi osoittautui ammoniakkipäästöjen aiheuttama maaperän rehevöityminen. Ammoniakilla on myös jonkin verran hiukkasmaikutuksia ja happamoitumista lisääviä ominaisuuksia.
- 2) Lisäksi kompostoinnin metaanipäästöt lisäävät potentiaalisia ilmastonmuutosvaikutuksia.



Kuva 17. Biojätteen käsittelyn ja hyödyntämisen kasviuonekaasupäästöt ja vältetyt päästöt yhtä biojätetonna kohti laskettuna (yläkuva). Merkittävimmät ympäristövaikutukset vaihtoehdosta Bj 2 (alakuva). (Myllymaa ym. 2008).

- 3) Jos biojätteestä saatavalla kompostituotteella korvataan turpeen käyttöä viher-rakentamismullan raaka-aineena, saadaan kasviuonekaasupäästöihin myös säästöjä, mutta ilmastovaikutus jää joka tapauksessa kuormittavalle puolelle.
- 4) Mädätyksen ja kompostoinnin yhdistelmän aiheuttamista potentiaalisista vaikutuksista keskeisimmät olivat ilmastonmuutos ja maaperän rehevöityminen: kompostointia edeltävä mädätys pienentää ammoniakkipäästöjä, mutta mädätyksen energian kulutus vastaavasti lisää hiilidioksidipäästöjä.
- 5) Jos mädätyksellä tuotetun biokaasun voidaan olettaa korvaavan fossiilisia polttoaineita, saadaan vältettyä ilmastonmuutosta aiheuttavia päästöjä enemmän kuin niitä tuotetaan.
- 6) Mädätyksen käyttämän energian tuotannon rikin ja typen oksidit voivat aiheuttaa hiukkasvaikutuksia, mutta mädätyskaasun polttaminen turpeen sijaan tuottaa säästöjä, jotka ovat päästöjä suuremmat.

- 7) Kuljetusten osuus elinkaaren aikaisista kasvihuonekaasupäästöistä oli noin 15 %, josta noudon osuus noin kaksi kolmannesta.
- 8) Mädätys osoittautui kompostointia järkevämmäksi biojätteen käsittelytavaksi, koska prosessin lopputuotteena saadaan hyödynnettäväksi sekä edelleen materiaalina hyötykäyttävää mädätettä että energiantuotantoon soveltuvaa biokaasua.
- 9) Elinkaaren aikainen yhteiskunnallinen nettokustannusvaikutus oli mädätyksen ja kompostoinnin yhdistelmällä (Bj 2) noin 25 % pienempi kuin koko biojättemassan kompostoinnilla (Bj 1). Tulos perustuu eroihin yksityistaloudellisissa laitoskustannuksissa



Kuva 18. Jätevesilietteen ja yhdistetyn biojäte- ja jätevesilietefraktion käsittelyn ja hyödyntämisen kasvihuonekaasupäästöt ja vältetyt päästöt yhtä jätetonna kohti laskettuna (Myllymaa ym. 2008).

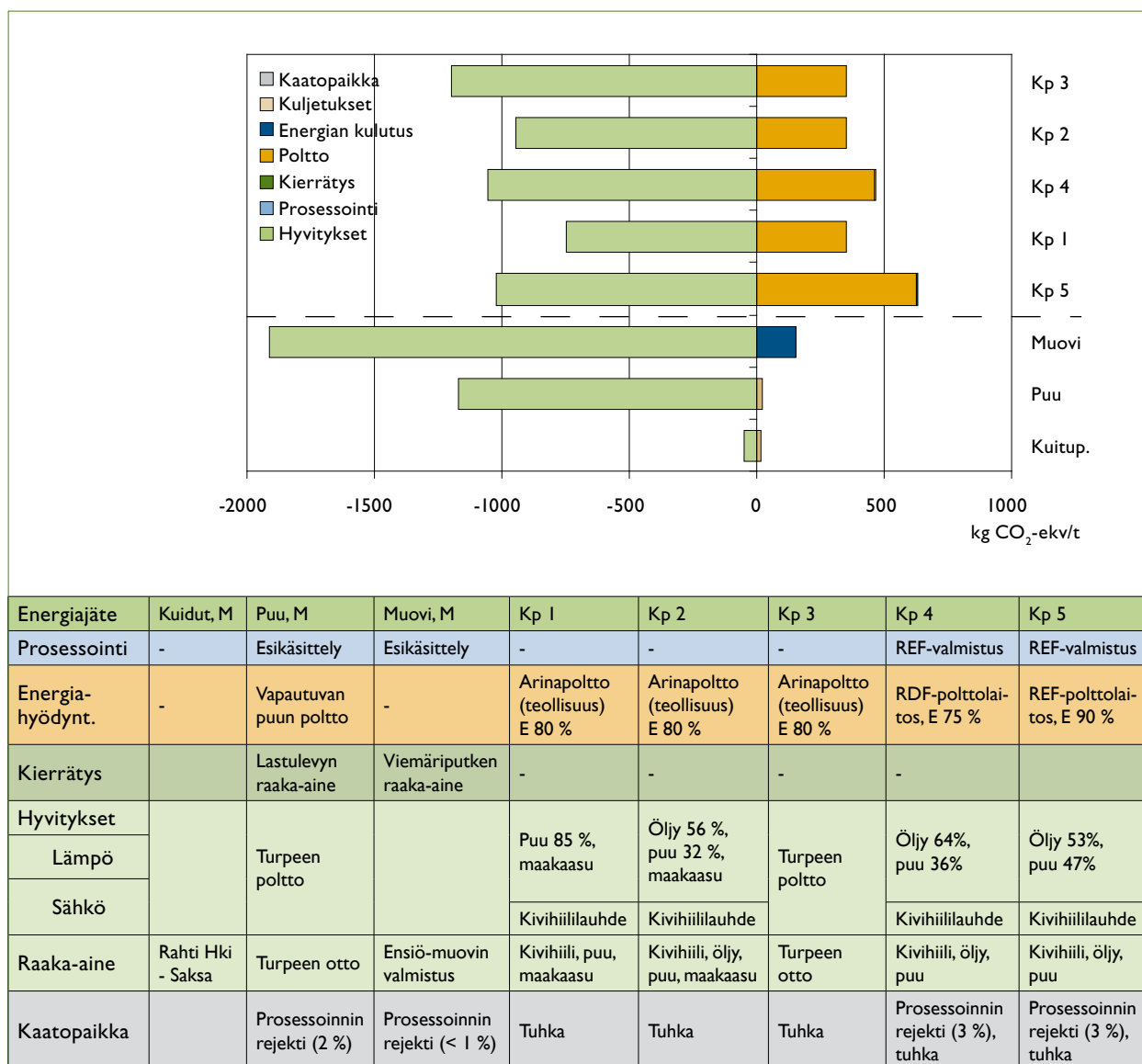
Tutkimuksen tuloksina todetaan:

- 1) Jätevesilietteen käsittelyn suurin potentiaalinen ympäristövaikutus kaikissa tutkituissa hyödyntämisvaihtoehdoissa oli kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttama ilmaston lämpeneminen
- 2) Vältetyt vaikutukset mukaan luettuna ilmastovaikutus jäi kuitenkin hyvitysten puolelle.
- 3) Muita, mutta vähemmän merkityksellisiä potentiaalisia vaikutuksia olivat hiukkasvaikutukset, maaperän rehevöityminen ja happamoituminen, joiden aiheuttajia ovat kompostoinnin ammoniakkipäästöt ja energian käytön ja polton rikin ja typen oksidit.
- 4) Vaihtoehtojen tuottamia hiilidioksidipäästöjä hallitsivat termisen kuivauksen, mädätyksen ja kompostoinnin lämmön ja sähkön tarve. Prosessisähkön lisäksi terminen kuivaus käyttää öljyä, mikä lisäsi vaihtoehdon kuormitusta.
- 5) Paras nettotulos ilmastonmuutosta aiheuttavien päästöjen kannalta saatiin kuivattaessa liete termisesti ja poltettaessa se arinakattilassa, jonka tuottama energia korvaa fossiilisia polttoaineita - öljyä, maakaasua ja kivihiiltä.
- 6) Termisen kuivauksen kanssa yhtä hyvään eli parhaaseen nettotulokseen pääsi vaihtoehto, jossa biojätteet ja lietteet mädätetään maatilakokoluokan yhteislaitoksessa, jossa metaanista tuotetaan mikroturbiinin avulla sähköä ja lämpöä.
- 7) Nettoenergian kannalta arinapolto ja mädätyksellä päästiin samaan lopputulokseen, mutta koska vältetyt päästöt ratkeavat tuotetun energian ja vältettyjen päästöjen perusteella, terminen kuivaus yhdistettynä arinapoltoon sijoittui mädätystä paremmin. Erilaisiin ympäristöihin sijoitetuilla laitosratkaisuilla on erilaiset mahdollisuudet korvata polttoaineita.
- 8) Jätevesilietteen kemiallisen käsittelyn ja kompostoinnin yhdistelmä (L 4) oli suoraa kaatopaikkasijoitusta parempi käsittelyvaihtoehto, mutta termiseen kuivaukseen ja mädätykseen tai maatilamädätykseen verrattuna edut jäivät vähäisiksi ja nettotasekin jonkin verran tuotettujen päästöjen puolelle.
- 9) Lietteiden kuljetusten kasvihuonekaasupäästöt olivat vain muutamia prosentteja kokonaispäästöistä
- 10) Teollisten lannoitteiden välttämällä oli noin 10 % merkitys ketjuissa.
- 11) Kompostoidun tai mädätetyn ja kompostoidun materiaalin käyttö viherrakentamismullan raaka-aineena turpeen sijaan antoi suuruusluokaltaan ravinnehyvityksiä vastaavan hyödyn, kun vältettiin turpeen oton päästöt.
- 12) Kasvihuonekaasupäästöjen kannalta merkittävimmät oletukset liittyvät vältettyihin polttoaineisiin sekä oletuksiin tuotetun energian tarpeesta ja hyötysuhteista.
- 13) Lietteen kemiallinen käsittely ja kompostointi tuottivat pienimmän ympäristökuormituksen, mutta myös menetelmän saamat hyödyt olivat vaihtoehdoista vähäisimmät.
- 14) Kaikki lietteiden käsittelymenetelmät synnyttivät yhteiskunnalle enemmän kustannuksia kuin säästöjä.
- 15) Kalleimmat järjestelmistä olivat termistä kuivausta ja arinapoltoa (L3 ja L&Bj 4) ja kemiallista käsittelyä ja kompostointia (L 4) käyttävät menetelmät.
- 16) Kemiallisen hygienisoinnin kustannusvaikutus on suhteellisen alhainen ja tarkasteltu vaihtoehto voisi olla lähes puolet halvempi, jos liete kompostoitaisiin pelkistetyimmillä menetelmillä.
- 17) Lietteen termisen kuivauksen kustannukset perustuvat menetelmän käyttämän polttoaineen, öljyn kalleuteen.
- 18) Lannoitehyvityksen osuus kaikista vältetyistä kustannuksista oli vain 20–30 %:n luokkaa

- 19) Jos ravinteita halutaan palauttaa maaperään, olisi se parempi tehdä peltoon kuin metsään, jos tuotteistaminen metsälannoitteeksi edellyttää termistä kuivausta, eikä käytettävissä ole hukkalämpöä tai muita polttoaineilla kuin öljy.
- 20) Saavutettavien kustannussäästöjen kannalta tärkeintä on se, mitä polttoainetta voidaan olettaa korvattavan.

Kuitupakkaukset, puu ja muovi

Kuitupakkausten, puun ja muovin jätehuollon mallinnuksen tulokset on esitetty kuvassa 19.



