

**YMPÄRISTÖN-
SUOJELU**

Tuuli Myllymaa, Helena Dahlbo, Markku Ollikainen,
Sanna Peltola ja Matti Melanen

Menettely jätehuoltovaihtoehtojen ympäristö- ja kustannusvaikutusten elinkaaritarkasteluun



Tuuli Myllymaa, Helena Dahlbo, Markku Ollikainen,
Sanna Peltola, Matti Melanen

Menettely jätehuoltovaihtoehtojen ympäristö- ja kustannusvaikutusten elinkaaritarkasteluun

HELSINKI 2005

Julkaisu on saatavana myös Internetissä
www.ymparisto.fi/julkaisut

ISBN 952-11-1952-7
ISBN 952-11-1953-5 (PDF)
ISSN 1238-7312

Taitto: Erika Várkonyi

Paino: Vammalan Kirjapaino Oy
Vammala 2005

Alkusanat

Tämä tutkimus on toteutettu Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) Ympäristöteknologian tutkimusohjelman ja Helsingin yliopiston (HY) Taloustieteen laitoksen Ympäristöekonomian yksikön yhteistyönä. Tutkimus on osa Tekes-rahoitetta hanketta nimeltä Elinkaarinäkökulma jätehuollon kestävyys – tapaustarkasteluna sanomalehti (LCA-WASTE). Hanke alkoi vuonna 2002 ja päättyi vuoden 2004 lopussa.

Hankkeen vastuullisena johtajana toimi professori Matti Melanen Suomen ympäristökeskuksesta. Hankkeen tutkimusryhmässä olivat mukana vanhempi tutkija Helena Dahlbo (SYKE), tutkimusinsinööri Timo Jouttijärvi (SYKE), vanhempi tutkija Sirkka Koskela (SYKE), tutkimusapulainen Jari Laukka (SYKE), tutkimusinsinööri Tuuli Myllymaa (SYKE), professori Markku Ollikainen (HY), tutkija Sanna Peltola (Paperinkeräys Oy), ohjelmajohtaja Jyri Seppälä (SYKE) ja tutkimusinsinööri Jyrki Tenhunen (SYKE). Lisäksi lukuisat asiantuntijat osallistuivat tutkimukseen erilaisten tiedonantojen muodossa.

Hankkeen johtoryhmään kuuluivat yksikönjohtaja Alec Estlander (SYKE), ympäristöanalyytikko Jarkko Hukkanen (UPM-Kymmene Oyj), toimitusjohtaja Juha Kaila (Kasvi Oy), vanhempi insinööri Hannu Laaksonen (Ympäristöministeriö), teknologia-asiantuntija Helena Manninen (Tekniikan kehittämiskeskus, Tekes), toimitusjohtaja Kyösti Pöyry (Paperinkeräys Oy), projektipäällikkö Gabriel Sundman (Stora Enso Oyj) ja toimitusjohtaja Juha-Heikki Tanskanen (Itä-Uudenmaan Jätehuolto Oy).

Tämän raportin kirjoittamiseen ovat osallistuneet Tuuli Myllymaa, Helena Dahlbo, Markku Ollikainen, Sanna Peltola ja Matti Melanen. Työn tulokset antavat kaivattua lisätietoa ja apua jätehuoltojärjestelmätarkastelujen toteutukseen.

Helsinki, 22.2.2005

Kirjoittajat

Sisällys

Alkusanat	3
I. Johdanto	7
1. Tausta ja tavoitteet	9
2. Jätehuoltoon vaikuttava lainsäädäntö Suomessa vuonna 2004 – jätehuollon ratkaisujen raamit	10
3. Elinkaariajattelun perusteet ja periaatteet	12
4. Taloudellisen tarkastelun yhdistäminen elinkaariajatteluun	16
5. Menettelyn rakenne, sisältö ja toimintaperiaate	18
II. Menettely jätehuoltovaihtoehtojen ympäristö- ja kustannusvaikutusten elinkaaritarkasteluun	21
1. Jätteen valinta ja jätteiden kokonaismäärien laskenta	25
1.1 Menettelyn ensimmäinen vaihe.....	25
1.2 Asukkaiden tuottamien jätemäärien arviointi.....	25
1.3 Toimipaikkojen tuottaman jätteen määrien arviointi.....	26
1.4 LCA-WASTE: paperi- ja kokonaisjätemäärien laskenta.....	26
1.5 Jätteiden määrää ja hyödyntämistä käsitteleviä tietolähteitä ja laskentataulukoita.....	29
2. Tuotanto- ja jalostusprosessien tutkiminen	31
2.1 Menettelyn toinen vaihe.....	31
2.2 Tuotanto- ja jalostusprosessien ympäristökuormitustarkastelussa huomioitavat tekijät.....	31
2.3 Tuotanto- ja jalostusprosessien kustannustarkastelussa huomioitavat tekijät.....	32
2.4 LCA-WASTE: tuotanto- ja jalostusvaiheiden käsittely.....	32
2.5 Elinkaari-inventaariotietoja käsitteleviä tietolähteitä ja menettelyn tiedonkeruulomake.....	34
3. Keräily- ja kuljetusjärjestelmän suunnittelu	36
3.1 Jäteastiajärjestelmän mitoittaminen.....	36
3.2 Keräily- ja kuljetusjärjestelmän ympäristökuormitustarkastelussa huomioitavat tekijät.....	36
3.3 Keräily- ja kuljetusjärjestelmän kustannustarkastelussa huomioitavat tekijät.....	39
3.4 LCA-WASTE: keräily- ja kuljetusjärjestelmätarkastelut.....	39
3.4.1 Astiajärjestelmän mitoitus.....	39
3.4.2 Keräyksen ja kuljetuksen päästöjen laskeminen.....	40
3.4.3 Kustannusten laskeminen.....	41
3.5 Jätteiden keräilyä ja jätekuljetuksia käsitteleviä tietolähteitä ja laskentataulukoita.....	42

4. Jätteen käsittelyvaihtoehtojen muodostaminen	44
4.1 Jätteen lajittelu sekajätteeksi ja erilliskeräykseen ja käsittelymenetelmien vertailu	44
4.2 Erilliskerätty jäte.....	44
4.2.1 Materiaalinen hyödyntäminen (a1)	44
4.2.2 Energiahyödyntäminen (a2).....	47
4.2.3 Biologinen käsittely (a3)	51
4.3 Sekajäte.....	52
4.3.1 Esikäsittely sekajätteen jatko- hyödyntämistä varten (b1)	52
4.3.2 Energiahyödyntäminen (b2)	55
4.3.3 Loppusijoitus kaatopaikalle (c1)	57
4.4 LCA-WASTE: sanomalehtipaperin ja sekajätteen käsittelyvaihtoehdot ..	58
4.4.1 Vertailtavien käsittelyvaihtoehtojen valinta.....	58
4.4.2 Käsittelyvaihtoehtojen ympäristökuormitus.....	60
4.4.3 Käsittelyvaihtoehtojen kustannukset	62
5. Järjestelmän hyvitysten huomioon ottaminen	66
5.1 LCA-WASTE: Järjestelmän hyvitykset	66
5.1.1 Ympäristökuormituslaskelmat	66
5.1.2 Kustannuslaskelmat	68
6. Ekologisten ja taloudellisten tekijöiden arviointi ja näkökulmien yhdistäminen	69
6.1 Elinkaariarvioinnin mukainen ekologisten vaikutusten arviointi.....	69
6.1.1 Vaikutusarvioinnin vaiheet	69
6.1.2 Vaikutusarviointimallit.....	71
6.2 Yhteiskunnallisten kustannusten mukainen taloudellisten vaikutusten arviointi	74
6.2.1 Yhteiskunnallisten elinkaarikustannusten määrittely	74
6.2.2 Vaikutusarviointimallit.....	74
6.3 Taloudellisten ja ekologisten tulosten yhdistäminen.....	75
6.4 LCA-WASTE: Ekologisten ja taloudellisten vaikutusten arviointi.....	75
6.4.1 Ekologiset vaikutukset.....	75
6.4.2 Kustannusvaikutukset.....	81
6.4.3 Ekologisen ja kustannustarkastelun yhdistäminen	82
7. Yhteenveto ja johtopäätökset	86
Kiitokset	88
Keskeiset termit	89
Lähteet.....	91
Liitteet.....	94
Liite 1. Jätehuollon suunnitelmien ja strategioiden yksityiskohtia	94
Liite 2. Kaavaliite.....	96
Liite 3. Ajoneuvojen päästökertoimet (VTT Lipasto).....	105
Kuvailulehdet.....	106

I.

Johdanto

Tausta ja tavoitteet

Luonnonvarojen kestävä käyttö ja päästöjen vähentäminen ovat Euroopan Unionin ja Suomen jätepolitiikan keskeisiä päämääriä. Jätepolitiikassa näihin haasteisiin on vastattu asettamalla lähtökohdaksi jätteen synnyn ennaltaehkäisy. Syntyneen jätteen vaihtoehtoiset jätahuoltoratkaisut on asetettu paremmuusjärjestykseen, jonka mukaan jätteet tulee ensisijaisesti kierrättää, toissijaisesti hyödyntää energiana ja vasta viimeisenä ja huonoimpana vaihtoehtona loppusijoittaa kaatopaikalle. Yleistä jättehierarkiaa sovelletaan myös Suomessa, vaikka sen yleistettävyyttä olosuhteisiimme ei ole juurikaan tutkittu tuotteiden tai materiaalien koko elinkaareen perustuen.

Kulutuksen ja jätemäärien jatkuvasti lisääntyessä jätahuoltoratkaisuilla on yhä suurempi vaikutus tuotteiden koko elinkaaren ekologisuuteen ja kustannuksiin. Jätahuoltoratkaisujen ekologiset ja taloudelliset vaikutukset voivat vaihdella mm. tarkasteltavan jätelajin ja alueen ominaisuuksista riippuen. Mahdollisimman hyvien ratkaisujen etsiminen ja vertailu edellyttää systemaattista, tapauskohtaista tarkastelua. Tätä varten tarvitaan yleisesti sovellettavissa olevia menetelmiä. Lisäksi tarvitaan tietoa tekijöistä, jotka vaikuttavat jätahuoltoratkaisujen väliseen paremmuuteen.

Elinkaarinäkökulma jätetuollon kestävyteen – tapaustarkasteluna sanomalehti (LCA-WASTE) –hankkeessa tutkittiin pääkaupunkiseudulla (Helsinki, Espoo, Vantaa ja Kauniainen) jätteeksi päätyvän sanomalehden eri jätetuoltovaihtoehtojen aiheuttamaa ympäristökuormitusta, kustannuksia ja ympäristövaikutuksia. Tutkimusmenetelminä käytettiin elinkaariarviointia (LCA, life cycle assessment) sekä SLCC-kustannusanalyysiä, jonka avulla tuotettiin elinkaariarvioinnin rajasta noudattavat yhteiskunnalliset elinkaarikustannukset (social life cycle costs). Näin ollen tarkasteltavia vaihtoehtoja voitiin punnita ja vertailla sekä ekologisten vaikutusten että kustannusvaikutusten näkökulmasta. Hanke on saanut rahoituksen Teknologian kehittämiskeskuksen (Tekes) Streams-ohjelmasta (Yhdyskuntien jätevirroista liiketoimintaa) ja lisäksi hanke kuului Suomen Akatemian Sunare-ohjelmaan (Luonnonvarojen kestävä käyttö).

Tavoitteena LCA-WASTE-hankkeessa oli kehittää sanomalehdelle tehdyn elinkaariarvioinnin pohjalta yleinen menettely, jota voidaan soveltaen käyttää työkaluna muidenkin jätelajien jätetuoltovaihtoehtojen ekologisten ja taloudellisten tekijöiden elinkaariperusteisessa arvioinnissa. Sanomalehden jätetuoltovaihtoehtojen tutkimus on tuottanut tietoa tärkeistä lainalaisuuksista, yllättävistäkin huomioon otettavista muuttujista ja muista tärkeiksi osoittautuvista tekijöistä, elinkaariarvioinnin rajoituksista sekä keskeisistä tietolähteistä. Kehitetyn menettelyn tarkoituksena on siirtää tämä tieto myös muiden jätetuolta tutkivien tai jätetuoltoon liittyvien päätöksiä tekevien hyödynnettäväksi. Menettelyn tavoitteena on avustaa jätetuoltovaihtoehtojen vertailussa ja sopivan vaihtoehdon valinnassa, toimia työkaluna vaihtoehtojen paremmuuteen vaikuttavien tekijöiden kartoittamisessa ja antaa siten pohjatietoja johtopäätösten tueksi.

2

Jätehuoltoon vaikuttava lain- sädäntö Suomessa vuonna 2004 - jätehuollon ratkaisujen raamit

Jätehuollon ratkaisuihin, jätteiden hyödyntämiseen ja loppusijoitukseen vaikuttavat Suomessa monet lait ja säädökset, joista suurin osa perustuu Euroopan unionin direktiiveihin (taulukko 1). Jätehuollon toteutukseen liittyvät päätökset ovat ajankohtaisia, koska uudet jätteiden kaatopaikkasijoittamista rajoittavat ja uusia käsittelyvelvoitteita asettavat säädökset astuivat voimaan vuoden 2005 alusta (VNp 861/1997).

Suomen jätelaki tarkoittaa jätteellä ”ainetta tai esinettä, jonka sen haltija on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä taikka on velvollinen poistamaan käytöstä” (1072/1993). Materiaalin kuulumisella em. määrittelyn piiriin on käytännössä suuri merkitys, koska jätteitä koskevat monet käsittelyyn, loppusijoittamiseen, siirtoihin, uudelleenkäyttöön ja veroihin liittyvät määräykset (taulukko 1), jotka on huomioitava vaihtoehtoisia jätehuoltovaihtoehtoja ratkaistaessa.

Taulukko 1. Jätehuoltoon vaikuttavaa lainsäädäntöä, lainsäädännön toimeenpanevia kansallisia säädöksiä sekä suunnitelmia ja strategioita

Suomen lainsäädäntö, suunnitelmat ja strategiat	Käytännön merkitys jätehuollon kannalta
Ympäristönsuojelulaki ja –asetus (86/2000 ja 169/2000)	<ul style="list-style-type: none">• Maaperän ja pohjaveden pilaamiskielto• Ympäristön pilaantumisen vaaraa aiheuttavalla toiminnalla oltava ympäristölupa• Parhaan käyttökelpoisen tekniikan periaate (BAT)
Jätelaki (1072/1993)	<ul style="list-style-type: none">• Jättehierarkia:<ol style="list-style-type: none">1. Jätteiden synnyn ehkäisy2. Jätteiden hyödyntäminen ensisijaisesti materiaalina ja toissijaisesti energiana3. Jätteiden turvallinen loppusijoitus kaatopaikalle• Laissa määritelty tuottajavastuu• Toimeenpanee Jätedirektiivin (442/75/ETY, muut. 91/156/ETY)
Jäteverolaki (495/1996)	<ul style="list-style-type: none">• Jäteveron määrä vuoden 2004 loppuun 23 €/t ja vuodesta 2005 lähtien 30 €/t
Lannoitelaki (232/1993) ja MMM:n päätös eräistä lannoitevalmisteista (MMMp 46/1994)	<ul style="list-style-type: none">• Sovellusalan lannoitteet, maanparannusaineet, kasvualustat, kompostointivalmisteet (mm. kompostoitu biojäte ja liete) ja vastaavalla tavalla käytettävät sivutuotteet• Lannoitteena käytettävät aineet hyväksyttävä MMM:ssä• Päätöksessä raja-arvot lannoitevalmisteiden raskasmetallipitoisuuksille (lukuarvot samat kuin VNp:ssä 282/1994)• Päätöksen raja-arvoja ei sovelleta metsään levitettävään puu- tai turvetuhkan eikä julkisen viherrakentamisen ja maisemoinnin maanparannusaineisiin
Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista 1.1.2005 (861/1997)	<ul style="list-style-type: none">• Velvoite esikäsitellä kaatopaikalle sijoitettava jäte• Velvoite erotella kaatopaikalle sijoitettavasta jätteestä pääosa biojätteestä (ei koske jätevesilietteitä)• Kaatopaikalle sijoitettavan biohajoavan jätteen määrän rajat sekä vähentämistavoitteet• Kelpoisuusmenettely kaatopaikalle hyväksyttävälle jätteelle• Toimeenpanee Kaatopaikkadirektiivin (1999/31/EY)
Valtioneuvoston päätös puhdistamolietteen käytöstä maanviljelyksessä (282/1994)	<ul style="list-style-type: none">• Sovelletaan lietteisiin ja turpeella, kalkilla tai raakamaalla seostettuihin lietteisiin, muttei lietteistä valmistettuihin lannoitevalmisteisiin (lannoitelaisissa 232/1993)• Liete stabiloitava ennen levitystä (Huom. kompostoitu liete kuuluu lannoitelain piiriin)• Rajat lietteen metallipitoisuuksille ja maaperän metallikuormitukselle (Hg, Cd, Cr, Ni, Pb, Cu, Zn)• Vain viljalle, sokerijuurikkaalle, öljykasveille tai ihmis- ja eläinravinnoksi käyttämättömille kasveille• Toimeenpanee nk. Lietedirektiivin (1986/278/EEC)

Valtioneuvoston asetus ympäristövaikutusten arviointimenettelystä (268/1999)	<ul style="list-style-type: none"> • Ympäristövaikutusten arviointimenettelyn (YVA) vaatiman toiminnan määrittely
Valtioneuvoston asetus maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta (931/2000)	<ul style="list-style-type: none"> • Typpilannoitusraja 170 – 200 kg N/ha
Valtioneuvoston asetus polttoaineteholtaan vähintään 50 MW polttolaitosten ja kaasuturbiinien rikkidioksidi-, typenoksi- ja hiukkaspäästöjen rajoittamisesta (1017/2002)	<ul style="list-style-type: none"> • Sovelletaan tavanomaisia polttoaineita käyttäviin kattilalaitoksiin ja jätteenpolttodirektiivin määräyksistä vapautettuihin jätekattiloihin (esim. puhdas puujäte ja metsäteollisuuden kuitujäte) • Toimeenpanee Suurten polttolaitosten eli LCP-direktiivin (2001/80/EY)
Valtioneuvoston asetus jätteen polttamisesta (362/2003)	<ul style="list-style-type: none"> • Poltto- ja rinnakkaispolttolaitosten ilma- ja vesipäästörajat, päästöjen ja tuhkan laadun mittausvelvoitteet, poltto-olosuhteet ja laitevaatimukset • Jätteenpoltoksi ei lasketa mm. puhdasta puujätettä, kuitulietettä ja maatalouden kasviperäisiä jätteitä, muuten sovelletaan jätelaissa (1072/1993) tarkoitettulle jätteelle • Toimeenpanee Jätteenpolttodirektiivin (2000/76/EY)
Tarkistettu valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2005	<ul style="list-style-type: none"> • Jätelajikohtaiset hyödyntämis- ja jätteiden vähentämistavoitteet • Toimialakohtaiset hyödyntämis- ja jätteiden vähentämistavoitteet • Jätelaji- ja toimialakohtaiset tavoitteet liitteessä I
Kansallinen biojättestrategia	<ul style="list-style-type: none"> • Ehdotus keinoista vähentää kaatopaikkojen metaanipäästöjä rajoittamalla kaatopaikoille sijoitettavien, biohajoavien jätteiden määrää • Ehdotetut keinot on esitetty liitteessä I. (http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=7346)
YK:n ilmasopimus, Rio de Janeiro 1992	<ul style="list-style-type: none"> • Kansallinen ilmasto-ohjelma - ympäristöministeriön sektoriselvitys, SY473 • Suomi sitoutunut vähentämään kasvihuonekaasupäästöjään vuoden 1990 tasalle
Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus ((EY) 1774/2002) eli ns. Sivutuoteasetus	<ul style="list-style-type: none"> • Tavoitteena estää eläinperäisten sairauksien tarttuminen ihmisiin ja eläimiin • Soveltamisalaa kuolleet eläimet, entiset eläinperäiset elintarvikkeet, kompostoitava ruokajäte sekä teurastamojäte • Keräämiseen, kuljetukseen, varastointiin, esikäsittelyyn, käsittelyyn, käyttöön ja hävittämiseen liittyviä teknisiä, menetelmä- (esim. ainoa hävityskeino polttaminen), hygienia- ja mittausvaatimuksia (http://www.mmm.fi/el/ter/sivutuote/#1)
Valmisteilla olevaa lainsäädäntöä EU:ssa	
”Biojättedirektiivi”	<ul style="list-style-type: none"> • ”Biohajoavan jätteen biologiset käsittelymenetelmät” • Uusia säännöksiä jätekompostin käytön ja laadun valvontaan
Strategia maaperän suojelemiselle (KOM(2002) 179)	<ul style="list-style-type: none"> • Suunnitteilla luonnonvarojen, kuten maaperän käyttöön liittyviä strategisia periaatteita ja rajoituksia

3

Elinkaariajattelun perusteet ja periaatteet

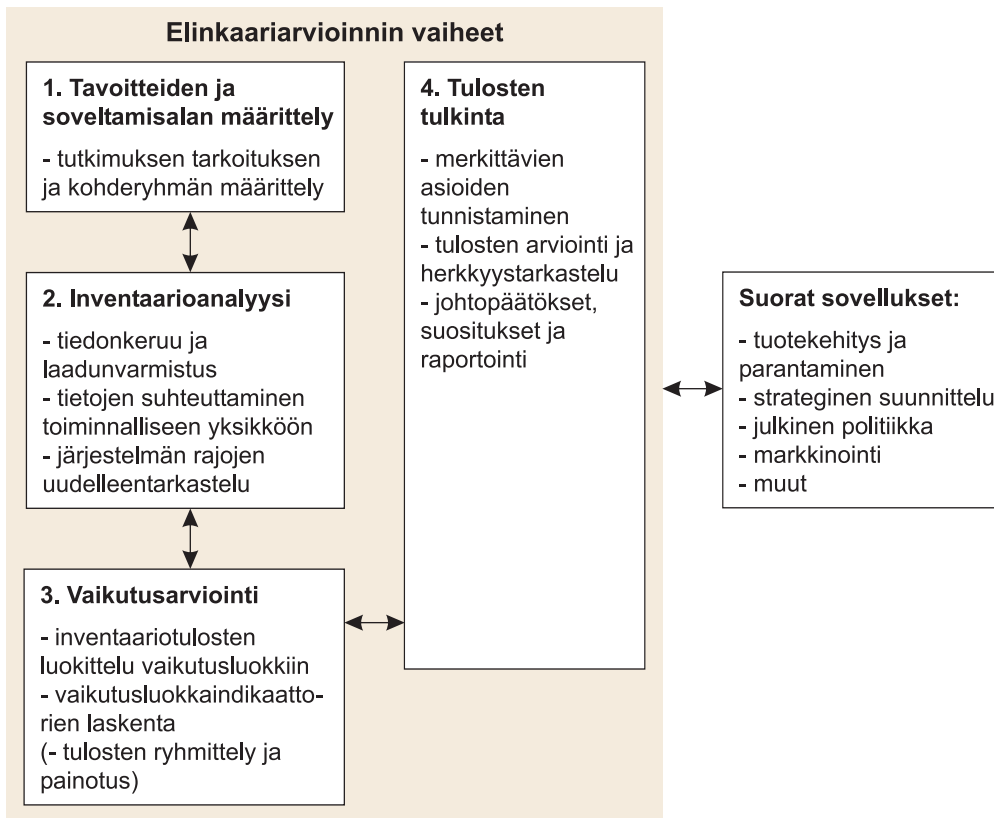
Elinkaariarviointi (LCA, life cycle assessment) on tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaisen ympäristökuormituksen tunnistamiseen, määrällistämiseen, arviointiin ja tulkintaan tarkoitettu tiedon keruu- ja analysointimenetelmä. Elinkaarella tarkoitetaan tuotteen tai palvelun tai niiden raaka-aineiden tuotantoon liittyviä valmistus- ja jalostusprosesseja, kuljetuksia, käsittelyjä ja loppusijoitusta. Elinkaaren aikana kulutettavat luonnonvarat, energia, raaka-aineet ja eri ympäristöelementteihin vapautuvat päästöt selvitetään ja lopuksi arvioidaan näiden erilaisen ympäristöä kuormittavien tekijöiden potentiaaliset ympäristövaikutukset. Tämän julkaisun osassa II esiteltävä ”menettely jättejakeen erilaisten jätehuoltovaihtoehtojen ekologisten ja taloudellisten tekijöiden arviointiin” noudattaa näitä elinkaariarvioinnin periaatteita.

Kansainvälinen standardisointijärjestö ISO (The International Organization for Standardization) on julkaissut neljä standardia elinkaariarviointimenetelmän soveltamisesta (taulukko 2). Standardien tarkoitus on antaa elinkaariarvioinnin soveltamiselle yhtenäiset lähtökohdat ja opastaa lähtötietojen ja tulosten yhdenmukaiseen ja läpinäkyvään raportointiin. (ISO 1998)

Taulukko 2. Elinkaariarvioinnin ISO-standardit

Standardi	Aihealue: Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi.	Vuosi
ISO 14040	Periaatteet ja pääpiirteet	1997
ISO 14041	Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely sekä inventaarioanalyysi	1998
ISO 14042	Vaikutusarviointi	2000
ISO 14043	Tulosten tulkinta	2000

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 1.



Kuva 1. Elinkaariarvioinnin vaiheet (ISO 1997, ISO 2000b) (soveltaen)

Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely

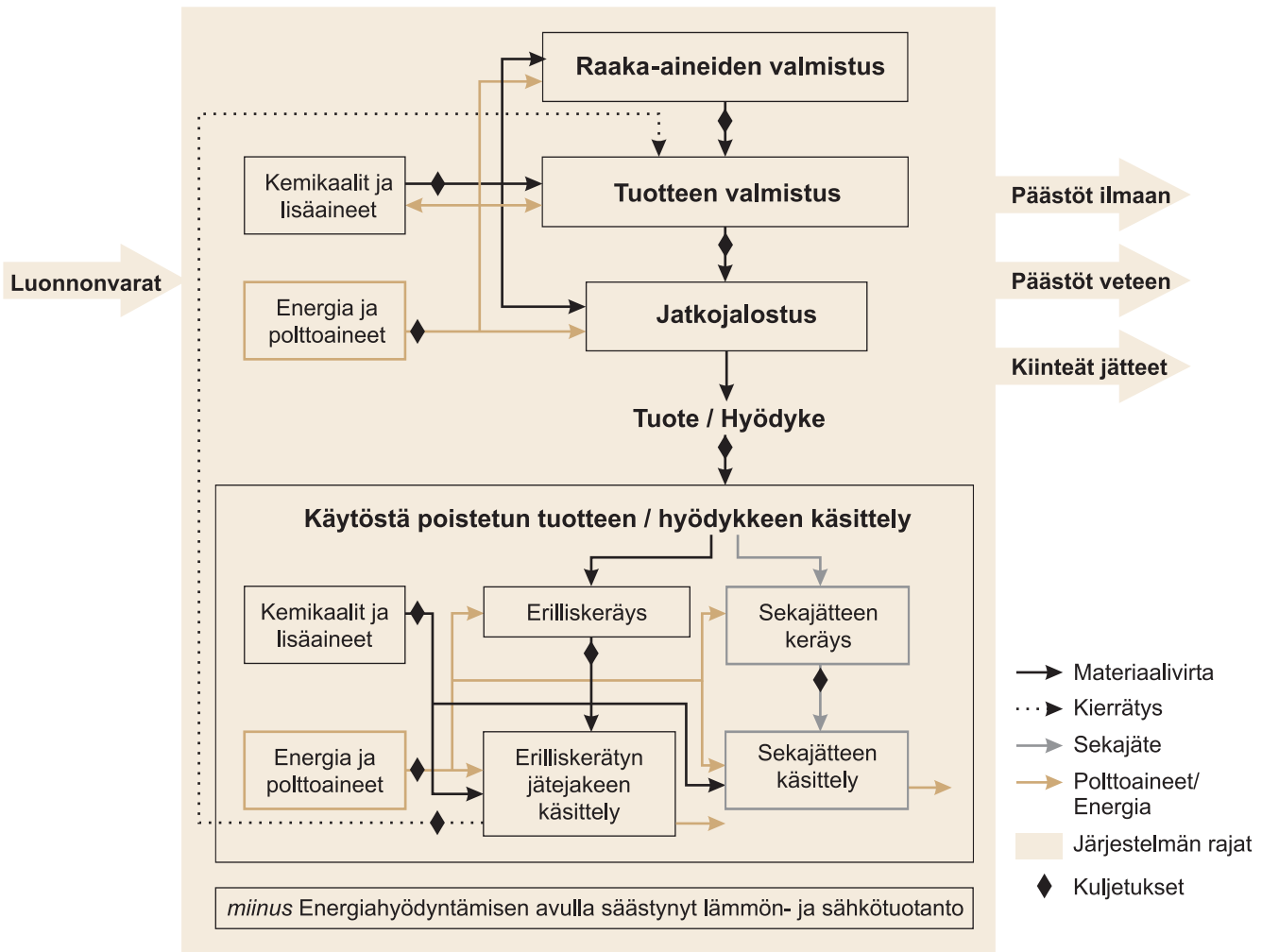
Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyllä ratkaistaan laadittavan LCA:n lähtökohdat. Tässä tärkeässä vaiheessa määritellään, miksi elinkaariarviointi tehdään, mikä on sen tavoite eli minkälaisiin kysymyksiin sillä haetaan vastausta ja kenelle tulokset on tarkoitettu. Tiedonkeruun laajuuden tulee vastata asetettuja tavoitteita. Koska LCA on luonteeltaan iteratiivinen prosessi, sen edetessä voidaan tarvittaessa palata muuttamaan tai tarkentamaan lähtötietoja tai jopa alunperin asetettuja tavoitteita. (ISO 1998)

Vaiheen tärkeimpiä päätöksiä ovat järjestelmän ns. toiminnallisen yksikön ja rajoituksen määrittäminen. Järjestelmän syötteet (järjestelmään tulevat aine- ja energiavirrat), tuotokset (päästöt ja muut järjestelmästä lähtevät aine- ja energiavirrat) ja mahdolliset muut tekijät lasketaan toiminnallista yksikköä kohden muodossa määrä/toiminnallinen yksikkö. Lisäksi tehdään päätökset kerättävän tiedon laatu- ja tarkkuusvaatimuksista. Tässä vaiheessa on myös syytä listata tutkimuksen lähtöoletukset ja rajoitukset, jotta voidaan etsiä vastaavilla oletuksilla tehtyjä tutkimuksia tulosten vertailua varten. (ISO 1998)

Hankkeessa kehitetyssä menettelyssä jätehuoltojärjestelmän elinkaari pohjainen tarkastelu on ajateltu toteutettavaksi esim. kuvassa 2 esitettyä järjestelmärajausta käyttäen. Kuvassa esitettyä rajausta käytettiin myös LCA-WASTE-hankkeessa. Tässä järjestelmärajauksessa jätehuoltojärjestelmästä materiaali kierto lähtevä jae kierrätetään takaisin tuotteen valmistukseen (vinoraitakuviainen nuoli kuvassa 2), eli kyseessä on materiaalin ns. suljettu kierto. Tuotejärjestelmän rajoitusta joudutaan kuitenkin muuttamaan jätelajista riippuen, sillä jos jätelaji on koostumukseltaan epähomogeenista (biojäte, keräyskartonki, tms.), tuotteen valmistukseen ja jatkojalostukseen liittyvien yksikköprosessien sisällyttäminen tuotejärjestelmään on työläämpää. Tällöin hyödyntäminen rajataan tuotejärjestelmän ulkopuolelle. Tuotejärjestelmästä syntyvät kierrätysmateriaalit eivät silloin kierrä

samassa, vaan toisessa tai toisissa tuotejärjestelmissä, mitä kutsutaan materiaalin avoimeksi kierroksi.

Jätehuoltojärjestelmien elinkaariarvioinneissa toiminnallisena yksikkönä on yleensä käytetty 1 kg tai 1 t kulutettua tuotetta tai hyödykettä eli 1 kg tai 1 t tuotettua jätettä.



Toiminnallinen yksikkö = 1 t kulutettua tuotetta / hyödykettä

Kuva 2. Elinkaari-perusteisen jätehuoltojärjestelmätarkastelun rajaukset LCA-WASTE-menettelyssä, kun materiaali kiertää suljetussa kierrossa.

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. 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. (ISO 1998)

Vaikutusarviointi

Elinkaari-inventaariota seuraa ekologisten vaikutusten arviointi (LCIA, life cycle impact assessment), jonka avulla pyritään muodostamaan käsitys tuotejärjestel-

män päästöjen ja muiden ympäristökuormitusta aiheuttavien tekijöiden potentiaalisista ympäristövaikutuksista. Vaikutusarvioinnissa tarkasteltavat ympäristöky-symykset ovat kansainvälisen standardoimisjärjestön standardin ISO 14 042 mukaan vaikutusluokkia (ISO 2000a).

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 vastaviin tietoihin normalisoinnilla. Viimeisenä vaiheena vaikutusluokkaindikaattoritulokset voidaan vielä yhdistää painokertoimien avulla. Näin saatu kokonaisvaikutusindikaattoritulos kuvaa tuotejärjestelmän potentiaalisia kokonaisvaikutuksia. Vaikutusluokkien painotus on aina subjektiivista ja perustuu asiantuntija-arvioihin. Sekä normalisointi että painotus ovatkin ISO:n vaikutusarviointistandardin (ISO 2000a) mukaan vapaaehtoisia vaikutusarvioinnin vaiheita.