Energiajäte	Kuidut, M	Puu, M	Muovi, M	Kp 1	Kp 2	Kp 3	Kp 4	Kp 5
Prosessointi	-	Esikäsittely	Esikäsittely	-	-	-	REF-valmistus	REF-valmistus
Energiahyödynt.	-	Vapautuvan puun poltto	-	Arinapoltto (teollisuus) E 80 %	Arinapoltto (teollisuus) E 80 %	Arinapoltto (teollisuus) E 80 %	RDF-polttolaitos, E 75 %	REF-polttolaitos, E 90 %
Kierrätys		Lastulevyn raaka-aine	Viemäriputken raaka-aine	-	-	-	-	
Hyvitykset								
Lämpö		Turpeen poltto		Puu 85 %, maakaasu	Öljy 56 %, puu 32 %, maakaasu	Turpeen poltto	Öljy 64%, puu 36%	Öljy 53%, puu 47%
Sähkö				Kivihiililauhde	Kivihiililauhde		Kivihiililauhde	Kivihiililauhde
Raaka-aine	Rahti Hki - Saksa	Turpeen otto	Ensiö-muovin valmistus	Kivihiili, puu, maakaasu	Kivihiili, öljy, puu, maakaasu	Turpeen otto	Kivihiili, öljy, puu	Kivihiili, öljy, puu
Kaatopaikka		Prosessoinnin rejekti (2 %)	Prosessoinnin rejekti (< 1 %)	Tuhka	Tuhka	Tuhka	Prosessoinnin rejekti (3 %), tuhka	Prosessoinnin rejekti (3 %), tuhka

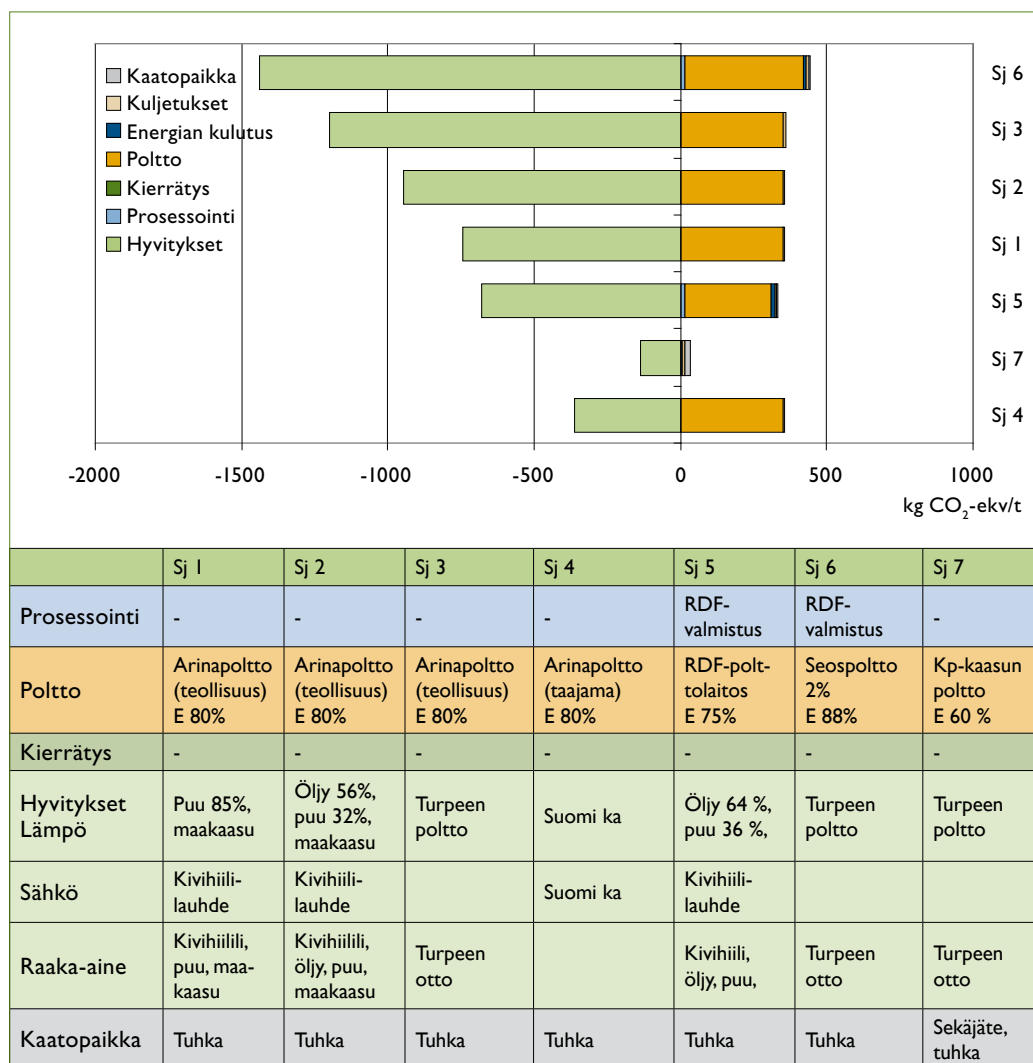
Kuva 19. Puun, kuitujen ja muovin yhdistetyt ja erilliset käsittelyn ja hyödyntämisen kasvihuonekaasupäästöt ja vältetyt päästöt yhtä jätetonnaa kohti laskettuna (Myllymaa ym. 2008).

Tutkimuksen tuloksina todetaan:

- 1) Hyvälaatuisina ja puhtaina jakeina talteen saaduille kuitupakkauksille, puulle ja muoville on löydettävissä toteuttamiskelpoiset hyötykäyttövaihtoehdot sekä materiaalina että energiana.
- 2) Kuitupakkausten, puun ja muovin polton merkittävin potentiaalinen ympäristövaikutus on hiilidioksidipäästöjen aiheuttama ilmastonmuutos, vastaavasti kuin sekajätteen poltolla.
- 3) Kaikissa polttoon perustuvissa hyödyntämisketjuissa ilmastonmuutosvaikutus oli kuitenkin vältettyjen päästöjen ansiosta hyvitysten puolella, eli järjestelmät säästivät päästöjä enemmän kuin tuottivat
- 4) Muovin kohdalla polttoa suuremmat jätetonnikohtaiset säästöt hiilidioksidiekvivalentteina saatiin muovin kierrätyksellä, koska ensiömuovin valmistus öljystä ja maakaasusta vaatii paljon energiaa.
- 5) Puun kohdalla jätteenpolttolaitoksessa polttamista suuremmat kasvihuonekaasuhyvitykset saatiin, jos puu toimitetaan lastulevyn valmistukseen, jolloin toisaalla vapautuu puuta poltettavaksi turpeen sijaan.
- 6) Kuitupakkausten polttaminen tuotti järjestelmätasolla nettona kierrätysvaihtoehtoa vähemmän kasvihuonekaasuja, koska kierrätys hylsykartongin valmistukseen ei oikeuttanut kovin merkittäviin päästöhyötyihin. Kierrätyksen ei voitu olettaa korvaavan neitseellisten kuitujen käyttöä, koska ei olisi todennäköistä, että hylsykartonkia ryhdyttäisiin nykyisin valmistamaan neitseellisestä kuidusta. Todennäköisin järjestelmissä tapahtuva muutos olisi hylsykartongin valmistamiseen tarvittavan kuitujätteen tuonnin väheneminen Saksasta, joten vältetyt päästöt laskettiin laivarahdin vähenemisestä.
- 7) Polttovaihtoehdoista kasvihuonekaasupäästöjä säästyi eniten, kun jätteet poltettiin teollisuuslaitoksen yhteyteen perustetussa arinalaitoksessa ja tuotetulla energialla korvataan turpeen käyttöä (Kp 3).
- 8) Ratkaisevat oletukset tulosten kannalta ovat, mitä polttoaineita jätteiden poltolla korvataan ja miten suurelle osuudelle jätteen polton tuottamasta energiasta todellisuudessa on tarvetta.
- 9) Polttoaineista suurimmat hyödyt saa korvaamalla kivihuililauhdesähköä, turvetta ja öljyä.
- 10) Muovin kierrätyksessä keskeisimmät oletukset ovat se, miten suuri osuus muovista todella laadultaan soveltuu tarkoitukseen, onko korvaavuus 1:1 ja millä polttoaineilla ensiömuovin valmistuksen suuri energiantarve on täytetty.
- 11) Muut kierrätyspolttoaineen ja puun polton, mutta myös muovin kierrätyksen keskeiset potentiaaliset ympäristövaikutukset olivat hiukkasvaikutus, happamoituminen ja vesistöihin kohdistuva ekotoksisuus, jotka liittyvät typen ja rikin oksidien päästöihin ja vältettyihin päästöihin.
- 12) Koska ensiömuovin valmistus tuottaa metaanipäästöjä, muovin kierrätyksellä voidaan välttää myös kasvillisuudelle alailmakehän otsonista aiheutuvia vaikutuksia.
- 13) Kaikissa vaikutusluokissa nettovaikutus jäi kuitenkin negatiiviseksi eli vältetyt päästöt olivat suuremmat kuin vaihtoehtojen tuottamat päästöt.
- 14) Kuitu-, puu- ja muovijätteen hyödyntämisvaihtoehtojen kustannustarkastelu osoitti, että kaikki tarkastellut vaihtoehdot synnyttivät yhteiskunnalle enemmän säästöjä kuin kustannuksia.
- 15) Suurimmat nettohyödyt syntyvät silloin, kun muovi- ja puujätteet ohjataan hyödynnettäväksi materiaalina.
- 16) Muovia kierrätettäessä ja hyödynnettäessä vältetyt kustannukset olivat ylivoimaisesti suurimmat, koska uusiomuovilla korvattavan ensiömuovin valmistaminen öljystä on kallista.

Sekajäte

Sekajätteen jätehuollon mallinnuksen tulokset on esitetty kuvassa 20.



Kuva 20. Sekajätteen käsittelyn ja hyödyntämisen kasviuonekaasupäästöt ja vältetyt päästöt yhtä jätetonna kohti laskettuna (Myllymaa ym. 2008).

Tutkimuksen tuloksina todetaan:

- 1) Sekajätteen käsittelyn yksi merkittävimmistä todennäköisistä ympäristövaikutuksista on on kaikissa vaihtoehdoissa kasviuonekaasupäästöjen aiheuttama ilmaston lämpeneminen.
- 2) Päästöt syntyvät sekajätteen poltosta, ja muilla elinkaarivaiheilla ei kasviuonekaasupäästöjen tuoton kannalta ole merkitystä.
- 3) Lähes kaikissa tarkastelluissa hyödyntämisketjuissa ilmastonmuutosvaikutus jäi kuitenkin vältettyjen päästöjen ansiosta hyvitysten puolelle, eli järjestelmillä säästettiin kasviuonekaasupäästöjä enemmän kuin tuotettiin.
- 4) Ratkaisevat oletukset tulosten kannalta ovat, mitä polttoaineita jätteiden poltolla korvataan ja miten suurelle osuudelle jätteen polton tuottamasta energiasta todellisuudessa on tarvetta.
- 5) Polttoaineista suurimmat hyödyt saa korvaamalla kivihiililauhdesähköä, turvetta ja öljyä.

- 6) Paras nettotulos kasvihuonekaasupäästöjen kannalta saatiin vaihtoehdossa, jossa sekajäte työstetään rinnakkaispolttoaineeksi ja seospoltetaan olemassa olevissa kattiloissa pieninä osuuksina (2 %), hyvällä energian saannolla ja turvetta korvaten (Sj 6).
- 7) Käytännössä yhtä hyvään lopputulokseen kasvihuonekaasupäästöjen kannalta päästiin arinapolttolaitoksessa, jolla on hyvä energian hyötysuhde ja suuri rakennusaste eli sähkön osuus tuotetusta energiasta esim. yli 30 %, jonka tuotamalle lämmölle löytyy käyttöä teollisuudesta tai kaukolämpöverkosta ja jolla tuotetun energian voidaan olettaa korvaavan turvetta (Sj 3).
- 8) Jos kaatopaikka on hyvin hoidettu siten, että kaatopaikkakaasun talteenottoaste ylittää 70 % ja keräämättömän kaasun oletetaan hajoavan tehokkaasti (n. 90 %) kaatopaikan pintakerroksessa, kaatopaikkasijoitus (Sj 7) saattaa olla jopa aavistuksen parempi ratkaisu kuin huonolla energian saannolla toteutettu arinapoltto (Sj 4).
- 9) Yhteiskunnalle aiheutuvien kustannusvaikutusten kannalta säästöjä syntyy kustannuksia enemmän vain tilanteessa, jossa sekajätettä poltetaan hyvällä hyötysuhteella teollisuuslaitoksen yhteyteen liitetyssä arinalaitoksessa, ja polttoaineista korvataan öljyä, puuta, kivihiiltä ja maakaasua (Sj 2).
- 10) Edellisessä vaihtoehdossa vältettyjen kustannusten suuruuteen vaikuttaa pääosin öljyn polttoon perustuvan marginaalisen lämmöntuotannon korkea hinta.
- 11) Kalleinta on sijoittaa jäte kaatopaikalle (Sj 7), koska järjestelmä ei saa tästä juuri mitään hyötyjä.

Arvio tutkimuksen vahvuuksista ja heikkouksista sekä johtopäätösten relevanttiudesta

Koska raportti on julkaistu Suomen ympäristö -sarjassa, sen on tarkastanut myös useampi Suomen ympäristökeskuksen ulkopuolinen taho, mutta työ ei ole käynyt läpi standardin mukaista kriittistä arviointia. Työn objektiivinen kriittinen arviointi tässä raportissa ei kuitenkaan ole mahdollista, koska tutkimus on Suomen ympäristökeskuksen itsensä tuottama. Jäljempänä on kuitenkin joitain huomioita tutkimuksesta.

Työ on laaja ja kattava, ja se on pyritty raportoimaan mahdollisimman läpinäkyvästi ja tehdyt oletukset ja lähtötiedot kuvaten, pyrkien mahdollistamaan tehtyjen laskelmien toistettavuus. Lisäksi tutkimus on tehty useamman tutkimuslaitoksen yhteistyönä ja ohjausryhmätyössä myös sidosryhmiä kuunnellen.

Työn puutteeksi voidaan kuitenkin todeta, että siinä ei ole tehty muuttujien herkkystarkastelua eli ei ole testattu, miten herkkiä tulokset ovat kriittisten lähtömuuttujien muutoksille. Etenkin lähellä toisiaan olevissa tuloksissa herkkystarkastelu olisi voinut vahvistaa tuloksia suuntaan tai toiseen.

Käytetyillä tutkimusmenetelmillä ei lisäksi ole voitu arvioida vaihtoehtojen hygieenistä turvallisuutta, veden tai orgaanisen aineksen palauttamista ekologiseen kiertoon tai luonnonvarojen säästöä.

Biojätettä koskevien tarkastelujen osalta voidaan nostaa esiin jo luvuissa 2.2 ja 2.3 esitetty seikka, eli että biojätteen kompostoinnin ja mädätyksen tuotteen hyötyjä viherrakentamisessa arvioitaessa ottaa huomioon turpeen noston välttämisen ohella myös turpeen hajoamisen välttäminen. Tämän huomioon ottaminen parantaa kompostoinnin ja mädätyksen ilmastomuutosvaikutuksia huomattavasti POLKU-hankkeen laskelmista. Luvussa 2.2 esitettyjen lähtötietojen pohjalta lasketun turpeen hajoamisen ns. worst case-arvion mukaan yhden biojätetonnin kompostointi ja hyödyntäminen multatuotteessa turpeen sijaan voisi vähentää kasvihuonekaasupäästöjä jopa noin -200 kg CO₂-ekv.

Sanomalehden jätehuollon kestävyystarkastelu elinkaariarvioinnin avulla

Tavoite

Sanomalehdenn jätehuollon elinkaarista kestävyyttä tarkastelleessa LCA-WASTE-hankkeessa tutkittiin sanomalehden jätehuoltovaihtoehtoja pääkaupunkiseudulla (Dahlbo ym. 2005, Myllymaa ym. 2005). Työn tavoitteena oli tuottaa ympäristö- ja kustannustietoa päätöksenteon tueksi. Työn rahoittajana toimi Tekes, ja tutkimukseen osallistui myös Helsingin yliopisto. Yrityskumppanina toiminut UPM-Kymmene Oyj antoi projektin käyttöön prosessidataa keräyspaperia raaka-aineenaan hyödyntävästä tehtaastaan sekä asiantuntija-apua mm. voimalaitoksen mallinnuksessa keräyspaperin määrän muutosten vaikutuksia arvioitaessa

Aineisto ja menetelmät

Työssä arvioitiin sanomalehden elinkaaren aikaisia ympäristö- ja kustannusvaikutuksia viidessä erilaisessa vaihtoehdossa, jossa paperi joko kierrätettiin, poltettiin sellaisenaan tai käsiteltiin sekajätteen mukana (taulukko 5):

Taulukko 8. Hankkeessa tutkitut sanomalehden järjestelmävaihtoehdot (Dahlbo ym. 2005)

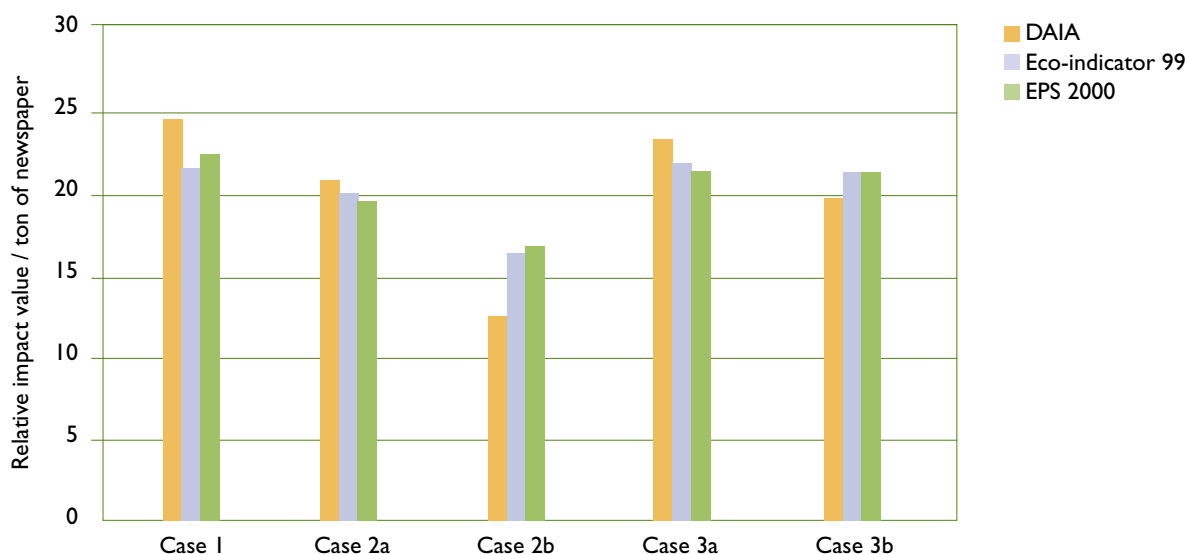
	I	2a	2b	3a	3b
Erilliskerätty paperi:	Kierrätys	Kierrätys	50% Kierrätys 50% Rinnakkaispoltto	Kierrätys	50% Kierrätys 50% Rinnakkaispoltto
Sekajäte:	Kaatopaikka	Rinnakkaispoltto kivihiilen kanssa	Rinnakkaispoltto kivihiilen kanssa	Arinapoltto	Arinapoltto

Työn rajaukset poikkeavat edellä esitetyistä jätehuollon LCA-tarkasteluista siten, että sanomalehden valmistus kaikkine tarvittavine panoksineen (kuten metsätalouden tuottama puu, kemikaalit) on tarkastelussa mukana. Työ on siis oikeastaan tuote-LCA, jossa painopiste on jätehuollossa.

Työ kattoi kaikki tunnetut päästökomponentit, ja niiden aiheuttamia ympäristövaikutuksia mallinnettiin kolmen eri vaikutusarviointimenetelmän avulla.

Tulokset ja niiden pohjalta tehdyt johtopäätökset

Työn tulokset on esitetty kuvassa 21.



Kuva 21. Paperin jätehuoltovaihtoehtojen ympäristövaikutukset eri vaikutusarviointimenetelmillä toteutettuina (Dahlbo ym. 2005). DAIA=Decision Analysis Impact Assessment, EPS 2000= A systematic approach to environmental priority strategies in product development. Case 1: Erilliskerätty paperi kierrätykseen, sekajäte kaatopaikalle; Case 2a: erilliskerätty paperi kierrätykseen, sekajäte rinnakkaispoltoon; Case 2b: erilliskerätystä paperista puolet kierrätykseen ja puolet rinnakkaispoltoon, sekajäte rinnakkaispoltoon; Case 3a: erilliskerätty paperi kierrätykseen, sekajäte arinapoltoon; Case 3b: erilliskerätystä paperista puolet kierrätykseen, puolet arinapoltoon ja sekajäte arinapoltoon. Sekajätteellä tarkoitetaan tässä vain sekajätteen seassa olevaa paperia.

Työn tulokset laskettiin kuluttajien käytön jälkeen syntyvää sanomalehtitonna kohti.

Työn tuloksina todetaan:

- 1) Ympäristövaikutusten kannalta kaatopaikkasijoitus (case 1) on huonoin vaihtoehto
- 2) Materiaalihyödyntäminen voi säästää metsiä ja edistää monimuotoisuutta
- 3) Hyödyntäminen energiana voi olla hyvä vaihtoehto, mikäli jätteellä korvataan fossiilisia polttoaineita ja energia tuotetaan hyvällä hyötysuhteella
- 4) Erot materiaali- ja energiahyödyntämismuutosten välillä ovat kaiken kaikkiaan melko pieniä
- 5) Energiajärjestelmään eli käytettyihin polttoaineisiin, hyötysuhteisiin ja hyödynnettävän energian määrään liittyvät oletukset ovat ratkaisevassa asemassa tulosten kannalta
- 6) Yhteiskunnalle koituvien kustannusten kannalta kaatopaikkasijoitusta sisältävä vaihtoehto on halvin
- 7) Erilliskerätyn paperin materiaalihyödyntäminen on halvempaa kuin energiahyödyntäminen, koska kierrätyspaperin käyttö paperin raaka-aineena on kannattavampaa kuin puun käyttö
- 8) Kustannuksiltaan edullisin vaihtoehto ei ole ympäristövaikutuksiltaan paras
- 9) Eri vaikutusarviointimalleilla saadut tulokset ovat samansuuntaiset, eli asettavat eri vaihtoehdot lähes poikkeuksetta samaan järjestykseen.

Arvio tutkimuksen vahvuuksista ja heikkouksista sekä johtopäätösten relevanttiudesta

Koska työstä laaditut raportit on julkaistu Suomen ympäristö -sarjassa, ne on tarkastettu Suomen ympäristökeskuksen ulkopuolisen tahon toimesta, mutta työ ei ole käynyt läpi standardin mukaista kriittistä arviointia. Työn objektiivinen kriittinen arviointi tässä raportissa ei kuitenkaan ole mahdollista, koska tutkimus on Suomen ympäristökeskuksen itsensä tuottama. Joitakin näkökulmia nostetaan seuraavassa esiin.

Työ on pyritty raportoimaan mahdollisimman läpinäkyvästi ja tehdyt oletukset ja lähtötiedot kuvaten, pyrkien mahdollistamaan tehtyjen laskelmien toistettavuus. Tutkimuksen ohjausryhmän jäsenet kattoivat tarkastellun tuotejärjestelmän kaikki osat paperintuotannosta jätehuoltoon. Ohjausryhmän jäsenet antoivat myös lähtötietoja projektin käyttöön.

Työ on luonteeltaan tuote-LCA ja on siksi jätehuoltonäkökulmasta suppea. Työn tulokset kertovat kuitenkin sanomalehden jätehuoltovaihtoehtojen ympäristö- ja kustannusvaikutuksista ja ovat linjassa muiden paperin jätehuoltovaihtoehtoja koskevien LCA-tutkimusten kanssa.

Työn vahvuutena voidaan pitää lähtödataa, joka sanomalehden kierrätyksen osalta perustuu olemassa olevaan tuotantolaitokseen, kuljetusten osalta yksityiskohtaiseen pääkaupunkiseudun kiinteistöjen etäisyyksien mallinnukseen, sekä energiahyödyntämisen osalta rinnakkaispolttolaitoksen suunnitteluasiakirjoihin ja laitoksen asian tuntijoiden tietoihin.