Tulosten tulkinta

Tulosten tulkintavaihe on tulosten ja niiden luotettavuuden ja johdonmukaisuuden analysointia, johtopäätösten tekemistä, tulosten rajoitusten määrittelyä ja suositusten laatimista. Tulkinta tehdään alussa määriteltyjen tavoitteiden ja oletusten rajoissa ja tarvittaessa voidaan palata alkuun täydentämään ja/tai muuttamaan lähtötietoja tai muuttamaan rajausta. (ISO 2000b)

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

4

Taloudellisen tarkastelun yhdistäminen elinkaariajatteluun

Ympäristövaikutusten ohella ratkaisujen elinkaarikustannukset vaikuttavat yhteiskunnalliseen ja yksityiseen päätöksentekoon. Siksi on tärkeää, joskin haastavaa, kehittää taloudellinen tarkastelu, jossa elinkaarianalyysia noudattaen määritetään tuotteen tai palvelun kustannukset ja kustannushyödyt yli koko elinkaaren. Kun elinkaarikustannusten määrittelyssä noudatetaan tarkoin elinkaariarvioinnissa täsmennettyjä valmistukseen, jalostukseen ja käsittelyyn liittyviä yksikköprosesseja, tuotettu elinkaarikustannustieto on luonteeltaan yhteensopiva elinkaariarvion ympäristövaikutusanalyysin kanssa. Tehtävän haastavuuden vuoksi elinkaarikustannusten yhdistäminen elinkaariarviointiin on kuitenkin toistaiseksi ollut harvinaista, eikä elinkaarikustannusten määrittämiselle ole yhtenäisiä standardeja samaan tapaan kuin itse LCA:lle.

Elinkaarikustannusten tarkastelussa on hyödyllistä tehdä ero yksityisten ja yhteiskunnallisten elinkaarikustannusten välillä. Jos elinkaarianalyysiin on valittu koko yhteiskunnan kattava, kokonaisvaltainen näkökulma, on luontevaa analysoida yhteiskunnallisia elinkaarikustannuksia ja hyötyjä. Jos elinkaarianalyysi sen sijaan toteutettaisiin yksityisen toimijan, kuten yrityksen, näkökulmasta, on yleensä tapana tarkastella ainoastaan yksityisiä kustannuksia ja hyötyjä. Tässä raportissa lyhenne SLCC viittaa yhteiskunnallisiin elinkaarikustannuksiin.

Tuotteen elinkaaren yhteiskunnalliset kustannukset sisältävät ideaalitapauksessa myös ympäristön laadun muutoksiin liittyvät kustannusvaikutukset. Niiden määrittely ei kuitenkaan aina ole mahdollista, jolloin kustannukset ja hyödyt viittaavat perinteisiin markkinoilla ilmeneviin eriin. Yhteiskunnalliset kustannukset ja hyödyt voidaan määrittää seuraavasti: Lasketaan ensin kaikki mahdolliset kustannukset ja hyödyt kaikille yhteiskunnan osapuolille yli koko tuotteen tai palvelun elinkaaren. Näihin eriin sisältyy maksuja yhdeltä taloudenpitäjältä toiselle tai taloudenpitäjien maksuja (veroja) valtiolle. Koska tällaisille erille pätee, että toisen meno on samalla toisen tulo, siirtosummat kumoavat toisensa. Kun siirtosummat eliminoidaan, jäljelle jäävät kustannukset ja hyödyt määrittävät tuotteen elinkaaren yhteiskunnalliset kustannukset ja hyödyt.

Vastataksaan elinkaarianalyysiä on elinkaarikustannusten määrittelyn vastattava LCA:ssa käytetyn tuotejärjestelmän rajauksia ja noudatettava elinkaarianalyysin vaiheita. Seuraavassa tarkastellaan lyhyesti yhteiskunnallisten elinkaarikustannusten määrittämisprosessia rinnastaen ne elinkaariarvioinnin vaiheisiin.

A. Soveltuvuusalueen ja tuotejärjestelmärajauksen määrittäminen

LCA:ssa tehdyt valinnat määrittävät myös elinkaarikustannusten piiriin kuuluvat olennaiset markkinat ja taloudelliset toimijat. Näiden rajaaminen on periaatteessa suoraviivainen prosessi. Olennaisten markkinoiden sisällyttäminen riippuu kuitenkin tarkasteltavan tuotteen markkinaosuudesta ja sen muutosten mahdollisesti aiheuttamien vaikutusten suuruudesta. LCA:ssa voidaan käsitellä taloudellisesti niin merkittäviä prosesseja, että niiden muutokset vaikuttavat suhteellisiin markkinahintoihin ja aiheuttavat siten fyysisiä vaikutuksia LCA:ssa määritellyn tuotejärjestelmän rajojen ulkopuolella. Kirjallisuudessa ei ole aikaisemmin tarkasteltu, kuinka nämä vaikutukset pitäisi ottaa huomioon LCA:ssa ja SLCC:ssä. LCA-WAS-

TE:ssa jätteen hyödyntämis- ja käsittelyvaihtoehtojen suhteellisten vaikutusten katsottiin olevan niin pieniä, ettei ollut syytä käsitellä niiden aiheuttamia vaikutuksia ja muutoksia muilla markkinoilla.

B. Inventaarioanalyysi

Inventaariovaiheessa tuotejärjestelmän yksikköprosessit kytketään niistä syntyviin ympäristöä kuormittaviin tekijöihin (päästöt ilmaan ja veteen, luonnonvarojen käyttö ja maankäyttö). Tämä vaihe määrää tuotejärjestelmässä tarkasteltavat taloustoimet. Lisäksi se osoittaa järjestelmään liittyvät olennaiset kustannustekijät. Niihin kuuluu tavanomaisten kustannus- ja hintavaikutusten ohella myös ulkois- eli ympäristökustannuksista johtuvat vaikutukset, jotka eivät ilmene markkinoiden kautta. Luonnollisesti kustannuslaskennan tulee noudattaa tarkoin LCA:ssa tehtyä hyvitystarkasteluja. Esimerkiksi LCA-WASTE:ssa tämä tarkoitti energiahyödyntämisellä saatavien hyötyjen laskemista mukaan lopullisiin (netto)kustannuksiin.

C. Elinkaariarvioinnin mukainen vaikutusarviointi

LCIA:ssa arvioidaan tuotejärjestelmien aiheuttamien ympäristöä kuormittavien tekijöiden potentiaaliset ympäristövaikutukset. Täydellisen vaikutusarvioinnin (luku 6.1.1) mukaista LCIA:n toteutusta on kuitenkin käytännössä mahdotonta täysin noudattaa yhteiskunnallisten elinkaarikustannusten määrittelyssä. Vaikutusarvioinnin vaiheille 3 ja 4 eli normalisoinnille ja painotukselle, jossa käytetään asiantuntijapaneelin määrittämiä painokertoimia, ei ole suoraa vastinetta SLCC:ssä. Mahdollisuudet kehittää jotakin samankaltaista ulkoiskustannusten avulla riippuvat suuresti tarkasteltavana olevasta tapauksesta sekä analyysin suorittamiseen varatusta ajasta. Jos ympäristövaikutukset rajoittuvat vain muutamaan vaikutusluokkaan, esim. rehevöitymiseen, happamoitumiseen ja ilmastonmuutokseen, voi olla mahdollista löytää arvioita vahinkojen arvosta. Siten ympäristövaikutukset voidaan ilmaista rahallisessa arvossa ja kaikkien kustannusten täydellinen laskenta voidaan suorittaa. Tämä tuo SLCC:n melko lähelle LCA:ta, mutta silti täytyy muistaa että vahinkoarviot eivät heijasta subjektiivisia painoja, joita LCIA:n painotuksessa käytetään.

D. Tulkinta

SLCC:ssä tehdään LCA:n tavoin herkkyystarkasteluja, joiden avulla voidaan tuoda esiin tuotteen elinkaaren aikaiset pääasialliset kustannustekijät.

LCA:n vaiheiden seuraamisen ohella kustannuslaskenta noudattaa luonnollisesti myös monia yleisiä kustannuslaskennan periaatteita. Siten kaikki tarkastelussa olevat kustannukset on ilmaistava saman perusvuoden rahan arvossa. Tavallista on ilmaista ne nykyhetken rahassa, jolloin tulevaisuudessa koituvat kustannukset muunnetaan nykyhetken rahanarvoon ns. diskonttausmenettelyn avulla. Pitkäikäisiä pääomainvestointeja tehtäessä pääomakustannus ja poisto sisällytetään analyysiin ns. annuiteettimenetelmän avulla. Kumpikaan laskentamenetelmistä ei ole yksikäsitteinen siinä mielessä, että diskonttokoron suuruus ja poistoajan pituus vaikuttavat kustannusten suuruuteen. Siksi diskonttokoron valinnan vaikutusta kustannuksiin tulee tarkastella ns. herkkyyshanalyysillä.

5

Menettelyn rakenne, sisältö ja toimintaperiaate

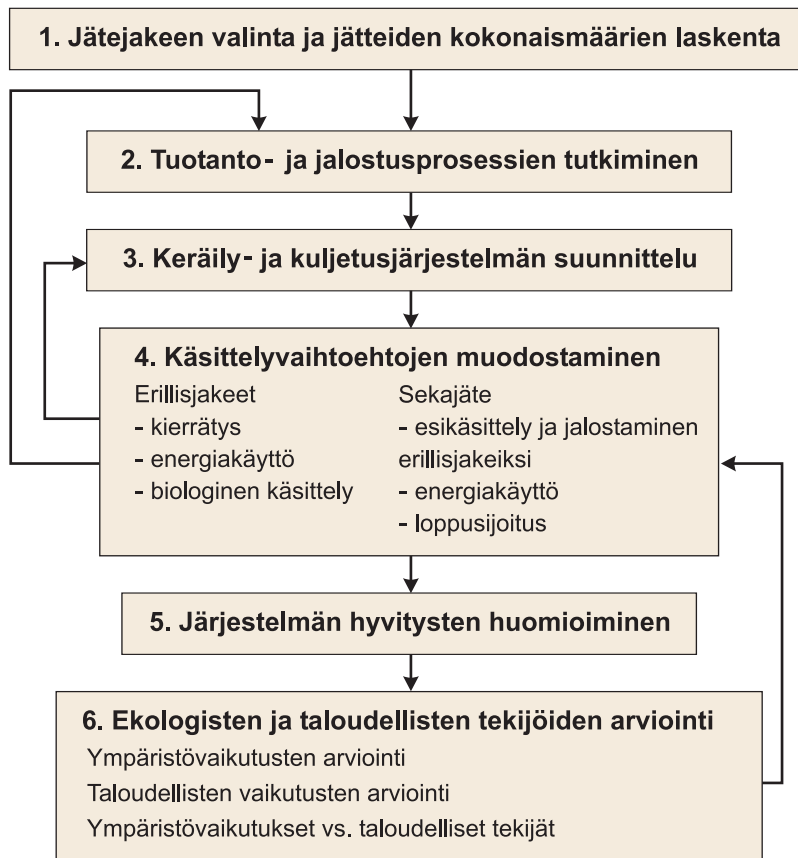
Tässä julkaisussa kuvattu menettely on ensisijaisesti tarkoitettu apuvälineeksi jätehuollon ympäristövaikutusten tutkijoille. Menettely käy työkaluksi myös elinkaariarviointeja laativille konsulteille, jotka selvittävät jätehuoltoratkaisujen ympäristönäkökohtia. Lisäksi menettelyn voidaan katsoa soveltuvan kunnille ja jätehuoltoyhtiöille tueksi eri jätehuoltovaihtoehtojen vertailuun ja ympäristövaikutusten arviointiselostusten (YVA) laatimiseen. Menettelyn tavoitteena on olla sovellettavissa sekä yksityiskohtaisiin tutkimusongelmiin että laajojen kokonaisuuksien tarkasteluun.

Jätehuoltovaihtoehtojen ekologisuutta ja taloudellista näkökulmaa tarkastelevien käyttäjäryhmien erilaisiin tarpeisiin on vastattu rakentamalla menettelyn sisällölle kaksi tasoa. Yleisempi taso tiivistää kussakin vaiheessa tärkeimmät huomioon otettavat tekijät, kokoa keskeisimmät tietolähteet ja antaa yleiset peruslähtökohdat ja -linjat laajempien kokonaisuuksien tarkasteluun. Syventävä taso kuvaa esimerkkien ja laskentataulukoiden avulla vaihe vaiheelta LCA-WASTE-hankkeessa tehtyjä ratkaisuja, ratkaisuihin vaikuttaneita tekijöitä ja saatuja tuloksia.

Julkaisun II-osassa on kuvattu menettelyn sisältö ja tärkeimmät eri laskentavaiheisiin liittyvät yhtälöt. Muita vastaavia jätehuollon elinkaaritarkasteluja varten yhtälöt on lisäksi siirretty vaihekohtaisiksi Excel-laskentataulukkopohjiksi, jotka on esitetyt LCA-WASTE-hankkeen tiedoilla. Laskentataulukoiden tavoitteena on havainnollistaa selkeästi eri muuttujien välisiä riippuvuuksia ja helpottaa laskutoimitusten tekemistä todellisuutta liikaa yksinkertaistamatta. Menettelytekstissä laskentataulukoihin on viitattu etuliitteellä LT, johon on yhdistetty vaihetta kuvaava numerotunnus (esim. LT1.1 = Asuinjätemäärien laskentataulukko).

Laskentataulukkokokoelma on kopioitavissa hankkeen [www-sivuilta](http://www.environment.fi) osoitteesta www.environment.fi > Finnish Environment Institute > Research > Research projects and results > Life cycle approach... (LCA-WASTE).

Menettely ja sitä tukevat laskentataulukot etenevät luvussa 3 kuvatun, standardin mukaisen elinkaariarvioinnin mukaisesti järjestelmällisesti vaihe vaiheelta jätejakeen (tai jätelajin) syntyvaiheesta sen käsittelyyn, loppusijoitukseen tai hyödyntämiseen materiaalina tai energiana (kuva 3). Tavoitteena on etsiä kaikki mahdolliset jätehuoltovaihtoehdot ja kerätä kaikki niihin kytkeytyvät päästö-, raaka-aine- ja kuljetustiedot sekä kustannukset. Menettely etenee osio kerrallaan tietojäädentämällä ja aika ajoitin edellisiin kohtiin palaamalla. Tavoitteena on tarkastella jätehuoltojärjestelmää laajana ja moniulotteisena kokonaisuutena, ei vain yhden erillisen jäteljakeen tai -lajin käsittelyyn liittyvänä ongelmaketjuna.

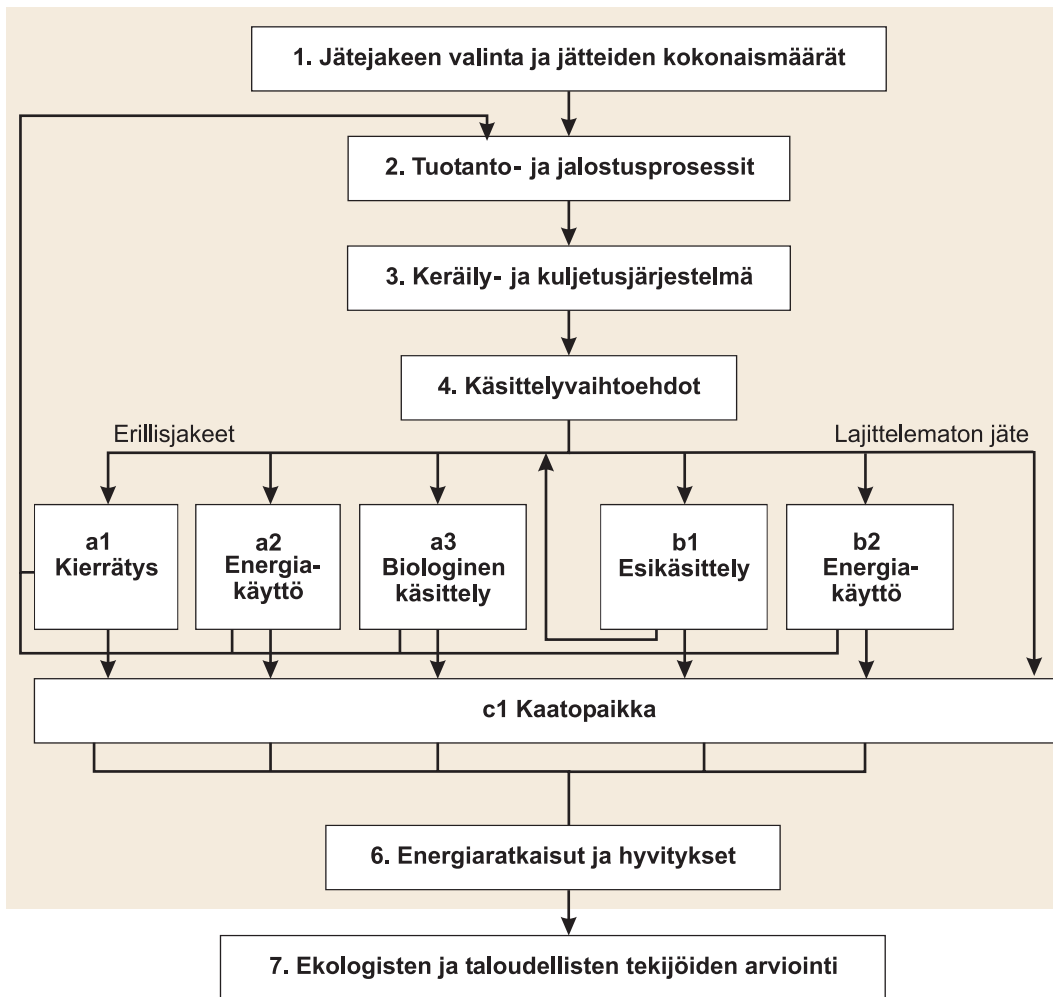


Kuva 3. Jätehuoltovaihtoehtojen ympäristö- ja kustannusvaikutusten tarkasteluun tarkoitettun menettelyn rakenne toimintakaaviona.

II.

Menettely jätehuoltovaihtoehtojen ympäristö- ja kustannusvaikutusten elinkaaritarkasteluun

Menettelyssä edetään kuvassa 3 esitettyjen vaiheiden mukaisesti. Jokaista tarkastelua varten on kuitenkin laadittava yksityiskohtaisempi kaavionsa, johon hahmotellaan eri jätevirrat ja niiden kaikki mahdolliset käsittelyt. LCA-WASTE-hankkeessa päädyttiin kuvassa 4 esitettyihin vaihtoehtoihin. Valintaperusteet on kuvattu luvussa 4.



Kuva 4. LCA-WASTE-hankkeen tulosten pohjalta laaditun laskentajärjestelmän rakenne.

Menettely ja laskentataulukot vaativat lähtötiedoikseen useita muuttujia (taulukko 3). Keräys- ja kuljetusjärjestelmän mitoituksen laskentaperiaatteet noudattavat Tanskasen (2000) määrittelemiä menetelmiä alueen jäte- ja astiamäärien arvioimiseksi. Tulokseksi menettely antaa erilaisia jätehuoltojärjestelmää kuvaavia suureita (taulukko 4).

Taulukko 3. LCA-WASTE-menettelyn vaatimat lähtötiedot.

Lähtötiedot
Alueelliset ominaistiedot
Ominaisjättekertoimet, t/asukas/v, t/työntekijä/v
Eri jätelajien prosentuaaliset osuudet yhdyskuntajätteessä
Tarkasteltavan alueen asuinkiinteistöjen jakauma koon mukaan
Tarkasteltavan alueen toimipaikkakiinteistöjen jakauma koon mukaan
Velvoiterajat eri jätelajeille
Jätelajien lajittelutehokkuus
Astiajärjestelmä
Astioiden koko
Astioiden täyttöaste
Jätelajien tilavuuspaino
Tyhjennystiheys
Kuljetusjärjestelmä
Ajoneuvon tyyppi
Ajoneuvojen kuormakoko
Ajoneuvojen ikä
Kuljetusmatka
Kuljetusajon jakauma maantie- ja katuajoon
Keräyspisteiden välinen keskimääräinen etäisyys
Keräyspisteiden välinen siirtymäaika astialukumäärän funktiona
Astia- ja kuljetuskustannukset
Astioiden käyttökulut, €/v
Kuljetuskustannukset, €/astiatyhjennys
Kuljetuskustannusten riippuvuus muista tekijöistä
Käsittelymenetelmät
Mitoituskerroin (kapasiteettiekspONENTTI)
Menetelmän päästöt, g/t
Menetelmän investointi-, käyttö- ja muut kustannukset, €/v

Taulukko 4. LCA-WASTE-menettelyn avulla saatavia tuloksia.

Menetelmän avulla laskettavissa olevat tulokset
Jätteet
Erilliskerättyjen jätelajien määrät ja keräysasteet
Sekajätteen määrä
Keräilyastiajärjestelmä
Astioiden keskimääräinen lukumäärä kiinteistöä kohti
Astioiden tyhjentämiseen kulunut aika
Kiinteistöjen väliseen ajoon kulunut aika
Käsittelymenetelmät
Tarvittava kapasiteetti
Päästöt
Kuljetustoimenpiteiden aiheuttamat ilmapäästöt (Käsittelyiden aiheuttamat päästöt, vain yleisellä tasolla)
Kustannukset
Astiakustannukset, €/t
Kuljetuskustannukset, €/t
Käsittelykustannukset, €/v ja €/t

Jätteen valinta ja jätteiden kokonaismäärien laskenta

1.1 Menettelyn ensimmäinen vaihe

Menettelyn ensimmäisen vaiheessa kootaan lähtötiedot valitun jätteen kokonaismäärästä sekä sekajätteen määrästä alueen asuinkiinteistöiltä, toimipaikkakiinteistöiltä ja aluekeräyspisteistä (LT1). Tarkasteltavaksi valitaan yksi tai useampia jätelajeja. Jätelaji on yleisnimike jätevirralle, joka on saatu talteen jätteiden keräily- tai käsittelyjärjestelmästä erilliskeräyksellä tai laitoslajittelussa. Se voi koostua hyvin erilaisista materiaaleista ja aineista, eli termillä ei tarkoiteta pelkästään koostumukseltaan homogeenista jätettä. Vaihtoehtoina ovat erilaiset asumisesta ja tuotantotoiminnasta peräisin olevat yhdyskuntajätteet, joihin eivät sisälly ongelmajätteet, jätevesilietteet ja rakennusjäte. Tarkastelu voidaan kohdentaa tietylle alueelle käyttämällä apuna asukkaiden ja työntekijöiden tilastollista jakautumista.

Elinkaariarvioinnin periaatteiden mukaisesti päästö- ja kustannuslaskelmat tehdään yhtä tarkasteltua jätelajin tai jätelajitonnia kohden. Samanaikaisesti on kuitenkin tunnettava tarkasteltavan jätelajin tai -lajin ja yleensä lisäksi vähintään sekajätteen kokonaismäärät, jotta voidaan mm. valita ja mitoittaa oikeat kookset jätteenkäsittelyprosessit tai kohdentaa päästöjä muun jätevirran seassa kulkevalle jätelajille sen osuuden perusteella. Jätteen kokonaismäärä vaikuttaa myös eri hyötykäyttörajoitusten toteuttamiskelpoisuuteen. Joskus voi olla tarkoituksenmukaista palata takaisin aluemäärittelyyn ja tarkastella alkuperäistä suuremman alueen jättemääriä.

1.2 Asukkaiden tuottamien jättemäärien arviointi

Yksinkertaisin tapa asumisessa syntyvän yhdyskuntajätteen kokonaismäärän arviointiin on käyttää halutun alueen asukasmäärää ja asukaskohtaista ominaisjättemääräkerrointa. Ominaisjättemääräkerroin on asuinjätteelle 130 – 265 kg/hlö/vuosi riippuen laskentatavasta ja alueen asukkaiden elintottumuksista (SCC Viatek 2003; Tanskanen 1997) (taulukko 5). Eri jätelajien määrät voidaan laskea kokonaisjättemäärästä, kun tiedossa on arvio sen jakautumisesta eri lajeihin (Tanskanen 1997) (LT1).

Taulukko 5. Tavanomaisen jätteen ominaisjättemääräkertoimet

Jätteen tuottajaryhmä	Ominaisjättemäärä (t/hlö/vuosi)
Asukas	0,130 – 0,265

Jätelajin erilliskeräyksessä talteen saatu osuus eli keräysaste lopulta määrää, missä suhteessa jäte jakaantuu erilliskeräytyksi jätelajiksi ja sekajätteeksi (liite 2, kaava 1).

Tanskanen (2000) mukaan keräysaste on keräyksen kattavuuden ja keräykseen osallistuvien lajittelutehokkuuden tulo (liite 2, kaava 2). Keräyksen kattavuuden muuttumista voidaan tarkastella Tanskanen (2000) kehittämällä laskentataval-

la: keräyksen kattavuudesta on tehty velvoiterajan eli eri kokoisten kiinteistöjen lukumäärän funktio. Laskennan lähtötiedot perustuvat Tilastokeskuksen tuottamiin tilastotietoihin eri kokoisissa kiinteistöissä asuvien asukkaiden lukumääristä. (LT2.1)

Velvoiterajaan perustuvan laskentatavan käytettävyyttä heikentää se, että uuden jätelain tuottajavastuupykälän seurauksena kunnat eivät enää voi määrätä tuottajavastuun piiriin kuuluville jätteille (renkaat, keräyspaperi, eräät pakkaukset, romuajoneuvot, sähkö- ja elektroniikkaromu) velvoiterajoja, koska niiden keräilyhoitaminen kuuluu tuottajayhteisöjen vastuulle. Uuden jätelain käytännön soveltamisesta kuntien jätehuoltomääräyksiin on vielä vähän kokemuksia, mutta vastaisuudessa velvoiterajaa vastaavat rajoitukset muotoillaan todennäköisesti jätehuoltomääräyksiin kieltona laittaa tiettyjä jätteitä tietyn suuruudessa kiinteistöissä sekajätteen sekaan. Näin ollen velvoiterajaperusteista lähestymistapaa voitaisiin edelleen soveltaa myös tuottajavastuun piiriin kuuluvien jätteiden määrän arvioinnissa.

1.3 Toimipaikkojen tuottaman jätteen määrien arviointi

Tavanomaisen toimipaikkajätteen määrä voidaan laskea asuinjätteen tavoin (liite 2, kaava 1) käyttämällä työntekijämäärää ja toimialakohtaisia ominaisjättekertoimia. Yritysjätteen ominaisjättemäärät voivat vaihdella hyvinkin paljon toimialasta riippuen: esimerkiksi pääkaupunkiseudulla määrät ovat eräissä tarkasteluissa olleet toimialasta riippuen 200 – 1 250 kg/työntekijä vuodessa (taulukko 6).

Taulukko 6. Tavanomaisen jätteen ominaisjättemääräkertoimet toimialoittain pääkaupunkiseudulla (Tanskanen 1997).

Toimiala	Ominaisjättemäärä (t/työntekijä/vuosi)
Teollisuus	1,25
Varasto- ja tukkukauppa	1,0
Vähittäiskauppa	1,25
Hotellit ja ravintolat	1,25
Julkishallinnon toimistot	0,2
Julkiset laitokset	0,7
Yksit. toimistot ja palvelulaitokset	0,3
Muut	0,5

Keräysasteen avulla määrät voidaan edelleen muuntaa jätehuollon piiriin päätyviksi jätevirroiksi. Myös toimipaikkojen keräysaste voidaan määrittellä keräyksen kattavuuden ja lajittelutehokkuuden funktiona velvoiterajaa apuna käyttäen (Tanskanen 2000). Toimipaikkakeräyksen kattavuus on tosin asuin- ja kiinteistöjä määrittämistä monimutkaisempaa määrittellä, koska jätettä syntyy eri toimialoilla eri määriä ja eri toimialat jakaantuvat satunnaisesti eri kokoisille kiinteistöille. (LT2.2)

1.4 LCA-WASTE: paperi- ja kokonaisjättemäärien laskenta

YTV:n alueella yhden asukkaan tuottamaksi yhdyskuntajätteen kokonaisuusmääräksi on arvioitu 265 kg/hlö/vuosi (Tanskanen 1997). Määrä ei sisällä ongelmajätteitä.

tä, sähkö- ja elektroniikkaromua, yhdyskuntalietteitä eikä rakennusjätettä. Asukkaiden tuottaman kokonaisjättemäärän oletettiin jakautuvan eri jätelajeiksi ja -jakeiksi osuuksilla, joista suurimmat ovat biojäte (28%) ja paperi (29%) (taulukko 7). Asukkaiden tuottaman paperijätteen keräysasteeksi Helsingin, Espoon, Vantaan ja Kauniaisten alueella voidaan arvioida 81% (taulukko 7). Lähtötietoina ovat olleet Tanskasen (1997, 2000) tekemät tutkimukset. Alkuperäiset arvot on päivitetty vastaamaan nykytilannetta siten, että sekä nykyiset erilliskertymät että toisaalta nykyinen sekajättemäärä toteutuvat.

Taulukko 7. Asukkaiden tuottaman tavanomaisen jätteen jakautuminen eri jätelajeisiin ja -lajeihin (Tanskanen 1997) ja asuinjätelajeiden keräysasteet pääkaupunkiseudulla (Espoo, Helsinki, Kauniainen, Vantaa) vuonna 2001 (lähtökohtana Tanskanen 1997, 2000).

Jätejake/-laji	Jätejakeen osuus tuotetusta jätteestä (%)	Keräysaste (%)
Biojäte	28	60
Lasi	4	56
Metallit	4	39
Muovi	7	
Nestepakkauskartonki	2	36
Pahvi	1	20
Paperi	29	81
Tekstiilit	5	
Muu ei-palava	4	
Muu palava	16	

Tanskasen (2000) menetelmän mukaisten, kiinteistökohtaisten tarkastelujen avulla saadaan käsitys eri velvoiterajoilla keräyksen piiriin saatavan jätteen määrästä (LT1, LT2.1): alueen asuinkiinteistöjen velvoiteraja viisi huoneistoa/kiinteistö (v. 2004) kattaa 82 % tuotetusta paperijätteestä, vaikka keräyksen piiriin kuuluu tuoloin 22 % kiinteistöistä (taulukko 8).

Taulukko 8. YTV:n alueen eri kokoisten asuinkiinteistöjen osuudet tuotetusta keräyspaperista. Kiinteistöjen kokonaismäärä on 53 598.

Huoneistomäärä (kpl/kiinteistö)	Osuus kiinteistöistä (%)	Osuus asukkaista ja tuotetusta jätteestä (%)
1	53,8	9,3
2	17,0	4,8
3	3,9	1,7
4	3,6	2,2
5 – 90	20,3	62,8
> 90	1,4	19,2
Yhteensä	100,0	100,0

Toimipaikoille on määritelty toimialakohtaiset ominaisjättekertoimet, joiden keskiarvo YTV:n toimialarakenteella laskettuna antaa keräyspaperin määräksi noin 142 kg/työntekijä/v. Määrä vaihtelee toimialasta riippuen välillä 77 – 250 kg/työntekijä/v. Alueella tehtyjen toimialajätteen koostumusta koskevien tutkimusten ja paperin todellisten kertymien perusteella sanomalehden keräysasteeksi saadaan 72 % (taulukko 9) (LT1, LT2.2).

Taulukko 9. Eri toimialojen tuottaman tavanomaisen jätteen koostumus ja keräysasteet jätejakeittain YTV:n alueella (Tanskanen 1997).

	Teollisuus (%)	Varasto- ja tukkukauppa (%)	Vähittäis- kauppa (%)	Hotellit ja ravintolat (%)	Julkis- hallinnon toimistot (%)	Julkiset laitokset (%)	Yksityiset toimistot ja palv. laitokset (%)	Muut (%)	Keräysaste (%)
Biojäte	27,1	30,6	18,5	57,2	14,2	39,5	14,9	21,0	11
Lasi	1,0	1,0	1,8	2,5	3,3	1,0	3,5	4,2	0
Metalli	1,4	3,8	2,6	1,9	5,8	2,1	6,1	5,3	20
Muovi	3,3	15,0	8,0	6,3	7,5	4,6	7,9	10,5	0
Nestepakkaus- kartonki	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0
Pahvi	25,7	23,4	41,7	4,4	4,2	4,6	4,4	10,5	57
Paperi	20,0	8,4	6,2	8,8	39,2	28,2	36,1	15,8	72
Tekstiilit, kumi ja nahka	2,0	2,0	2,0	1,9	2,2	2,0	2,1	2,1	0
Muu palama- ton	2,3	2,8	2,2	2,5	5,4	2,6	5,7	5,3	0
Muu palava	17,2	13,0	17,0	14,5	18,2	15,4	19,3	25,3	36
Yhteensä	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	-

Kiinteistötasolla tehtyjen tarkastelujen mukaan toimipaikkakiinteistöjen velvoiterajalla 50 kg/kiinteistö/vk katetaan noin 89 % syntyvästä paperista, vaikka velvoiteraja kattaakin vain alle 20 % kaikista toimipaikoiksi luettavista kiinteistöistä (taulukko 10).

Taulukko 10. YTV:n alueen eri kokoisten toimipaikkakiinteistöjen osuudet tuotetusta keräyspaperista.

Velvoiteraja (kg/vk/kiinteistö)	Kiinteistöjen lukumäärä	Osuus kiinteistöistä (%)	Osuus keräyspaperin kokonaiskertymästä (%)
1	2531	12,2	0,3
2 – 4	7926	38,2	1,9
5 – 9	2457	12,9	1,4
10 – 34	3508	17,9	5,0
35 – 49	761	4,7	2,4
≥ 50	3548	17,1	89,0
Yhteensä	20731	100,0	100,0

Edellä esitettyjä lähtöarvoja käytettiin keräyspaperin, sanomalehtipaperin ja sekajätteen kokonaismäärien laskentaan YTV:n alueella (taulukko 11). Koska LCA-WASTE-hankkeessa tarkasteltiin nimenomaan sanomalehtipaperin elinkaarta, keräyspaperin sisältämä sanomalehtipaperimäärä on arvioitu Paperinkeräys Oy:n tilastojen avulla. Suhteuttamalla erilliskeräykseen päätyvän sanomalehtipaperin osuus tuotettuun kokonaissanomalehtipaperimäärään, saadaan sanomalehtipaperin keräysasteeksi YTV:n alueella 76 %.

Taulukko 11. LCA-WASTE-hankkeessa tarkastellut keräyspaperi- ja sanomalehtipaperimäärät tuottajaluokittain YTV:n alueella vuonna 2001. Keräysaste on 76 %.