Työn puutteeksi voidaan kuitenkin todeta, että siinä ei ole tehty muuttujien herkkyystarkastelua eli ei ole testattu, miten herkkiä tulokset ovat kriittisten lähtömuuttujien muutoksille.

Työssä ei myöskään ole otettu huomioon kierrätyksellä säästyvän metsän vaihtoehtoisia käyttömahdollisuuksia ja näiden kautta mahdollisesti saatavien päästösäästöjen vaikutusta tuloksiin (säästyneen metsän toimiminen hiilinieluna tai hyödyntäminen energiana fossiilisia polttoaineita korvaten). Näistä keskusteltiin runsaasti tutkimusta toteutettaessa, mutta vallitseva näkemys oli, että välttämättä kierrätys ei säästä metsää, vaan vain vähentää metsässä tehtäviä hoitotoimenpiteitä (joissa ns. kuitupuu pääosin tuotetaan). LCA-WASTE-hankkeen valmistumisen jälkeen erityisesti tanskalaisissa tutkimuksissa on paperin kierrätyksen hyötyihin laskettu kierrätyksellä säästettävän puun energiahyödyntäminen fossiilisia polttoaineita korvaten. Näiden hyötyjen mukaan ottaminen todennäköisesti nostaisi kierrätyksen ilmastomuutosvaikutusten osalta energiahyödyntämistä paremmaksi vaihtoehdoksi sanomalehden jätehuollossa.

LCA-WASTE hankkeessa ei myöskään tarkasteltu paperiin ja metsätalouteen olennaisesti liittyviä maankäytön muutosten aiheuttamia vaikutuksia sekä biodiversiteettivaikutuksia, joiden arviointimenetelmät ovat toistaiseksi kehitystyön alla.

3 Muualla kuin Suomessa tehtyjen jätehuollon elinkaaritarkastelujen tuloksia

3.1

Materiaalikohtaisten tulosten taustalla olevat LCA-tutkimukset tai niistä laaditut katsaukset

Tässä luvussa tarkastelu keskitetään jätehuollon LCA-tutkimuksista aiemmin tehtyihin yhteenvetoihin, ja niissä tehtyihin johtopäätöksiin. Yksittäisiä LCA-tutkimuksia tarkastellaan vain muutamissa tapauksissa, esim. jos yhteenvedoissa esiin nostettuja epävarmuuksia aiheuttavia tekijöitä tai avoimiksi jääneitä kysymyksiä on tarkasteltu lisää myöhemmin (v. 2009-2012) julkaistussa tutkimuksessa.

Yleisenä huomiona voidaan todeta, että Suomen energiantuotanto poikkeaa suurelta osin eurooppalaisesta energiantuotannosta. Meillä energiantuotantoa hallitsevissa sähkön ja lämmönyhteistuotantolaitoksissa päästään korkeisiin hyötysuhteisiin ja suuri osa laitosten tuottamasta energiasta saadaan hyödynnettyä toisin kuin sähkön erillistuotantolaitoksissa. Mikäli Suomen tilanteen katsotaan lisäksi muilta osin poikkeavan näissä yhteenvedoissa tehdyistä havainnoista, siitä mainitaan erikseen.

Tietoa on haettu erityisesti muovista (pakkaukset, sekalainen muovi), puujätteestä sekä paperista ja pahvista, mutta myös ruoka- ja puutarhajätteiden sekä tekstiilijätteiden osalta tuloksia referoidaan.

WRAP (2006) Environmental benefits of recycling

Michaud ym. (2010) Environmental benefits of recycling, update 2010

Waste & Resources Action Programme (WRAP) julkaisi vuonna 2006 kansainvälisen katsauksen LCA-tutkimuksista, joissa arvioitiin Iso-Britanniassa syntyvien pääjätejakeiden kierrätyksen, kaatopaikkasijoituksen ja polton ympäristövaikutuksia (WRAP 2006). Raportissa arvioitiin 55 tutkimusta paperille ja pahville, lasille, muoville, alumiinille, teräkselle, puulle ja aggregaateille. Vuonna 2010 julkaistu raportti on vuonna 2006 laaditun yhteenvedon päivitys ja siinä on kartoitettu yli 200 eri puolilla maailmaa julkaistua korkeatasoista jätehuollon LCA-tutkimusta. Vuoden 2006 kartoitukseen verrattuna näkökulmaa muutettiin siten, että tarkasteluun lisättiin uusia teknologioita (kompostointi, mädätys, pyrolyysi, kaasutus) sekä uusia materiaaleja (ruokajäte, puutarhajäte, tekstiilit ja biopolymeerit) ja jotkut materiaalit jätettiin pois tarkastelusta (alumiini, teräs, lasi ja aggregaatit), koska näiden tuloksiin uusilla teknologioilla ei olisi vaikutusta. Tarkasteluun hyväksyttiin tutkimukset, jotka 1) olivat LCA-tutkimuksia tai sen kaltaisia, 2) sisälsivät kahden tai useamman jätehuoltovaihtoehdon vertailun tarkastelluille materiaaleille, 3) sisälsivät yhtenä tarkastelluista vaihtoehdoista kierrätyksen tai kompostoinnin, 4) olivat julkaistu joko tieteellisessä aikakauslehdessä tai muutoin läpikäynyt vertaisarvioinnin, 5) raportoivat tehdyt oletukset läpinäkyvästi,

6) olivat alkuperäistutkimuksia, 7) osoittivat, että raportoidut ympäristövaikutukset olivat nimenomaan tarkastellun materiaalin aiheuttamia, ja 8) tarkastelivat jätehuoltovaihtoehtoja, jotka ovat todennäköisiä ko. materiaalille.

LCA-tutkimusten tuloksia tarkasteltiin erityisesti Iso-Britannian näkökulmasta, mutta ne ovat pääosin päteviä Suomenkin olosuhteissa. Ympäristövaikutusluokissa keskityttiin luonnonvarojen ehtymiseen (depletion of natural resources), ilmastonmuutokseen (global warming potential, GWP), energiankulutukseen (cumulative energy demand) sekä vedenkulutukseen (water consumption).

Lazarevic ym. (2010) Plastic waste management in the context of a European recycling society: Comparing results and uncertainties in a life cycle perspective.

Artikkelin tavoitteena oli 1) selvittää voiko LCA-näkökulmasta tehtyjen tutkimusten perusteella löytää yhteisymmärrystä siitä mikä on suositeltavin jätehuoltovaihtoehto muovijätteelle, 2) tunnistaa LCA-tutkimusten pääasialliset menetelmälliset haasteet ja epävarmuudet, ja 3) arvioida etusijajärjestyksen soveltamista muovijätteen jätehuoltoon. Artikkelissa raportoitua katsausta varten arvioitiin yli 50 muovijätteen jätehuoltoa koskevaa LCA-tutkimusta, joista valittiin 10 lähempään tarkasteluun. Tarkasteluun hyväksyttiin tutkimukset, jotka 1) sisälsivät kahden tai useamman jätehuoltovaihtoehdon vertailun tarkastelluille materiaaleille, 2) olivat elinkaariarvioinnista laadittujen ISO-standardien vaatimukset täyttäviä LCA-tutkimuksia, ja 3) raportoivat järjestelmän rajaukset ja tehdyt oletukset läpinäkyvästi, ja 4) joista oli saatavissa skenaarioiden vertailuun tarvittavat taustatiedot.

77 skenaariota ryhmiteltiin jätehuoltovaihtoehdon mukaan neljään kategoriaan: mekaaninen kierrätys, kierrätys syöttöaineeksi (feedstock recycling), poltto ja kaatopaikkasijoitus. Mekaanisen kierrätyksen teknologiat sisälsivät polymeerien lajitteluprosesseja, puhdistusta, koon pienentämistä, uudelleensulatusta sekä pellettien valmistusta. Kierrätys syöttöaineeksi määriteltiin muovipolymeerien muuttamiseksi lämmön tai kemikaalien avulla takaisin hiilivetytuotteiksi, joita voidaan käyttää uusien polymeerien, puhdistettujen kemikaalien (refined chemicals) tai polttoainoiden valmistukseen (Aguado ym. 2006). Mm. muovijätteen käyttö pelkistävänä aineena teräsmasuuneissa katsotaan kierrätyksesi syöteaineena. Polttotekniikat olivat arinapoltto tai muovin poltto energijakeen seassa (solid recovered fuel, SRF) sementtisuuneissa. Kaatopaikoilta vaadittiin sekä suotoveden että kaatopaikkakaasun keräysjärjestelmät. Muovijätteen hajoamisesta kaatopaikalla aiheutuvien päästöjen määrä riippuu kaatopaikalle valitun tarkastelujakson pituudesta. Yleisimmin käytetty tarkastelu-aika on 100 vuotta, minkä kuluessa muovi ei juuri hajoa eikä tuota päästöjä kaatopaikalla. Mikäli tarkastelu ulotetaan siihen pisteeseen, kun kaikki kaatopaikalle sijoitettu tavara on hajonnut, muovistakin muodostuu päästöjä. Arinapoltto- ja kaatopaikkaskenaarioissa muovi käsiteltiin jätevirrassa yhdessä muiden jättejakeiden kanssa, mutta tässä otettiin huomioon vain muovista aiheutuvat ympäristövaikutukset.

Kuljetusten tarkastelu vaihteli eri tutkimuksissa. Kaikkiin tutkimuksiin sisältyivät kuitenkin kuljetukset lajitteluprosessista joko mekaaniseen tai syöttöaineena kierrätykseen, polttoon tai kaatopaikalle. Muovipellettien kuljetuksia muoviteollisuuden käyttöön ei sisällynyt yhteenkään tutkimukseen. Artikkelissa tarkastellut ympäristövaikutusluokat olivat: ilmastonmuutos (global warming potential, GWP), happamoitumisenergia (acidification potential, AP), rehevöitymisenergia (eutrophication potential, EP), energiankäyttö (energy use, EN) sekä kaatopaikalle sijoitettavan jäätteen määrä (solid waste destined for landfill, SW), koska nämä olivat mukana yli puolessa tutkimuksista. Lisäksi tarkasteltiin uusiutumattomien luonnonvarojen ehtymisvaikutuksia (abiotic resource depletion potential, ADP).

Schonfield (2008) LCA of management options for mixed waste plastics

LCA-tutkimuksessa on tarkasteltu erilaisia kierrätysteknologioita (jo käytössä olevia tai pilot-tutkimuksissa käyttökelpoiseksi osoitettuja) ja verrattu erilaisten sekalaiselle muovijätteelle soveltuvien jätehuoltovaihtoehtojen (kierrätys, energiahyödyntäminen, loppukäsittely) ympäristövaikutuksia. Tavoitteena on ollut tunnistaa kierrätyksen mahdollisuuksia tuottaa merkittäviä ympäristöhyötyjä olemassa oleviin jätehuoltovaihtoehtoihin verrattuna. Vertailuun tarvittava data on saatu eri organisaatioiden tekemistä kierrätysteknologioiden testauksista, julkaistusta kirjallisuudesta sekä LCI tietopankeista. Maantieteellisesti tutkimus rajautuu Iso-Britanniaan.

Yksittäisistä prosesseista koottiin vertailua varten tarjontaketjuja, jotka kukin pystyvät ottamaan vastaan samanlaisen materiaalisyytteen ja kierrättämään, hyödyntämään tai loppukäsittelmään sen. Näistä tarjontaketjuista muodostettiin 16 skenaariota vertailua varten. Vertailussa käytetty toiminnallinen yksikkö oli tyyppillisessä isobritannialaisessa MRF-laitoksessa (materials recovery facility) syntyvän sekalaisen muovijätetonnin kierrätys, jatkojalostus tai käsittely, sisältäen myös prosessien jäätös- ja lämmön materiaalien käsittelyn. Tarkasteltavat ketjut on rajattu alkamaan muovijätteen tullessa ulos MRF-laitoksesta ja päättymään siinä pisteessä kun muovijäte on prosessoitu sellaiseen muotoon (joko pelletiksi tai kemikaaliksi) että se voidaan käyttää tuotantoprosessissa muun raaka-aineen sijaan tai kun siitä on tuotettu energiaa. Hyödyntämättömiä jakeita seurataan kunnes ne on sijoitettu esim. kaatopaikalle. Muovijätteen hyödyntämisellä vältetty energiantuotanto tai neitseellisen raaka-aineen valmistus sisällytettiin tarkasteluun. Kuljetukset olivat tarkasteluissa mukana vain näiden rajausten puitteissa. Vertailtavia skenaarioita oli kaikkiaan 16.