	Erillis-kerätty paperi (1000 t/v)	Sekajäte (1000 t/v)	Sekajätteen sisältämä keräyspaperi (1000 t/v)	Sanomalehtipaperin osuus keräyspaperista (%)	Erilliskerätty sanomalehtipaperi (1000 t/v)
Asuinkiinteistöt, joista erilliskeräykseen kotikomposteihin (Vilenius 1999)	60,7 56,1 4,6	129,1	8,5	66,5	37,3
Toimipaikkakiinteistöt	53,0	236,3	21,0	35,2	18,6
Keräilyjärjestelmään	109,1	365,4	29,5		55,9

1.5 Jätteiden määrää ja hyödyntämistä käsitteleviä tietolähteitä ja laskentataulukoita

LCA-WASTE-menettelyä ja sen laskentataulukoita (LT1, LT2.1, LT2.2) voidaan käyttää jätemäärien arviointiin (taulukko 12). Menettelyn lähtötietoja koottaessa on syytä huomata, että keräysasteet ja ominaisjätemääräkertoimet saattavat vaihdella alueittain mm. keräilyjärjestelyistä, elinkeinorakenteesta, asumismuodosta ja asukastiheydestä riippuen.

Taulukkoon 13 on koottuna LCA-WASTE-hankkeen kuluessa käytettyjä tietolähteitä. Jos käytettävissä ei ole tutkimustietoja, mallinnuksessa voi käyttää parhaaseen käytettävissä olevaan tietoon perustuvia arvioita. LCA-WASTE-hankkeen lähtötietojakin voidaan käyttää paremman tiedon puuttuessa samalla tiedostaen, että arvot kuvaavat tiivistä suurkaupunkialuetta.

Taulukko 12. LCA-WASTE-menettelyn laskentataulukot asumisessa ja toimipaikoissa syntyvien jätemäärien arviointiin.

Menettelyn laskentataulukot (LT)	Sisältö
LT1 _Jättemäärät.xls > Asuinjätteet	Asukkaiden tuottaman jätteen määrien ja jätteen eri jakeiden osuuksien arviointi asukasmäärän, keräysasteen ja ominaisjätekertoimien avulla.
LT1 _Jättemäärät.xls > Toimipaikkajätteet	Toimipaikkojen tuottaman jätteen määrien ja jätteen eri jakeiden osuuksien arviointi työntekijämäärän, keräysasteen ja toimialakohtaisten ominaisjätekertoimien avulla.
LT2.1 _Asuinkiinteistökeräys.xls > Keräyksen kattavuus	Asuinkiinteistöjen keräyksen kattavuuden arviointi velvoiterajan (huoneistoa/kiinteistö) avulla. Voidaan käyttää keräysasteen tarkentamiseen.
LT2.2 _Toimipaikkakeräys.xls > Keräyksen kattavuus	Toimipaikkakiinteistöjen keräyksen kattavuuden arviointi velvoiterajan (kg/kiinteistö/vk) avulla. Voidaan käyttää keräysasteen tarkentamiseen.

Taulukko 13. Esimerkkejä jätteen määriin ja koostumukseen liittyvistä tietolähteistä.

Tietolähteitä: jätteen koostumus	Sisältö
SCC Viatek 2003. Kotitalouksien sekajätteen määrä- ja laatututkimus. Väliraportti 1. YTV Jätehuolto.	Kotitalouksien sekajätteen määrät ja jakaantuminen 31 jakeeseen eri kokoisissa ja eri omistuspohjaisissa kiinteistöissä (pääkaupunkiseudun alueella).
SCC Viatek 2003. Kotitalouksien sekajätteen määrä- ja laatututkimus. Väliraportti 2. YTV Jätehuolto.	Kotitalouksien sekajätteen määrät ja jakaantuminen 31 jakeeseen eri kokoisissa ja eri omistuspohjaisissa kiinteistöissä (pääkaupunkiseudun alueella).
Suunnittelukeskus Oy 2003. Sekajätteen käsittelylaitos. Tekninen hankesuunnitelma. YTV Jätehuolto.	Kotitalouksien ja toimipaikkojen sekajätteen (yli 60 mm partikkeli-koko) jakautuminen 11 eri jättejakeeseen (pääkaupunkiseudun alueella).
Tanskanen, J.-H. 1997. YTV:n alueen jätehuollon mallintaminen. Loppuraportti. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1997:2. YTV Jätehuoltolaitos.	YTV:n alueen asuin- ja toimipaikkakiinteistöjen jätemäärät, jakautuminen 11 jättejakeeseen ja keräysasteet.
Tanskanen, J.-H. 2000. An approach for evaluating the effects of source separation on municipal solid waste management. Väitöskirja. Teknillinen korkeakoulu, Helsinki.	Periaatteet keräysasteen määräytymiselle keräyksen kattavuuden ja lajittelutehokkuuden funktiona. Jätteiden keräilyn ja käsittelyn kustannustietoja.
YTV – SAD Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta 1991. Pääkaupunkiseudun yhdyskuntajätteen koostumus 1990. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1991:3.	YTV:n alueen asuin- ja toimipaikkakiinteistöjen jätemäärät, jakautuminen 11 jättejakeeseen ja keräysasteet.
Tietolähteitä: erilliskerätyt jätelajit	Sisältö
Paperinkeräys Oy. www.paperinkerays.fi	Keräyspaperin, sanomalehtipaperin, pahvin ja kartongin keräysmäärät kunnittain.
Vilenius, P. 1999. Paperin ja kartongin kulutus Suomessa 1998. Paperinkeräys Oy.	Mm. arvioita hyötykäytön ulkopuolelle päätyvistä kuitumääristä.
Mepak-kierrätys Oy – Metallipakkausten tuottajayhteisö. www.mepak.fi	Suomessa kerättyjen metallipakkausten määrät.
Suomen NP-kierrätys Oy. www.np-kierratys.fi	Nestepakkauskartongin, aaltopahvin ja kuitupakkausten määrät Suomessa.
Suomen Uusiomuovi Oy. www.suomenuusiomuovi.fi	Muovipakkausten määrät Suomessa.
Suomen Keräyslasiyhdistys ry. www.kerayslasyhdistys.fi	Keräyslasin määrät Suomessa.
Suomen Palautuspakkaus Oy. www.palpa.fi	Pantillisten juomatölkkien määrät Suomessa.
Itävaara, M. 2001. Jätevirtojen hallinta USA:ssa. VTT julkaisuja 851. Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT, Espoo.	Jätteiden hyötykäyttöjakeiden markkinat ja jätehuollon teknologia USA:ssa.

Tuotanto- ja jalostusprosessien tutkiminen

2

2.1 Menettelyn toinen vaihe

Menettelyn toisessa vaiheessa määritetään tuotanto- ja jalostusprosessien ympäristöä kuormittavat tekijät ja kustannukset. Tuotanto- ja jalostusprosessit voidaan sisällyttää menettelyyn tässä selostetulla tavalla, jos kyseessä on homogeeniseksi laskettava jätejake, kuten paperi, pahvi, nestepakkauskartonki, muovi, metalli tai lasi. Näille jättejakeille yhteistä on se, että jättejakeen muodostama materiaali on kokonaisuudessaan peräisin samankaltaisesta valmistusprosessista. Esimerkiksi biojäte puolestaan koostuu niin monella tapaa valmistetuista tuotteista, että tuotantoprosessin kuvaaminen elinkaari-inventaarion vaatimalla yksityiskohtaisuudella on erittäin työlästä.

2.2 Tuotanto- ja jalostusprosessien ympäristökuormitus tarkastelussa huomioitavat tekijät

Menettelyn toisessa vaiheessa jättejakeen muodostavien materiaalien tuotanto- ja jalostusprosessit tutkitaan standardin ISO 14041 (ISO 1998) kuvaaman inventaarioanalyysin mukaisesti erittelemällä kaikki yksikköprosessit, jatkojalostusprosessit, raaka-aineiden valmistusprosessit, käytetyt luonnonvarat, energiankulutus, energian tuotanto ja kuljetukset (kuva 2) (L1). Tämän jälkeen kaikkien tunnistettujen osasten syötteet ja tuotokset lasketaan valittua toiminnallista yksikköä kohden, joka jätehuoltotarkasteluissa on esim. 1 jätetonni (taulukko 14). Inventaariotietoja voi koota tavallisella taulukkolaskentaohjelmalla tai käyttää kaupallisia, elinkaari-inventaarioiden laatimiseen tarkoitettuja työkaluja.

Taulukko 14. Elinkaari-inventaariossa huomioon otettavat tekijät (ISO 1998).

Syötteet:	Tuotokset:
<ul style="list-style-type: none">• raaka-aineet• luonnonvarat• energia	<ul style="list-style-type: none">• tuotteet• sivutuotteet• päästöt ilmaan• päästöt veteen• päästöt maaperään• kiinteät jätteet• energia• muut ympäristönäkökohdat:<ul style="list-style-type: none">* maankäyttö* jne.

Jo standardissa todetaan, että käytännössä harvat teollisuusprosessit tuottavat vain yhtä tuotetta tai perustuvat raaka-ainesyötteiden ja -tuotosten suoraviivaiseen kulkuun. Todellisuudessa tuotteita on monesti useita ja prosesseissa kierräte-

tään ja uusiokäytetään erilaisia materiaaleja ja välituotteita. Tällöin prosessin yhdelle tuotteelle kohdistettavat materiaali- ja energiavirrat ja niihin liittyvä ympäristökuormitus on ratkaistava erilaisten allokointimenetelmien avulla. (ISO 1998)

Allokointia on kuitenkin vältettävä mahdollisimman pitkälle laajentamalla tuotejärjestelmien rajausta esim. siten, että kierrätysmateriaalin tuottava prosessi otetaan tuotejärjestelmään mukaan. Mikäli rajojen laajennus ei onnistu, tehdään mahdollisimman huolellinen ja yksityiskohtaisesti dokumentoitu allokointi. Se voi perustua esim. tuotteiden kemialliseen koostumukseen, massataseeseen, taloudelliseen arvoon tai kierrätetyn materiaalin myöhempien käyttökertojen määrään (ISO 1998).

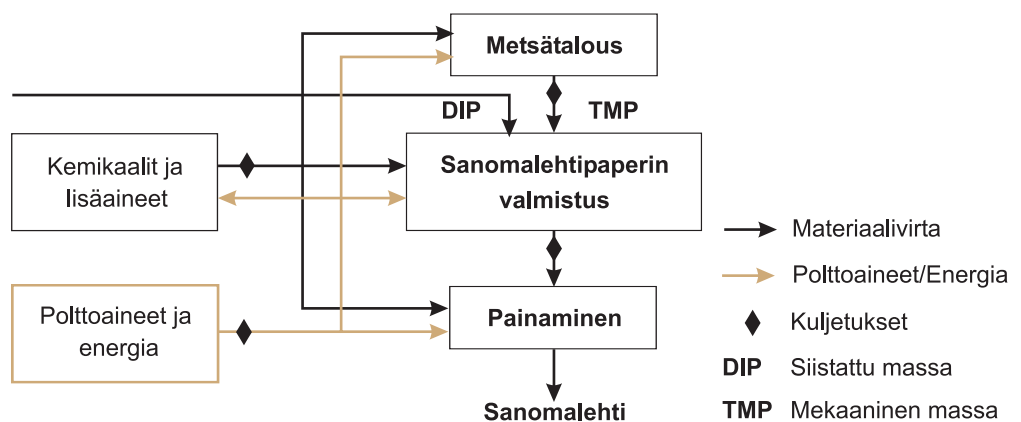
2.3 Tuotanto- ja jalostusprosessien kustannustarkastelussa huomioitavat tekijät

Kun tuotanto- ja jalostusprosesseille määritetään menettelyn mukaisia kustannuksia, mukaan huomioidaan mahdollisimman moni seuraavista tekijöistä:

- raaka-aineet
- luonnonvarat
- energia
- laiteinvestoinnit
- tontti ja muu maankäyttö ja
- työkustannukset.

2.4 LCA-WASTE: tuotanto- ja jalostusvaiheiden käsittely

Sanomalehtipaperin tuotantoketjun tarkastelu aloitettiin LCA-WASTE-hankkeessa puun kasvatuksesta eli metsätaloudesta. Sanomalehtipaperin jätehuollon piiriin päätymistä edeltävät yksikköprosessit jaettiin kolmeen elinkaarivaiheeseen, jotka ovat metsätalous, sanomalehtipaperin valmistus ja sanomalehden painaminen (kuva 5). Jätehuoltojärjestelmässä erilliskeräyksellä talteen saadun sanomalehtipaperin oletettiin kiertävän paperitehtaalle vastaavanlaisen sanomalehtipaperin tuotantoon.



Kuva 5. Sanomalehden tuotannon ja jalostuksen yksikköprosessit LCA-WASTE-hankkeessa.

Kukin elinkaarivaihe sisältää useita osaprosesseja, jotka nekin on sisällytetty inventaarioon:

Metsätalous

- metsänhoito
- hakkeen tuotanto sahalla
- voiteluöljyjen sekä polttoaineiden valmistus ja
- energiantuotanto.

Sanomalehtipaperin valmistus paperitehtaalla

- kuitupuun kuorimo
- kuitupuun haketus
- hakkeen seulonta
- kierrätyspaperin siistaus
- hakkeen hiertämö
- sanomalehtipaperia tuottava paperikone
- jätevesien puhdistus
- kemikaalien ja polttoaineiden valmistus ja
- energiantuotanto.

Sanomalehden painaminen

- liuottimien valmistus
- painolevyjen kuluttamien alumiiniosien valmistus
- painomusteiden valmistus
- polttoaineiden valmistus ja
- energiantuotanto.

Kaikista edellä mainituista yksikköprosesseista koottiin raaka-aine-, päästö- ja energiatiedot, jotka yhdistettiin elinkaaren seuraaviin vaiheisiin. Sanomalehtipaperin valmistuksen päästötarkasteluissa käytettiin UPM-Kymmene Oyj:n Kaipolan tehtaassa sanomalehtipaperikoneen elinkaari-inventaariomallia (Hukkanen 2002).

LCA-WASTE-hankkeessa tarkasteltiin sanomalehden jätehuollon eri vaihtoehtoja. Sanomalehtien kierrätystä mallinnettiin kahdella eri tavalla: 1. olettamalla kaiken erilliskerätyn paperin päätyvän kierrätykseen ja 2. olettamalla vain 50 % erilliskerätystä paperista päätyvän kierrätykseen (ks. kohta 4.3). Taulukkoon 15 on koottuna tuotantoprosessiin tarvittavat kuituraaka-aineet molemmilla oletuksilla, kun sanomalehden keräysaste on 76 %.

Kuituraaka-aineiden hintaa määritettäessä kustannuksina on huomioitu raaka-ainepanosten hinta sekä prosessointikustannukset. Raaka-ainepanosten kustannusten laskennassa ei ole mukana prosessi- ja kemikaalikustannuksia, koska näitä tietoja ei ollut saatavilla. Näiden kustannuserien puutteen voidaan arvioida parantavan neitseellisen kuidun asemaa kierrätyskuituun verrattuna.

Taulukko 15. Yhden sanomalehtitonnin valmistamiseen tarvittavien kuituraaka-aineiden määrät (t ka) ja hinnat (€/t ka) (Örn 2001; Metsänhoitoyhdistys 2004) kahdella erilaisella keräyspaperin käyttömäärällä. ka = kuiva-aine

Kierrätetyn sanomalehtipaperin kokonaismäärä (1000 t)	Kuituraaka-aine	Määrä (t ka)	Hinta*
55,9	Keräyspaperi	0,569	64 €/t
	Kuusikuitupuuhake	0,174	40 €/ka t
	Kuusihake	0,309	103 €/m ³
28,0	Keräyspaperi	0,284	64 €/t
	Kuusikuitupuuhake	0,288	40 €/ka t
	Kuusihake	0,511	103 €/m ³

* hinnat sisältävät kuljetuskustannukset tehtaalle

Sanomalehtipaperin valmistuksen ja jalostamisen elinkaarivaiheisiin liittyvät syöte- ja tuotostaulukot on esitetty hankkeesta julkaistavassa elinkaariarviointiraportissa (Dahlbo ym. 2005).

2.5 Elinkaari-inventaariotietoja käsitteleviä tietolähteitä ja menettelyn tiedonkeruulomake

Menettelyn toisessa vaiheessa etsitään tarkastellulle jätelajille sen tuotanto- ja jalostusvaiheiden kuormitteet ja kustannukset. Ympäristötiedon kokoamisessa voidaan käyttää apuna tiedonkeruulomaketta (L1) (taulukko 16).

LCA-WASTE-hankkeen aikana hyödyllisiksi havaittuja tuotanto- ja jalostusvaiheiden ympäristökuormitustietoihin ja tiedon hallintaan liittyviä tietolähteitä on koottu taulukkoon 17.

Taulukko 16. LCA-WASTE-menettelyn lomakepohja tuotanto- ja jalostusprosessien ympäristökuormitteiden seurantaan.

Menettelyn laskentataulukot (LT) ja muut lomakkeet (L)	Sisältö
LI_Tiedonkeruulomake.xls	Syötteiden ja tuotosten keräämiseen tarkoitettu inventaariolomakepohja.

Taulukko 17. Esimerkkejä tuotanto- ja jalostusprosessien päästöihin ja inventaarioiden laatimiseen liittyvistä tietolähteistä.

Tietolähteitä: inventaarioraportteja	Sisältö
Laukka, J. 2003. Life cycle inventories of newspaper with different waste management options. Pro-gradu-tutkielma. Ympäristötieteen koulutusohjelma. Kuopion yliopiston ympäristötieteiden laitos, Kuopio.	Sanomalehtipaperin erilaisten jätehuoltovaihtoehtojen inventaarioraportti.
Tietolähteitä: työkaluja elinkaari-inventaarioiden hallintaan	Sisältö
McDougall, F., White, P., Franke, M., Hindle, P. 2001. Integrated Solid Waste Management: A Life Cycle Inventory. IWM-2-ohjelma. Oxford.	Windows-käyttöinen ohjelma yhdyskuntajätteen määrien (7 jäteajetta), jätehuollon päästöjen ja kustannusten arviointiin.
KCL-ECO. www.kcl.fi > LCA Products and Services	Elinkaariarviointiohjelma, johon voi koota inventaariotietoja ja tehdä vaikutusarvioinnin käyttämällä eri menetelmiä. Tietokannassa erityisesti puunjalostusalan yksikköprosessien lähtötietoja.
SimaPro 6. www.pre.nl > SimaPro 6 LCA Software	Elinkaariarviointiohjelma, johon voi koota inventaariotietoja ja tehdä vaikutusarvioinnin käyttämällä eri menetelmiä. Erittäin laaja yksikköprosessien inventaariotietokanta.
Team - Tool for Environmental Analysis and Management. www.ecobalance.com > Tools > Team	Elinkaariarviointiohjelma, johon voi koota inventaariotietoja ja tehdä vaikutusarvioinnin käyttämällä eri menetelmiä. Soveltuu myös herkkyysanalyysien toteuttamiseen.
Wisard – Waste-Integrated Systems for Assessment of Recovery and Disposal. www.ecobalance.com > Tools > Wisard	Elinkaariarviointiperusteinen jätehuollon vaihtoehtojen vertailumenetelmä.
PEMS ja EcoPackager. http://www.piranet.com/pack/lca_software.htm	PIRA-järjestön tuottama elinkaariarviointityökalu. Lähtötietoja erityisesti paino-, pakkaus-, julkaisu- ja paperiteollisuuden yksikköprosesseista.
Tietolähteitä: prosessi- ja kuljetuspäästöjä sisältäviä tietokantoja	Sisältö
EcoInvent – tietokanta. www.ecoinvent.ch	Laaja yksikköprosessien inventaariotietojen kokoelmatietokanta.
VTT – Valtion teknillinen tutkimuskeskus 2002. VTT-Lipasto. http://lipasto.vtt.fi	Eri kulkuneuvojen päästökertoimia sisältävä tietokanta. Käyttö ilmaista.
VAHTI. Ympäristönsuojelun tietojärjestelmä. Ympäristöhallinto.	Ympäristöluvanvaraisten toimipaikkojen päästöt vuosittain. Vain ympäristöhallinnon käytössä.
Tietolähteitä: luontaisista prosesseista vapautuvat päästöt	Sisältö
IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change –laskentakaavat-Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/gpgaum.htm	Biojätteiden sisältämän hiilen muuntuminen metaaniksi.
TIKE - Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus.	Karjan ja lannoitteiden käytön aiheuttamat maatalouden päästöt.
Tietolähteitä: kustannustietoja	Sisältö
Metsänhoitoyhdistys. http://www.mhy.fi/puumarkkinat	Tietoa puumarkkinoista ja kantohinnoista.
Örn, J. 2002. Puunkorjuun ja puutavaran kaukokuljetuksen suoritteet ja kustannukset vuonna 2002. Metsäteho.	Puunkorjuun ja kaukokuljetuksen kustannustietoa Suomesta.

3

Keräily- ja kuljetusjärjestelmän suunnittelu

3.1 Jäteastiajärjestelmän mitoittaminen

Jätteiden keräilyyn vaadittava astiajärjestelmä voidaan mitoittaa kiinteistökohtaisten jätekertymätietojen avulla (Tanskanen 2000). Astiajärjestelmä mitoitetaan jätejake- ja jätteentuottajakohtaisesti sen mukaan, mikä on kunkin erilliskerättävän jakeen kertymä. Jätteentuottajaryhmiä on kolme: asuinkiinteistöjen asukkaat, toimipaikkojen työntekijät ja aluekeräykseen osallistuvat asukkaat. Mitoittamiseen tarvittavia jätekertymä tietoja ovat (Tanskanen 1996; 2000):

- jätejakeen tilavuuspaino
- astioiden koko
- astioiden tyhjennystiheys ja
- astioiden täyttöaste.

LCA-WASTE-menettelyn laskentataulukoiden avulla voidaan arvioida keräyspistekohtaisesti jätejakeen vaatima keräysastiatilavuus, astiamäärä ja tyhjennystiheys eri jätteentuottajaryhmissä (liite 2, kaavat 3 ja 4) (LT2.1 ja 2.2).

3.2 Keräily- ja kuljetusjärjestelmän ympäristökuormitu starkastelussa huomioitavat tekijät

Jätteiden keräilystä aiheutuvien kuljetuspäästöjen tarkasteluun Suomen olosuhteissa voidaan käyttää astioiden tyhjennysaikaan ja keräilyajoneuvojen ajomatkaan perustuvaa laskentatapaa (Tanskanen 2000). LCA-WASTE-menettelyn laskentataulukoissa on käytetty tätä tarkastelutapaa arvioimaan eri vaiheiden aiheuttamia päästöjä (LT3)

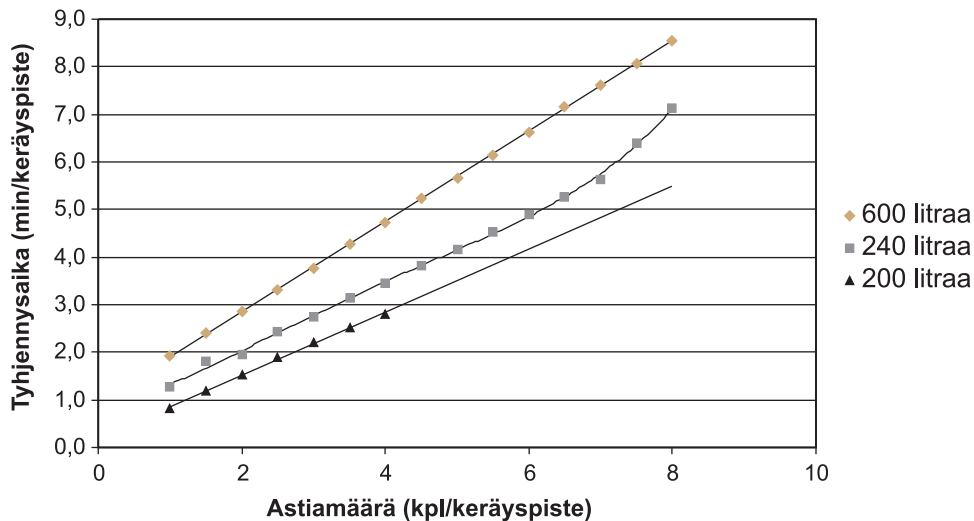
LCA-WASTE-menettelyssä jätteiden keräysprosessi on jaettu kolmeen vaiheeseen päästöjen laskemista varten. Vaiheet ovat:

1. Astioiden tyhjentäminen keräysautoon
2. Keräyspisteiden (kiinteistöt ja aluekeräyspisteet) välinen siirtymäaika
3. Ajo kiinteistöiltä kuorman purkupisteeseen

Kullekin työvaiheelle määritetään jätetonnikohtainen työaika ja työtä vastaava päästökerroin (liite 2, kaavat 5, 6, 7 ja 8) (LT3). Työvaiheissa syntyvien päästöjen määrä riippuu mm. tyhjennettävästä astiatyypistä, keräyspisteen astiamäärästä, kiinteistöjen välisestä etäisyydestä ja käytetyn ajoneuvon ominaisuuksista.

Astioiden tyhjentäminen

Astioiden tyhjentämiseen kuluva aika riippuu keräyspisteen astiatyypistä ja -määrästä (kuva 6) (RIL, 1983). Tyhjentämiseen kuluvan ajan yhtälöt voidaan kuvaajien avulla ratkaista kiinteistökohtaisesti kooltaan 200, 240 ja 600 litraisille astioille (liite 2, kaavat 9 - 12) (LT3).

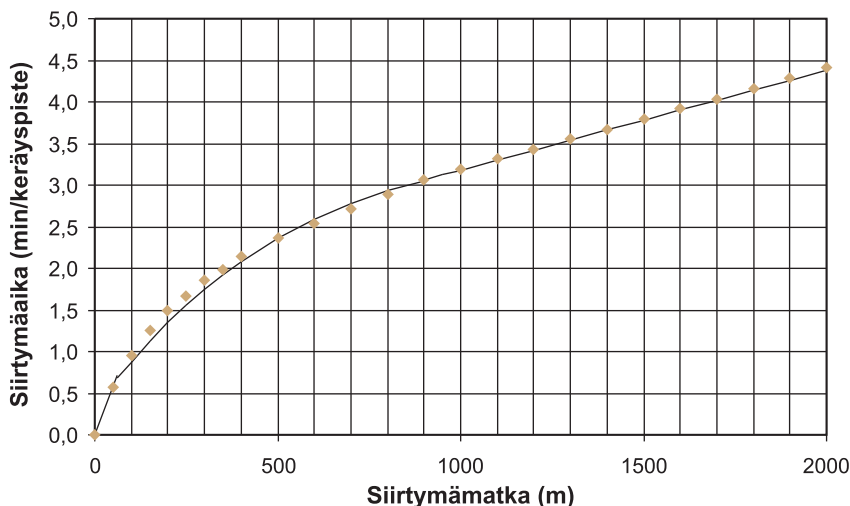


Kuva 6. Pakkaavan jäteauton tyhjennysajat keräysastioille, kun astioiden oletettu siirtoetäisyys on 10 m ja autossa on yhden hengen miehistö. (RIL 1983)

Kiinteistön astioiden tyhjentämisessä syntyneet päästöt lasketaan ajoneuvokohtaisen päästökertoimen avulla (liite 2, kaavat 13 ja 14), sillä erilaisissa keräysajoneuvon käyttötilanteissa päästöjä syntyy eri määrä riippuen mm. ajoneuvon koosta, iästä, ajonopeudesta ja kuormasta (VTT Lipasto) (liite 3) (LT3).

Keräyspisteiden välinen siirtymäajo

Keräyspisteiden väliseen siirtymäajoon kuluva aika riippuu kiinteistöjen ja aluekeräyspisteiden välisestä etäisyydestä. Keräyksen piiriin kuuluvien kiinteistöjen välinen keskimääräinen etäisyys riippuu mm. kaupunkialueen tiiviyydestä sekä siitä, mikä on jätelakeelle asetettu velvoiteraja, eli miten hajanaisiin kiinteistöihin keräily ulotetaan (Tanskanen 1996). Siirtymäaika muuttuu polynomisesti noin 900 metrin etäisyyteen saakka, jonka jälkeen muutokset ovat lineaarisia (kuva 7).



Kuva 7. Keräyspisteiden välisen siirtymäajan riippuvuus siirtymämatkasta (RIL 1983).

Siirtymäaika voidaan laskea kuvaajalle sovitettujen yhtälöiden avulla (liite 2, kaavat 15 - 17) (LT3). Siirtymäajon päästöt voidaan edelleen ratkaista kokonaisaika ja ominaispäästökerrointa käyttäen (liite 2, kaavat 18 ja 19) (LT3).

Ajo kiinteistöiltä kuorman purkupisteeseen

Kuorman tyhjentämisessä purkupisteeseen kuluva aika lasketaan oletetun keskimääräisen edestakaisen etäisyyden ja keräysajoneuvon keskinopeuden avulla (liite 2, kaava 20). Lisäksi mukaan lasketaan kuorman tyhjennykseen kuluva aika. Päästöt lasketaan jälleen kokonaisuutena (liite 2, kaava 21) ja ominaispäästökertoiminta käyttäen (liite 2, kaava 22) (LT3).

Keräys- ja kuljetusjärjestelmän päästölaskennan laadun arviointi

Jätejakeen keräilyn aiheuttamien päästöjen laskenta perustuu moniin muuttujiin. Suuren muuttujalukumäärän etuna on, että laskenta antaa mahdollisuudet myös yksityiskohtaisten järjestelmämuutosten tarkasteluun. Toisaalta muuttujia määriteltäessä joudutaan tekemään monia oletuksia, jotka vaikuttavat tulosten luotettavuuteen ja käytettävyyteen (taulukko 18). Lisäksi laskennasta tulee helposti työläs, monimutkainen ja vaikeasti yleistettävä.

Taulukko 18. Jätteiden keräilyn päästöjen laskentaan käytetyn, astioiden tyhjennysaikaan ja keräilyajoneuvojen ajomatkaan perustuvan laskentatavan ominaisuuksia.

Lähtötiedot	Lähtötietojen luotettavuus	Tulosten käytettävyys
Toimipaikkakiinteistöjen eli keräyspisteiden lukumäärän arviointi kiinteistötilastollisella menetelmällä	<ul style="list-style-type: none"> Asuinrakennuksissa sijaitsevat toimistot tms. työpisteet rekisteröityvät toimipaikkatilastoissa omiksi toimipaikoikseen. Velvoiterajaan sidotuissa tarkasteluissa tulee lasketuksi useita ”uusia” keräyspisteitä, jotka käytännössä ovat aina kuuluneet asuintalon jätehuollon piiriin. 	<ul style="list-style-type: none"> Asuin- ja kiinteistöjen jätehuollon piiriin kuuluvat toimipaikkakiinteistöt eivät todellisuudessa muuta keräyksen kustannuksia ja kuljetusmatkoja velvoiterajaa muutettaessa. Menetelmä toimii siis heikosti tarkasteltaessa toimipaikkoja hyvin pienillä velvoiterajan arvoilla.
Keräysastioiden tyhjennysaika keräyspisteen astiamäärän funktiona	<ul style="list-style-type: none"> Tiedot perustuvat melko vanhoihin tutkimustuloksiin. Tekniikan ja kaluston kehittyminen on saattanut lyhentää tyhjennysaikoja. Kuvaajien todellista käyttäytymistä suurilla kiinteistöjen astiamäärillä vaikea arvioida. Astiakoolle 240 litraa sovitettu käyrä kääntyy arvon 9 astiaa/kiinteistö kohdalla epätodelliselta vaikuttavan jyrkkään nousuun. 	<ul style="list-style-type: none"> Tekniikan ja kaluston kehittyminen eivät todennäköisesti olennaisesti heikennä käytettävyyttä. Suuret kiinteistökohtaiset astiamäärät ovat melko harvinaisia. Yhtälön 10 soveltamista tulisi välttää kiinteistöjen astiamäärän noustessa yli 9, mutta ko. astiakokoa tuskin käytettäisiin tällaisina määrinä.
Keräyspisteiden välinen siirtymäaika	<ul style="list-style-type: none"> Siirtymäaika kuvaavat yhtälöt eivät noudata täydellisesti alkuperäistä käyrää, mutta poikkeavuus ei ole merkittävä. 	<ul style="list-style-type: none"> Siirtymäaika laskeminen yhtälöiden avulla estää tulkintavirheitä kuvaajan lukemisessa.
Kiinteistöjen välinen etäisyys keräyksen kattavuuden funktiona	<ul style="list-style-type: none"> Perustuu asiantuntija-arvioon. Kiinteistöjen välisiä etäisyyksiä on vaikea arvioida etenkin harvaan asutuilla alueilla. Etäisyyksien käsittely yhtenä jätteen tuottajaryhmäkohtaisena keskiarvona heikentää sen edustavuutta. 	<ul style="list-style-type: none"> Lähtötiedot ja tulokset eivät ole yleistettävissä muille alueille.
Keräilyautotyypin valinta (kuormakoko, kokonaisuus)	<ul style="list-style-type: none"> Keräilyajoneuvojen tyyppi vaihtelee urakoitsijoittain, mutta kalustot ovat samaa ikäluokkaa. 	<ul style="list-style-type: none"> Keräilyautotyypit vaihtelevat alue- ja urakoitsijakohtaisesti.
Keräilyauton kilometrikohtainen päästö	<ul style="list-style-type: none"> Ajoneuvojen päästöt perustuvat kilometrikohtaisiin päästöihin, jotka on ilmoitettu keskinopeuden ja arvioidun kuorman avulla muutettu tuntikohtaisiksi päästöiksi. Päästökertoimet ovat julkisesti saatavilla olevasta ja yleisesti käytetyistä lähteistä. 	<ul style="list-style-type: none"> Keskinopeudet riippuvat ajoympäristöstä. Päästökertoimien läpinäkyvyys parantaa tulosten käytettävyyttä.
Päästöjen laskeminen tyhjäkäynnille ja paikallaan tehtävälle työlle	<ul style="list-style-type: none"> Päästöt on arvioitava muuntamalla moottorin tekemä työmäärä keskinopeudeksi. 	<ul style="list-style-type: none"> Tyhjennystyön osuus keräilytyön päästöistä on sen verran vähäinen, että oletus ei olennaisesti vähennä tulosten käytettävyyttä. Valitulla keskinopeudella 40 km/h polttoaineen tuntikulutus vastaa aiemmin esitettyjä lukuja.

3.3 Keräily- ja kuljetusjärjestelmän kustannustarkastelussa huomioitavat tekijät

Keräily- ja kuljetustyön kustannukset voidaan laskea tehtyjen tyhjennystoimien avulla (Tanskanen 2000), kun tiedetään astioiden tyhjennyshinnat ja vuosittaiset kiinteät astiakustannukset (liite 2, kaavat 23-25). LCA-WASTE-menettelyn laskentataulukkoissa kustannusten laskenta perustuu tähän tarkastelutapaan (LT4).

Toinen vaihtoehto olisi käyttää laskentaan keräys- ja kuljetustyöhön kulunutta aikaa (ks. kaava 5) ja työn tuntikustannusta (liite 2, kaava 26), mutta tämän tyyppisen tiedon saatavuus on huomattavasti hankalampaa.

3.4 LCA-WASTE: keräily- ja kuljetusjärjestelmätarkastelut

3.4.1 Astiajärjestelmän mitoitus

Astiajärjestelmän mitoituksen lähtötietoina käytettiin sekä aikaisempien YTV:n aluetta koskevien selvitysten tuloksia että uusia tutkimustietoja (Tanskanen 1996; Peltola 2003). Kokoluokaltaan 1 - 4 huoneistoa kiinteistöä kohti olevat kiinteistöt tarkasteltiin omina ryhminään, mutta sitä suuremmat kiinteistöt (≥ 5 huoneistoa kiinteistöä kohti) käsiteltiin yhtenä kokonaisuutena. Mitoituksen lähtötiedot on koottu taulukkoon 19 ja jätteen kertymät ja astiamäärät taulukkoon 20. Astiamitoituksessa paperin tilavuuspainona on käytetty arvoa 0,20 t/m³ ja sekajätteelle arvoa 0,095 t/m³.

Keräyspaperiastioiden tyhjennystiheyden omakotitaloissa, rivitaloissa ja pienkerrostaloissa (<5 huoneistoa/kiinteistö) oletettiin määräytyvän paperikertymän perusteella, mutta vähimmäistyhjennystiheydeksi päätettiin 10 kertaa vuodessa (jotta materiaalihyödyntämiseen toimitettava kuitu olisi riittävän tuoretta).

Sekajäteastioiden tyhjennystiheytenä käytettiin kaiken kokoisilla kiinteistöillä keskimäärin yhtä kertaa viikossa (taulukko 19). Todellisuudessa tyhjennyskerrat vaihtelevat keräyspistekohtaisesti useasta kerrasta viikossa harvimmillaan yhteen kertaan kahdessa viikossa. Vähimmäistyhjennystiheys on keräyspisteen jätekertymästä riippumatta määritelty YTV:n alueen jätehuoltomääräyksissä vähintään yhteen kertaan kahdessa viikossa. Pientalokiinteistön keräysvälineet voidaan tyhjentää kerran neljässä viikossa, jos kiinteistön biojäte kompostoidaan. (YTV 2002).

Taulukko 19. LCA-WASTE-hankkeessa astiajärjestelmän mitoituksen perusteena käytetyt keräysastioiden täyttöasteet eri kertymäluokissa (*-merkityt julkaisusta Peltola (2003)).

Kertymäluokka	Paperi			Sekajäte		
	Täyttöaste (%)	Astiakoko (m ³)	Tyhjennys- tiheys (krt/v)	Täyttöaste (%)	Astiakoko (m ³)	Tyhjennys- tiheys (krt/v)
1 – 4 huoneiston asuinkiint.	60*	0,240	10 – 52	90*	0,240	26 - 52
≥ 5 huoneiston asuinkiint.	60*	0,600	52	70*	0,600	52
Toimipaikat	80*	0,600	52	80*	0,600	52
Aluekeräys	50*	4	52	-	-	52

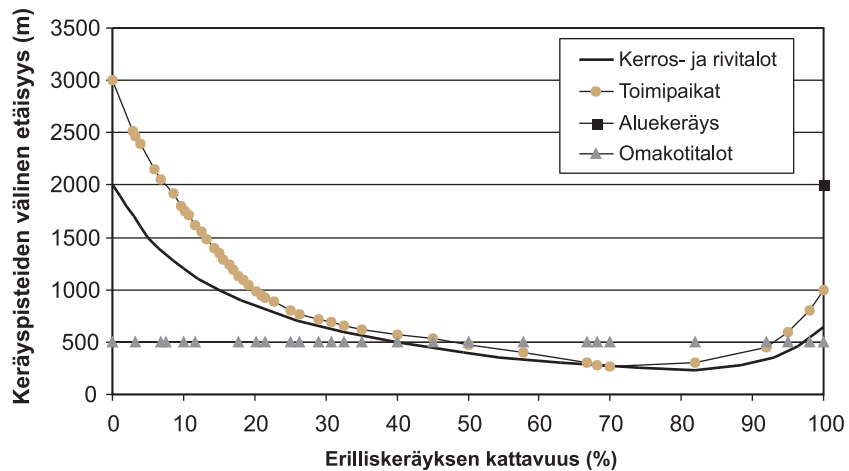
Taulukko 20. LCA-WASTE-hankkeessa lasketut paperin ja sekajätteen kertymät YTV:n alueella jätteen tuottajaryhmittäin jaoteltuna.

Jätteen tuottajaryhmä	Paperi		Sekajäte	
	Määrä (t/kiint.)	Astiat (kpl/kiint.)	Määrä (t/kiint.)	Astiat (kpl/kiint.)
1 – 4 huon./kiint.	0	0	0,6	1
≥ 5 huon./kiint.	4,2	1,3	9,1	4,4
Toimipaikkakiint.	14,9	3,3	11,4	3,5
Aluekeräys	32,6	1,2	0	0

3.4.2 Keräyksen ja kuljetuksen päästöjen laskeminen

Paperin erilliskeräyksestä ja kuljetuksista aiheutuvat päästöt laskettiin tonnikohtaisten työaikasuoritteiden ja ajoneuvojen aikayksikkökohtaisten päästökertoimien avulla. Eri työvaiheiden päästökertoimet määräytyvät kuljetuskaluston koon, iän, kuormakoon ja ajoympäristön perusteella (vrt. liite 3).

Kiinteistöjen väliset etäisyydet arvioitiin asiantuntijoiden avustuksella vastaamaan YTV:n alueen tämänhetkistä tilannetta (kuva 8). Paperin erilliskeräyksen kattavuudeksi kerrostalokiinteistöluokassa tiedetään 82 %, jolloin kiinteistöjen välinen etäisyys on noin 200 m. Erilliskeräys tavoittaa toimipaikoista 89 %, jolloin keskietäisyys on noin 400 m. Aluekeräyspisteiden välisenä etäisyytenä on käytetty kaikissa järjestelmätarkastelussa 2000 m. Omakotitalojen väliseksi etäisyydeksi on arvioitu keskimäärin 500 m.



Kuva 8. Keräyspisteiden välisten keskimääräisten etäisyyksien riippuvuus erilliskeräyksen kattavuudesta.

Tonnikohtaisten päästöjen laskemista varten keräyspaperille ja sekajätteelle laskettiin keräysajat (taulukko 21), joiden avulla saatiin edelleen tonnikohtaiset päästökertoimet eri päästökomponenteille (taulukko 22).

Taulukko 21. Paperi- ja sekajätetonnin kohden laskettu työaikaosuorite jätteentuottajaryhmittäin.

Jätteentuottajaryhmä	Paperi			Sekajäte		
	Tyhjennysajo (h/t)	Siirtymäajo (h/t)	Kuljetusajo (h/t)	Tyhjennysajo (h/t)	Siirtymäajo (h/t)	Kuljetusajo (h/t)
Asuinkiinteistöt	0,54	0,37	0,06	0,79	0,74	0,06
Toimipaikkakiint.	0,29	0,15	0,06	0,59	0,44	0,06
Aluekeräys	0,24	0,14	0,06	-	-	-

Taulukko 22. Keräyspaperin ja sekajätteessä kulkevan paperin keräilyn ja kuljetuksen päästöt.

Päästö	Paperi (kg/t)	Sekajäte (kg/t)
CO ₂	13,6	23,9
CH ₄	0,0006	0,0011
N ₂ O	0,0007	0,0012
SO ₂	0,00013	0,00023
NO _x	0,096	0,171
PM	0,0039	0,0069
HC	0,016	0,028
CO	0,020	0,035
Diesel	4,3	7,6

3.4.3 Kustannusten laskeminen

Keräilyä ja kuljetusta koskevien kustannusten laskemiseksi tarvitaan tiedot jätteiden keräämisestä, jäteastioiden tyhjentämisestä ja jätteiden kuljetuksesta.

Erikokoisille astioille käytettiin vuosikustannuksena joko YTV:n ilmoittamaa astian vuosivuokraa tai hankintahinnan ja 5 %:n vuosikoron avulla laskettua vuosittaista annuiteetikustannusta sen mukaan, kumpi vaihtoehdoista oli kustannuksiltaan halvempi (taulukko 23). Tyhjennyskustannuksina on käytetty YTV:n alueen kuljetusyrittäjien osin suoraan ilmoittamia tai ilmoitetuista lähtötiedoista laskettuja kuluja (Peltola 2003).

Taulukko 23. Paperi- ja sekajäteastioiden kustannustietoja YTV:n alueelta.

Paperi	Vuosikustannus (€/v)	Tyhjennyskustannus (€/krt)
240 l	15,8 ¹	1,31
600 l	15,8 ¹	1,31 ³ / 1,74 ⁴
4 m ³	184,7 ²	5,9
Sekajäte	Vuosikustannus (€/v)	Tyhjennykset (€/krt)
240 l	7,9 ¹	1,373
600 l	15,8 ¹	1,115

¹ hinta perustuu YTV:n alueella ilmoitettuun astiavuokrahintaan

² hinta perustuu hankinnan (vuosikorko 5 %) ja huollon kustannuksiin

³ kustannus asuinkiinteistökeräyksessä

⁴ kustannus toimipaikkakeräyksessä

Arvioimalla tarvittavat astiamäärät jätetonnin kohden voidaan tyhjennystiheyksien avulla laskea keräily- ja kuljetuskustannukset tuotettua jätetonnin kohden (liite 2, kaavat 3 ja 4). Taulukossa 24 on ilmoitettu sanomalehtipaperin ja sekajätteen keräily- ja kuljetuskustannukset koko YTV:n aluetta koskevana keskiarvona.

Taulukko 24. Paperin ja sekajätteen astia-, keräys- ja kuljetuskustannukset keskimäärin koko YTV:n alueella.

	Yksikkökustannus (€/t)
Sanomalehtipaperi	24
Sekajäte	36

Taulukkojen 23 ja 24 jätelajikohtaiset keräys- ja kuljetuskustannukset eivät sellaisenaan ole yleistettävissä YTV:n alueen ulkopuolelle, koska keräysmatkat ovat muualla Suomessa pidempiä ja ennen kaikkea jätteitä tuottavien kiinteistöjen koot ovat huomattavasti pienempiä.

3.5 Jätteiden keräilyä ja jätekuljetuksia käsitteleviä tietolähteitä ja laskentataulukoita

LCA-WASTE-menettelyn laskentataulukoiden avulla voidaan mitoitaa alueelle valitun jätelajin astiajärjestelmä asuin- ja toimipaikkakiinteistöille, sekä laskea jätteiden keräilyä aiheutuneet päästöt ja kustannukset (taulukko 25).

Esimerkkejä LCA-WASTE-hankkeessa esille tulleista, aiheeseen liittyvistä tietolähteistä on koottu taulukkoon 26.

Taulukko 25. LCA-WASTE-menettelyn laskentataulukoita astiajärjestelmän mitoitukseen ja keräily- ja kuljetusjärjestelmän päästöjen ja kustannusten laskemiseen.

Menettelyn laskentataulukot (LT)	Sisältö
LT2.1_Asuinkiinteistökeräys.xls > Astiajärjestelmä	Asuinkiinteistöjen astiajärjestelmän mitoitukseen tarkoitettu laskentataulukko.
LT2.2_Toimipaikkakeräys.xls > Astiajärjestelmä	Toimipaikkakiinteistöjen astiajärjestelmän mitoitukseen tarkoitettu laskentataulukko.
LT3_Jätekuljetuspäästöt.xls	Keräily- ja kuljetusjärjestelmän päästöjen laskeminen.
LT4_Astiajärjestelmäkustannukset.xls	Keräily- ja kuljetusjärjestelmän kustannusten laskeminen.

Taulukko 26. Esimerkkejä kuljetuksen päästöihin ja kustannuksiin liittyvistä tietolähteistä.

Tietolähteitä: keräily- ja kuljetuspäästöjä sisältäviä tietokantoja	Sisältö
VTT – Valtion teknillinen tutkimuskeskus 2002. VTT-Lipasto. http://lipasto.vtt.fi	Eri kulkuneuvojen päästökertoimia sisältävä tietokanta. Käyttö ilmaista.
Pelkonen, M., Rauta, E. & Tanskanen, J.-H. 2000. Yhdyskuntajätehuollon päästöjen järjestelmätarkastelu. TKK-VHT-21. Vesihuolto-tekniikan laboratorio. Teknillinen korkeakoulu, Espoo.	Jätehuollon kuljetuksen ja kaatopaikkasijoituksen päästöjen lähtötietotaulukoita.
RIL Rakennusinsinöörin liitto 1983. Jätehuolto. Yhdyskuntajätteen keräily ja kuljetus. Helsinki.	Jätehuollon mitoitus- ja laskentaperusteita ja lähtötietoja.
Tanskanen, J.-H. 2000. An approach for evaluating the effects of source separation on municipal solid waste management. Väitöskirja. Teknillinen korkeakoulu, Helsinki.	Periaatteet keräysasteen määräytymiselle keräyksen kattavuuden ja lajittelutehokkuuden funktiona.
Tanskanen, J.-H. 1996. Syntypaikkalajitteluun perustuvan yhdyskuntajätehuollon tarkastelu – jätevirrat, kustannukset ja päästöt. Suomen ympäristö 38. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.	Astia- ja kuljetusratkaisujen laskentakaavoja, lähtöarvoja ja kustannustietoja.
Peltola, S. 2003. Kotikeräyspaperin kierrätyksen kustannukset YTV:n alueella. Pro gradu –tutkielma. Ympäristöekonomian laitos. Helsingin yliopisto, Helsinki.	Kustannustietoja kotikeräyspaperin keräyksestä ja kuljetuksesta YTV:n alueella.
YTV – Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta 2002. Pääkaupunkiseudun yleiset jätehuoltomääräykset 1.1.2002. http://www.ytv.fi/jateh/ytv/suomi.pdf	YTV:n alueen jätteiden käsittelyyn, velvoiterajoihin, jäteastioihin, keräykseen ja kuljetukseen liittyvät jätehuoltomääräykset.
Räsänen, T. 2004. Jätehuoltoalan tietojärjestelmien ja raportoinnin kehittäminen; graafinen ja paikkatietopohjainen raportointi sekä tiedonlouhinta. Diplomityö. Kuopion yliopisto. (painossa 17.9.2004)	Graafisen ja paikkatietojärjestelmäpohjaisten menetelmien soveltaminen jätekuljetusten optimointiin.
Matikka, V. 2004. Paikkatietojärjestelmien soveltamismahdollisuudet ja keräyspisteiden sijaintitarkkuus jätehuollossa. Diplomityö. Kuopion yliopisto. (tarkastettavana 17.9.2004)	Paikkatietojärjestelmän soveltaminen jätekuljetusten optimointiin.
Tietolähteitä: kustannustietoja	Sisältö
Transpoint Oy. http://www.transpoint.fi	Tietoa kuljetuskalustosta ja kustannuksista.
Tanskanen, J.-H. 2000. An approach for evaluating the effects of source separation on municipal solid waste management. Väitöskirja. Teknillinen korkeakoulu, Helsinki.	Jätteiden keräyksen ja käsittelyn kustannusten määräytymis- ja laskentaperiaatteet sekä kustannustiedot.

4

Jätteen käsittelyvaihtoehtojen muodostaminen

4.1 Jätteen lajittelu sekajätteeksi ja erilliskeräykseen ja käsittelymenetelmien vertailu

Jäte lajitellaan jätehuoltojärjestelmässä eri virroiksi: erilliskeräykseen päätyviksi jakeiksi ja sekajätteeksi. Monille jätteille on löydettävissä useita vaihtoehtoisia käsittely- ja hyötykäyttöratkaisuja. LCA-WASTE-menettelyn tavoitteena on tarkastella jätehuoltoa kokonaisuutena ja etsiä kullekin jättejakeelle kokonaisuuden kannalta optimaalinen käsittelymenetelmä. Lainsäädäntökin on käsittelymenetelmien suhteen joustava: asetetut tavoitteet voidaan saavuttaa monilla tavoilla, jotka ovat kaatopaikkasijoitusta parempia (Jätelaki, Tarkistettu valtakunnallinen jätehuoltosuunnitelma vuoteen 2005).

Menettelyn neljänteen vaiheeseen on koottu käsittelymenetelmittäin ympäristökuormitukseen ja kustannuksiin liittyviä taustatietoja, menetelmän valintaan vaikuttavia tekijöitä ja ratkaisuesimerkki LCA-WASTE-hankkeesta. (LTa2, b1, b2, c1) Tavoitteena on antaa lähtökohdat eri käsittelymenetelmien ja niiden yhdistelmien valinnalle ja vertailulle.

4.2 Erilliskerätty jäte

4.2.1 Materiaalinen hyödyntäminen (a1)

Kierrätyksellä tarkoitetaan jätteen hyödyntämistä materiaalina. Materiaali voidaan käyttää uudelleen vastaavan tai jonkin toisen tuotteen raaka-aineena. Jätteen kierrätysvaihtoehtoja löytyy jätelajista riippuen yhdestä hyvinkin useaan ja uusia tapoja etsitään jatkuvasti. Kierrätys on jätelain hierarkian mukaan paras jätteiden käsittelyvaihtoehto (VpL 3.12.1993/1072).

LCA-WASTE-hankkeessa kertyneiden kokemusten mukaan jätteen kierrätyksen kannattavuuteen ympäristökuormituksen kannalta vaikuttavia tekijöitä ovat mm.:

Alueen liikennöintiyhteydet ja jätehuollon nykytila

- kuljetusetäisyys syntypaikalta hyödyntämiskohteeseen
- materiaalin tuottajat ja niiden maantieteellinen jakautuminen
- tällä hetkellä käytössä oleva kierrätysratkaisu alueella ja lähiympäristössä
- suunnitellut kierrätysratkaisut alueella ja lähiympäristössä

Alueen tuotantorakenne ja tuotannon olosuhteet

- käytettävissä olevan kierrätysmateriaalin määrän suhde tuotannon tarvitsemaan määrään (riittämättömyys hyötykäytön tarpeisiin tai suuren jätevirran jakaminen esim. usean hyötykäyttäjän kesken)
- kierrätysmateriaalin käytön vaikutus valmistusprosessin energiataseeseen

- tuotteen valmistusprosessiin vaadittavat muutokset kierrätysmateriaalin käytön mahdollistamiseksi
- jonkin muun kierrätysmateriaalin parempi soveltuminen vastaavaan tarkoitukseen
- prosessin päästöt kierrätysmateriaalia käytettäessä verrattuna neitseellisen materiaalin käyttöön
- kierrätysmateriaalin tarpeen kausiluontoisuus tarkasteltavassa prosessissa

Jätteen ominaisuudet

- kierrätetyn materiaalin laadulliset ominaisuudet neitseelliseen raaka-aineeseen verrattuna
- kierrätysmateriaalin varastoitavuus

Kierrätyksen kannattavuuteen kustannusten osalta vaikuttaa ennen muuta jätteen keräysjärjestelmä sekä jätteen taloudellisen hyödyntämisen mahdollisuudet. Tällaisia tekijöitä ovat mm.:

Alueen liikennöintiyhteydet ja jätehuollon nykytila

- kuljetusetäisyydet, keräysjärjestelmän toimivuus ja muut keräyskustannuksiin vaikuttavat seikat
- alueen väestömäärä: kierrätysmateriaalin määrä – suuret erät laskevat keräyskustannuksia ja materiaalin hintaa
- alueella tai sen lähiympäristössä tällä hetkellä käytössä olevan kierrätysratkaisun kustannukset

Jätteen ominaisuudet ja hyödyntämismahdollisuudet

- neitseellisen raaka-aineen hinta verrattuna kierrätysmateriaalin hintaan ja mahdollinen kustannussäästö
- muiden tarkasteltavaa kierrätysmateriaalia korvaavien kierrätysmateriaalien saatavuus ja hinta
- tuotteen valmistusprosessin vaatimien muutosten laajuus ja laatu
- tuotteen valmistusprosessin energiataseen muutosten aiheuttamat kustannukset
- investointitarve mahdollisiin suunniteltuihin kierrätysratkaisuihin alueella ja lähiympäristössä

Taulukkoon 27 on koottu joitakin mahdollisia eri jätejakeiden materiaalihyötykäyttökohteita ja käsittelyvaihtoehtoja. Hyötykäyttö ehdotetulla tavalla on mahdollista vain, jos jätejakeen laatu täyttää lainsäädännön edellyttämät vaatimukset. Lisätietoja eri menetelmistä on löydettävissä hyötykäyttäjien [www-sivuilta](http://www.sivuilla) ja useista kirjallisuuslähteistä, joista on koottu joitakin LCA-WASTE-hankkeen kuluessa esille tulleita esimerkkejä taulukkoon 28.

Taulukko 27. LCA-WASTE-hankkeessa esille tulleita eri jätelajien tyypillisimpiä materiaalihyötykäyttö- ja käsittelyvaihtoehtoja (Ympäristöyritysten liitto 2004).

Jätelaji	Hyötykäyttömahdollisuudet	Käsittelyvaihtoehdot
Biojäte	Viherrakentaminen	Kompostointi, mädätys, mädätys + kompostointi
	Kaatopaikkojen maisemointi	Kompostointi, mädätys, mädätys + kompostointi
	Peltojen maanparannus ja lannoitus Metsien lannoitus	Mädätys, kompostointi Kompostointi
Lasi	Lasin raaka-aine	Sulatus ja uusiokäyttö
	Lasivillan raaka-aine	Sulatus ja uusiokäyttö
Metallit	Metallin raaka-aine	Sulatus ja uusiokäyttö
Muovi	Muovin raaka-aine	Sulatus ja uusiokäyttö
	Materiaalin raaka-aineiden hyödyntäminen	Kemiallinen raaka-aineiden erotus
Nestepakkaukset	Hylsykartonki	Kuitujen ja alumiinin erotus ja kartongin valmistus
	Alumiinin hyödyntäminen raaka-aineena	Sulatus ja uusiokäyttö
Pahvi	Kartonki	Kuitujen erotus ja kartongin valmistus
Pakkaukset	Kartonki	Kuitujen erotus ja kartongin valmistus
Paperi	Paperin raaka-aine	Siistaus ja paperin valmistus
Tekstiilit	Uusio-/uudelleenkäyttö	Kierrätys
	Vaatteiden raaka-aine	Mekaanisen käsittely ja kehräys
	Täyttemateriaali (patjat, peitot)	Mekaanisen käsittely ja kehräys
	Öljynimeytysmatot ja turvahuovat	Mekaanisen käsittely ja kehräys
	Muovin raaka-aineeksi Materiaalin raaka-aineiden hyödyntäminen	Muovikuitujen sulattaminen Kemiallinen raaka-aineiden erotus
Yhdyskuntaliete	Viherrakentaminen	Kompostointi
	Kaatopaikkojen maisemointi	Mädätys, kompostointi
	Peltojen maanparannus ja lannoitus	Mädätys, kalkkistabilointi, kuivaus, kompostointi, raskasmetallien erotus
	Metsien lannoitus	Kalkkikäsittely, kuivaus, kompostointi

Taulukko 28. Esimerkkejä jätteiden materiaaliseen hyödyntämiseen liittyvistä tietolähteistä.

Tietolähteitä: materiaalien hyödyntämis- ja käsittelyvaihtoehtoja	Sisältö
Paatero, P. 2000. Puhdistamolietteiden hyödyntämis- ja loppusijoitusvaihtoehdot sekä niiden vertailu. Suomen ympäristö 210. Helsinki.	Jätevesilietteiden hyödyntämismahdollisuudet ja lietteille soveltuvat käsittelyteknikat.
Lehtonen, K. Tontti, T. ja Kuisma, M., 2003. Biojäte- ja lietekompostien käyttömahdollisuudet kasvintuotannossa, Maa- ja elintarviketalous 28. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus.	Bioliete- ja lietekompostien käytön mahdollisuuksien arviointia kasvintuotannossa lainsäädännön, lietteiden ominaisuuksien ja niiden imagon valossa.
Tekstiili- ja vaateollisuus ry 2002. Tekstiilien kierrätys. http://www.finatex.fi/html/pdf/TY5.pdf	Tekstiilien erilaisia kierrätys- ja uusiokäyttövaihtoehtoja.
Ympäristöyritysten liitto (YYL). http://www.ytl.fi/etusivu.htm	Eri materiaalien hyötykäyttöön liittyvää tietoa: yleisimmät prosessointitavat ja hyödyntämiskohteet.
Tietolähteitä: kustannustietoja	Sisältö
Örn, J. 2002. Puunkorjuun ja puutavaran kaukokuljetuksen suoritteet ja kustannukset vuonna 2002. Metsäteho.	Puunkorjuun ja kaukokuljetuksen kustannustietoja Suomesta.
Suomen Sahat ry. www.suomensahat.fi	Tietoa sahateollisuudesta ja yhteystietoja sahoihin.
Metsäteollisuus ry. http://forestindustries.fi	Tilastotietoa metsäsektorista.

4.2.2 Energiahyödyntäminen (a2)

Toiseksi erilliskerätyn jätteen mahdolliseksi hyödyntämisvaihtoehdoksi soveltuu jätelain jätehierarkian mukaisesti energiahyödyntäminen, joten se on valittu myös LCA-WASTE-menettelyssä yhdeksi tarkasteluvaihtoehdoksi. Seuraavassa on lyhyesti tarkasteltu LCA-WASTE-hankkeessa esille tulleita näkökulmia ja keskeisiä vaikuttavia tekijöitä.

Jätteen energiahyödyntämisellä tarkoitetaan sen energiasisällön muuntamista lämmöksi ja/tai sähköksi joko pelkkään jätteen polttoon tarkoitettussa laitoksessa tai muiden polttoaineiden lisänä eli rinnakkaispolttona. (Lohiniva ym. 2002) (LTa2) Monilla jätelajeilla on hyötykäyttöarvoa energiana (taulukko 29) ja jätteitä myös poltetaan (tilanne ennen jätteenpolttoasetuksen voimaantuloa, v. 2002) eri puolilla Suomea 121 lämpöä ja sähköä tuottavassa energia- tai teollisuuden kattilalaitoksessa (Lohiniva ym. 2002).

Taulukko 29. Eri jätelajien tyypillisimpiä energiahyötykäyttö- ja käsittelyvaihtoehtoja (Ympäristöyritysten liitto 2004).

Jätejäte	Hyötykäyttömahdollisuudet	Käsittelyvaihtoehdot
Biojäte	Energiasisällön ja ravinteiden hyödyntäminen	Mädätys, poltto tukiaineena (tuhkan käyttö lannoitteena)
Muovi	Energiasisällön hyödyntäminen	Poltto
Nestepakkauskartonki	Muovin sisältämän energian hyödyntäminen (kuidun ja alumiinin talteenotto)	Poltto
Pakkauskartonki	Energiasisällön hyödyntäminen	Poltto
Paperi	Energiasisällön hyödyntäminen (siistausrejekti)	Poltto
Tekstiilit	Energiasisällön hyödyntäminen	Poltto
Yhdyskuntaliete	Energiasisällön ja ravinteiden hyödyntäminen	Mädätys, poltto tukiaineena (tuhkan käyttö lannoitteena)

Jätteen energiahyödyntämisen tekniikat

Erilliskerättyjen jätteiden sisältämän energian hyödyntämiseen voidaan käyttää ainakin kolmenlaisia teknisiä polttoratkaisuja (Lohiniva ym. 2002):

1. Leijukerroskattilat
2. Kaasutusratkaisut
3. Arinakattilat

Ratkaisuja 1 ja 2 voidaan soveltaa sekä suoraan jätteen polttoon että jätteiden rinnakkaispolttoon eli polttoon jonkin pääpolttoaineen (esim. hiili, turve, maakaasu, öljy tai puutähteet) ohella, kun taas arinakattilatekniikka (3.) soveltuu ennen kaikkea suoraan jätteen polttoon. (Lohiniva ym. 2002)

Jätteen energiahyödyntämistä suunniteltaessa huomioitavat tekijät

Keskeisin LCA-WASTE-hankkeessa esille tullut energiahyödyntämisen potentiaaliin ympäristövaikutuksiin vaikuttava seikka on menetelmän oletettu hyötysuhde ja menetelmän mahdollisesti korvaama energiamuoto. Rinnakkaispoltton ja pelkän jätteenpoltton erona on tuotetun energian määrä ja sähköntuotannon hyötysuhde: varsinaisen polttoaineen lämpöarvo on yleensä kierrätyspolttoainetta ja jätemateriaaleja korkeampi, joten rinnakkaispoltolla saadaan korkeammasta höyryn lämpötilasta johtuen tuotettua sähköenergiaa jätteenpolttoa paremmalla hyötysuhteella.

Laadittaessa vaihtoehtoisia jätteenkäsittelyvaihtoehtoja LCA-WASTE-hankkeessa, erilliskerätyn jätteen energiahyödyntämisvaihtoehdon kannattavuuteen

ympäristökuormituksen kannalta osoittautuivat vaikuttavan mm. seuraavat tekijät:

Alueen infrastruktuuri ja jätehuollon nykytila

- jätehuollon nykytilanne alueella ja sen lähiympäristössä
- uuden energialaitostontin sijainti ja ympäristöllinen arvo
- etäisyydet polttolaitokselle soveltuvalla alueella
- uudelle energialaitokselle ja sen toiminnoille käytettävissä oleva tila ja sen kaavoitustilanne
- polton tuhkien käsittelyn ja/tai jätemäärien vähentymisen vaikutukset kaatopaikan pinta-alaan, käyttöikään tai teknisiin ratkaisuihin

Jätteen ominaisuudet

- syntyvän jätteen määrä
- jätteen energiasisältö
- jätteen sisältämä rikki, raskasmetallit, Cl, Al, Na ja K, jotka vaikuttavat polttoprosessin päästöihin ja mahdollisiin saostumisoongelmiin. (klooria PVC-muovissa, alumiinia metallituotteissa, natriumia ja kaliumia mm. liimoissa, viljajätteessä ja lasissa,) (Vesanto 2002)
- jätteen sisältämät metallilangat, kivet ja keraamiset kappaleet, jotka voivat tukkia polttolaitoksen laitteistoja
- jätteen varastoitavuus eli mahdollisuus säännöstellä käyttöä energiantarpeen mukaan

Alueen energiataloudellinen tilanne ja tilanteen kehittymisodotukset

- olemassa olevien kattiloiden vapaa lämpökuorma
- alueen lisäsähkön tai lisälämpöenergian tarve
- uuden energialaitoksen mahdollisuudet korvata nykyisin käytössä olevia uusiutumattomia polttoaineita
- uuden energialaitoksen mahdollisuudet korvata nykyisiä energiantuotantoratkaisuja: korvattavien laitosten energiantuotantokausi ja miten mahdollinen sähkövaje korvataan (jos yhdistettyä sähkön- ja lämmöntuotantoa korvataan pelkkää lämpöä tuottavilla ratkaisuilla)
- uuden rinnakkaispolttolaitoksen korvaama polttoaine ja korvauksen tuomat muutokset päästöissä
- saavutettavien polttosopimusten pituus (polttolaitokset voivat vaihtaa muihin polttoaineisiin sopimuskauden päättyessä)

Alueen kattiloiden ja muiden energiantuotantolaitosten tekniset ominaisuudet

- alueen sähkön- ja lämmöntuotannon kattilat ja muut energiantuotantolaitokset ja niiden soveltuvuus jätteen polttoon (vaaditut muutokset)
- alueen teollisuuskattilat ja niiden soveltuvuus jätteen polttoon (vaaditut muutokset)
- nykyisten polttoratkaisujen vapaa kapasiteetti / toiminnan laajennusmahdollisuudet
- sähkön- ja lämmöntuotannon suhde
- sähkön- ja lämmöntuotannon hyötysuhteet
- korroosionkestävyys, polttoaineen syötön ja tuhkanpoiston toimivuus (Vesanto 2002)

Suunniteltujen energiaratkaisujen ominaisuudet

- päästöt ilmaan, veteen ja maaperään sekä kiinteät jätteet verrattuna nykyisiin ratkaisuihin
- tukiaineiden ja muiden kemikaalien tarve
- sähkön- ja lämmöntuotannon osuudet ja hyötysuhteet

Jätteen energiahyödyntämisen kannattavuuteen kustannusten osalta vaikuttavat monet markkinaperusteiset tekijät, mutta niitä muuntelee poikkeuksellisen merkittävästi harjoitettava ympäristöpolitiikka, erityisesti ilmastopolitiikka:

Alueen infrastruktuuri ja jätehuollon nykytila

- jätejakeen määrä – suuret erät nostavat hintaa
- kuljetusetäisyydet

Energiateknisten ratkaisujen taloudellisuus

- olemassa oleva tekniikka ja vaaditut muutokset / lisäykset
- kattiloiden ja muiden energiantuotantolaitosten tekniset ominaisuudet
 - o vapaa kapasiteetti / toiminnan laajennusmahdollisuudet
 - o sähkön- ja lämmöntuotannon suhde
 - o jättemateriaalin mahdollisesti korvaama polttoaine ja korvauksen tuomat muutokset kustannuksissa
 - o vaadittavien muutosten kustannukset
- laajennusmahdollisuudet
- varastointimahdollisuudet
- alueen energiantarve ja sen vaikutus energian kysyntään
- korvattavien laitosten energiantuotantojakauma ja miten mahdollinen sähkövaje korvataan

Ympäristöpolitiikka

- kaatopaikkojen hyödyntämistä koskevat määräykset
- ilmastopolitiikka, Euroopan Unionin päästöoikeuskauppa ja päästöluvan hinta

LCA-WASTE-menettelyyn kuuluvan LT5.a2-laskentataulukon avulla voidaan laskea karkea arvio olemassa olevaan kattilaan liitettävän kaasutuskattilan kapasiteetista ja kustannuksista erilaisilla jätemäärillä (taulukko 30). Taulukon avulla voidaan myös arvioida säästyneiden päästöjen suuruus pääpolttoaineen polttoon verrattuna. Laskenta perustuu LCA-WASTE-hankkeessa kertyneisiin tietoihin, joiden lähteitä on koottuna taulukkoon 31.