Björklund & Finnveden (2005) Recycling revisited – life cycle comparisons of global warming impact and total energy use of waste management strategies.

Artikkelissa on käyty läpi materiaalikierrätystä polttoon tai kaatopaikkasijoitukseen vertailevia jätehuollon LCA-tutkimuksia. Katsaus rajattiin erillisjakeisiin, ja yhdyskuntien sekajätettä koskevat tutkimukset otettiin mukaan vain jos niissä oli pystytty osoittamaan eri vaikutusten jakautuminen eri jätelajeille. Biohajoavia jätteitä ei otettu mukaan. Tarkasteluun mukaan päästökseen tutkimuksen tuli lisäksi 1) raportoida järjestelmän rajaukset ja tehdyt oletukset läpinäkyvästi, 2) sisältää myös jätteiden kierrätyksellä saavutettavien hyötyjen arviointi järjestelmän laajennuksen avulla (järjestelmä laajennettu sisältämään vältetyt vaikutukset), kuten ISO-standardissa suositellaan, sekä 3) olla julkaistu tieteellisessä aikakauslehdessä. Artikkelissa on käyty läpi 10 tutkimusta, joissa on yhteensä 40 erilaista tapaustarkastelua. Materiaalikierrätyksen ohella joissakin tutkimuksissa on mukana kierrätys syöttöaineeksi. Ympäristövaikutusluokista tarkasteltiin vain energiankäyttöä (total energy use) ja ilmastonmuutosta (global warming potential, GWP).

3.2

Paperi ja pahvi

Paperin ja pahvin sijoittaminen kaatopaikalle on selkeästi ympäristön kannalta huonompi vaihtoehto kuin kierrätys ja poltto (Björklund & Finnveden 2005, WRAP 2006, Michaud ym. 2010). Vain yhdessä tutkimuksessa on kaatopaikkasijoitus noussut parhaaksi vaihtoehdoksi, ja tällöin on oletettu erittäin korkea kaatopaikkakaasun talteenottoaste (Michaud ym. 2010).

Kierrätyksen ja polton vertailun osalta tulokset eivät ole yhtä selkeitä. WRAP (2006) mukaan kierrätys oli parempi kuin poltto energiankulutuksen, happamoitumisen, rehevöitymisen, otsonin muodostuksen ja toksisuusvaikutusten osalta. Fossiilisten polttoaineiden kulutuksen ja GWP:n osalta tuloksissa oli enemmän hajontaa, toiset tutkimukset osoittivat kierrätyksen olevan parempi, toiset polton.

Myös Björklundin ja Finnvedenin (2005) mukaan kierrätys on yleensä parempi energian- ja vedenkulutuksen osalta, mutta GWP:n osalta merkittävin tuloksiin vaikuttava tekijä on se, millaista energiaa paperi- ja pahvijätteen poltolla oletetaan korvattavan. GWP on yleensä alhaisempi kierrätykselle, jos poltolla korvataan bio-peräisiä polttoaineita tai muita jätteitä (Björklund & Finnveden 2005). Mutta GWP on useimmiten korkeampi kierrätykselle, mikäli poltolla korvataan fossiilisia polttoaineita (Björklund & Finnveden 2005, Michaud ym. 2010).

Björklundin ja Finnvedenin (2005) mukaan tulokset ovat kuitenkin herkkiä melko pienille muutoksille järjestelmässä (paperin valmistuksen energialähteet, energiahyödyntämisen tehokkuus, erityyppiset paperit), joten erot kierrätyksen ja polton GWP tuloksissa eivät ole suuria. Merrild ym. (2008, 2009) ovat todenneet, että paperin kierrätyksen ja polton ympäristövaikutusten vertailu keskimääräisen datan pohjalta ei ole mahdollista, sillä tulokset ovat erittäin riippuvaisia teknologisista valinnoista ja käytetyistä rajauksista (kuten siitä sisältyykö kierrätyksellä säästävän metsän vaihtoehtoiset käyttömahdollisuudet ja niiden ympäristövaikutukset tarkasteluun vai ei). Kierrätyksen ja polton GWP-tulosten vaihteluvälit limittyvät, jolloin kierrätyksen ja polton paremmuuden arviointi on hankalaa (Merrild ym. 2008).

Koska Suomen energiajärjestelmät poikkeavat selvästi muualla vallitsevista ratkaisuista, muualla tehtyjen elinkaarianalyysien tulosten yleistettävyyden Suomen olosuhteisiin on hyvin epävarmaa. Näin on etenkin silloin, kun tulosten todetaan olevan herkkiä energiajärjestelmissä tehdyille oletuksille.

3.3

Muovi

Muovijätettä koskevissa LCA-tutkimuksissa on yleisesti todettu muovin mekaanisen kierrätyksen olevan paras jätehuoltovaihtoehto sekä GWP:n, luonnonvarojen ehtymisen että energiankulutuksen näkökulmasta (Michaud ym. 2010, Lazarevic ym. 2010, Schonfield 2008). Nämä vaikutusluokat olivat mukana useimmissa tutkimuksissa, ja niiden arvioimiseksi tarvittavaa tietoa on saatavilla ja se on yleensä luotettavaa (Lazarevic ym. 2010). Björklundin ja Finnvedenin (2005) mukaan energiankulutus toimii yleensä hyvänä indikaattorina muillekin vaikutusluokille. Muiden vaikutusluokkien osalta tulokset eivät yhtä selkeästi osoita jätehuoltovaihtoehtojen paremmuutta, mutta ovat pääsääntöisesti kierrätyksen eduksi (Lazarevic ym. 2010). Muovin kierrätyksen hyödyt ovat peräisin neitseellisen muovin korvaamisesta kierrätysmuovilla muovituotteiden valmistuksessa. Yleisimmin tutkimuksissa on oletettu kierrätysmuovin korvaavan neitseellistä muovia 1:1.

Kierrätyksen ympäristöhyödyt voivat pienentyä, mikäli muovi on likaantunut orgaanisella aineksella tai mikäli kierrätysmuovi on laadultaan niin huonoa, ettei sillä pystytä korvaamaan neitseellistä muovia 1:1 (Michaud ym. 2010, Lazarevic ym. 2010). Schonfield (2008) vertasi MRF-laitokselta (materials recovery facility) syntyvän sekalaisen muovijätteen kierrätystä (lajittelun ja pelletöinnin jälkeen) ja polttoa SRF:nä sementtitiunissa. Tutkimuksen mukaan poltto SRF:nä sementtitiunissa muuttuu GWP:n kannalta kierrätystä paremmaksi vaihtoehdoksi, kun alle 70 % kierrätysmuovista korvaa neitseellistä muovia. Muovijätteessä oleva orgaaninen aines puolestaan saattaa vähentää kierrätyksestä saatavia kokonaisyhtöyksiä, mm. lisäämällä

muovien puhdistustarvetta ja siten järjestelmän energiankulutusta (Lazarevic ym. 2010). Orgaanisen aineksen vaikutuksesta on kuitenkin tutkimuksia niin vähän, että mitään yleistyksiä ei tulosten pohjalta voida tehdä (Lazarevic ym. 2010).

Kierrätysmuovilla voidaan joissakin käyttötarkoituksissa korvata esim. kyllästettyä puuta (Korhonen ja Dahlbo 2008), jolloin kierrätyksen hyödyt ovat pienemmät kuin neitseellistä muovia korvattaessa.

Kierrätys syöteaineena (feedstock recycling) näyttää hyvältä konseptilta joillekin sellaisille muovijätteille, joita ei pystytä mekaanisesti kierrättämään. Selkeää eroa ei kuitenkaan ole polttoon SRF:nä sementtitiunissa. Kierrätykseksi syöteaineena voidaan katsoa esim. muovijätteen käyttö pelkistävässä aineena teräksen valmistuksessa. (Lazarevic ym. 2010).

Tutkimusten mukaan on olemassa jonkin verran epävarmuutta siitä missä määrin kierrätysmuovi korvaa neitseellistä muovia ja kuinka paljon orgaanisia epäpuhtauksia muovijätteissä on. Muovijätteiden osalta tulisi panostaa hyvälaatuisten muovien mahdollisimman täydelliseen kierrättämiseen, jotta ympäristöhyödyt voidaan maksimoida. Ymmärtämystä ja tietoa muovin määrästä ja laadusta sekä kierrätettävyydestä erilaisissa jätevirroissa tulisi selkeästi lisätä. (Lazarevic ym. 2010).

Norjassa tehdyssä LCA-tutkimuksessa (Lyng & Modahl 2011) verrattiin kierrätystä ja energiahyödyntämistä kotitalouksissa syntyvälle pakkausmuovijätteelle. Tarkastelussa otettiin kierrätyskenaariossa huomioon kuljetukset Saksaan lajittelulaitokselle sekä pellettien kuljetukset Kiinaan muoviteollisuuden käyttöön. Kierrätys osoittautui paremmaksi konseptiksi sekä GWP:n että energiankulutuksen näkökulmasta. Merkittävänä tekijänä nostettiin esiin eri muovityyppien määrä, kierrätysmuovista valmistettavat tuotteet ja niiden korvaamat raaka-aineet, sekä koko ketjun hävikki. Energiahyödyntämisen oletettiin korvaavan keskimääräistä norjalaista kaukolämmöntuotantoa tai osin öljypohjaista kaukolämmöntuotantoa (75 %) ja osin pohjoismaista sähköntuotantoa (25 %). Päästökertoimia näille energiantuotannoille ei raportissa anneta. (Lyng & Modahl 2011). Polttoainevalikoimalla on luonnollisesti vaikutusta GWP-tuloksiin, mutta vähemmän vaikutusta energiankulutukseen.

3.4

Ruoka- ja puutarhajäte

Michaud ym. (2010) arvioivat seitsemän orgaanisen jätteen jätehuoltovaihtoehtoja käsittelevän tutkimuksen tuloksia. Tutkimuksissa tarkasteltavan jätteen koostumus oli vaihtelevaa: pelkkää ruokajätettä, pelkkää puutarhajätettä tai sekalaisempaa orgaanista jätettä yhdyskunnista. Vertailut vaihtoehdotkin vaihtelivat tutkimuksittain. Kahdessa tutkimuksessa verrattiin neljää vaihtoehtoa: kompostointia, energiahyödyntämistä, anaerobista mädätystä, ja kaatopaikkasijoitusta. Yksikään vaihtoehto ei nouse vertailussa selvästi muita paremmaksi. Mädätys nousee parhaaksi vaihtoehdoksi erityisesti GWP:n ja luonnonvarojen ehtymisen osalta, vaikkakin se oli mukana vain alle puolessa tutkimuksista. Energiahyödyntäminen osoittautui GWP:n osalta mädätystä paremmaksi vaihtoehdoksi tanskalaisessa tutkimuksessa, jossa polttoteknologia oli korkeatasoista, energiantuotannon hyötysuhde korkea ja tuotettu energia korvasi fossiilista energiaa. Energiahyödyntäminen ei jäänyt yhdessäkään vertailussa huonoimmaksi vaihtoehdoksi. Kompostoinnista saadaan hyötyjä, mikäli kompostituote voi korvata turvetta tai lannoitteita. Mutta koska kompostoinnista ei saada energiaa, se ei yleensä ole hyvä vaihtoehto energiankulutuksen tai luonnonvarojen ehtymisen näkökulmasta. GWP:n osalta kompostointi on verrattavissa energiahyödyntämiseen. Energiahyödyntämisen osalta olennaisia ovat laitoksen energiantuotannon hyötysuhde sekä korvattavat polttoaineet. Hyödyt ovat suuremmat, kun jätteestä

tuotetulla energialla korvataan fossiilisia polttoaineita. Vain yhdessä tutkimuksessa oli otettu huomioon hiilen varastoituminen kompostiin, ja siinä kompostointi sijoittui lähelle parhaiten pärjännyttä mädätystä GWP:n osalta. (Michaud ym. 2010).