Taulukko 30. LCA-WASTE-menetelyn laskentataulukko jätteiden rinnakkaispoltoon käytettävän kaasutuskattilan mitoittamiseen.

Menettelyn laskentataulukot (LT)	Sisältö
LT5.a2_Rinnakkaiskaasutuslaitos.xls	Massapolttolaitoksen mitoitus, kustannukset ja päästöt (päästöt ORWARE-mallin mukaan)

Taulukko 31. Esimerkkejä jätteiden energiahyödyntämiseen liittyvistä tietolähteistä.

Tietolähteitä: energiahyödyntäminen	Sisältö
Paavo Ristola Oy 2001. Kaasutuslaitoksen ympäristövaikutusten arviointiselostus. Vantaan Energia Oy, Helsinki.	Rinnakkaispolttolaitoksen mitoitus, maksimi kp-käyttö, kp:n energiasisältö
Vesanto, P. 2002. Jätteiden energiakäyttö muu- toksessa 2002. Suomen Kaukolämpö ry.	Jätteiden energiahyödyntämiseen liittyvää lainsäädäntöä, polttotekniikoiden tekninen kuvaus ja käytön mahdollisuuksien arviointia, käyttökokemuksia jätettä polttaneista laitoksista.
Lohiniva, E, Sipilä, K., Mäkinen, T. & Hietanen, L. 2002. Jätteiden energiakäytön vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin. VTT Tiedotteita 2139. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo.	Jätteiden energiahyödyntämiseen liittyvää lainsäädäntöä, Suomen jätemääriä, erilaisia energiaskenaarioita ja niiden vaikutuksia Suomen kasvihuonekaasupäästöihin, olemassa olevien polttolaitosten sijainti.
Mäkinen, T., Sipilä, K., Hietanen, L. & Heikkinen, V. 2000. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 2000:10. Pääkaupunkiseudun jätteiden energiakäyttöselvitys. Loppuraportti. VTT Energia.	Tarkasteltu pääkaupunkiseudun jätteiden energiakäyttövaihtoehtoja.
Wilén, C., Salokoski, P., Kurkela, E. & Sipilä, K. 2004. Finnish expert report on best available techniques in energy production from solid recovered fuels. The Finnish Environment nr 688.	Erilaisten energiahyödyntämismenetelmien ja niiden kaasunkäsittelyratkaisujen teknologian esittelyä.
Direktiivi sähköntuotannon edistämisestä uusiutuvista energialähteistä (2001/77/EY).	Uusiutuvista energialähteistä tuotetun sähkön osuus tasolle 31,5 % vuoteen 2010 mennessä (Suomen kirjattu tavoite).
Ympäristöyritysten liitto (YYL). http://www.ytl.fi/etusivu.htm	Eri materiaalien hyötykäyttöön liittyvää tietoa: yleisimmät prosessointitavat ja hyödyntämiskohteet.

4.2.3 Biologinen käsittely (a3)

Menettelyn kolmantena erilliskerätyn jätteen käsittelyvaihtoehtona ehdotetaan tarkasteltavaksi biologisia käsittelymenetelmiä. Jos käsittelyn lopputuotteelle löytyy hyötykäyttökohde, menetelmä on jätelain hierarkian mukaan energiahyödyntämistä parempi vaihtoehto.

Biologisen käsittelyn tarkoituksena on tuottaa maanparannusainetta hajottamalla biojätteen sisältämä orgaaninen aines, pienentämällä hajuhaittoja ja tappamalla mahdollisimman tehokkaasti biomateriaalin sisältämiä patogeeneja. Näiden tavoitteiden saavuttamiseen on valittavissa useita eri käsittelymenetelmien yhdistelmiä, joiden lopputuote on yleensä joko materiaalikierrätykseen tai energiahyödyntämiseen soveltuva. Jos biologisesti käsiteltävä materiaali on peräisin sekajätteen lajittelusta, sen hyödyntämiselle voi olla rajoituksia (ks. kohta 4.3.1).

Erilaisten biologisten käsittely-yhdistelmien ympäristövaikutuksia ja kustannuksia Tampereen kokoisella alueella on tarkasteltu vuonna 2003 toteutetussa tutkimuksessa (Vinnari 2003) (taulukko 32). Vinnarin mukaan Suomessa on tällä hetkellä käytössä kahdenlaisia biohajoavan jätteen peruskäsittelyprosesseja:

1. Aerobiset käsittelyprosessit

Aerobisessa käsittelyssä orgaanisen aineksen hajottaminen tehdään hapellisissa olosuhteissa ja lopputuotteena on vettä, hiilidioksidia, ammoniakkaa, sulfaattia ja lämpöenergiaa. Aerobisia käsittelyprosesseja ovat sisätiloissa toteutettava suljettu kompostointi ja ulkona aumoissa toteutettava avoin kompostointi.

2. Anaerobiset käsittelyprosessit

Anaerobinen käsittely tehdään hapettomissa oloissa ja lopputuotteena on metaania, hiilidioksidia, typpiyhdisteitä ja vettä. Metaani poltetaan hiilidioksidiksi. Polton lämpöenergia voidaan ottaa talteen lämmön, höyryn tai sähköntuotantoa varten. Anaerobisena biojätteen käsittelyprosessina käytetään Suomessa mädätystä.

Aerobisiin ja anaerobisiin menetelmiin voidaan yhdistää erilaisia kuivaustekniikoita, jolloin lopputuote soveltuu myös poltettavaksi (Vinnari 2003). Tätä vaihtoehtoa ei kuitenkaan tarkasteltu LCA-WASTE-hankkeessa eikä näin ollen myöskään hankkeen tulosten pohjalta laaditussa menettelyssä.

LCA-WASTE-hankkeessa saatujen kokemusten perusteella ympäristövaikutuksia kannattaa tarkastella ainakin seuraavien kriteerien valossa, kun verrataan erilliskerätyn jätteen biologisen käsittelyratkaisun vaikutuksia nykykäytäntöön ja muihin käsittelyratkaisuihin:

Alueen infrastruktuuri ja jätehuollon nykytila

- jätehuollon nykytilanne alueella ja sen lähiympäristössä
- uuden biologisen käsittelylaitoksen tontin sijainti ja ympäristöllinen arvo
- etäisyydet biologiselle käsittelytoiminnalle soveltuvalle alueelle
- uudelle biologiselle laitokselle käytettävissä oleva tila ja sen kaavoitustilanne
- jätemäärien vähentymisen vaikutukset kaatopaikan pinta-alaan, käyttöikään tai teknisiin ratkaisuihin

Jätteen ominaisuudet

- syntyvän jätteen määrä
- jätteen sisältämät epäpuhtaudet, esim. suuret kappaleet, jotka voivat vaurioittaa laitteistoja ja huonontavat lopputuotteen laatua
- jätejakeen hygieeninen laatu ja koostumus

- o jätteen turvallisuus eläin- ja kasvipöytäisten tartuntatautien kannalta (jos kerätyn biojätteen seassa teurastamojen, meijereiden, ravintoloiden tai puutarhojen jätettä)
- lopputuotteen käyttömahdollisuudet (ks. kohta 4.2.1)

Suunnittelun biologisen käsittelyratkaisun ominaisuudet

- päästöt ilmaan, veteen ja maaperään, kiinteät jätteet, muut ympäristöä kuormittavat tekijät (melu, haju, bakteerit) verrattuna nykyisiin ratkaisuihin
- tukiaineiden ja muiden kemikaalien tarve
- syntyvän metaanin soveltuvuus kulkuneuvojen ja laitteiden polttoaineeksi

Alueen energiataloudellinen tilanne ja tilanteen kehittymisodotukset (metaanin sisältämän energian hyödyntäminen)

- alueen lisäsähkön, lisälämpöenergian tai höyryn tarve
- uuden energialaitoksen mahdollisuudet korvata nykyisin käytössä olevia uusiutumattomia polttoaineita
- uuden energialaitoksen mahdollisuudet korvata nykyisiä energiantuotantoratkaisuja: korvattavien laitosten energiantuotantokausi ja miten mahdollinen sähkövaje korvataan (jos yhdistettyä sähkön- ja lämmöntuotantoa korvataan pelkkää lämpöä tuottavilla ratkaisuilla)

Jätteen biologisen käsittelyn kannattavuuden kustannusten kannalta vaikuttavat:

- olemassa oleva tekniikka ja vaaditut muutokset / lisäykset
- laajennusmahdollisuudet
- varastointimahdollisuudet
- kuljetusetäisyydet
- ympäristöpolitiikka

Taulukko 32. Esimerkki biologisten käsittelyjen ympäristövaikutuksia ja kustannuksia käsittelevistä tietolähteistä.

Tietolähteitä:	Sisältö
Vinnari, E. 2003. Pirkanmaan biojätehuollon järjestelmä- ja kustannustarkastelu. Opinnäytetyö. Bio- ja ympäristötekniikan laitos. Ympäristötekniikan osasto. Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere.	Biojätteen käsittelymenetelmien ja niiden kemian kuvausta sekä Pirkanmaan alueen biojätehuoltostrategioiden teknistä ja kustannusvertailua.

4.3 Sekajäte

Sekajäte on jätehuoltojärjestelmän lajittelujäännös, joka sisältää useita eri jätejakeita. Vuonna 2005 voimaan tulevien säädösten myötä sekajäte on esikäsittävä ja pääosa sen sisältämästä biohajoavasta aineksesta on eroteltava ennen läjittämistä (VNp 861/1997). Sekajätteelle on siis kaikkialla Suomessa etsittävä järkevä ja muuhun jätehuoltojärjestelmään soveltuva käsittelytapa ja vasta käsittelyjäännös ja hyötykäyttöön soveltumattomat jakeet voidaan sijoittaa kaatopaikalle.

LCA-WASTE-hankkeessa sekajätteelle löydettiin kaksi vaihtoehtoista käsittelytapaa: erilaiset hyötyjakeita erottelevat menetelmät, joiden lopputuotteet toimitetaan erilliskerätyinä jakeita vastaaviin käsittelyihin ja jätteen polttaminen sellaisenaan (vrt. kuva 4).

4.3.1 Esikäsittely sekajätteen jatkohyödyntämistä varten (b1)

Sekajätteen esikäsittelymenetelmien tavoitteena on yleensä erotella hyötykäyttöön sekajätteen sisältämä metalli, erotella biologiseen käsittelyyn sekajätteen se-

assa oleva märkä, biohajoava aines ja valmistaa loppuosasta (muovit ja kuiva kuitujäte) poltettavaksi kelpavaa kierrätyspolttoainetta.

Pääkaupunkiseudun olosuhteisiin on harkittu neljää erilaista mekaanis-biologista (MB) ja muuta sekajätteen esikäsittelyratkaisua (YTV 2003; Lohiniva ym. 2002), joiden peruseriaatteet ovat seuraavat:

1. Kierrätyspolttoaineen (suomessa monesti lyhenteenä REF, recycled fuel, kansainvälisesti käytetään lyhennettä SRF, solid recovered fuel) valmistus ja biohajoavan aineksen kompostointi (LTb1)

- metallien erotus hyötykäyttöön (a1)
- inertin ja käsittelyyn sopimattoman aineksen erotus ja kaatopaikkasijoitus (c1)
- kuivan ja palavan jakeen (muovit, kuivat paperikuidut) työstäminen kierrätyspolttoaineeksi (REF II/III) (a2)
- märän ja biohajoavan jakeen kompostointi (a3) ja kaatopaikkasijoitus

2. Kierrätyspolttoaineen (REF) valmistus ja biohajoavan aineksen kompostointi ja mädätys (50 %)

- metallien erotus hyötykäyttöön (a1)
- inertin ja käsittelyyn sopimattoman aineksen erotus ja kaatopaikkasijoitus (c1)
- kuivan ja palavan jakeen (muovit, kuivat paperikuidut) työstäminen kierrätyspolttoaineeksi (REF II/III) (a2)
- 50 - 60 % märästä ja biohajoavasta jakeesta mädätykseen ja jäljelle jäävän aineksen kompostointi yhdessä lopun biohajoavan aineksen kanssa (a3)

3. Sekajätteen bioterminen kuivaus ja kierrätyspolttoaineen (REF) valmistus

- sekajätteen kompostointi (a3) ja kompostituotteen kuivaus biotermisesti
- metallien erotus hyötykäyttöön (a1)
- raskaan seulonta-alitteen (inertin ja käsittelyyn sopimattoman aineksen) erotus ja kaatopaikkasijoitus (c1)
- seulontaylitejakeen työstäminen kierrätyspolttoaineeksi (REF III) (a2)

4. Muovien erottaminen polttoaineeksi, paperikuitujen käyttäminen paperin valmistuksessa, muun biohajoavan aineksen käsittely ja kaatopaikkasijoitus

- metallien erotus hyötykäyttöön (a1)
- inertin ja käsittelyyn sopimattoman aineksen erotus ja kaatopaikkasijoitus (c1)
- paperikuitujen erottaminen kuivajakeesta (muovit, kuivat paperikuidut) ja hyödyntäminen paperin valmistuksessa (a1)
- muovin käyttäminen polttoaineena (a2)
- märän ja biohajoavan jakeen kompostointi tai mädätys (a3) ja kaatopaikkasijoitus (c1)

LCA-WASTE-hankkeessa valittiin menetelmäksi vaihtoehto 1. Tutkimuksen aikana saatujen kokemusten pohjalta voidaan sanoa, että sekajätteen esikäsittelytavan valintaan ympäristökuormituksen kannalta vaikuttavat ainakin seuraavat tekijät:

Alueen infrastruktuuri ja jätehuollon nykytila

- jätehuollon nykytilanne alueella ja sen lähiympäristössä
- esikäsittelylaitoksen tontin sijainti ja ympäristöllinen arvo
- jätteen syntypisteiden etäisyydet esikäsittelytoiminnalle soveltuvalta alueelta
- esikäsittelyssä saatavia erillisjakeita hyödyntävien laitosten etäisyys
- esikäsittelylaitokselle käytettävissä oleva tila ja sen kaavoitustilanne
- jätemäärien vähentymisen vaikutukset kaatopaikan pinta-alaan, käyttöikään tai teknisiin ratkaisuihin

Sekajätteen ominaisuudet

- syntyvän jätteen määrä
- jätejakeen hygieeninen laatu ja koostumus
 - o palavan, inertin ja biohajoavan jakeen osuudet, muovi- ja kuitujätepitoisuus (esim. kun alueen elinkeinorakenteessa paljon kaupan, painoalan tms. toimijoita)
- lopputuotteiden käyttömahdollisuudet (ks. kohta 4.2.1)

Suunnittelun sekajätteen esikäsittelyratkaisun ominaisuudet

- päästöt ilmaan, veteen ja maaperään, kiinteät jätteet, muut ympäristöä kuormittavat tekijät (melu, hajua, bakteerit) verrattuna nykyisiin ratkaisuihin
- tukiaineiden ja muiden kemikaalien tarve
- tuotettavan metaanin soveltuvuus energiantuotantoratkaisujen osaksi tai kulkuneuvojen ja laitteiden polttoaineeksi

LCA-WASTE-hankkeessa saatujen kokemusten mukaan sekajätteen esikäsittelytavan valintaan kustannusten kannalta vaikuttavat:

Alueen infrastruktuuri ja jätehuollon nykytila

- jätehuoltojärjestelmän nykytilanne ja keräys- ja kuljetuskustannukset
- esikäsittelylaitoksen tontin sijainti ja taloudellinen arvo

Esikäsittelytekniikan kannattavuus

- olemassa oleva tekniikka ja vaaditut muutokset / lisäykset
- laajennusmahdollisuudet
- varastointimahdollisuudet

Koska LCA-WASTE-hankkeessa tutkittiin vain yhtä edellä mainituista sekajätteen esikäsittelytekniikoista, menettelyn laskentataulukko on toteutettu mitoitamaan valittu kompostointitekniikalla varustettu käsittelyratkaisu (LT5.b1). Mitoituksen lisäksi laskentataulukkoa voidaan käyttää suuntaa-antavaan ympäristökuormituksen ja kustannusten arviointiin (taulukko 33).

Myös muita ratkaisuja on käytössä eri puolella maailmaa, esimerkkejä lisätietolähteistä on koottu taulukkoon 34.

Taulukko 33. LCA-WASTE-menettely laskentataulukko mekaanis-biologisen lajittelulaitoksen mitoitamista ja kustannustarkastelua varten.

Menettelyn laskentataulukot (LT)	Sisältö
LT5.b1_Mekaanis-biologinen_lajittelulaitos.xls	Mekaanis-biologisen lajittelulaitoksen mitoitus, kustannukset ja päästöt.

Taulukko 34. Esimerkkejä sekajätteen esikäsittelymenetelmiä käsittelevistä tietolähteistä.

Tietolähteitä: sekajätteen esikäsittely	Sisältö
Suunnittelukeskus Oy 2003. Sekajätteen käsittelylaitos. Tekninen hankesuunnitelma. YTV Jätehuolto.	Sekajätteen käsittelyn erilaisten teknisten ratkaisujen yksityiskohtainen kuvaus, massavirrat, päästöt ja kustannukset (pääkaupunkiseudun suuruiselle sekajätevirralle).
Loikala, J. 2001. Pääkaupunkiseudun jätteenkäsittelystrategia. Taustaselvitys. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 2001:10. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta YTV, Helsinki.	Jättemääriin ja sekajätteen käsittelytekniikoihin liittyviä asioita yleisellä tasolla, strategiset tavoitteet.
Ludwig, C., Hellweg, S. & Stucki, S. 2003. Municipal Solid Waste Management. Strategies and Technologies for Sustainable Solutions.	Erilaisten jätteenkäsittelytekniikoiden kuvausta ja arviointia.

4.3.2 Energiahyödyntäminen (b2)

LCA-WASTE-menettelyssä sekajätteen toisena jätehuoltovaihtoehtona on energiahyödyntäminen. Hankkeen kuluessa tehdyissä tarkasteluissa tuli esiin kaksi erilaista energianhyödyntämistapaa: perinteinen massapoltto sekä uutta tekniikka edustava energia- ja materiaalihyödyntämisen yhdistelmä.

Massapoltto

Keski-Euroopassa jätteitä on poltettu ns. perinteisissä massapolttolaitoksissa jo pitkään, mutta Suomessa on tällä hetkellä toiminnassa vain yksi massapolttolaitos Turussa. Massapolttolaitoksella tarkoitetaan tässä perinteistä arinapolttoon perustuva laitosta, jossa poltetaan esikäsittelemätöntä ja vähän tai ei ollenkaan lajiteltua jätettä. Esim. metallit saatetaan toimittaa hyötykäyttöön vasta polttoprosessin jälkeen. Arinapolttotekniikkaa pidetään massapolttolaitoksille järkevänä, koska se ei ole riippuvainen polttoaineen laadusta. (LT5.b2)

Energian ja materiaalien hyödyntäminen

Uusia teknisiä ratkaisuja massapoltolle on kokeiltu mm. Saksassa, jossa Thermo-select-prosessiksi kutsuttu laitos tuottaa energiaa ja monia erilaisia hyödynnettäviä raaka-aineita. Prosessin vaiheita ovat (Thermoselect 2004):

- sekajätteen käsittely pyrolyysillä ja happikaasutuksella
- rikin erottaminen hyötykäyttöön
- metallien erottaminen sulattamalla hyötykäyttöön
- lasimaisen mineraaliaineksen erottaminen hyötykäyttöön
- sinkkikonsentraatin erottaminen hyötykäyttöön ja
- maakaasua vastaavan synteetikaasun tuottaminen ja polttaminen.

Prosessin tavoitteena on saada kaikille lopputuotteille käyttökohde. Käsittelemälään 225 000 tonnilla jätettä laitos tuottaa sähköä 2,7 MW ja kaukolämpöä 50 MW päästöillä, joiksi on mitattu vain 1 % jätteenpolttodirektiivin sallimista arvoista. Sähköntuotannon hyötysuhde on 12 – 14 %. (Lohiniva ym. 2002)

LCA-WASTE-hankkeessa sekajätteen energiahyödyntämismuutosehdoksi valittiin massapoltto. Tiedonkeruun ja tulosten käsittelyn yhteydessä löydettiin mm. seuraavia ympäristökuormitukseen vaikuttavia tekijöitä:

Alueen infrastruktuuri ja jätehuollon nykytila

- jätehuollon nykytilanne alueella ja sen lähiympäristössä
- uuden energialaitostontin sijainti ja ympäristöllinen arvo
- etäisyydet jätteen syntypisteestä polttolaitokselle soveltuvalla alueella
- uudelle energialaitokselle ja sen toiminnoille käytettävissä oleva tila ja sen kaavoitustilanne
- polton tuhkien käsittelyn ja/tai jätemäärien vähentymisen vaikutukset kaatopaikan pinta-alaan, käyttöikänsä tai teknisiin ratkaisuihin

Jätteen ominaisuudet

- syntyvän jätteen määrä
- jätteen energiasisältö
- jätteen varastoitavuus eli mahdollisuus säännöstellä käyttöä energiantarpeen mukaan

Alueen energiataloudellinen tilanne ja tilanteen kehittymisodotukset

- alueen lisäsähkön tai lisälämpöenergian tarve
- uuden energialaitoksen mahdollisuudet korvata nykyisin käytössä olevia uusiutumattomia polttoaineita

- uuden energialaitoksen mahdollisuudet korvata nykyisiä energiantuotantoratkaisuja: korvattavien laitosten energiantuotantojakauma ja miten mahdollinen sähkövaje korvataan (jos yhdistettyä sähkön- ja lämmöntuotantoa korvataan pelkkää lämpöä tuottavilla ratkaisuilla)

Suunniteltujen energiaratkaisujen ominaisuudet

- päästöt ilmaan, veteen ja maaperään sekä kiinteät jätteet verrattuna nykyisiin ratkaisuihin
- tukiaineiden ja muiden kemikaalien tarve
- sähkön- ja lämmöntuotannon osuudet ja hyötysuhteet

Vastaavasti sekajätteen energiahyödyntämisen kannattavuuteen kustannusten kannalta löydettiin seuraavia tekijöitä:

Alueen infrastruktuuri ja jätehuollon nykytila

- jätehuollon nykytilanne: keräys- ja kuljetuskustannukset
- alueen väestön määrä: syntyvän jätteen määrä
- uuden energialaitostontin sijainti ja ympäristöllinen arvo

Massapolton taloudellinen kannattavuus

- uuden investoinnin suuruus
- laajennusmahdollisuudet
- varastointimahdollisuudet
- kattiloiden ja muiden energiantuotantolaitosten tekniset ominaisuudet
 - o vapaa kapasiteetti / toiminnan laajennusmahdollisuudet
 - o sähkön- ja lämmöntuotannon suhde
 - o jättemateriaalin mahdollisesti korvaama polttoaine ja korvauksen tuomat muutokset kustannuksissa
 - o vaadittavien muutosten kustannukset
- korvattavien laitosten energiantuotantojakauma ja miten mahdollinen sähkövaje korvataan

Ympäristöpolitiikka

- kaatopaikkojen hyödyntämistä koskevat määräykset
- Euroopan Unionin päästöoikeuskauppa ja päästöluvan hinta

LCA-WASTE-menettelyn laskentataulukolla LT5.b2 voidaan tehdä yksinkertaistettu massapolttolaitoksen mitoittaminen sekä kustannusten ja ympäristökuormituksen arviointi (taulukko 35). Lisätietoa massapollostosta ja muista sekajätteen energiahyödyntämistekniikoista löytyy mm. suomalaisesta ja ruotsalaisesta kirjallisuudesta ja yritysten www-sivuilta (taulukko 36).

Taulukko 35. LCA-WASTE-menettelyn laskentataulukko massapolttolaitoksen mitoittamista ja ympäristökuormituksen ja kustannusten laskentaa varten.

Menettelyn laskentataulukot (LT)	Sisältö
LT5.b2_Massapolttolaitos.xls	Massapolttolaitoksen mitoitus, kustannukset ja päästöt (päästöt ORWARE-mallin mukaan)

Taulukko 36. Esimerkkejä jätteen energiahyödyntämistä käsittelevistä tietolähteistä.

Tietolähteitä: energiahyödyntäminen	Sisältö
Bärring, M., Nyström, O., Nilsson, P-A., Olsson, F., Egard, M. & Jonsson, P. 2003. El från nya anläggningar. Elforsk rapport nr 03:14. Elforsk AB.	Eri energiamuotojen teknisiä ja kustannustietoja Ruotsista vuodelta 2003.
Björklund, A. 2000. Environmental systems analysis of waste management – Experiences from applications of the ORWARE model. Doctoral thesis. Division of industrial ecology. Dep. of chemical engineering and technology. Royal Institute of Technology, Stockholm.	ORWARE-jätteenpolttomallin jakaantumiskertoimet ilma- ja vesipäästöille riippuen poltettavan aineen alkuainekajakaumasta.
Thermoselect s.a. 2004. www.thermoselect.ch	Uudenlaisen materiaalien talteenotto- ja energiantuotantoprosessin kuvaus ja laitosesimerkit.
Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Tiedotteita 2045, Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT, Espoo.	Lämmön ja sähkön tuotantoon käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia: lämpöarvo, kemiallinen koostumus, kosteus, tiheys, tuhkapitoisuus, haitalliset aineet.
Grönroos, E. 2002. Jätteenpolttolaitoksen prosessikuvaus. Suullinen ja kirjallinen tiedonanto. Turun kaupungin jätteenpolttolaitos.	Turun jätteenpolttolaitoksen prosessikuvaus ja jätemäärät vuonna 2002.
Lohiniva, E, Sipilä, K., Mäkinen, T. & Hietanen, L. 2002. Jätteiden energiakäytön vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin. VTT Tiedotteita 2139. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo.	Jätteiden energiahyödyntämiseen liittyvää lainsäädäntöä, Suomen jätemääriä, erilaisia energiaskenaarioita ja niiden vaikutuksia Suomen kasvihuonekaasupäästöihin, olemassa olevien polttolaitosten sijainti.

4.3.3 Loppusijoitus kaatopaikalle (c1)

Erilaisista uusista ja vanhoista jätteenkäsittely- ja hyödyntämismenetelmistä huolimatta kaatopaikoista ei päästäne kokonaan eroon. Menettelyn viimeisenä jätehuoltoratkaisuna on kaatopaikka.

Käsittelemättömän jätteen kaatopaikkasijoituskielto astuu voimaan vuoden 2005 alusta lähtien (VNp 861/1997). Tämän jälkeen kaatopaikalle voidaan sijoittaa vain jätehuollon eri ratkaisujen – biologisten, mekaanisten ja termisten käsittelyjen - rejekttejä. Päätöksessä ei ole tarkennettu, miten ja missä vaiheessa käsittelyt on toteutettava ja mitkä käytännön toimet lasketaan käsittelyksi.

Kaatopaikan käyttöön ja perustamiseen liittyy suuri määrä suunnittelulle, rakenteille, kaatopaikalle sijoitettavalle jätteelle jne. lailla asetettuja vaatimuksia (mm. Jätelaki 1072/1993 ja VNp kaatopaikoista 861/1997). LCA-WASTE-hankkeessa kaatopaikkaan liittyvää ongelmakenttää lähestyttiin vain jätteestä aiheutuvien päästöjen, pinta-alan riittävyyden ja käyttöiän muutosten näkökulmasta. Samaiset tekijät sisällytettiin myös vaiheen laskentataulukon LT5.c1 (taulukko 37). LCA-WASTE-hankkeessa käytettyjä tietolähteitä on koottu taulukkoon 38.

Taulukko 37. LCA-WASTE-menettelyn laskentataulukko kaatopaikan riittävyyden ja perustamiskustannusten laskemiseen.

Menettelyn laskentataulukot (LT)	Sisältö
LT5.c1_Loppusijoitus_kaatopaikalle.xls	Kaatopaikan riittävyys, perustamis- ja käyttökustannukset ja kaatopaikalle sijoitetun jätteen alkuainekajakauma.

Taulukko 38. Esimerkkejä kaatopaikan päästöjä ja mitoitusta käsittelevistä tietolähteistä.

Tietolähteitä:	Sisältö
Pelkonen, M., Rauta, E. & Tanskanen, J.-H. 2000. Yhdyskuntajätehuollon päästöjen järjestelmätarkastelu. TKK-VHT-21. Vesihuolto-tekniikan laboratorio. Teknillinen korkeakoulu, Espoo.	Jätehuollon kuljetuksen ja kaatopaikkasijoituksen päästöjen lähtötietotaulukoita.
Suunnittelukeskus Oy 2003b. Jätteenkäsittelykeskuksen laajenusalue. Hankesuunnitelma. YTV Jätehuolto.	Kaatopaikan mitoituserusteet ja perustamiskustannukset.

4.4 LCA-WASTE: sanomalehtipaperin ja sekajätteen käsittelyvaihtoehdot

4.4.1 Vertailtavien käsittelyvaihtoehtojen valinta

LCA-WASTE-hankkeessa muodostettiin sanomalehtipaperille kolme jätteenkäsittelystrategiaa ja niiden avulla yhteensä viisi jätteenkäsittelyvaihtoehtoa. Kussakin vaihtoehdossa seurattiin sanomalehtipaperin elinkaaren aikaista ympäristökuormitusta ja kustannuksia kahdessa jättejakeessa: keräyspaperissa ja sekajätteessä.

Case 1

Hankkeen tavoitteena oli testata jätehuollon hierarkian toimivuutta, joten yhdeksi jätehuoltovaihtoehdoksi valittiin tilanne pääkaupunkiseudulla vuonna 2001 (Dahlbo ym. 2003). Vuonna 2001 pääosa pääkaupunkiseudun sanomalehtipaperista kierrätettiin uusiokäyttöön UPM-Kymmene Oy:n Kaipolan tehtaille ja sekajätteen päätyvä osuus sijoitettiin Ämmässuon kaatopaikalle, Espooseen. Näin olle jättejakeiden käsittelyt vaihtoehdossa case 1 ovat (kuva 9):

Keräyspaperi: keräyspaperin kierrätys (a1) eli hyödyntäminen paperinvalmistuksessa keräysastearviolla 76 %, siistausrejektin poltto ja tuhkan kaatopaikkasijoitus (c1).

Sekajäte: sekajätteen läjittäminen kaatopaikalle (c1) ja syntyneen kaatopaikkakaasun energiahyödyntäminen.

Case 2

Vaihtoehto 2 muodostettiin kuvaamaan pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunnan (YTV) tulevaisuudensuunnitelmia jätehuollon järjestämisestä Espoon, Helsingin, Kauniaisten ja Vantaan alueella. Näissä suunnitelmissa on otettu huomioon kaatopaikka-asetuksen asteittain voimaan tuleva kielto sijoittaa kaatopaikalle käsittelemätöntä jätettä ja siksi sekajätteelle on jo YVA-menettelyssä vertailtu neljää käsittelyvaihtoehtoa (kohta 4.3.1) (Suunnittelukeskus 2003). Kaikissa vaihtoehdoissa on tarkoituksena tuottaa sekajätteestä kierrätyspolttoainetta energiantuotantoon, mutta erot liittyvät sekajätteestä erotetun biojakeen käsittelyyn.

Esikäsittelymenetelmän valintaa ei tehty vuoteen 2002 mennessä, joten hankkeessa tehtiin oletus, että menetelmäksi valitaan kierrätyspolttoainetta tuottava ja biohajoavan aineksen kompostoimalla käsittelevä vaihtoehto. Valinta perustui päästö- ja kustannustietojen saatavuuteen, vaihtoehdon edullisuuteen sekä siihen, että menetelmä on käytössä monissa eri kohteissa Euroopassa. Paperin oletettiin erottuvan sekajätteestä kierrätyspolttoaineeseen 100 prosentin tehokkuudella. Käytännön toimijoilta myöhemmin saadun arvion mukaan erotustehok-

kuus on 95 % luokkaa, joten oletusarvoa ei katsottu tarpeelliseksi muuttaa myöhemminkään.

Pääkaupunkiseudun lämpökuorman ei oleteta olennaisesti kasvavan tulevaisuudessa, sen sijaan sähkönkulutuksen odotetaan lisääntyvän jonkin verran (VTT 2000). Tästä syystä energiantuotantoon käytetyn jätteen tavoitteena on korvata nykyisin käytettäviä fossiilisia polttoaineita ja kierrätyspolttoaineen käyttökohteeksi onkin suunniteltu Vantaan Energian Martinlaakson voimalan hiilipölykattilaan liitettävää kaasutinta. Kierrätyspolttoaineen oletettiin korvaavan kattilan käyttämää hiiltä materiaalien lämpöarvojen suhteessa, eli 1 t REF vastaa n. 0,5 t hiiltä. (Suunnittelukeskus 2003; Loikala 2001; VTT 2000)

Energiahyödyntämisen ympäristö- ja kustannusvaikutusten testaamiseksi vaihtoehdolle 2 laadittiin kaksi alakohtaa, jotka poikkeavat toisistaan keräyspaperijakeen käsittelyn suhteen. Jätejakeiden käsittelyt vaihtoehdossa case 2 ovat (kuva 9):

- a) **Keräyspaperi:** keräyspaperin kierrätys (a1) eli materiaalina hyödyntämisen paperinvalmistuksessa keräysastearviolla 76 %, siistausrejektin poltto ja tuhkan kaatopaikkasijoitus (c1).
Sekajäte: esikäsittely ja kuitujakeen erottaminen kierrätyspolttoaineeksi (REF) (b1), kierrätyspolttoaineen energiahyödyntäminen hiilikattilaan liitetyssä kaasuttimessa (a2) ja tuhkan kaatopaikkasijoitus (c1).
- b) **Keräyspaperi:** osittainen materiaalina hyödyntäminen (50 % kerätystä 76 %:sta) paperinvalmistuksessa (a1), osittainen energiana hyödyntäminen (loput 50 %) hiilikattilaan liitetyssä kaasuttimessa (a2) ja tuhkan kaatopaikkasijoitus (c1).
Sekajäte: esikäsittely ja kuitujakeen erottaminen kierrätyspolttoaineeksi (REF) (b1), kierrätyspolttoaineen energiahyödyntäminen hiilikattilaan liitetyssä kaasuttimessa (a2) ja tuhkan kaatopaikkasijoitus (c1).

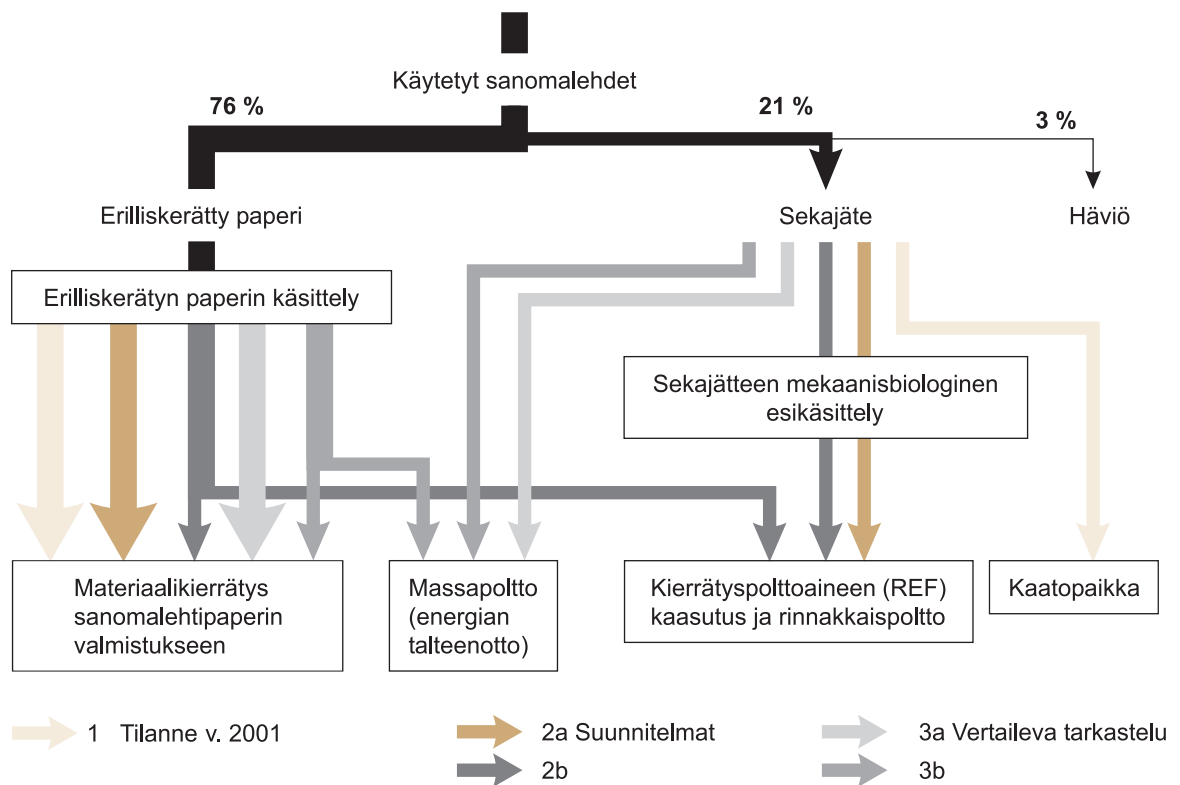
Case 3

Hiilikattilaan liitetulle kaasuttimelle päätettiin vertailun vuoksi laatia toinen energiahyödyntämiseen perustuva vaihtoehto. Ruotsissa ja Keski-Euroopassa jätteet poltetaan yleisesti lämpöä (ja/tai sähköä) tuottavissa massapolttolaitoksissa.

Vaihtoehdossa 3 oletettiin, että massapolttolaitoksen tuottamalle lämmölle löytyisi käyttäjä alueen tai lähiseudun teollisuudesta ja menetelmäksi valittiin sekajätteen polttaminen perinteisessä arinatekniikkaan perustuvassa massapolttolaitoksessa. Laitoksen oletettiin tuottavan lämpöä hyötysuhteella 85 %.

Vaihtoehdon a) ja b)-kohdat poikkeavat jälleen toisistaan keräyspaperin käsittelyn suhteen ja jätejakeiden käsittelyt vaihtoehdossa case 3 ovat siis (kuva 9):

- a) **Keräyspaperi:** keräyspaperin kierrätys (a1) eli materiaalina hyödyntämisen paperinvalmistuksessa keräysastearviolla 76 %, siistausrejektin poltto ja tuhkan kaatopaikkasijoitus (c1).
Sekajäte: energiahyödyntäminen massapolttolaitoksessa (b2) ja tuhkan kaatopaikkasijoitus (c1)
- b) **Keräyspaperi:** kerätystä 76 %:sta 50 % materiaalina hyödyntäminen paperinvalmistuksessa (a1), siistausrejektin poltto ja tuhkan kaatopaikkasijoitus (c1), loppujen 50 % hyödyntäminen energiana massapolttolaitoksessa (b2) ja tuhkan loppusijoitus (c1).
Sekajäte: energiahyödyntäminen massapolttolaitoksessa (b2) ja tuhkan loppusijoitus (c1).



Kuva 9. LCA-WASTE-hankkeessa muodostetut jätteenkäsittelyvaihtoehdot.

4.4.2 Käsittelyvaihtoehtojen ympäristökuormitus

Valittujen menetelmien päästöt laskettiin suoraan sanomalehtitonnia kohti. Eri käsittelyvaihtoehtojen jätelajikohtaisesti kohdistettuja päästö- ja muita ympäristökuormituksen määriä ei voida yleistää muille jätelajeille, mutta kunkin vaihtoehdon tarkastellut päästökäsitteet on koottu taulukkoon 39. Yksityiskohtaiset sanomalehtitonnia kohti lasketut määrät on esitetty inventaariosta tehdyssä opinnäytetyössä (Laukka 2003).

Taulukko 39. Jätteiden käsittelymenetelmien elinkaaritarkastelussa huomioon otetut syötteen ja tuotokset (Laukka 2003).

	Kaatopaikka (c1)	Kierrätyspolttoaineen valmistus ja biojajä- teen kompostointi (MB-laitos) (b1)	Kierrätyspolttoaineen rinnakkais kaasutus (a2)	Massapoltto (b2)
Syötteen				
Lämpöenergiatarve		x	x	x
Sähköenergiatarve	x	x	x	x
Työkoneiden diesel	x			
Kivihiili			x	
Maakaasu			x	
CaO			x	
Ca(OH) ₂				x
NH ₄ OH				x
Na ₂ S				x
N ₂ H ₂				x
NaCl				x
Tuotokset				
AOX				x
CH ₄	x	x		
CO		x		x
CO ₂ , fossiilinen	x	x	x	x
CO ₂ , bioperäinen	x			
Dioksiinit				x
SO _x	x	x		x
NO _x	x	x	x	x
VOC				
Hiukkaset		x	x	x
HC		x		
N ₂ O		x		x
NH ₃				x
PAH				x
Tuotettu lämpöenergia			x	x
Tuotettu sähköenergia			x	x
As			x	
Cd				x
Cl				x
Cr			x	x
Cu				x
Hg				x
Ni			x	x
Pb			x	x
Zn			x	x
V			x	

Lähinnä energiantuotannon hyvitysten laskemista varten (kohta 5) energiaa tuotavien prosessien päästöt on laskettava erikseen sähköntuotannon ja lämmöntuotannon osuuksille. Näin siksi, että sähköä ja lämpöä tuotetaan erisuuruuksilla hyötysuhteilla (Lohiniva ym. 2002). Energiantuotantolaitoksen kokonaispäästöt voidaan osittaa sähkön ja lämmön ominaispäästöiksi joko tuotettujen energiamäärin tai niiden suhteen avulla (liite 2, kaavat 27 – 39).

4.4.3 Käsittelyvaihtoehtojen kustannukset

Keräyspaperia käytetään sanomalehtipaperin valmistuksessa yleensä kahdesta syystä: se on puuta halvempaa tuotannon raaka-aineena ja sen käyttö myös vähentää puun hintaan kohdistuvaa nousupainetta. Kustannustarkasteluissa paperitehtaan hyöty kierrätyskuidun käytöstä on ilmoitettu sinä kustannussäästönä, joka saadaan, kun puun ja kuidun käyttösuhdetta muutetaan kasvattamalla (tai laskemalla) kuidun osuutta tuotantoprosessissa.

Kustannusten määrittämistä varten pääkaupunkiseudun sekajäte- ja keräyspaperivirrat määriteltiin kokonaisuudessaan (taulukko 40). Kokonaisvirtoja käytettiin mitoittamaan oikean kokoiset laitokset, joille investointi- ja käyttökustannukset laskettiin.

Kustannuslaskelmien pohjana toimivat jäte- ja paperivirrat on koottu taulukoihin 40 ja 41. Rinnakkaispolton REF-polttoaineen tuhkapitoisuudeksi on oletettu 16,5 % (Loikala 2001), joskin määräksi on esitetty myös arvoa 13 % (Paavo Ristola Oy 2001). Massapolton tuhkapitoisuus, 40 %, on laskettu Turun massapolttolaitoksen luvuista (Turun kaupungin jätteenpolttolaitos 2002). Sanomalehtipaperin tuhkapitoisuutena on käytetty 1,5 % kuiva-aineesta (Alakangas 2000). Molemissa polttomenetelmissä paperituhkan on oletettu jakaantuvan suodin- ja pohjatuhan kesken samassa suhteessa kuin muunkin jäteperäisen tuhan. Suodintuhka on laskettavissa ongelmajätteeksi, joka on käsiteltävä ja/tai sijoitettava tarkoitukseen soveltuvalla kaatopaikalle.

Taulukko 40. Kierrätetyn sanomalehtipaperin ja sekajätteen kokonaismäärät LCA-WASTE-hankkeen eri jätteenkäsittelyvaihtoehtoissa.

		Case 1	Case 2a	Case 2b	Case 3b	Case 3b
Kierrätys (a1)	Sanomalehdet (t)	55 948	55 948	27 974	55 948	27 974
Esikäsittely (b1)			REF:n valmistus, biojätteen kompostointi			
	Sekajäte (t)	-	365 407	365 407	-	-
Energiahöydyntäminen (a2, b2)			Rinnakkaispoltto (a2)		Massapoltto (b2)	
	Sekajäte (t)		102 741	130 715	365 407	393 381
Kaatopaikkasijoitus (c1)	Sekajäte (t)	365 407	-	-	-	-
	Tuhka (t)	-	16 952	21 568	146 163	157 352
	Suodintuhka (t)	-	12 426	15 809	46 772	50 353
	Pohjatuuhka (t)	-	4 526	5 759	99 391	107 000

Taulukko 41. Kierrätetyn sanomalehtipaperin ja sekajätteen sisältämän paperin kokonaismäärät LCA-WASTE-hankkeen eri jätteenkäsittelyvaihtoehdoissa.

		Case 1	Case 2a	Case 2b	Case 3a	Case 3b
Kierrätys (a1)	Sanomalehdet (t)	55 948	55 948	27 974	55 948	27 974
Esikäsittely (b1)			REF:n valmistus, biojätteen kompostointi			
	Sl.paperi (t)	-	12 909	12 909	-	-
Energiähyödyntäminen (a2, b2)			Rinnakkaispoltto (a2)		Massapoltto (b2)	
	Sl.paperi (t)		12 909	40 883	12 909	40 883
Kaatopaikka-sijoitus (c1)	Sl.paperi (t)	12 909	-	-	-	-
	Tuhka (t)	-	145	460	145	460
	Suodintuhka (t)	-	106	337	46	147
	Pohjatuuhka (t)	-	39	123	99	313

Kustannukset vaaditun kokoisille laitoksille laskettiin tunnetun perustapauksen avulla käyttämällä kustannusskaalaustekijänä Langin eksponenttiyhtälöä (Project Planning and Management Ltd. 2003; Jebson 2002) (liite2, kaava 40) (LTa2, b1, b2, c1). Langin kustannuskapasiteettiekspONENTTI saa tyypillisesti arvoja väliltä 0,6 – 0,7.

Kustannusten tarkastelua varten kaikki pitkäaikaiset tuotantolaitte- ja rakennusinvestoinnit sekä muut maksut, joiden kustannukset jakautuvat eri vuosille, yhtäläistetään diskonttaamalla ne perusvuoden rahanarvoon. Yleensä perusvuodeksi valitaan investoinnin alkuvuosi. Diskonttaustekijä (dis) riippuu korkokannasta ja tarkasteltavan ajanjakson pituudesta (liite 2, kaava 41) (Chiang 1984). Pitkäaikaiset tuotantolaitte- ja rakennusinvestointien kustannuserät nykyarvoistetaan perusvuoteen ns. annuiteettimenetelmän avulla. Siinä investointien vuotuis-kustannukset lasketaan kertomalla hankintahinta annuiteettitekijällä. Annuiteettitekijä määritellään oletetun korkokannan ja oletetun käyttöiän avulla (liite 2, kaava 42) (Pulkinen ym. 2001). Käytettävän korkokannan valinta ei kuitenkaan ole yksikäsitteinen, vaan siihen liittyy harkintaa. Usein käytetään markkinakorkoa tai vaihtoehtoisesti yhteiskunnallista korkokantaa, joka on alhaisempi kuin markkinakorko. Diskonttokoron vaikutusta tuloksiin voidaan analysoida herkkyysanalyysillä.

Käsittelyvaihtoehtojen kustannukset on LCA-WASTE-hankkeessa määritellyt laitoksille ilman laitossuunnittelussa tyypillistä 20 % kapasiteettivarausta. Näin kustannukset vastaavat juuri sitä jätemäärää, jolle elinkaarivaikutukset on laskettu. Kapasiteettivarauksen tarkoituksena on varmistaa menetelmän toimivuus kuormituspiikkien aikana. Se voi perustua myös oletettuun tarpeen kasvuun laitoksen käyttöiän aikana.

Eri käsittelymenetelmien kustannukset on koottu taulukkoon 42. Taulukossa pääomakustannuksilla tarkoitetaan juuri yllämainittuja korko- ja poistokustannuksia. Käytettyjä tietolähteitä on lueteltu taulukossa 43.

Taulukko 42. Sanomalehtipaperin käsittelyvaihtoehtojen kustannukset LCA-WASTE-hankkeessa, ilmoitettuna käsiteltävää tonnia kohden. Kustannusten vaihteluväli kuvaa eron tapausten a – b välillä (YTV 2003; Paperinkeräys Oy 2003; Ympäristöministeriö 2003; Karhu 2003; Suunnittelukeskus Oy 2003; Ekokem Oy 2004).

	Kapasiteetti	Laitoskäsittely (€/t)	Investointi ja tontti (€/t)	Käyttö ja huolto (€/t)	Kuljetus (€/t)	Yksikkökustannus (€/t)
Kierrätys (a1)	-	17			10	27
Esikäsittely (b1) ¹ (REF:n valmistus, biojakeen kompostointi)	365 407 t/v		16,5 – 17,4	18,9 – 19,7		35,4 – 37,1
Rinnakkaispoltto (a2) ¹	80 - 100 MW		19,4 – 21,3	7,2 – 8,0	6,5 ³	33,1 – 35,8
Massapoltto (b2) ¹	210 - 225 MW		37 – 38	14 – 15,7		52 – 52,6
Kaatopaikka-sijoitus (c1) ²						
Normaalijäte			14,5	7 ⁴		21,5 ⁵
Suodintuhka				442	30	472
Pohjatuhka			21,5		4,5	26

¹ Käyttöaikaoletus 20 vuotta, korkokanta 5 %.

² Uusi kaatopaikka, jonka käyttöaikaoletus 30 vuotta, korkokanta 5 %.

³ Mukana välivarastoinnin kustannukset.

⁴ Mukana sulkemisen aiheuttamat kustannukset, 2 €/t.

⁵ Nykyisen kaatopaikan (käytetään tapauksessa case 1) yksikkökustannus on 12,9 €/t.

Sekajätteen esikäsittely

Mekaanis-biologisen käsittelylaitoksen tontin tarpeesta tiedetään, että 430 000 t/v kapasiteetin laitokselle vaatimus on 5,83 ha ja 560 000 t/v laitokselle noin 7,6 ha. Lisäksi tarvitaan välivarastointikenttää, jonka investointikustannukseksi on arvioitu 2,65 milj. euroa, kun kapasiteettina on 430 000 t/v. (Suunnittelukeskus Oy 2003)

Noin 365 500 t/v kokoisen laitoksen tarvitsema tonttipinta-ala laskettiin näistä luvuista prosenttiosuutena ja varastointialueen kustannukset kapasiteettiekspONENTIN avulla. Tonttimaan hankintahintana on käytetty 40 000 €/ha (Ympäristöministeriö 2003), mikä voi kuitenkin olla YTV:n alueella alihinnoiteltu.

Kuljetuskustannus käsittelylaitokselta kaasutuslaitokseen on arvioitu 4,5 euroksi tonnia kohden ja kuljetus- ja siirtokustannukset kentällä noin euroksi tonnia kohden (Suunnittelukeskus Oy 2003).

Energiahyödyntäminen rinnakkaispolton avulla

Teholtaan 80 MW kaasutuslaitoksen investointikustannukset ovat noin 30 milj. euroa (Paasonen 2003). Kaasutuslaitoksessa syntyvästä pohjatuhkasta raskasmetalleja sisältävä ongelmatuhka on oletettu käsiteltävän ongelmajätteenkäsittelylaitoksella.

Kuljetuskustannus tehtaalle on 4,5 €/t ja siirto välivarastoalueella 1,0 €/t. Koska varastoon siirretään vain 50 % REF:stä, on siirtokustannuksena käytetty keskiarvoa 0,5 €/t. Näin saadaan kiinteä 5,0 €:n tonnikustannus, johon on lisätty välivarastolle lasketun alueen perustamiskustannuksen pääomakustannus. Välivarastoinnin kustannukseksi saadaan tällöin 6,5 €/t.

Energiahyödyntäminen massapolton avulla

Massapolttolaitoksen investointi- ja käyttökustannuksina on käytetty Ruotsissa tehdyin selvityksen tietoja (Barring ym. 2003). Investointikustannusten arviointi tarvittavan kokoiselle laitokselle tehtiin Langin eksponenttiyhtälön avulla. Tietojen laatua heikentää se, että eksponenttiyhtälöä oli käytettävä merkittävästi lähtötietoja suuremmille laitoksille, jolloin kaavan tarkkuus kärsii.

Vuotuisiksi käyttö- ja huoltokustannuksiksi arvioitiin 3 % investoinneista (Bärring ym. 2003) ja pinta-alan tarpeeksi 0,05 m²/t (Ympäristöministeriö 2003). Kuljetuskustannukseksi massapoltosta kaatopaikalle on arvioitu 4,5 €/t, kuten kaasutuslaitoksenkin tapauksessa (Suunnittelukeskus 2003).

Kaatopaikka

Nykytekniikalla varustetun kaatopaikan perustamiskustannus YTV:n alueella syntyneille jätteille on noin 30 milj. euroa. Kaatopaikan vuotuinen käyttökustannus on 3.4 milj. euroa ja sulkemiskustannus noin 15 milj. euroa. 50 ha:n kokoisen kaatopaikan laskennallinen käyttöikä on 20 vuotta ja kaatopaikalle sijoitettava vuosittainen jätemäärä 500 000 t/v. (Suunnittelukeskus Oy 2003a; Ruuskanen 2002) Sulkemiskustannus on ajankohtainen vasta 20 vuoden kuluttua, mutta sen kustannusvaikutus tulee huomioida laskelmissa jo nykyhetkellä. Tämä tehdään saattamalla kustannukset nykyarvoon diskonttauksen avulla.

Kaatopaikan käyttöikä vaikuttaa kustannusvirtojen ajoitukseen ja niiden korkokustannukseen. Jos kaatopaikan käyttöaste tarkasteltavien jätehuoltovaihtoehtojen myötä muuttuu, aiheuttaa se kolmenlaisen korkokustannuksen - sulkemiskustannus, uuden kaatopaikan investointikustannus ja kaikkien tulevaisuudessa tehtävien uusien investointien ajoitus muuttuvat. Tämä viimeisin erä on luonteeltaan teoreettinen ja määrältään hyvin pieni, joten se voidaan käytännössä sivuuttaa.

Taulukko 43. Käsittelyvaihtoehtojen valitsemiseen ja lähtötietojen keruuseen LCA-WASTE-hankkeessa käytettyjä tietolähteitä.

Tietolähteitä:	Sisältö
Dahlbo, H., Laukka, J., Melanen, M. & Peltola, S. 2003. Elinkaarinäkökulma jätehuollon kestävytyteen - tapaustarkasteluna sanomalehti, LCA-WASTE. (Life cycle approach to sustainability of waste management - a case study on newspaper). A review of the project status in: Yearbook 2003 of the Tekes technology programme STREAMS - Recycling Technology and Waste Management.	Hankkeen tavoitteiden, tutkimusmenetelmän ja valittujen jätteenkäsittelystrategioiden kuvaus.
Laukka, J. 2003. Life cycle inventories of newspaper with different waste management options. Pro-gradu-tutkielma. Ympäristötieteen koulutusohjelma. Kuopion yliopiston ympäristötieteiden laitos, Kuopio.	Sanomalehtipaperin erilaisten jätehuoltovaihtoehtojen inventaarioraportti.
Jebson, R.S. 2002. Capital cost estimation for chemical engineering projects. Paper #407. Institute of Food Science, Nutrition and Human Health. Massey University, New Zealand. www.cape.canterbury.ac.nz/Apcche_Proceedings/APCChE/Data/407rev2.pdf	Langin eksponenttiyhtälön kuvaus.
Project Planning and Management Ltd. 2003. Promoter. Project finance modelling software. Glossary of terms. Lang exponent. http://www.promoter.com/glossary.htm	Langin eksponenttiyhtälön eli kustannus-kapasiteetti-perusyhtälön kuvaus
Paperinkeräys Oy 2003. http://www.paperinkerays.fi	Tietoa paperinkeräyksestä ja lajittelusta. Tilasto- ja kustannustietoja.
YTV – Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta 2003. Hinnat ja määräykset. http://www.ytv.fi/jateh/index.html	Hintoja ja määräyksiä YTV:n alueelta
Ekokem Oy. www.ekokem.fi	Tietoa ongelmajätteiden käsittelystä ja kustannuksista.
Suunnittelukeskus Oy 2003b. Jätteenkäsittelykeskuksen laajennusalue. Hankesuunnitelma. YTV Jätehuolto.	Kaatopaikan perustamisen kustannustietoja.
Suunnittelukeskus Oy 2003. Sekajätteen käsittelylaitos. Tekninen hankesuunnitelma. YTV Jätehuolto.	Sekajätteen käsittelylaitoksen kustannustietoja.
Bärring, M., Nyström, O., Nilsson, P.-A., Olsson, E., Egard, M. & Jonsson, P. 2003. El från nya anläggningar. Elforsk rapport nr 03:14. Elforsk AB.	Massapolttolaitoksen kustannustietoja.
Pulkkinen, P., Holopainen, M. & Keinänen, K. 2001. Talous- ja rahoitusmatematiikka. WSOY.	Annuiteettitekijän laskentaperusteet ym. taloudellista käsitteistöä.
Chiang, A. C. 1984. Fundamental methods of mathematical economics. MacGraw Hill, Inc.	Diskonttaustekijän laskentaperusteet ym. taloudellista käsitteistöä.

5

Järjestelmän hyvitysten huomioon ottaminen

Hyvityksillä on tässä menettelyssä oletettu tarkoitettavan tarkasteltavan tuotejärjestelmän jätteiden hyödyntämisestä muualla (toisissa tuotejärjestelmissä) syntyviä säästöjä. Tarkasteltava tuotejärjestelmä voi saada hyvityksiä, jos järjestelmässä syntynyttä jätettä voidaan käyttää korvaamaan jotakin toisessa tuotejärjestelmässä käytettyä tuotetta.

Hyvitykset ovat käytännössä yleinen tapa vertailla etenkin eri järjestelmien energiaratkaisuilla saavutettavia ympäristöhyötyjä (Ekvall 1999; Ekvall ym. 2000) (taulukko 44). Esimerkiksi jätteen poltto tuottaa jätteen käsittelyn, mutta lisäksi syntyy energiaa, joka voi korvata esim. kivihiilellä tuotettavaa energiaa. Jätteen polton hyvitykseksi voidaan näin laskea jätteen poltossa muodostuvien ja kivihiilen poltossa muodostuvien kuormitusten ja kustannusten erotus, kun molemmilla polttoaineilla tuotetaan sama määrä energiaa. Matemaattisena määritelmänä hyvitys on siis tarkasteltavan järjestelmän kuormitukseen lisättävä tarkasteltavan järjestelmän ja korvatun käytännön mukaisten kuormitusten välinen erotus (liite 2, kaava 43). Kun hyvitys on negatiivinen, tarkasteltava järjestelmä hyötyy sivutuotteen käytöstä (liite 2, kaava 44), mutta toisaalta järjestelmä voi jäädä vertailussa myös tappiolle – muutokset saattavat siis olla myös positiivisia, eli kuormitusta lisääviä.

Ympäristökuormitusten hyvitysten laskennassa muiden järjestelmien tilanne mallinnetaan samalla tavalla kuin tarkasteltava järjestelmä on mallinnettu: korvaavasta järjestelmästä ja siihen liittyvistä toiminnoista kartoitetaan ilma- ja vesipäästöt, jätteiden määrä ja muut kuormitustekijät.

Kustannushyvitysten laskelma suoritetaan noudattamalla tehtävien hyvitysten taloudellisia vaikutuksia. Taloudellisessa laskennassa hyvitys on siis tarkasteltavan järjestelmän kustannuksiin lisättävä tarkasteltavan järjestelmän ja korvatun käytännön mukaisten kustannusten välinen erotus. Kun erotus on negatiivinen, tarkasteltava järjestelmä hyötyy sivutuotteen käytöstä, eli sen kustannukset laskevat. Jos erotus on positiivinen, järjestelmän kustannukset kasvavat. Kierrätyskuidun käytön vaihtoehdossa kustannuserot määrittyvät ennen muuta raaka-aineiden käytön (neitseellinen puu - kierrätyskuitu) erotuksena. Energiantuotannossa kustannusero määräytyy lähinnä polttoaineiden kulutuksen erotuksena.

5.1 LCA-WASTE: Järjestelmän hyvitykset

5.1.1 Ympäristökuormituslaskelmat

LCA-WASTE-hankkeen ympäristökuormitustarkasteluissa huomioitiin rinnakkaispoltolla ja massapoltolla saavutettavat päästöhvitykset Suomen sähköverkon keskimääräiseen energiarakenteeseen nähden (Laukka 2003). Laskennan pohjana käytetyt merkittävimmät oletukset on koottu taulukoihin 44 ja 45.

Taulukko 44. Rinnakkaispolttoprosessin tuottaman sähkön ja lämmön ominaispäästöjen laskennan lähtötiedot LCA-WASTE-hankkeessa.

Energiamuoto	Tuotettu energia (VAHTI 2002) (%)	Energiantuotannon hyötysuhde (%)	Primäärienergian (ja päästöjen) jakautuminen (%)
Sähkö	30	40 (Petäjä 2003)	49
Lämpö	70	90 (Petäjä 2003)	51
Yhteensä		65	

Taulukko 45. Massapolttoprosessin tuottaman sähkön ja lämmön ominaispäästöjen laskennan lähtötiedot LCA-WASTE-hankkeessa.

Energiamuoto	Tuotettu energia (Laukka 2003) (%)	Energiantuotannon hyötysuhde (%)	Primäärienergian (ja päästöjen) jakautuminen (%)
Sähkö	3,5	40 (Petäjä 2003)	7,5
Lämpö	96,5	90 (Petäjä 2003)	92,5
Yhteensä		85	

Sanomalehden oletettiin korvaavan rinnakkaispoltossa lämpöarvonsa suhteessa kattilan tavanomaista polttoainetta, kivihiiltä, jolloin 1 tonni paperia vastaa noin 0,5 tonnia kivihiiltä.

Hyvityksissä ei otettu huomioon muutoksia energiantuotantoon liittyvissä kuljetuksissa eikä energiantuotannon luonnonvarojen ottoon liittyvän maa-alan käyttöä. Taulukossa 46 on lueteltu joitakin merkittäviksi osoittautuneita hyvitysmuuttujia. Laskelmien pohjana käytettyjä tietolähteitä on lueteltu taulukossa 47.

Taulukko 46. Muissa järjestelmissä tapahtuvien muutosten arvioidut vaikutukset eräisiin muuttujiin määrinä eli hyvityksinä ja osuuksina kokonaismäärästä LCA-WASTE-hankkeen eri tapausvaihtoehdoissa. Päästöhyvitykset on laskettu kivihiilellä tuotettuun energiaan verrattuna.

	Case 1		Case 2a		Case 2b		Case 3b		Case 3b	
	(kg/t paperia)	(%)	(kg/t paperia)	(%)	(kg/t paperia)	(%)	(kg/t paperia)	(%)	(kg/t paperia)	(%)
CO ₂	-110	-11	-220	-22	-630	-62	-120	-12	-350	-35
CH ₄	-0,0014	-0,019	-0,0028	-0,33	-0,0080	-0,78	-0,00071	-0,082	-0,0020	-0,19
NO _x	-0,19	-6,1	-0,39	-13	-1,1	-38	-0,22	-6,9	-0,63	-20

Taulukko 47. Esimerkkejä LCA-WASTE-hankkeessa käytettyjen energiahyvitystietojen lähteistä.

Tietolähteitä:	Sisältö
VAHTI. Ympäristönsuojelun tietojärjestelmä. Ympäristöhallinto. Asiakaskohtaiset tiedot poimittu järjestelmästä vuodelta 2002.	Tietojärjestelmä sisältää ympäristöluvanvaraisen toiminnan harjoittajien toimijakohtaiset tiedot ilma- ja vesipäästöistä, kiinteistä jätteistä, käytetyistä raaka-aineista ja tuotetusta energiasta.
Petäjä, J. 2003. Tiedonanto. Suomen ympäristökeskus (SYKE).	Energiantuotannon hyötysuhteet.
Teittinen, H. 2002. Keräyspaperin ominaisuuksia. Tiedonanto. Paperinkeräys Oy.	Keräyspaperin sisältämät alkuaineet ja energiasisältö.
Ekvall, T. 1999. Key methodological issues for life cycle inventory analysis of paper recycling. Journal of Cleaner Production 7(4): 281-294.	Paperin kierrätyksen tarkastelua elinkaariarvioinnin avulla.
Ekvall, T. & Finnveden, G. 2000. The application of life cycle assessment to integrated solid waste management. Part 2 – Perspectives on energy and material recovery from paper. Transactions of the Institution of Chemical Engineers, Part B: Process Safety and Environmental Protection, 78: 288-294.	Paperin kierrätyksen tarkastelua elinkaariarvioinnin avulla.

5.1.2 Kustannuslaskelmat

LCA-WASTE-hankkeen kustannuslaskelmissa huomioitiin hyvityksinä REF-materiaalin rinnakkaispoltolla ja massapoltolla säästynyt kivihiili ja kierrätyksellä säästyneet kuitumateriaalit (taulukko 48). Käytettyjä tietolähteitä on lueteltu taulukossa 49.

Taulukko 48. Hiilidioksidin, typen oksidien ja käytetyn metsämaan hyvitysmäärät laskettuna sanomalehtipaperitonnia kohden (ja osuutena kokonaisuudesta) LCA-WASTE-hankkeen eri tapausvaihtoehdoissa.

	Case 1	Case 2a	Case 2b	Case 3b	Case 3b
Säästynyt kivihiili (€/t paperia)	-	3,0	8,4	1,7	4,8
Kierrätyksen säästämä kuitumateriaali (€/t paperia)	16,8	16,8	8,31	16,8	8,31

Taulukko 49. Esimerkkejä LCA-WASTE-hankkeen kustannuslaskelmien pohjana käytetyistä tietolähteistä.

Tietolähteitä:	Sisältö
YTV – Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta 2003. Hinnot ja määräykset. http://www.ytv.fi/jateh/index.html	Tietoa YTV:n alueen jätehuollosta ja hinnoista.
Helsingin Energia Oy. http://www.helsinginenergia.fi/kaukolampo	Kaukolämmön, kaasun ja sähkön hintoja pääkaupunkiseudulla.
Energiamarkkinavirasto http://www.energiamarkkinavirasto.fi	Sähkön hintoja ja tietoa energia-alasta.
Elspot http://www.nordpool.com/marketinfo/elspot/area/elspot.cgi	Pohjoismainen sähköpörssi.
Energiaaika-lehti. http://domino.poutapilvi.com	Tilastoja kivihiilen hinnoista. Tietoa energiaverotuksesta yms.

Ekologisten ja taloudellisten tekijöiden arviointi ja näkökulmien yhdistäminen

6

6.1 Elinkaariarvioinnin mukainen ekologisten vaikutusten arviointi

6.1.1 Vaikutusarvioinnin vaiheet

Elinkaariarvioinnin mukaisella ekologisten vaikutusten arvioinnilla pyritään muodostamaan käsitys tuotejärjestelmän päästöjen ja muiden ympäristökuormitusta aiheuttavien tekijöiden potentiaalisista ympäristövaikutuksista. Vaikutusarviointi koostuu tyypillisesti seuraavista elementeistä: luokittelusta, karakterisoinnista, normalisoinnista ja painotuksesta (tai arvotuksesta). Vaiheet ja niiden toteutus on kuvattu tarkemmin standardissa ISO 14043 ja mm. julkaisussa Seppälä (1999). Vaikutusarviointi toteutetaan valitun vaikutusarviointimenetelmän määritelmien ja kertoimien avulla.

Luokittelu

Vaikutusarvioinnissa tarkasteltavat vaikutusluokat valitaan tutkittavan tuotejärjestelmän mukaan. Inventaariotiedot kuormitustekijöistä (luonnonvarojen ja maanalan käyttö, päästöt, jätteet) luokitellaan vaikutusluokkiin ympäristövaikutuksiin liittyvien syy-seuraussuhteiden perusteella. Elinkaariarvioinnista laaditussa kansainvälisessä standardissa (ISO 2000a) annetaan ohjeita elinkaariarvioinnin vaikutusarvioinnin toteutukselle ja asetetaan yleiset vaatimukset tarkasteltavien vaikutusluokkien valinnalle. Vaatimuksena on mm. yhdenmukaisuus elinkaariarvioinnin tavoitteen ja soveltamisalan kanssa, valinnan perusteltavuus, selvät ja kuvaavat nimet sekä valikoiman kattavuus.