Ruoka- ja puutarhajätetutkimusten tulosten yleistettävyyttä biojätehuoltoon Suomen olosuhteisiin heikentää kansallisesti vaihtelevien lajittelu- ja keräysohjeiden aiheuttamat erot jätteen koostumukseen. Biojätteet esim. sisältävät Euroopassa enemmän kasvipohjaista puutarhajätettä kuin Suomessa, jossa puutarhajätteet monin paikoin käsitellään kiinteistöillä tai kerätään erikseen. Erot vaikuttavat mm. kompostoinnista syntyvän tuotteen laatuun ja hyödynnettävyyteen. Teknologian taso vaikuttaa lisäksi esim. energiahyödyntämisen ja mädätyksen tuloksiin.

3.5

Puu

Puujätteestä on vain vähän LCA-tutkimuksia. WRAPin (2006) katsaukseen ei löydetty yhtään tutkimusta jossa kierrätys olisi ollut vaihtoehtona mukana, vertailussa oli vain poltto ja kaatopaikkasijoitus ja poltto oli selvästi parempi vaihtoehto kuin kaatopaikkasijoitus. Näissä tutkimuksissa tarkasteltava puujäte oli kattomateriaalia ja muuta purkujätettä, joille kierrätyskonsepteja ei juurikaan ole olemassa.

Muutamassa tuoreemmassa tutkimuksessa kierrätystä ja energiahyödyntämistä homogeeniselle, esim. kuitulevyistä peräisin olevalle jätteelle on tarkasteltu. Tulosten perusteella energiahyödyntäminen on suositeltava vaihtoehto energiankulutuksen näkökulmasta, kun taas kierrätys on suositeltava vaihtoehto GWP:n näkökulmasta. Euroopassa yleisin kierrätyskonsepti on käyttö kuitulevyn valmistuksessa (Daian & Ozarska 2009). Kaatopaikkasijoitusta tulee välttää metaanimuodostuksen takia. Mitchell & Stevens (2008) vertailivat LCA-tutkimuksessa kuitulevyistä (medium-density fibreboard, MDF) syntyvän kuitujätteen kierrätystä energiahyödyntämiseen ja kaatopaikkasijoittamiseen. Kierrätys tuotti selkeitä ympäristöhyötyjä, mutta kierrätyksen ja energiahyödyntämisen keskinäisiin tuloksiin vaikuttavat merkittävästi oletukset joita tehdään jätteillä tuotettavan energian korvaamasta energiasta.

Rivela ym. (2006) vertasivat lastulevyistä syntyvän puujätteen kierrätystä lastulevyn valmistukseen ja energiahyödyntämistä. Kierrätys osoittautui paremmaksi ihmisen terveydelle ja ekosysteemin laadulle (sisältäen GWP:n) aiheutuvien vaikutusten näkökulmasta. Tulokset selittyvät sillä, että metsätaloudesta aiheutuvat vaikutukset vähenevät (sahaus, kuljetukset) kun kierrätyksellä säästetään puuta. Kierrätys kuitenkin aiheuttaa enemmän luonnonvarojen ehtymisvaikutuksia, koska fossiilisten polttoaineiden käyttö on suurempaa. Tutkimuksessa tarkasteltu puujäte syntyi messurakenteissa käytetyistä lastulevyistä, joten jäte oli tasalaatuista.

Puun jätehuoltoon liittyvien tutkimusten tulosten yleistämistä Suomen olosuhteisiin heikentää se, että puujäte on muualla laadultaan hyvin erilaista ja määrät ovat Suomessa huomattavasti suurempia. Puurakentamisen suuresta volyyymistä johtuen Suomessa syntyy paljon rakentamisen puujätteitä, joka on heterogeenistä ja sisältää epäpuhtauksia ja soveltuu huonosti kierrätettäväksi ja toisaalta sahoilta syntyvää purua ja kuorta. Puujätteen LCA-tutkimuksissa tarkastelluissa kierrätyskonsepteissa on hyödynnetty homogeenista puujätettä esim. lastulevyistä.

Tekstiili

Tekstiilien jätehuoltovaihtoehdoista on erittäin vähän vertailevia LCA-tutkimuksia. Kierrätyksen hyötyjä on kuitenkin tarkasteltu muutamissa tutkimuksissa. Kierrätyskonsepteina on tarkasteltu tekstiilijätteen käyttöä puhdistusliinoissa, täyteenä patjoissa, autojen eristeissä, huonekalujen pehmusteissa ja öljynimeytysmatoissa. Kierrätystä takaisin tekstiilien valmistukseen ei ole tarkasteltu. Yleisesti on todettavissa että kierrätyksellä on saatavissa ympäristöhyötyjä, mutta ne riippuvat siitä mihin tuotteisiin tekstiilijätteitä käytetään ja mitä raaka-aineita niillä pystytään korvaamaan. (Michaud ym. 2010).

Lasi, metallit

Björklundin ja Finnvedenin (2005) mukaan lasin ja metallin kierrätystä motivoi selvästi alhaisempi energiankulutus ja GWP kuin poltossa ja kaatopaikkasijoituksessa.

WRAPin (2006) katsauksessa tarkastelluissa lasijätteen LCA-tutkimuksissa kierrätyskonsepteina tarkasteltiin pääsääntöisesti lasijätteen hyödyntämistä uusien lasipakkausten valmistukseen. Melkein kaikkien tutkimusten kaikissa skenaarioissa kierrätys oli polttoa parempi vaihtoehto kaikkien vaikutusluokkien osalta. Yksi skenaario tuotti poikkeavan tuloksen, siinä lasia kerättiin haja-asutusalueilta, sitä kuljetettiin pitkiä matkoja (500 km) ja kierrätysaste oli alhainen. Kierrätys oli myös valtaosassa tutkimuksia selvästi parempi vaihtoehto kuin kaatopaikkasijoitus, vaikkakin yhdessä tutkimuksessa kaatopaikkasijoitukselle saatiin hyötyjä. Siinä kierrätyskonsepteina olivat hyödyntäminen vedensuodatusmateriaalina tai aggregaatteina. Tässä kierrätyksen energiantarve oli suurempi kuin vedensuodatusmateriaalin ja aggregaattien valmistuksessa neitseellisistä materiaaleista. Suomessa lasijätettä kierrätetään lasivilan valmistukseen sekä käytetään infrarakentamiseen.

WRAPin (2006) katsauksessa metallijätteen (pakkauksia) osalta tarkasteltiin erikseen alumiinin ja teräksen jätehuoltovaihtoehtoja. Kierrätys oli valtaosassa tutkimuksia sekä alumiinille että teräkselle parempi vaihtoehto kuin poltto tai kaatopaikkasijoitus. Poikkeavia tuloksia saatiin muutamista tutkimuksista, joissa vertailtavat skenaariot olivat lähtökohtaisesti epätasapainoisia. Esim. teräkselle vertailtiin tehotonta kierrätyskenaariota (harva asutus, pitkät kuljetusmatkat, puolityhjät kuljetukset, alhainen teräspitoisuus jätteessä) erittäin tehokkaaseen polttoskenaarioon. Suomessa asutus on suuressa osassa maata harvaa ja etäisyydet pitkiä, joten näillä alueilla kierrätyksen paremmuus ei ole itsestäänselvyys. Polton ympäristövaikutukset olivat alhaisempia kuin kaatopaikkasijoituksen, mutta polton ja kaatopaikkasijoituksen osalta vertailuja oli vain muutamia ja tuloksissa oli runsaasti epävarmuutta.

Renkaat

Villanueva ym. (2008, ref. Brogaard & Christensen 2011) vertasivat renkaiden kierrätystä kumigranulaattina asfaltin valmistukseen ja polttoa sementtitiivunissa. Kierrätys oli parempi vaihtoehto erityisesti GWP:n, energiankulutuksen sekä happamoitumisvaikutusten näkökulmasta.

LÄHTEET

- Aguado, J., Serrano, D.P. & San Miguel, G. 2006. European trends in the feedstock recycling of plastics. *Global NEST* 9:12-9
- Antikainen, R. & Seppälä, J. 2012. Elinkaarimenetelmät yrityksen päätöksenteon tukena. FINLCA -hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristö 10/2012. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=407198&lan=fi&clan=fi>. Luettu 3.10.2012.
- Björklund, A. & Finnveden, G. 2005. Recycling revisited – life cycle comparisons of global warming impact and total energy use of waste management strategies. *Resour Conserv Recycl* 44:309-371
- Brogaard, L. & Christensen, T. 2011. Other special waste. In: Christensen, T. (Ed.): *Solid waste technology and management*. Vol 2. ISBN 978-1-4051-7517-3.
- Dahlbo, H., Laukka, J., Myllymaa, T., Koskela, S., Tenhunen, J., Seppälä, J., Jouttijärvi, T. & Melanen, M. 2005. Waste management options for discarded newspaper in the Helsinki Metropolitan Area – life-cycle assessment report. *The Finnish Environment* 752.
- Daian, G. & Ozarska, B. 2009. Wood waste management practices and strategies to increase sustainability standards in the Australian wooden furniture manufacturing sector. *J Clean Prod* 17:1594-1602
- Defra 2011a. Guidance on applying the Waste Hierarchy. Saatavissa internetistä: <http://www.defra.gov.uk/publications/files/pb13530-waste-hierarchy-guidance.pdf>
- Defra 2011b. Applying the Waste Hierarchy: Evidence Summary. 2011. Saatavissa internetistä: <http://www.defra.gov.uk/publications/files/pb13530-waste-hierarchy-guidance.pdf>
- ENVIMAT 2008. ENVIMAT 2008. Ympäristövaikutusten arviointi. Suomen kansantalouden materiaalivirrat ja niiden ympäristövaikutukset –hanke. Julkaisemattoman aineiston materiaalia julkaistu: Myllymaa T., Moliis K., Tohka A., Isoaho S., Zevenhoven M., Ollikainen M. & Dahlbo H. 2008a. Jätteiden kierrätyksen ja polton ympäristövaikutukset ja kustannukset - jätehuollon vaihtoehtojen tarkastelu alueellisesta näkökulmasta. *Suomen ympäristö* 39 / 2008. Helsinki.
- European Commission Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability 2010a.: *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance*. First edition March 2010. EUR 24708 EN. Luxembourg. Publications Office of the European Union.
- European Commission Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability 2010b.: *International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - Review schemes for Life Cycle Assessment*. First edition March 2010. EUR 24710 EN. Luxembourg. Publications Office of the European Union.
- European Commission Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability 2011a. *Supporting Environmentally Sound Decisions for Bio-Waste Management. A practical guide to Life Cycle Thinking (LCT) and Life Cycle Assessment (LCA)*. EUR 24917 EN – 2011. Luxembourg. Publications Office of the European Union. <http://lct.jrc.ec.europa.eu/assessment/assessment/publications#w>. Luettu 3.10.2012.
- European Commission Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability 2011b. *Supporting Environmentally Sound Decisions for Waste Management. A technical guide to Life Cycle Thinking (LCT) and Life Cycle Assessment (LCA) for waste experts and LCA practitioners*. EUR 24916 EN – 2011. Luxembourg. Publications Office of the European Union. <http://lct.jrc.ec.europa.eu/assessment/assessment/publications#w>. Luettu 3.10.2012.
- European Commission Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability 2011c. *Supporting Environmentally Sound Decisions for Construction and Demolition (C&D) Waste Management. A practical guide to Life Cycle Thinking (LCT) and Life Cycle Assessment (LCA)*. EUR 24918 EN – 2011. <http://lct.jrc.ec.europa.eu/assessment/assessment/publications#w>. Luettu 3.10.2012
- FCG Finnish Consulting Group 2010. Veera Sevander. Biojätteen erilliskeräyksen elinkaariarvio. Loppuraportti. Rosk'n Roll Oy Ab:n tilaama, elinkaarianalyysin tapaan toteutettu selvitys biojätteelle soveltuvien käsittelyketjujen aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä.
- Jätelaitosyhdistys JLY ry 2012. Ohje elinkaariajattelun huomioimiseen jätehuollon tarkasteluissa. Luonnos 23.8.2012.
- Korhonen, M-R. & Dahlbo, H. 2008. Reducing Greenhouse Gas Emissions by Recycling Plastics and Textiles into Products. *The Finnish Environment* 30/2007. <http://www.environment.fi/default.asp?contentid=249187&lan=en>. Luettu 3.10.2012. Kirkinen, J., Minkkinen, K., Penttilä, T., Kojola, S., Sievänen, R., Alm, J., Saarnio, S., Silvan, N., Laine, J. & Savolainen, I. 2007. Greenhouse gas impact due to different peat fuel utilization chains in Finland – a life-cycle approach. *Boreal Environment Research* 12:211-223.
- Kiviranta, M. 2009. Pääkaupunkiseudun keräyskartongin keräysjärjestelmän ja hyödyntämismahdollisuuksien ympäristövaikutusten elinkaariarviointi. Pro-gradu -työ, Bio- ja ympäristötieteiden laitos, Helsingin yliopisto. Huhtikuu 2009. <http://ethesis.helsinki.fi/>.