Pohjoismaisessa elinkaariarviointiohjeessa (Lindfors ym. 1995a) sekä massa- ja paperiteollisuuden elinkaariarviointien vaikutusarviointia koskevassa ohjeessa (Ekvall ym. 1997) esitetään listat vaikutusluokista, joiden tulisi olla mukana hyvässä elinkaaritutkimuksessa (taulukko 50) - joskin ohjeiden listat poikkeavat toisistaan jossain määrin. Vaikutusluokkiin sisältyy sekä syötteisiin eli luonnonvarojen käyttöön että tuotoksiin eli päästöihin liittyviä luokkia, joita ovat esim. ilmastomuutos, happamoituminen, alailmakehän otsonin muodostuminen ja ekotoksikologiset vaikutukset. Syy-seuraussuhteiden perusteella tiedetään, että esimerkiksi ilmastomuutokseen vaikuttavia päästöjä ovat mm. hiilidioksidi (CO_2), metaani (CH_4) ja dityppioksidi (N_2O). Yksi päästö voi vaikuttaa useampaankin vaikutusluokkaan, esim. typen oksidit (NO_x) vaikuttavat sekä rehevöitymiseen, happamoitumiseen että alailmakehän otsonin muodostumiseen.

Taulukko 50. Suosituslistat vaikutusluokista, jotka tulisi olla mukana kattavassa vaikutusarvioinnissa (Ekvall ym. 1997; Lindfors ym. 1995a).

Vaikutusluokka	Pohjoismainen elinkaarivertailuohje (Lindfors ym. 1995a)	Massa- ja paperiteollisuuden vaikutusarviointiohje (Ekvall ym. 1997)
1. Uusiutumattomat luonnonvarat	Kyllä	Kyllä
2. Uusiutuvat luonnonvarat	Kyllä	Kyllä
3. Maankäyttö	Kyllä	Kyllä
4. Ihmisen terveys – toksikologiset vaikutukset (pl. työympäristö)	Kyllä	Kyllä
5. Ihmisen terveys – muut kuin toksikologiset vaikutukset (pl. työympäristö)	Kyllä	Ei
6. Ihmisen terveydelle aiheutuvat vaikutukset työympäristössä	Kyllä	Ei
7. Ilmastonmuutos	Kyllä	Kyllä
8. Yläilmakehän otsonin väheneminen	Kyllä	Kyllä
9. Happamoituminen	Kyllä	Kyllä
10. Rehevöityminen	Kyllä	Kyllä
11. Foto-oksidantit (ala-ilmakehän otsonin muodostuminen)	Kyllä	Kyllä
12. Ekotoksikologiset vaikutukset	Kyllä	Kyllä
13. Monimuotoisuusvaikutukset	Kyllä	Kyllä
14. Haju	Ei	Kyllä
15. Melu	Ei	Kyllä
16. Säteily	Ei	Kyllä
17. Onnettomuudet (casualties)	Ei	Kyllä
18. Syötteisiin liittyvät virrat, joita ei jäljitetä luonnon ja teknoosysteemin rajalle *	Kyllä	Kyllä
19. Tuotoksiin liittyvät virrat, joita ei seurata luonnon ja teknoosysteemin rajalle *	Kyllä	Kyllä

* Kirjataan muistiin

Karakterisointi

Karakterisoinnissa tiettyyn vaikutusluokkaan kuuluvien kuormitustekijöiden arvot (esim. päästöt) muutetaan yhteismitallisiksi valituissa vaikutusluokissa. Tämä tehdään kertomalla kuormitustekijä sitä vastaavalla karakterisointikertoimella (liite 2, kaava 45).

Karakterisointikertoimet on pyritty määrittämään mahdollisimman tieteellisesti käyttäen apuna aineiden kulkeutumista ja käyttäytymistä sekä vaikutuksia kuvaavia matemaattisia malleja. Esimerkiksi hiilidioksidipäästöjen potentiaalista vaikutusta ilmastonmuutokseen (eli lämmitysvaikutusta) voidaan kuvata päästöjen aiheuttamalla muutoksella maapallon energiataseeseen (säteilypakote). Eri kasvihuonekaasujen lämmitysvaikutus muutetaan keskenään vertailukelpoiseksi kertomalla päästöt suhteellisilla kertoimilla (GWP, Global Warming Potential). GWP- eli hiilidioksidiekvivalenttikerroin kuvaa kaasujen tiettyä ajanjaksona aiheuttamaa säteilypakotetta. Tavallisesti laskennan pohjana käytetään 100 vuoden aikajaksoa. (Seppälä 1999)

Kaikkien yhteen tiettyyn vaikutusluokkaan luokiteltujen tekijöiden karakterisoidut arvot lasketaan yhteen, jolloin saadaan vaikutusluokkaindikaattoritulos. Tutkittavia vaihtoehtoja voidaan arvioida jo vaikutusluokkaindikaattoritulosten perusteella.

Normalisointi

Luokittelu ja karakterisointi kuuluvat standardin mukaiseen elinkaariarvioinnin vaikutusarviointiin pakollisina vaiheina. Täydelliseen vaikutusarviointiin kuuluu kuitenkin vielä kaksi vaihetta, normalisointi ja painotus, jotka standardin mukaan ovat ns. valinnaisia vaiheita (ISO 2000a).

Normalisoinnin avulla vaikutusluokkaindikaattoritulokset voidaan suhteuttaa esim. Suomen tai Euroopan vastaaviin tietoihin (liite 2, kaava 46). Tällöin arvioidaan mikä osuus referenssialueen kokonaispäästöistä aiheutuu tutkittavan tuotteen valmistamisesta.

Painotus

Viimeisenä vaiheena vaikutusluokkaindikaattoritulokset voidaan yhdistää kokonaisvaikutusindikaattoritulokseksi, jolloin tarvitaan vaikutusluokkien välisiä tärkeysroja ympäristöhaittojen suhteen kuvaavia painokertoimia (liite 2, kaava 47). Painokertoimet voidaan määrittellä mm. paneelimenetelmällä, jolloin vaikutusluokkien välinen tärkeys määritellään asiantuntijoiden näkemyksistä johdettujen arvotusten mukaan. Painokertoimet voidaan määrittellä myös rahallisiin arvoihin perustuen, esim. sen perusteella, kuinka paljon ollaan halukkaita maksamaan siitä, että jokin ympäristöhaitta/vaikutus voidaan välttää (ns. willingness to pay, WTP). Kolmas tapa määrittellä painokertoimet perustuu ns. etäisyys tavoitteeseen (distance to target) -lähestymistapaan. Sen pohjana voivat olla kansallisesti asetetut tavoitteet esim. happamoittavien rikkidioksidi- (SO_2) ja typen oksidien (NO_x) päästöjen vähentämiseen. Elinkaariarvioinnin tieteellisyyttä vaaliva kansainvälinen ympäristötoksisuuden ja -kemian yhdistys SETAC (the Society of Environmental Toxicology and Chemistry) ei kuitenkaan suosittele tätä viimeksi mainittua painotusmenetelmää. Määrittelymenetelmästä riippumatta painokertoimet perustuvat aina subjektiivisille valinnoille ja arvostuksille, mikä tulee muistaa tuloksia tarkasteltaessa. Lisäksi on huomattava, että painotusta ei ISO-standardin 14042 (ISO 2000a) mukaan tulisi käyttää vertailevissa tutkimuksissa, joissa vertailuväitteitä esitetään yleisölle.

Edellä kuvattujen neljän vaiheen tuloksena saatu kokonaisvaikutusindikaattoritulos kuvaa tuotejärjestelmän potentiaalisia kokonaisvaikutuksia tarkasteltujen vaikutusluokkien suhteen. Kaikille taulukossa 34 esitetyille vaikutusluokille ei ole kuitenkaan vielä olemassa tiedeyhteisön hyväksynnän saaneita vaikutusarviointimalleja. Kehitystyön alla ovat mm. monimuotoisuuden ja ekotoksisuuden arvioinnin menetelmät. Elinkaariarvioinnissa on kuitenkin tärkeää tunnistaa myös laskennallisesta vaikutusarvioinnista puuttuvat vaikutusluokat ja arvioida niiden merkitystä muulla tavoin.

6.1.2 Vaikutusarviointimallit

Kansainvälisessä elinkaariarviointiyhteisössä on käytössä lukuisia valmiita malleja elinkaariarvioinnin mukaisen vaikutusarvioinnin toteuttamiseen (taulukko 51). Useat elinkaariarviointiohjelmistot, kuten mm. suomalainen KCL-ECO (Keskuslaboratorio Oy 2004), ja hollantilainen SimaPro (PRé Consultants 2005), sisältävät valmiiksi ohjelmoituina erilaisia vaikutusarviointimalleja. KCL-ECO-ohjelmistossa ovat käytettävissä mm. Suomen ympäristökeskuksessa (SYKE) laadittu DAIA-vaikutusarviointimenetelmä (Seppälä 1999; 2003) sekä hollantilainen Eco-indicator 99 -menetelmä (Goedkoop & Spriensma 2001). Muita vaikutusarviointimenetelmiä ovat mm. Ruotsissa kehitetty EPS 2000 (A systematic approach to environmental priority strategies in product development, Steen 1999a; 1999b). Elinkaariarviointiohjelmistojen sisältämien vaikutusarviointimenetelmien avulla vaikutus-

arvioinnin voi periaatteessa toteuttaa nopeasti ja helposti. Tulosten oikeellisuus on kuitenkin kyseenalainen, jos mallin soveltuvuutta tutkittavaan ongelmaan ei ole selvitetty.

Suosittelavaa on toteuttaa vaikutusarviointi taulukkolaskentana, jolloin tekijä itse tietää mitä kuormitustekijöitä luokittelee mihinkin vaikutusluokkaan ja miksi tulokset näyttävät siltä kuin näyttävät. Vaikutusarviointimalleista on tyypillisesti laadittu laajat käsikirjat, joista voidaan löytää laskelmissa tarvittavat karakterisointikertoimet, normalisointitekijät sekä painokertoimet. Lisäksi käsikirjoissa esitetään tieteelliset perustelut karakterisointikertoimille, kerrotaan minkä alueen ympäristökuormitukseen normalisointitekijät perustuvat (jos normalisointia mallissa ylipäätään käytetään) sekä millä menetelmällä vaikutusluokkien painokertoimet on valittu.

Elinkaariarvioinnin mukaisen vaikutusarvioinnin toteutus on syytä suunnitella samanaikaisesti inventaarioanalyysin suunnittelun kanssa. Tällä voidaan mm. varmistaa inventaariossa koottavan aineiston ja muuttujanimien yhteensovitus vaikutusarvioinnissa käytettävien muuttujanimien kanssa.

Taulukko 51. Malleja elinkaariarvioinnin mukaisen vaikutusarvioinnin toteutukseen (menetelmän alkuperäkielellä).

Vaikutusarviointimenetelmä	Vahinkoluokat / suoje- lun kohteet	Vaikutusluokat	Yksikkö
DAIA (keskipiste)(Seppälä 2003; 1999)		Ilmastonmuutos Happamoituminen Vesistöjen rehevöityminen Hapen kuluminen vesistöissä Alailmakehän otsonin muodostuminen Yläilmakehän otsonin väheneminen	kg CO ₂ kg H ⁺ kg NP ⁽¹⁾ kg POCP ⁽²⁾ ODP ⁽³⁾
Eco-indicator 99 (H) ⁽⁴⁾ (endpoint) (Goedkoop & Spriensma 2001)	Human health	Carcinogenic effects on humans Respiratory effects on humans caused by organic substances Respiratory effects on humans caused by inorganic substances Damages to human health caused by climate change Human health effects caused by ionizing radiation Human health effects caused by ozone layer depletion	DALY ⁽⁵⁾
	Ecosystem quality	Damage to ecosystem quality caused by ecotoxic emissions Damage to ecosystem quality caused by the combined effect of acidification and eutrophication Damage to ecosystem quality caused by land occupation and land conversion	PDF*m ² * yr ⁽⁶⁾
	Resources	Damage to resources caused by extraction of minerals Damage to resources caused by extraction of fossil fuels	MJ surplus energy
EPS 2000 (endpoint) (Steen 1999a; 1999b)	Human health	Life expectancy Severe morbidity and suffering (including starvation) Morbidity (like cold or flue) Severe nuisance (which would normally cause a reaction to avoid the nuisance) Nuisance (irritating, but not causing any direct action)	Person year
	Ecosystem production capacity	Crop production capacity Wood production capacity Fish and meat production capacity Soil acidification Production capacity of (irrigation) water Production capacity of (drinking) water	kg (w at harvest) kg (dw) kg (full w of animals) H+ mole equivalents ⁽⁷⁾ kg water kg water

	Abiotic stock resource	Depletion of elemental or mineral reserves Depletion of fossil reserves	ELU/kg ⁽⁸⁾
	Biodiversity	Species extinction	NEX ⁽⁹⁾
	Cultural and recreational values		⁽¹⁰⁾
CML 2 baseline 2000 (midpoint)		Abiotic depletion Global warming (GWP100) Ozone layer depletion (ODP) Human toxicity Freshwater aquatic ecotoxicity Marine aquatic ecotoxicity Terrestrial ecotoxicity Photochemical oxidation Acidification Eutrophication	kg Sb eq ⁽¹¹⁾ kg CO ₂ eq kg CFC-11 eq kg 1,4-DB eq ⁽¹²⁾ kg 1,4-DB eq ⁽¹²⁾ kg 1,4-DB eq ⁽¹³⁾ kg 1,4-DB eq ⁽¹³⁾ kg C ₂ H ₂ kg SO ₂ eq kg PO ₄ --- eq ⁽¹⁾
EDIP/UMIP 96 (midpoint)		Global warming (GWP100) Ozone depletion Acidification Eutrophication Photochemical smog Ecotoxicity water chronic Ecotoxicity water acute Ecotoxicity soil chronic Human toxicity air Human toxicity water Human toxicity soil Bulk waste Hazardous waste Radioactive waste Slags/ashes Resources (all)	g CO ₂ g CFC11 g SO ₂ g NO ₃ g ethene m ³ /g m ³ /g m ³ /g m ³ /g m ³ /g m ³ /g m ³ /g kg ⁽¹⁴⁾ kg kg kg kg

⁽¹⁾ NIP=Nitrification potential

⁽²⁾ POCP= Photochemical ozone creation potential.

⁽³⁾ ODP=ozone depleting potential

⁽⁴⁾ H=hierarchist perspective.

⁽⁵⁾ DALY=disability adjusted life years.

⁽⁶⁾ PDF=potentially disappeared fraction of species.

⁽⁷⁾ used only when models including the other indicators are not available.

⁽⁸⁾ ELU=environmental load units

⁽⁹⁾ NEX=Normalised Extinction of species.

⁽¹⁰⁾ Indicators should be defined when needed.

⁽¹¹⁾ related to extraction of minerals and fossil fuels due to inputs in the system.

⁽¹²⁾ HTP=Human toxicity potential

⁽¹³⁾ FAETP=Eco-toxicity Potential

⁽¹⁴⁾ All waste is reported on a mass basis.

6.2 Yhteiskunnallisten kustannusten mukainen taloudellisten vaikutusten arviointi

6.2.1 Yhteiskunnallisten elinkaarikustannusten määrittely

Koska LCA-WASTE-tutkimuksessa jätehuoltoratkaisut kytkeytyvät yhteiskunnalliseen päätöksentekoon, taloudellisten vaikutusten arvioinnissa sovellettiin yhteiskunnallisten elinkaarikustannusten käsitettä (social life cycle costing, SLCC). SLCC viittaa kaikkiin yhteiskunnan kannalta olennaisiin kustannuksiin, jotka liittyvät tuotteen tai palvelun elinkaareen LCA:ssa määriteltyjen järjestelmärajojen puitteissa (Peltola 2003). Laskennan kannalta keskeiset kustannustekijät voitiin LCA-WASTE-projektissa ryhmitellä karkeasti kahteen luokkaan:

1. Perinteiset kustannukset kattavat suorat kustannukset, kuten investointi-, työvoima-, energia- ym. kustannukset.
2. Kaikki ulkoiskustannukset, jotka liittyvät tuotteen tai palvelun elinkaaren aiheuttamiin ympäristövaikutuksiin.

Suoritettu SLCC-analyysi noudatteli mahdollisimman tarkasti LCA:ssa käytetyn tuotejärjestelmän rajauksia ja vaikutusarvioinnissa (LCIA) käytettyjen mallien eroavaisuuksia. Kaikkien ulkoiskustannusten määrittelyä oli kuitenkin käytetyn ajan ja resurssien puitteissa mahdotonta suorittaa. Inventaarioanalyysin perusteella voitiin kuitenkin havaita, että suuri osa jätehuoltovaihtoehtojen välisistä eroista ympäristövaikutuksissa juontuu CO₂-päästöistä. Näiden päästöjen rajoittamisen kustannukset arvioitiin keskimäärin olennaisesti suuremmaksi kuin useiden muiden päästöryhmien vähentämiskustannukset. Siksi ulkoisvaikutuksista sisällytettiin mukaan vain kasvihuonekaasujen rajoittamiskustannus. Kotimaisten arvottamistutkimusten puuttuessa nämä ympäristökustannukset laskettiin käyttämällä EU:n päästökaupan toisessa vaiheessa arvioidulla CO₂-päästöoikeuden hinnalla 20 €/t CO₂. Tätä kustannusta sovellettiin DAIA:n ja Eco-indicator 99:n ilmastomuutos-vaikutusluokkaa vastaavasti sekä metaani- että hiilidioksidipäästöille.

6.2.2 Vaikutusarviointimallit

LCIA:ssa käytetyissä vaikutusarviointimalleissa esiintyvät erot tuottivat lisätyötä SLCC-laskentaan. Toisin kuin DAIA:ssa, Eco-indicator 99:ssä ja EPS 2000:ssa tuotejärjestelmän elinkaarivaikutuksiin lasketaan mukaan myös fossiilisten polttoaineiden kulumisen (ehtymisen) vaikutus. Näin ollen myös SLCC:hen muodostettiin arvio Eco-indicator 99:n ja EPS 2000:n sisältämien fossiilisten polttoaineiden niukkuusvaikutusten niukkuuskustannuksista. Niukkuuskustannusten määrittäminen ei ole suoraviivaista. LCA-WASTE-hankkeessa hyödynnettiin uusiutumattomien luonnonvarojen taloustieteellisen tutkimuksen keskeistä tulosta, jonka mukaan uusiutumattoman luonnonvaran etsintäkustannus vastaa eräin ehdoin uusiutumattoman luonnonvaran niukkuushintaa. Etsintäkustannus määritellään kustannuksena löydettyä luonnonvarayksikköä kohden ja aineisto kattaa relevantit fossiilisten polttoaineiden tuotantoalueet maailmassa (Energy Information Administration 2005). Etsintäkustannuksen määrittämistä varten hiilen, maakaasun ja öljyn käyttömäärät on yhteismitallistettu muuttamalla ne öljykvivalenttitonneiksi (toe) ja etsintäkustannus on laskettu käyttämällä öljykvivalenttitonnikohtaista kerrointa. Kertoimena on käytetty keskiarvoa vuosilta 2000-2002.

6.3 Taloudellisten ja ekologisten tulosten yhdistäminen

Taloudellisten ja ekologisten tulosten yhdistämiseen ei ole saatavilla yleisesti hyväksytyjä menetelmiä tai lähestymistapoja. LCA-WASTE-hankkeen kokemusten perusteella näyttäisi siltä, että ympäristövaikutuksia ja taloudellisia vaikutuksia tulisi vertailla toisiinsa mahdollisimman monipuolisesti. Selkeimmiksi tavoiksi osoittautuivat kustannusanalyysin ja vaikutusarvioinnin luokkakohtaisten ja kokonais-tulosten erojen ja paremmuusjärjestyksen vertailu. Hankkeessa havaittiin myös, että taloudellista ja ekologista tietoa oli syytä välttää yhdistästä yhdeksi kokonaiskertomiseksi tai indikaattoriluvuksi, koska tällöin jää liikaa olennaista tietoa näkymättömiin. Lopullinen valintapäätös vaihtoehtojen kesken voidaan siis tehdä vertailemalla tapauskohtaisesti eri ratkaisuvaihtoehtojen ekologisia hyviä ja huonoja puolia ja kustannuksia.

LCA-WASTE-hankkeessa sanomalehdelle laaditun tutkimuksen tulosten perusteella näyttäisi siltä, että ympäristövaikutuksiltaan paras vaihtoehto ei ole yhteiskunnallisilta kustannuksiltaan edullisin. Ympäristövaikutuksiltaan parhaat ratkaisut näyttäisivät siis edellyttävän merkittävää taloudellista panostusta. Tätä aitoa yhteiskunnallista valintaongelmaa ei ole syytä pyrkiä hälventämään, kun taloudellisia ja ekologisia tuloksia yhdistetään. Sen sijaan punninta elinkaarikustannusten ja elinkaari-vaikutusten välillä on tehtävä mahdollisimman selväksi ja läpinäkyväksi, jotta päätöksenteossa osataan tietoisesti arvioida, kuinka ympäristön laatua koskeva arvostus ja halukkuus kantaa ympäristön laadun saavuttamiseen liittyvät kustannukset suhteutuvat toisiinsa.

Ekologisten ja taloudellisten vaikutusten yhdistäminen samaan analyysiin on varsin harvinaista. LCA-WASTE-hanke on tuottanut tästä teemasta uutta ja kiinnostavaa tietoa. On syytä odottaa, että tulevaisuudessa keskustelu taloudellisten ja ekologisten vaikutusten yhdistämisestä vilkastuu ja ajan mittaan muotoutuu yhteinen näkemys siitä, kuinka yhdistäminen on parhaiten tehtävissä.

6.4 LCA-WASTE: Ekologisten ja taloudellisten vaikutusten arviointi

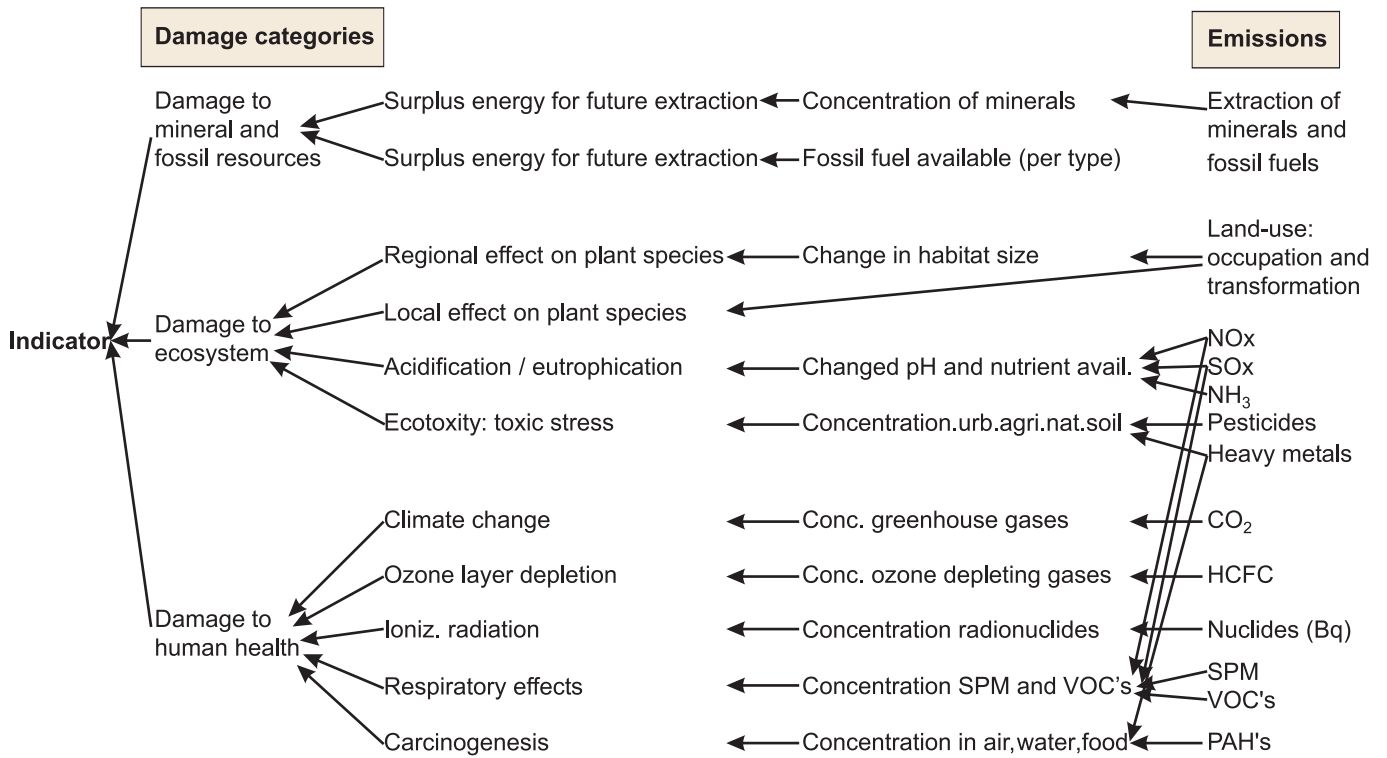
6.4.1 Ekologiset vaikutukset

LCA-WASTE-hankkeessa on elinkaariarvioinnin mukaisessa ekologisten vaikutusten arvioinnissa käytetty kolmea tähän tarkoitukseen kehitettyä menetelmää, jotka poikkeavat toisistaan useassa suhteessa (taulukko 52). Hollantilainen Eco-indicator 99 -menetelmä pohjautuu keskieuropalaisiin olosuhteisiin (Goedkoop ja Spriensma 2001, kuva 10), EPS 2000 (Steen 1999a; 1999b) puolestaan on näkökulmaltaan globaali. Sekä Eco-indicator 99 että EPS 2000 ovat lähtökohdiltaan ns. päätepistemalleja (endpoint model), jotka pyrkivät arvioimaan tuotejärjestelmästä aiheutuvien kuormitustekijöiden potentiaalisia ympäristövaikutuksia vaikutusketjun loppupäässä. Esimerkiksi Eco-indicator 99 arvioi hiilidioksidipäästöjen potentiaalista vaikutusta ihmisten terveyteen mm. tulvien ja luonnonkatastrofien lisääntymisen seurauksena.

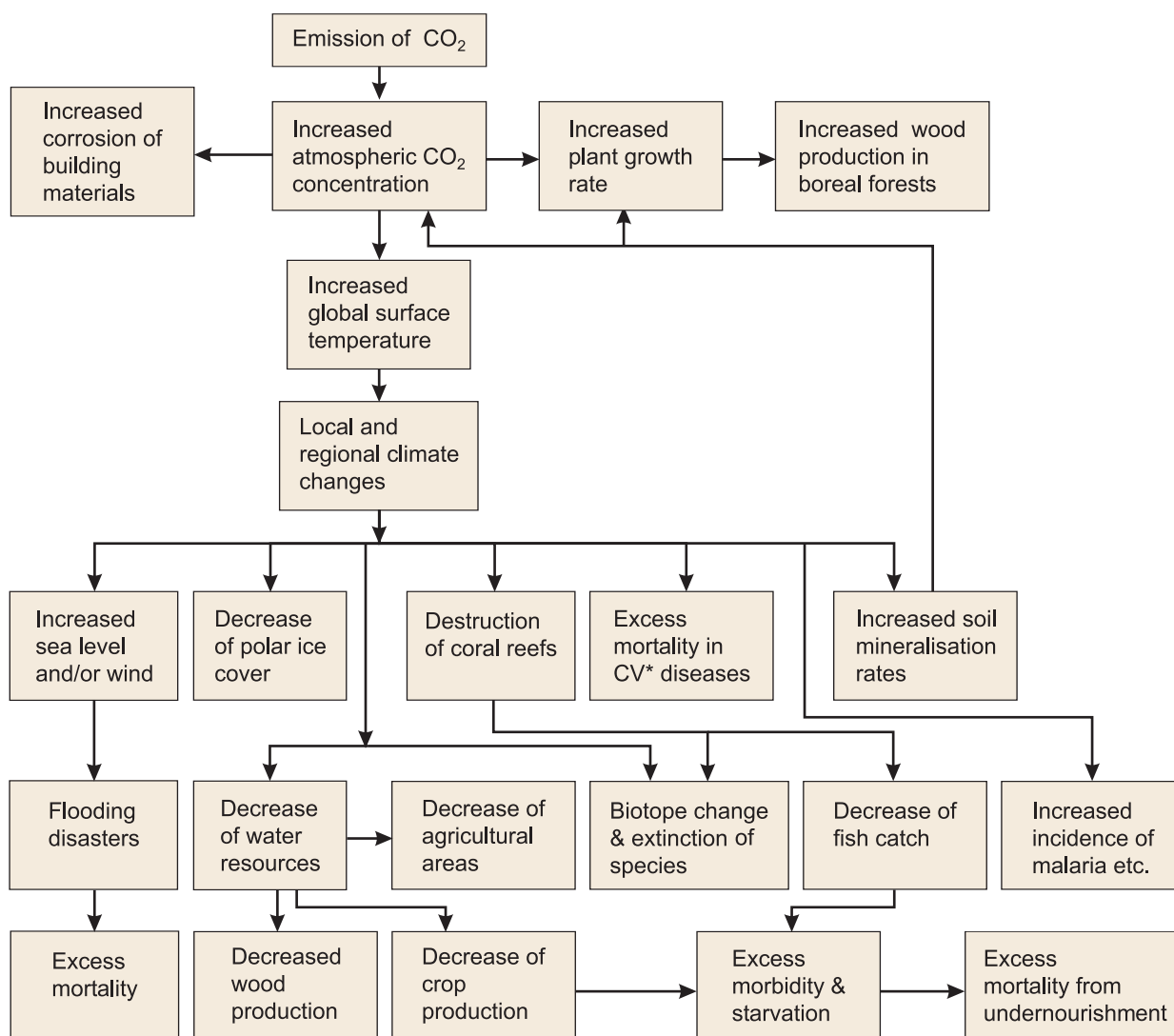
Myös EPS 2000 -menetelmässä CO₂-päästöjen vaikutuksia arvioidaan tarkastelemalla kasvihuoneilmion lisääntymisen vaikutuksia (mm. tulvien lisääntymisen vaikutukset ihmisten kuolleisuuteen). Näiden lisäksi EPS 2000:een sisältyy suorien vaikutusten, kuten kasvien kasvun lisääntymisen, arviointia (kuva 11).

Taulukko 52. LCA-WASTE-hankkeessa käytettyjen vaikutusarviointimenetelmien perusominaisuudet.