- Kiviranta, M. & Tanskanen, N. 2009. Pääkaupunkiseudun keräyskartongin ympäristövaikutusten elinkaariarviointi. YTV:n julkaisuja 21/2009. http://www.hsy.fi/jatehuolto/toiminta_tilastot/tilastot_julkaisut/Sivut/default.aspx. Luettu 3.10.2012.
- Knuutila, H. 2012. Turun seudun biojätehuollon elinkaariselvitys – kasviuonekasupäästöjen vertailu. Turun ammattikorkeakoulu. Ympäristöteknologia. Opinnäytetyö, ylempi amk.
- Kuusiola, T. 2010. Pääkaupunkiseudun kotitalouksien pienmetallien keräyksen ja hyödyntämisen ympäristövaikutukset. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Teknillinen korkeakoulu. Mekaaninen prosessi- ja kierrätystekniikka.
- Lazarevic, D., Aoustin, E., Buclet, N. & Brandt, N. 2010. Plastic waste management in the context of a European recycling society: Comparing results and uncertainties in a life cycle perspective. *Resour Conserv Recycl* 55: 246-259.
- Lyng, K.-A. & Modahl, I.S. 2011. Livsløpsanalyse for gjenvinning av plastemballasje fra norske husholdinger. Rapport OR.10.11. Østfoldforskning. Sustainable Innovation. <http://ostfoldforskning.no/publikasjon/livslopsanalyse-for-gjenvinning-av-plastemballasje-fra-norske-husholdninger-667.aspx>. Accessed 12.7.2012.
- Mattila, T., Myllymaa, T., Seppälä, J., Mäenpää, I. 2011. Materiaalitehokkuuden parantamisen ja jätteiden vähentämisen ympäristöinnovaatioiden tarpeet. YM raportteja 3/2011. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=124418&lan=fi>
- Merrild, H., Damgaard, A. & Christensen, T. 2008. Life cycle assessment of waste paper management: the importance of technology data and system boundaries in assessing recycling and incineration. *Resources, conservation & recycling* 52: 1391-1398.
- Merrild, H., Damgaard, A. & Christensen, T. 2009. Recycling of paper: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. *Waste Management & Research* 27:746-753.
- Michaud, J.-C., Farrant, L., Jan, O., Kjær, B., Bakas, I. 2010. Environmental benefits of recycling – 2010 update. Final report. WRAP, Material change for a better environment. http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Environmental_benefits_of_recycling_2010_update.3b174d59.8816.pdf. Accessed 3.7.2012.
- Mitchell, A. & Stevens, G. 2008. Life cycle assessment of closed loop MDF recycling: Microrelease trial. Final report. WRAP, Material change for a better environment. <http://www.wrap.org.uk/content/life-cycle-assessment-closed-loop-mdf-recycling-microrelease-trial>. Accessed 12.7.2012.
- Myllymaa, T., Dahlbo, H., Ollikainen, M., Peltola, S. ja Melanen, M. 2005. Menettely jätehuolto- vaihtoehtojen ympäristö- ja kustannusvaikutusten elinkaaritarkasteluun. Suomen ympäristö 750/2005. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=33349>
- Myllymaa, T., Moliis, K., Tohka, A., Isoaho, S., Zevenhoven, M., Ollikainen, M. ja Dahlbo, H. 2008. Jätteiden kierrätyksen ja polton ympäristövaikutukset ja kustannukset : jätehuollon vaihtoehtojen tarkastelu alueellisesta näkökulmasta. Suomen ympäristö 39/2008.
- Rivela, B., Moreira, M.T., Muñoz, I., Rieradevall, J. & Feijoo, G. 2005. Life cycle assessment of wood wastes: A case study of ephemeral architecture. *Sci Total Envir* 357:1-11.
- Schonfield, P. 2008. LCA of management options for mixed waste plastics. Final report. WRAP, Material change for a better environment. <http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/LCA%20of%20Management%20Options%20for%20Mixed%20Waste%20Plastics.pdf>. Accessed 10.7.2012.
- Seppälä J., Mäenpää I., Koskela S., Mattila T., Nissinen A., Katajajuuri J. Härmä T., Korhonen M., Saarinen M. & Virtanen Y. 2009. Suomen kansantalouden materiaalivirtojen ympäristövaikutusten arviointi ENVIMAT-mallilla. Suomen ympäristö 20/2009. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=334235&lan=fi&clan=fi>
- SFS-EN ISO 14040. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. Liittyy direktiiviin 765/2008.
- SFS-EN ISO 14044. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaatimukset ja suuntaviivoja. Liittyy direktiiviin 765/2008.
- Sonesson, U., 2000. Modelling the waste collection – a general approach to calculate fuel consumption and time. *Waste Manage. Res.* 18, 115–123.
- Umweltbundesamt, 2009. Bewährte Verfahren zur kommunalen Abfallbewirtschaftung. (Best practice municipal waste management). (In German). <https://www.umweltbundesamt.de/abfall-wirtschaft/best-practice-mwm.php>. Downloaded January 10, 2012.
- YTV Jätehuolto 2005. Pääkaupunkiseudun kotitalouksien sekajätteen määrä ja laatu. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja B 2004:13.
- YTV Jätehuolto 2009. Biojätteen käsittelyvaihtoehdot pääkaupunkiseudulla. Kasviuonekasupäästöjen vertailu. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta YTV julkaisuja 8/2009.
- Villanueva, A., Hedal, N., Carlsen, R., Vogt, R., Giegrich, J. 2008. Comparative life cycle assessment of two options for waste tyre treatment: recycling in asphalt and incineration in cement kilns. Executive summary, by Danish Topic Centre of Waste and Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH. Genan Business and Development A/S, Copenhagen, Denmark.

Lainsäädäntö:

646/2011 Jätelaki

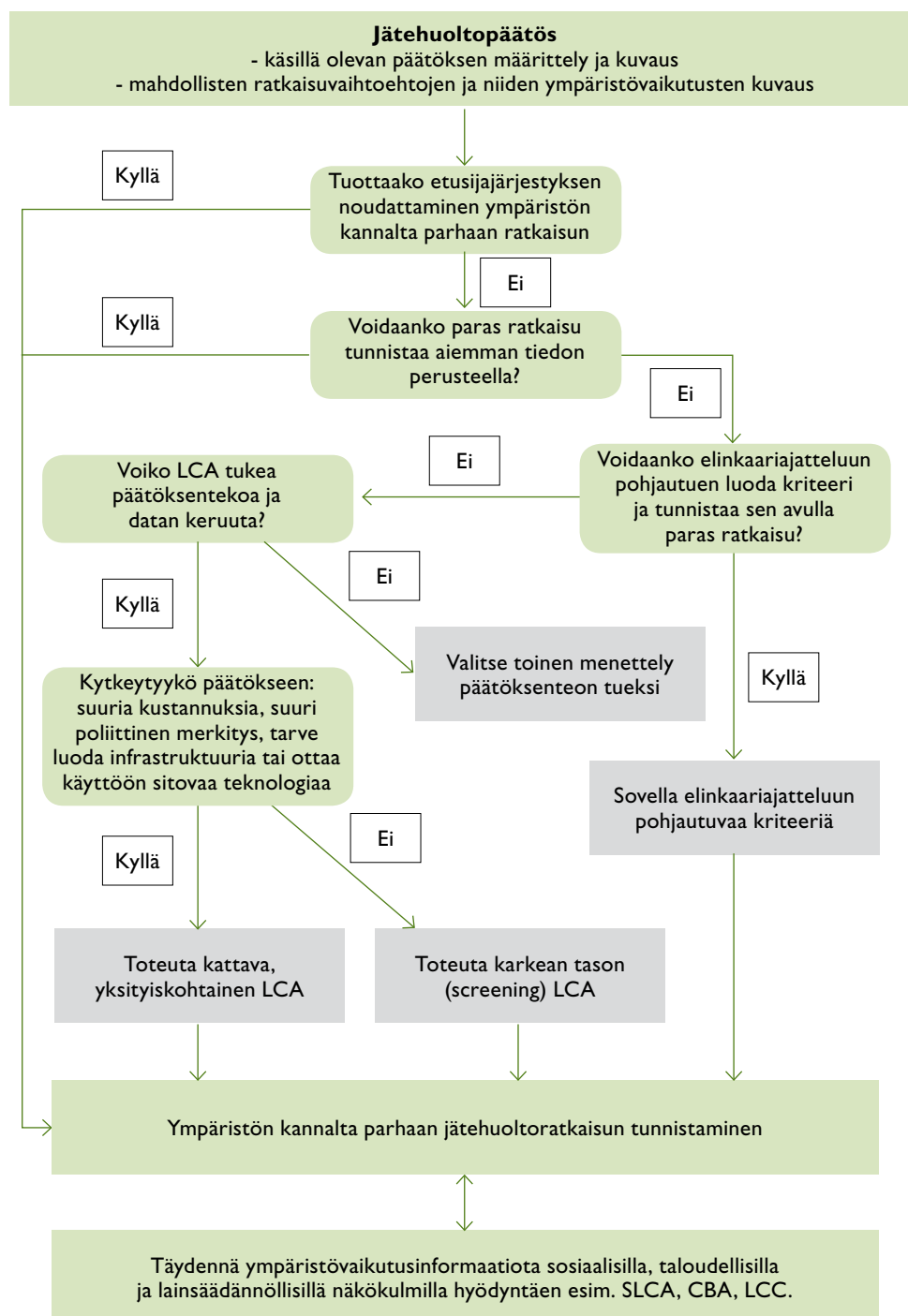
179/2012 Valtioneuvoston asetus jätteistä

2006/12/EY Jäteditiivi; Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi jätteistä

LIITTEET

Liite I.

Päätöksentekoprosessi elinkaarimenettelyn valintaan (European Commission 2011b, suomennettu kuva muokattu lähteestä Jätelaitosyhdistys JLY ry 2012)



KUVAILEHTI

Julkaisija	Ympäristöministeriö Ympäristönsuojeluosasto	Julkaisu-aika	Marraskuu 2012
Tekijä(t)	Tuuli Myllymaa ja Helena Dahlbo		
Julkaisun nimi	Elinkaariarviointien käyttö Suomen jätehuollon arvioinnissa		
Julkaisusarjan nimi ja numero	Ympäristöministeriön raportteja 24/2012		
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut			
Tiivistelmä	<p>Jätelaissa määritellyn etusijajärjestyksen tavoitteena on ohjata jätteiden käsittelyä ympäristön kannalta suotuisimpaan suuntaan. Jätteen tuottajan tai toiminnanharjoittajan sekä muun jätehuoltoon osallistuvan ammattimaisen toimijan on noudatettava etusijajärjestyksistä siten, että saavutetaan lain tarkoituksen kannalta paras tulos. Soveltuva jätehuoltoratkaisu voidaan valita elinkaari pohjaisen menetelmän tulosten, teknisten edellytysten ja taloudellisten seikkojen perusteella.</p> <p>Tämän katsauksen tarkoituksena on tukea uuden jätelainsäädännön käyttöönottoa ja yhtenäistää päätöksentekoa. Työssä on selvitetty Suomen jätehuollosta laadittuja elinkaari pohjaisia tutkimuksia ja niistä saatuja tuloksia. Tavoitteena on antaa jätelajikohtaisia suosituksia ympäristön kannalta suotuisimmista käsittelyratkaisuista bio-, metalli-, puu-, paperi- ja pahvi-, muovi ja sekajätteille. Ohje on tarkoitettu yksityisille ja julkisille toimijoille, kunnallisille päätöksentekijöille, tuottajavastuuyhteisöille ja ympäristö lupien valmistelijoille.</p> <p>Työn tuloksena todetaan, että ympäristönäkökulmasta arvioituna biojätteet kannattaa mädättää ja hyödyntää niiden sisältämä energia ja ravinteet. Metallit – erityisesti alumiini – kannattaa erilliskerätä kierrätykseen, ja kotitalouksien metallit kannattaa kerätä yhdessä muun metallijätteen kanssa. Hyvälaatuiselle puulle tulisi etsiä kierrätysratkaisuja, mutta muiden vaihtoehtojen puuttuessa energiahyödyntäminen on hyvä hyödyntämistapa. Paperi sopii sekä kierrätykseen että polttoon. Hyvälaatuiset muovijätefraktiot tulisi pyrkiä pitämään erillään ja kierrättämään (tarvittaessa esim. lajittelun ja pesun jälkeen), ja kierrätykseen soveltumattomat muovit polttamaan fossiilisia polttoaineita korvaten. Sekajäte tulisi hyödyntää mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella energiaksi, sellaisenaan tai esikäsittelyn jälkeen, tuotettu energia mahdollisimman tehokkaasti hyödyntäen.</p> <p>Kaikissa jätteiden elinkaariarvioinneissa keskeisimmät hyödyt ilmaston-muutosvaikutusluokassa perustuvat fossiilisten polttoaineiden käytön korvaamiseen. Mikäli energian primäärilähteet tulevaisuudessa muuttuvat, vaikutukset on arvioitava uudelleen.</p> <p>Jotta jätteen elinkaari tarkastelun tuloksia voitaisiin pitää luotettavina, on tarkastelussa otettava huomioon mm. seuraavat keskeiset asiat: Yksittäinen ympäristövaikutusluokka ei anna riittävän kattavaa kuvaa jätteen käsittelyn ympäristövaikutuksista tai niiden merkittävyydestä alueen olosuhteissa. Käsiteltävät ympäristövaikutukset tulisi valita alueen ympäristöolosuhteet huomioiden. Mitä merkittävämpiä ratkaisuja työn tulosten pohjalta tehdään, sitä perusteellisempi elinkaari tutkimus tulisi laatia ja sitä tärkeämpää on arvioiduttava työ riippumattomalla taholla ja panostaa tulosten epävarmuuksien ja luotettavuuden arviointiin.</p>		
Asiasanat	jätteet, kierrätys, elinkaariarviointi, LCA		
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Ympäristöministeriö		
	ISBN 978-952-11-4104-1 (PDF)	ISSN 1796-170X (verkkokj.)	
	Sivuja 85	Kieli suomi	Luottamuksellisuus julkinen
Julkaisun myynti/ jakaja	www.ymparisto.fi > Ympäristöministeriö > Julkaisut > Ympäristöministeriön raportteja –sarja		
Julkaisun kustantaja	Ympäristöministeriö		
Painopaikka ja -aika	Helsinki 2012		

PRESENTATIONSBLAD

Utgivare	Miljöministeriet Miljövårdavdelning	Datum	November 2012
Författare	Tuuli Myllymaa ja Helena Dahlbo		
Publikationens titel	Elinkaariarviointien käyttö Suomen jätehuollon kestävyden arvioinnissa (Livscykelanalyser som metod vid bedömning av avfallshanteringen i Finland)		
Publikationsserie och nummer	Miljöministeriets rapporter 24/2012		
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt			
Sammandrag	<p>Målet med den prioritetsordning som fastställs i avfallslagen är att styra behandlingen av avfall på det sätt som bäst gynnar miljön. Avfallsproducenter eller verksamhetsutövare och andra yrkesmässiga aktörer som deltar i avfallshantering ska iakttä prioritetsordningen så att det sammantaget bästa resultatet med tanke på lagens syfte nås. Ett lämpligt avfallshanteringsätt kan väljas utifrån de resultat som livscykelmetoder uppvisar samt utifrån de tekniska och ekonomiska förutsättningarna.</p> <p>Denna översikt är avsedd att stödja tillämpningen av den nya avfallslagstiftningen och förenhetliga beslutsfattandet. I arbetet har det utretts vilka livscykelbaserade studier som har gjorts om avfallshanteringen i Finland och vilka resultat de uppvisar. Målet är att för olika slags avfall ge rekommendationer om vilka sätt att behandla bio-, metall-, trä-, pappers- och kartong-, plast- och blandavfall som är gynnsammast ur miljösynpunkt. Anvisningen är avsedd för privata och offentliga aktörer, kommunala beslutsfattare, sammanslutningar med producentansvar och dem som bereder miljötilstånd.</p> <p>Som ett resultat av arbetet konstateras att det ur miljösynpunkt är fördelaktigt att gå in för rötning av bioavfall och återvinna både energi och näringsämnen. Metaller – i synnerhet aluminium – ska med fördel samlas in separat för återvinning och hushållsmetaller samlas in tillsammans med annat metallavfall. Det borde tas fram sätt att återvinna trä av god kvalitet, men i brist på andra alternativ är energiåtervinning ett bra återvinningsätt. Papper lämpar sig för både återvinning och förbränning. Plastfraktioner av god kvalitet bör hållas separat och återvinnas (efter sortering och tvättning, om det behövs), medan plastfraktioner som inte lämpar sig till återvinning bör förbrännas och på så sätt ersätta fossila bränslen. Blandavfall bör med så hög verkningsgrad som möjligt utnyttjas som energi, antingen som sådant eller efter förbehandling. Detta bör ske så att den energi som produceras utnyttjas så effektivt som möjligt.</p> <p>Alla livscykelanalyser av avfall utgår från att de viktigaste fördelarna i den påverkanskategori som avser klimatförändringen bygger på att de fossila bränslena ersätts. Om de primära energikällorna i framtiden byts ut, måste påverkan bedömas på nytt.</p> <p>För att resultaten från livscykelanalysen av avfall ska anses vara tillförlitliga skall analysen ta i beaktande bl.a. följande centrala synpunkter: En enskild miljöpåverkanskategori ger inte en tillräckligt täckande bild av avfallsbehandlings miljökonsekvenser eller deras betydelse för förhållandena i området. De miljökonsekvenser som behandlas ska väljas med hänsyn till miljöförhållandena i området. Ju betydelsefullare beslutsfattande resultaten ska användas för, desto grundligare livscykelanalys bör göras, och i sådana fall finns det också ett större behov av att låta analysen göras av en oavhängig aktör och fokusera på osäkerheter i resultaten och bedömning av tillförlitligheten.</p>		
Nyckelord	Avfall, återvinning, livscykelanalys, LCA		
Finansiär/ uppdragsgivare	Miljöministeriet		
	ISBN 978-952-11-4104-1 (PDF)	ISSN 1796-170X (online)	
	Sidantal 85	Språk Finska	Offentlighet Offentlig
Beställningar/ distribution	www.miljo.fi > Miljöministeriet > Publikationer > Miljöministeriets rapporter		
Förläggare	Miljöministeriet		
Tryckeri/tryckningsort och -år	Helsingfors 2012		

DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	Ministry of the Environment Department of the Environmental Protection	<i>Date</i> November 2012
<i>Author(s)</i>	Tuuli Myllymaa ja Helena Dahlbo	
<i>Title of publication</i>	Elinkaariarviointien käyttö Suomen jätehuollon kestävyden arvioinnissa (The use of life cycle assessments in assessing waste management in Finland)	
<i>Publication series and number</i>	Reports of the Ministry of the Environment 24/2012	
<i>Parts of publication/ other project publications</i>		
<i>Abstract</i>	<p>The aim of the order of priority specified in the Waste Act is to guide waste management towards a scenario that is as favourable for the environment as possible. Any producer of waste or entrepreneur or other operator participating in waste management on a professional basis must comply with the order of priority so that the best result is achieved in terms of the objectives of the Act. A suitable waste management solution can be selected on the basis of the results of a life cycle based assessment, alongside the operator's technical and economic prerequisites for complying with the order of priority.</p> <p>The purpose of this review is to support the introduction of the new waste management legislation and unify decision-making. This study examines life cycle based studies carried out on Finnish waste management and the results of the studies. The objective is to present recommendations for each waste type on the most favourable management solutions in terms of environmental impacts for biowaste, scrap metal, wood waste, paper and cardboard waste, plastic waste and mixed municipal waste. The guidelines are targeted at operators in the private and public sectors, municipal decision-makers, organisations with producer responsibility and those in charge of preparation of environmental permits.</p> <p>As a result of the study, it can be stated that when assessed from the environmental perspective, biowaste should be decomposed and its energy and nutrient potential should be utilised. Metals – especially aluminium – should be collected separately for recycling, and scrap metal from households should be collected together with other scrap metal. Recycling solutions should be sought for wood of good quality, but if no other options are available, energy recovery is a good option. Paper is suitable for both recycling and incineration. Good-quality plastic waste fractions should be kept apart from other fractions and recycled (after e.g., sorting and washing, if needed), and plastics not suitable for recycling should be incinerated to replace fossil fuels. Mixed municipal waste should be used for energy recovery at as high efficiency as possible, either directly as is or after pre-treatment, and the energy produced should be utilised as efficiently as possible.</p> <p>In all the life cycle assessments examined, the key benefits in terms of impacts on climate change are based on the replacement of fossil fuels. If the primary sources of energy change in the future, impacts must be reassessed.</p> <p>For the results of waste life cycle assessments to be considered reliable, the assessment must take into account e.g., the following key issues: an individual category of impacts does not provide a sufficiently comprehensive picture of the environmental impacts of waste management or their significance in the conditions of the area studied. When selecting the environmental impact categories to be assessed, the environmental conditions of the region should be taken into account. As the decisions that need to be made on the basis of the results of the assessment become more important, life cycle assessments should be more comprehensive and the need to allow an independent body to evaluate the assessment increases, as does the need to invest in the evaluation of uncertainties in the results and the reliability of the results.</p>	
<i>Keywords</i>	Waste, recycling, life-cycle assessment, LCA	
<i>Financier/ commissioner</i>	Ministry of the Environment	
	ISBN 978-952-11-4104-1 (PDF)	ISSN 1796-170X (online)
	<i>No. of pages</i> 85	<i>Language</i> Finnish
		<i>Restrictions</i> For public use
<i>For sale at/ distributor</i>	www.environment.fi > Ministry of the Environment > Publications > Reports	
<i>Financier of publication</i>	Ministry of the Environment	
<i>Printing place and year</i>	Helsinki 2012	

Jätelaissa määritellyn etusijajärjestyksen tavoitteena on ohjata jätteiden käsittelyä ympäristön kannalta suotuisimpaan suuntaan. Jätteen tuottajan tai toiminnanharjoittajan sekä muun jätehuoltoon osallistuvan ammattimaisen toimijan on noudatettava etusijajärjestystä siten, että saavutetaan lain tarkoituksen kannalta paras tulos. Soveltuva jätehuoltoratkaisu voidaan valita elinkaari pohjaisen menetelmän tulosten, teknisten edellytysten ja taloudellisten seikkojen perusteella.

Julkaisun ensimmäisen osassa on annettu jätelajikohtaisia suosituksia ympäristön kannalta suotuisimmista käsittelyratkaisuista bio-, metalli-, puu-, paperi- ja pahvi-, muovi ja sekajätteille. Ohje on tarkoitettu yksityisille ja julkisille toimijoille, kunnallisille päätöksentekijöille, tuottajavastuuyhteisöille ja ympäristölupien valmistelijoille.

Työn toisessa osassa on selvitetty Suomen jätehuollosta laadittuja elinkaari pohjaisia tutkimuksia ja niistä saatuja tuloksia. Selvityksen tarkoituksena on tukea uuden jätelainsäädännön käyttöönottoa ja yhtenäistää päätöksentekoa



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment

ISBN 978-952-11-4104-1 (PDF)
ISSN 1796-170X (verkkokj.)