Vaikutusarviointimenetelmä	Lähestymistapa	Vaikutusluokat	Vahinkoluokat / suoje-lun kohteet	Normalisoinnin poh-jana käytetty refe-renssiaineisto	Painokertoimien määrittely
DAIA (Seppälä 2003; 1999)	Keskipiste	Ilmastonmuutos Happamoituminen Vesistöjen rehevöityminen Happikato Alailmakehän otsonin muodostuminen Otsonikerroksen oheneminen		Suomalaiset päästöt	Suomalainen, panee-limenetelmä
Eco-indicator 99 (Goedkoop & Spriensma 2001)	Päätepiste	Karsinogeeniset vaikutukset ihmisille Orgaanisten yhdisteiden aiheuttamat vaikutukset hengityselimille Epäorgaanisten yhdisteiden aiheuttamat vaikutukset hengityselimille Ilmastonmuutoksen aiheuttamat vahingot Ionisoivat säteilyn aiheuttamat vaikutukset Otsonikerroksen ohenemisen aiheuttamat vaikutukset Ekotoksisten vaikutusten aiheuttamat haitat Happamoituminen ja rehevöitymisen yhteisvaikutukset Maankäytön ja maankäytön muuttamisen aiheuttamat vahingot Mineraalien louhinnan aiheuttamat vahingot Fossiilisten polttoaineiden louhinnan aiheuttamat vahingot	Ihmisen terveys Ekosysteemin laatu Luonnonvarat	Eurooppalaiset ympäristöä kuormittavat tekijät	Eurooppalainen (sveitsiläinen), paneelimenetelmä
EPS 2000 (Steen 1999a; 1999b)	Päätepiste	Odotettu elinikä Vakava sairastuvuus Sairastuvuus Vakava haitta Haitta Sadon tuotantokyky Puun tuotantokyky Kalan ja lihan tuotantokyky Maaperän happamoituminen Kasteluveden tuotantokyky J uomaveden tuotantokyky Öljyvarantojen ehtyminen Hiilivarantojen ehtyminen Maakaasuvarantojen ehtyminen Alkuaineiden ja mineraalien varantojen ehtyminen Lajien häviäminen	Ihmisen terveys Ekosysteemin tuotantokyky Abioottisten luonnonvarojen varannot Monimuotoisuus Kulttuuri- ja virkistysarvot	Normalisointia vältetään. Alueelliseksi ulottuvuudeksi voidaan katsoa koko maailma.	Rahallinen arviointi (maksuhalukkuus, kustannusten arviointi)

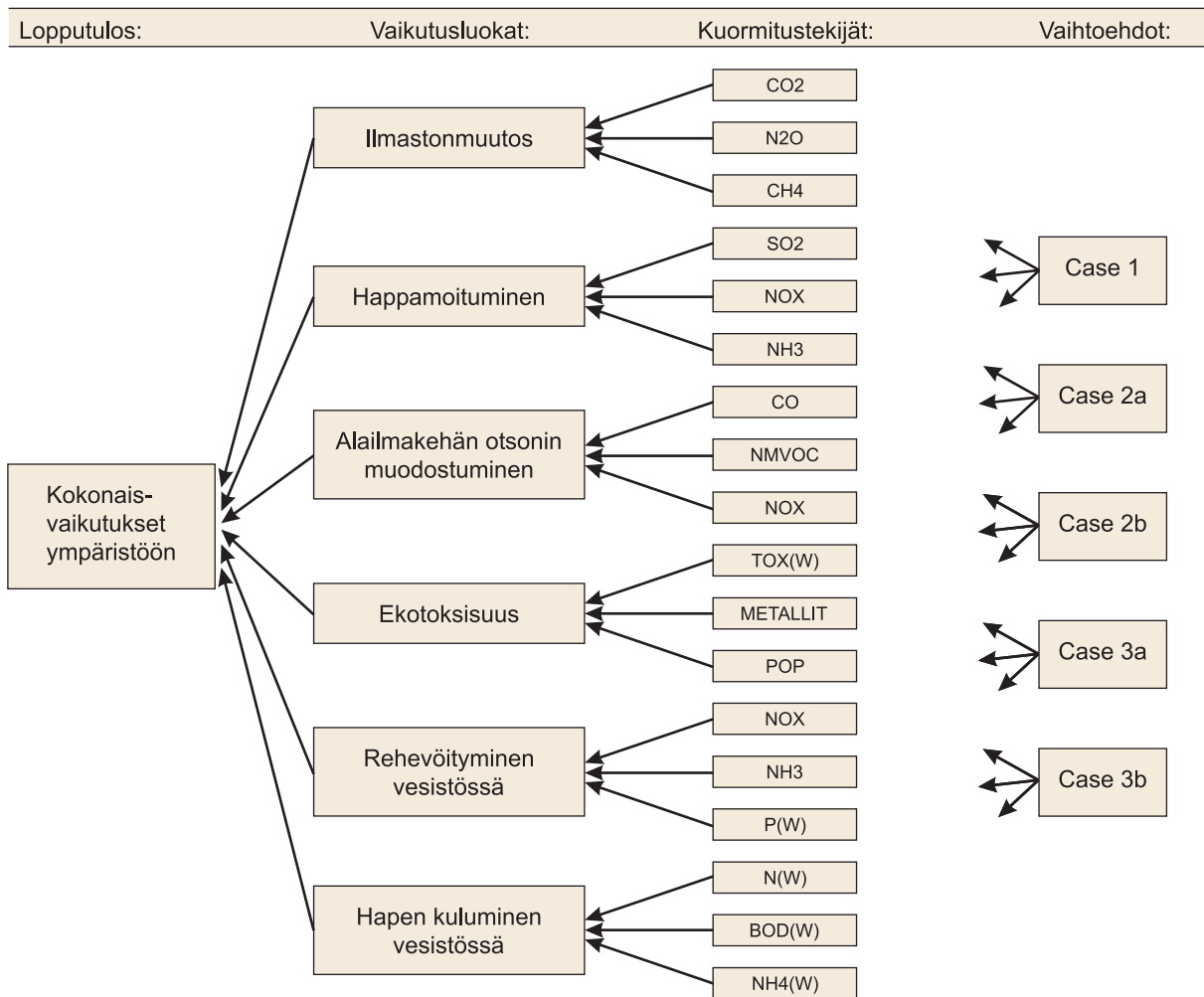


Kuva 10. Eco-indicator 99 –vaikutusarviointimallin rakenne. Oikeassa reunassa ympäristöä kuormittavat tekijät ja vasemmassa reunassa kolme vahinkoluokkaa (pääte pistettä), joihin kohdistuvia potentiaalisia vaikutuksia mallilla voidaan laskea. (Goedkoop & Spriensma 2001, mukaellen)



Kuva 11. EPS 2000 -menetelmässä sovellettava malli CO₂-päästöjen aiheuttamien vaikutusten arviointiin. (*CV=cardio-vascular). (Steen 1999b)

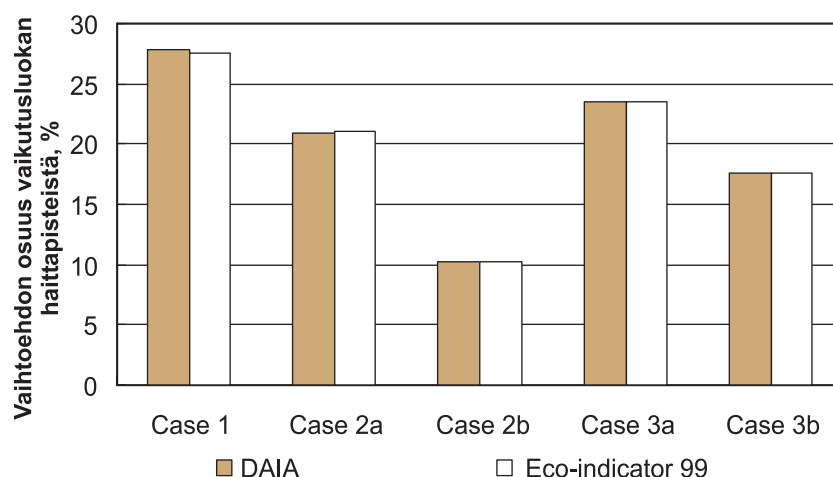
Kolmantena hankkeessa käytettiin Suomen olosuhteisiin kehitettyä DAIA-vaikutusarviointimenetelmää (Decision Analysis Impact Assessment; Seppälä 1999; 2003, Seppälä ym. 2004, kuva 12). Se on lähestymistavaltaan edellisistä poikkeava ns. keskipistemalli (midpoint model), joka pyrkii arvioimaan tuotejärjestelmästä aiheutuvien kuormitustekijöiden potentiaalisia ympäristövaikutuksia vaikutusketjun keskivaiheilla, päästöjen ja vahinkojen välillä. Esimerkiksi hiilidioksidipäästöjen potentiaalista vaikutusta ilmastomuutokseen (eli lämmitysvaikutusta) kuvataan päästöjen aiheuttamalla muutoksella maapallon energiataseeseen (säteilypakote).



Kuva 12. DAIA–vaikutusarviointimallin rakenne LCA-WASTE-hankkeessa. Kuvan keskellä ovat ympäristöä kuormittavat tekijät ja oikealla vaihtoehdot, joista kuormitustekijät aiheutuvat. Kuormitustekijät luokitellaan vaikutusluokkiin ja saadut vaikutusluokkaindikaattoritulokset suhteutetaan koko Suomea koskeviin vastaaviin tuloksiin. Vaikutusluokat painotetaan niiden keskinäisen merkittävyyden suhteen ja saatu tulosten loppusumma kuvaa kunkin vaihtoehdon potentiaalisia kokonaisvaikutuksia ympäristöön.

Vaikutusarviointimalleja sovellettiin menetelmäkäsikirjojen ohjeiden ja oletuskerrotoimien mukaisesti. Vaikutusarvioinnin tulokset on raportoitu yksityiskohtaisesti julkaisussa Dahlbo ym. (2005). Menetmillä saatuja tuloksia voidaan käsitellä vaikutusluokittain, jolloin subjektiivinen painotusvaihe ei vaikuta tuloksiin. Seuraavassa esitetään esimerkinomaisesti kahden vaikutusluokan – ilmastonmuutoksen ja fossiilisten polttoaineiden käytön – vaikutusarvioinnin tulokset. Nämä valittiin esitettäväksi tässä yhteydessä siksi, että kustannustarkastelussa on otettu huomioon näihin vaikutusluokkiin liittyviä ulkois- eli ympäristökustannuksia.

Ilmastonmuutos-vaikutusluokalle käytetään sekä DAIA:ssa että Eco-indicator 99:ssä samoja, kansainvälisesti hyväksytyjä karakterisointikertoimia, joten mallit antavat tämän vaikutusluokan osalta samanlaiset tulokset. EPS 2000:ssa ilmastonmuutos-vaikutusluokkaa ei voida erottaa sellaisenaan, mutta kasvihuonekaasupäästöjen vaikutukset ovat mallissa mukana jakautuneena useaan muuhun vaikutusluokkaan (kuten metsän ja viljan kasvuun aiheutuviin vaikutuksiin) (kuva 13).



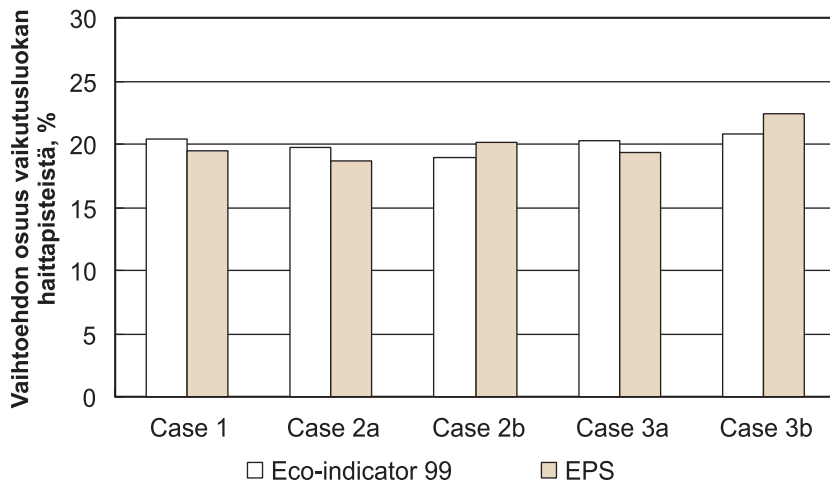
Kuva 13. Eri vaikutusarviointimallien jätehuoltovaihtoehdoille antamat haittapisteet - ilmastomuutos. Vertailun helpottamiseksi kunkin mallin antamat haittapisteet vaihtoehdoille on laskettu yhteen. Yksi pylväs kuvaa vaihtoehdon osuutta näin saaduista kokonaishaittapisteistä.

Ilmastomuutosta aiheuttavia vaikutuksia tarkasteltaessa ympäristön kannalta paras vaihtoehto on sekajätteestä valmistetun REF:n kaasutus ja puhdistetun kaasun polttaminen rinnakkaispolttona hiiltä korvaten. Mitä enemmän poltetaan, sitä pienemmät ovat ympäristövaikutukset hiilen polton päästöjen välttämisestä aiheutuvien säästöjen (hyvitysten) ansiosta. Sanomalehden poltto näyttää siis tässä valossa ympäristön kannalta suotuisalta vaihtoehdolta. Massapoltto sijoittuu toiselle sijalle, kun poltolla korvataan edellä esitettyyn tapaan hiilellä tuotettavaa energiaa. Massapoltonkin kohdalla ilmastomuutosta aiheuttavien päästöjen säästöt ovat sitä suuremmat, mitä enemmän poltetaan.

Fossiilisten polttoaineiden käyttöön liittyvien vaikutusten arviointitulokset ja näihin perustuva vaihtoehtojen paremmuusjärjestys eri vaikutusarviointimallilla esitetään taulukossa 53 ja kuvassa 14. Taulukon oikeanpuoleisessa sarakkeessa esitetty paremmuusjärjestys perustuu siihen olettamukseen, että tarkasteltuja malleja pidetään saman arvoisina tämän ongelman arvioinnissa. Keskiarvo ja sen mukainen sijoitus on laskettu prosentuaalisten osuuksien avulla.

Taulukko 53. Fossiilisten luonnonvarojen kulutuksesta laskettujen vaikutuspisteiden prosentuaalinen jakautuminen eri vaihtoehtojen kesken eri vaikutusarviointimenetelmissä ja vaihtoehtojen paremmuusjärjestys (suluissa). DAIA-mallissa ei ollut mukana fossiilisten polttoaineiden käyttöön liittyviä vaikutuksia.

Vaihtoehto	Menetelmä ja tulosten paremmuusjärjestys			Sijoituksen keskiarvo ja keskiarvon mukainen paremmuusjärjestys
	DAIA	Eco-indicator 99	EPS 2000	
Case I	-	20,3 % (III)	19,5 % (II)	19,9 % (IV)
Case 2a	-	19,7 % (II)	18,6 % (I)	19,2 % (I)
Case 2b	-	18,9 % (I)	20,1 % (IV)	19,5 % (II)
Case 3a	-	20,3 % (III)	19,4 % (II)	19,6 % (III)
Case 3b	-	20,8 % (V)	22,4 % (V)	21,6 % (V)
		100,0 %	100,0 %	



Kuva 14. Eri vaikutusarviointimallien jätehuoltovaihtoehdoille antamat haittapisteet fossiilisten polttoaineiden vaikutusluokassa. Vertailun helpottamiseksi kunkin mallin antamat haittapisteet vaihtoehdoille on laskettu yhteen. Yksi pylväs kuvaa vaihtoehdon osuutta näin saaduista kokonaishaittapisteistä.

Kun tarkastellaan fossiilisten polttoaineiden kulutusta, sekajätteen ekologisin käsittelyvaihtoehto on edelleen valmistus REF:ksi ja kaasutetun REF:n rinnakkaispolttot hiiltä korvaten. Sanomalehden polttaminen on tässä tarkastelussa kuitenkin pääsääntöisesti materiaali kierrätystä huonompi vaihtoehto (eli b-vaihtoehto on pääasiassa a-vaihtoehtoja huonompi). Sekajätteessä olevan sanomalehden kaatopaikkasijoitus ei tällä kertaa ole vaihtoehdoista huonoin, vaan melko tasaväkinen muihin ratkaisuihin verrattuna. Tosin erot eri vaihtoehtojen välillä ovat tässä vaikutusluokassa niin vähäiset, että tulosten perusteella ei voida tehdä kovin pitkälle vietyjä tulkintoja.

6.4.2 Kustannusvaikutukset

SLCC tuotettiin LCA-WASTE-hankkeessa edellä esitettyjä laskennan linjauksia noudattaen. Kullekin tarkastellulle jätteen käsittelymenetelmälle, eli materiaalihiödyntämiselle, kaatopaikkasijoitukselle, REF:n tuotannolle ja sen kaasutukselle ja rinnakkaispolttolle sekä massapolttolle, määritettiin oma, menettelyspesifinen SLCC. Tarkasteltavat vaihtoehdot, Case 1; 2a & 2b; 3a ja 3b, muodostettiin yhdistämällä vaihtoehtojen määritysten mukaisesti kustannuseriä johdetuista SLCC-funktioista.

Saadut kokonaiskustannukset ilman ulkoiskustannuksia on esitetty taulukossa 54. Tulosten perusteella voidaan todeta, että halvin vaihtoehto on sekajätteen kaatopaikkasijoitus nykyiselle kaatopaikalle. Jos sekajätettä käsitellään, se kannattaisi tehdä massapolttolaitoksessa, mutta erilliskerätyn sanomalehden polttaminen ei kannata kummallakaan polttomenetelmistä. Syynä on se, että keräyspaperin käyttö sanomalehtipaperin tuotannossa on varsin kannattavaa verrattuna neitseellisen kuidun käyttöön. Massapolton ja rinnakkaispolton kustannusten välinen ero on tosin hyvin pieni, vain muutaman prosentin luokkaa.

Taulukko 54. Sanomalehden käsittelyvaihtoehtojen kustannukset ja kustannusten mukainen paremmuusjärjestys LCA-WASTE-hankkeen eri tapaustarkasteluissa, kun ympäristökustannukset eivät ole mukana.

	I	2a	2b	3a	3b
Kokonaiskustannus, milj. €	2,55 (I)	3,54 (III)	5,11 (IV)	3,49 (II)	7,16 (V)

Ympäristökustannusten ottaminen huomioon luonnollisesti kasvattaa kokonaiskustannuksia. Ympäristökustannukset laskettiin EU:n päästökaupan toisessa vaiheessa odotettavissa olevalla CO₂-päästöluvan hinnalla (20 €/t CO₂) DAIA:n ja Eco-indicator 99:n ilmastonmuutos-vaikutusluokkaa vastaavasti sekä metaani-että hiilidioksidipäästöille. Eco-indicator 99:n ja EPS 2000:n luonnonvarojen käytön vaikutuksia tarkastelevia vaikutusluokkia mukaillen määriteltiin etsintäkustannusten avulla niukkuushinnat fossiilisille polttoaineille (öljylle ja polttoaineille, kivihiilelle ja maakaasulle). Kun nämä ympäristökustannukset otetaan huomioon, eri vaihtoehtojen kokonaiskustannukset ovat taulukossa 55 esitetyn mukaiset. Verrattuna taulukkoon 54 kustannukset ovat merkittävästi suuremmat. Ympäristökustannusten huomioiminen ei kuitenkaan juurikaan muuta vaihtoehtojen paremmuusjärjestystä, sillä vain 2a ja 3a –vaihtoehtojen välinen ero häviää, mutta lisäksi a- ja b-vaihtoehtojen väliset erot pienenevät jonkin verran.

Taulukko 55. Sanomalehden käsittelyvaihtoehtojen kustannukset ympäristövaikutusten kanssa ja kustannusten mukainen paremmuusjärjestys LCA-WASTE-hankkeen eri tapaustarkasteluissa.

	I	2a	2b	3a	3b
Kokonaiskustannus, kun ympäristökustannukset otetaan huomioon, milj. €	4,15 (I)	4,81 (II)	5,95 (IV)	4,81 (II)	8,15 (V)

6.4.3 Ekologisen ja kustannustarkastelun yhdistäminen

LCIA:n ja SLCC:n tulokset ovat yhdistettävissä ainakin seuraavilla kahdella tasolla. 1) Asetetaan jätehuoltovaihtoehdot paremmuusjärjestykseen LCIA:n tulosten avulla ja verrataan järjestystä kustakin vaihtoehdosta laskettuihin kokonaiskustannuksiin ilman ympäristökustannuksia. 2) Verrataan ympäristökustannuksilla lisättyjä kokonaiskustannuksia ympäristövaikutusarvioinnin antamaan tulokseen. Ympäristövaikutusten arvioinnin tuloksia voidaan tarkastella joko kokonaisvaikutusindikaattorituloksina tai vaikutusluokkakokohtaisesti.

LCIA:n kokonaistulosten ja kokonaiskustannusten yhdistetty tarkastelu

Taulukkoon 56 on koottu eri vaihtoehtojen kokonaiskustannukset ilman ympäristökustannuksia sekä vastaavat vaikutusarvioinnin tulokset. Jotta vertailu olisi mahdollista, käytetään ekologisista vaikutuksista vaikutusarvioinnissa saatuja kokonaisvaikutusindikaattorituloksia ja niiden antamaa järjestystä jätehuoltovaihtoehtoille. Huomioitavaa kuitenkin on, ettei kokonaisvaikutusindikaattoritulosten käyttö vertailuissa ole linjassa standardin ISO 14 042 kanssa (ISO 2000a).

Taulukko 56. LCA-WASTE-hankkeessa tarkasteltujen jätehuoltovaihtoehtojen nettokustannusten ja kokonaisympäristövaikutusten yhteistarkastelu.

Vaihtoehto	Kustannukset, milj. € (ja paremmuusjärjestys)	Vaikutusarviointitulosten paremmuusjärjestys		
		DAIA	Eco-indicator 99	EPS 2000
Case I	2,55 (I)	V	V	V
Case 2a	3,54 (III)	III	III	II
Case 2b	5,11 (IV)	I	I	I
Case 3a	3,49 (II)	IV	IV	III
Case 3b	7,16 (V)	II	II	IV

Voidaan todeta, että käytettyihin vaikutusarviointimenetelmiin sisältyvien vaikutusluokkien osalta ekologisinta olisi valmistaa sekajätteessä olevasta sanomalehdestä REF-polttoainetta, kaasuttaa se hiilen rinnalla ja polttaa mukana puolet nykyisin kierrätettävästä sanomalehdestä. Kustannuksiltaan vaihtoehto on kuitenkin toiseksi kallein, sen kustannukset ovat kaksinkertaiset verrattuna halvimpaan, Case 1:een. Kun lisäksi verrataan materiaali kierrätystä energiahyödyntämiseen (Case 2a:ta 2b:hen ja Case 3a:ta 3b:hen), huomataan, että erilliskerätyn sanomalehden energiahyödyntäminen on aina kalliimpaa kuin sen materiaali kierrätys. Tämä heijastaa sitä tosiasiaa, että keräyspaperin käyttö sanomalehtipaperin valmistuksessa on kannattavampaa kuin neitseellisen puuraaka-aineen käyttö.

LCIA:n kokonaistulosten ja ympäristökustannuksilla lisättyjen kokonaiskustannusten yhdistetty tarkastelu

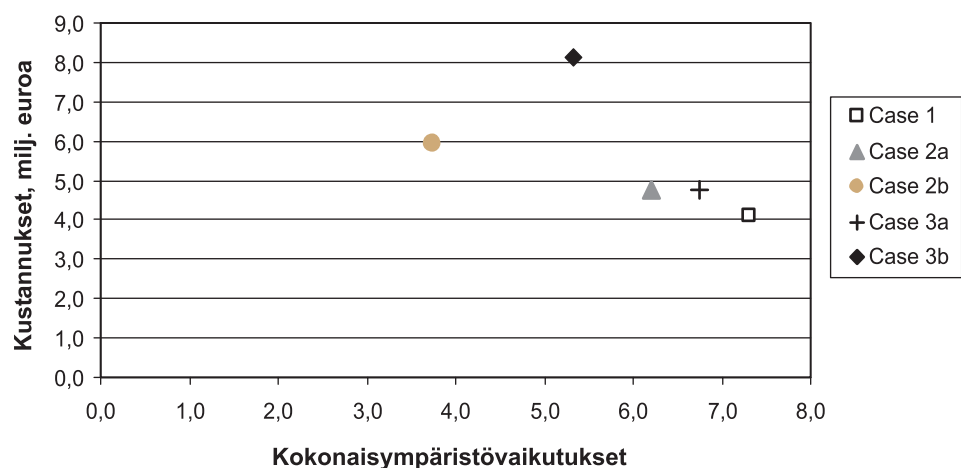
Taulukossa 57 on raportoitu ympäristökustannuksilla lisättyjen kokonaiskustannusten vertailu ympäristövaikutusarvioinnin antamaan tulokseen. Ympäristökustannuksiksi on ensinnäkin laskettu kunkin vaihtoehdon CO₂- ja CH₄-päästöjen kustannus edellä luvussa 6.3.2 esitetyn mukaisesti ja tätä on verrattu ilmastonmuutosvaikutusluokan haittapisteisiin (DAIA). Toiseksi on laskettu kunkin vaihtoehdon fossiilisten polttoaineiden tarpeesta syntyvät kustannukset niukkuushinnan perusteella, ja näitä arvoja on verrattu fossiilisten polttoaineiden käytön vaikutusluokan haittapisteisiin (Eco-indicator 99). Ympäristökustannukset sisältäviä kokonaiskustannuksia verrataan lopulta vaikutusarvioinnin kokonaistuloksiin.

Taulukko 57. LCA-WASTE-hankkeessa tarkasteltujen jätehuoltovaihtoehtojen kustannusten ja ympäristövaikutusten yhteis-tarkastelu. Kustannuksissa on otettu huomioon ympäristökustannukset.

Vaihtoehto	Ilmastonmuutos		Fossiiliset polttoaineet		Kokonaiskustannus (sis. ympäristökust.) milj. €	Paremmuusjärjestys kokonaisympäristövaikutusten suhteen		
	kust.milj. €	haittapisteet (DAIA)	kust. milj. €	haittapisteet (Eco-indicator 99)		DAIA	Eco-indicator 99	EPS 2000
Case 1	1,54	3,4	0,06	15,3	4,15 (I)	V	V	V
Case 2a	1,22	2,6	0,05	14,8	4,81 (II)	III	III	II
Case 2b	0,82	1,3	0,02	14,2	5,95 (IV)	I	I	I
Case 3a	1,26	2,9	0,06	15,3	4,81 (II)	IV	IV	III
Case 3b	0,95	2,2	0,04	15,7	8,15 (V)	II	II	IV

Taulukosta 57 havaitaan, että ympäristökustannusten mukaan ottaminen ei muuta vaihtoehtojen järjestystä, vaan kokonaiskustannuksissa kallein pysyy edelleen kalleimpana ja halvin halvimpana. Rinnakkaispolton (2a) ja massapolton (3a) kustannusero kuitenkin häviää. Vertailussa tulee DAIA:n osalta vähentää kokonaiskustannuksista fossiilisten polttoaineiden etsintäkustannukset, koska mallissa ei ollut mukana näitä vaikutuksia. Nämä kustannuserät ovat kuitenkin pieniä, eikä niiden vähentäminen muuta vaihtoehtojen järjestystä. Vaikutusluokkakohtaisissa vertailuissa kustannukset ja vaikutukset kulkevat pääsääntöisesti käsi kädessä. Ainoan poikkeuksen tekee fossiilisten polttoaineiden käyttöön kytkeytyvien vaikutusten osalta Case 3b, jossa kustannukset ovat pienemmät, mutta vaikutukset suuremmat kuin Case 3a:ssa. Kustannusten ja vaikutusmallien järjestysarvioissa vaihtoehto 2a sijoittuu jälleen joko II tai III sijalle.

Saavutettavien ympäristöhyötyjen suuruus suhteessa vaadittuun taloudelliseen panostukseen havainnollistuu parhaiten esittämällä datapisteet samassa kuvaajassa (kuva 15).



Kuva 15. DAIA- menetelmällä saadut kokonaisvaikutusindikaattoritulokset ja ympäristökustannuksilla lisätyt kokonaiskustannukset ilman luonnonvarojen etsintäkustannuksia laskettuna sanomalehdelle.

Kuvaaja 15 havainnollistaa selkeästi, että tavoiteltaessa suurinta mahdollista parannusta ympäristövaikutuksissa eli ympäristövaikutusten puolittumista (siirtymä Case 1 -> Case 2b), tavoitteen saavuttaminen vaatii lähtötilanteeseen verrattuna puolitoistakertaisen taloudellisen uhrauksen.

LCIA:n vaikutusluokkakohtaisten tulosten ja ympäristökustannuksilla lisätyjen kokonaiskustannusten yhdistetty tarkastelu

Koska ympäristövaikutukset ovat moniulotteinen ja monimutkainen ongelma- kenttä, on mielekästä tarkastella tuloksia myös pienempinä osina. Kun vaikutusluokkakohtaiset tulokset skaalataan sataan prosenttiin tai muuhun kiinteään lukuarvoon (taulukko 58), saadaan käsitys eri vaihtoehtojen käyttäytymisestä ja niiden välisistä eroista kussakin vaikutusluokassa. Tarkastelutapa mahdollistaa myös aluekohtaisen painotuksen käyttämisen keskustelun ja johtopäätösten pohjana sen sijaan, että käytettäisiin koko Suomea koskevia kertoimia.

Vaikutusluokkakohtaisista tuloksista huomataan mm. että eri vaihtoehdot vaikuttavat hyvin samankaltaisesti rehevöitymiseen ja alailmakehän otsonin muodostumiseen. Suurin vaihtelu eri vaihtoehtojen välillä on ilmastonmuutosta käsittelevässä luokassa. Happamoitumista, rehevöitymistä ja alailmakehän otsonin muodostumista arvioivissa vaikutusluokissa puolestaan on keskenään yhtä suuri vaihteluväli (3,2 – 5,0).

Taulukko 58. Sanomalehden eri käsittelyvaihtoehtojen ympäristövaikutukset vaikutusluokittain LCA-WASTE-hankkeessa DAIA-menetelmällä laskettuna. Suurimmat ympäristövaikutukset aiheuttavan vaihtoehdon pisteet on jokaisessa vaikutusluokassa skaalattu arvoksi 5 ja muut on suhteutettu tähän.

Vaikutusluokka	Case 1	Case 2a	Case 2b	Case 3a	Case 3b
Ilmastonmuutos	5,0	3,8	1,8	4,2	3,2
Happamoituminen	5,0	4,8	3,2	5,0	3,7
Rehevöityminen	5,0	4,6	3,2	5,0	4,3
Hapen kuluminen vesistöissä	5,0	2,6	3,0	2,6	2,9
Alailmakehän otsonin muodostuminen	5,0	4,6	3,2	5,0	4,5
Kustannukset (milj. €)	2,55	3,54	5,11	3,49	7,16

Joitakin esimerkkejä ekologisia ja ekonomisia tekijöitä yhdistävistä tietolähteistä on esitetty taulukossa 59.

Taulukko 59. Esimerkkejä LCA-WASTE-hankkeessa käytetyistä ekologisia ja ekonomisia tekijöitä yhdistävistä tietolähteistä.

Tietolähteitä:	Sisältö
Melanen, M., Seppälä, J., Myllymaa, T., Mickwitz, P., Rosenström, U., Koskela, S., Tenhunen, J., Mäenpää, I., Hering, F., Estlander, A., Hiltunen, M-R., Toikka, M., Mänty, E., Liljeqvist L., & Pesari, J. 2004. Alueellisen ekotehokkuuden mittaamisen mallina Kymenlaakso. SY735. Saataavissa internetistä: www.ymparisto.fi > Suomen ympäristökeskus > Julkaisut > SYKE:n julkaisut Suomen ympäristö –sarjassa > Suomen ympäristö -sarja 2004	Ekotehokkuuden käsitteen mittaaminen ympäristö- ja taloustekijöiden avulla (Luku 4.). Soveltaminen alueelliseen mittakaavaan.
Suomen luonnonsuojeluliitto ry. http://www.sll.fi/toiminta/kestava/jatteet/poltto/ptilanne	Kokoelma jätteen energiahyödyntämistä suunnittelevien kaupunkien ja kuntien YVA-menettelyistä.
http://www.rosknroll.fi/suomi/YVA-ohjelma.pdf http://www.jenergia.fi/images/yva_ohjelma.pdf http://www.sjk.fi/energia/etusivu/yvs.html http://www.eko-kymppi.fi/YVA-ohjelma/YVA-selostus/yva-selostus.html http://www.pvo.fi/temporary/file.asp/data_id=838/Kaasutuslaitoksen_YVO_FINAL.pdf	Esimerkkejä jätteen energiahyödyntämiselle laadituista YVA-menettelyistä Suomessa.

7

..... Yhteenveto ja johtopäätökset

LCA-WASTE-tutkimuksen kuluessa kertyi arvokasta tietoa mm. uusimmista jätteiden käsittelytekniikoista ja niiden ympäristövaikutuksista kuten myös tämän hetken tietotarpeista jätehuollon alalla. Lisäksi tutkimuksessa tuotettiin ensimmäistä kertaa systemaattiset elinkaarikustannukset jätehuollon perusvaihtoehdoilla Suomessa ja tuotettiin hyödyllistä tietoa siitä, kuinka elinkaarikustannuksia ja elinkaarivaikutuksia voidaan yhdistää eri vaihtoehtojen punnintaan.

Hankkeessa laaditun menettelyn tavoitteena on antaa työkalu, jonka avulla voidaan löytää ja vertailla useita vaihtoehtoisia ratkaisuja jätehuollon toteuttamiseen ja saada aiempaa järjestelmällisemmin keinoin tietoa myös ratkaisujen ympäristövaikutuksista ja kustannuksista. Menettely perustuu elinkaarimetodiikkaan.

Hankkeessa ja menettelyssä käytetty jätelajikohtainen tarkastelutapa on siinä mielessä hyödyllinen, että käytännön tiedontarve liittyy usein jätelajikohtaisiin tietoihin. Vaikka kokonaisympäristövaikutusten optimoimiseksi jätehuoltojärjestelmää tulisi tarkastella kokonaisuutena, ratkaisut tehdään käytännössä joka tapauksessa jättejaekohtaisesti. Menettelyn laskentataulukoiden avulla saadaan kuitenkin arvioitua volyymit, mittasuhteet ja kustannukset myös koko järjestelmälle.

Hankkeen kuluessa tunnistettuja tietotarpeita ovat mm. julkisesti saatavilla olevat ympäristökuormitustiedot eri käsittely- ja kierrätysprosesseille, myös muille kuin hankkeessa käsitellyille vaihtoehdoille. Tietojen käytettävyyden kannalta ne olisi esitettävä sekä prosessi- että jättejaekohtaisesti.

Ympäristövaikutusten ja kustannusten yhdistetty tarkastelu on suhteellisen uutta, eikä sille ole vakiintuneita käytäntöjä. Hankkeessa kehitettiin toimiva perusvertailu tukemaan päätöksentekoa. Vertailemalla kokonaiskustannuksia kokonaisympäristövaikutuksiin ja vaikutusluokkakohtaisiin tuloksiin saadaan hyödyllistä tietoa toisaalta kustannuksista, joilla toivottu ympäristön kuormitustila saavutetaan ja toisaalta eri ympäristövaikutusluokissa tapahtuvista potentiaalisista muutoksista, joiden merkittävyyttä voidaan tarkastella nimenomaan tarkasteltavan alueen näkökulmasta.

Haasteita ympäristö- ja taloudellisten vaikutusten yhdistämiselle on paljon. Eräs niistä on rajausten kohdistaminen. Mallinnetuilla järjestelmäratkaisuille saattaa olla laajallekin (järjestelmärajojen ulkopuolelle) ulottuvia, mm. kustannusten ohjaamia vaikutuksia yritysten ja yhteisöjen toimintoihin. Järjestelmän käyttäytymistä voidaan ehkä arvioida kustannusten muodossa, mutta saman tilanteen ympäristövaikutusten mittaaminen ei välttämättä ole mahdollista.

Hyvityksillä ja etenkin energiaratkaisuihin liittyvillä (oletus)ratkaisuilla osoitautui olevan olennainen merkitys lopputuloksen kannalta niin kustannuksia kuin ympäristövaikutuksiakin tarkasteltaessa. Tämän vuoksi energiaratkaisujen muutoksiin ja mahdollisuuksiin liittyviin seikkoihin olisi kiinnitettävä riittävästi huomiota ja tilanteiden arvioinnissa olisikin käytettävä apuna alan asiantuntijoita.

LCA-WASTE-hankkeen tulosten pohjalta näyttäisi siltä, että tarkastelluissa vaikutusluokissa ympäristövaikutukset ovat sitä pienempiä, mitä suurempi osa tarkastelussa olleesta sanomalehdestä poltetaan. Polttomenetelmistä rinnakkaispolttoto pärjäsi massapolttota paremmin, mutta erot menetelmien välillä ovat melko pieniä. Ratkaisevia tekijöitä ovat kuitenkin jätteestä tuotetun energian hyödynnettävyys sekä se, mitä polttoainetta jätteellä voidaan korvata.

Kun otetaan huomioon eri käsittelymenetelmien kustannukset, sanomalehden käsittelyvaihtoehtojen ekologisuus osoittautui olevan melko suoraan kääntäen verrannollinen sen edullisuuteen. Taloudellisin panostuksin voidaan siis säästää ympäristön kannalta parempi tilanne, mutta kustannus-ympäristöhyötyrajiivan vetäminen jää aina tapauskohtaisesti ratkaistavaksi eikä LCA-WASTE-hankkeessakaan kyetty tuomaan tyhjentäviä keinoja näiden ratkaisujen tueksi.

Menettelyä sovellettaessa on muistettava, että LCA-WASTE-hankkeen tapauksella saadut tulokset eivät ole yleistettävissä sellaisenaan muille alueille; Yleistettävissä ovat ainoastaan menetelmä eli LCA-WASTE-hankkeessa toteutettu työprosessi ja sen kuluessa tehdyt havainnot tärkeimmistä huomioon otettavista tekijöistä.

Kiitokset

LCA-WASTE-hanke sai rahoituksensa Teknologian kehittämiskeskuksen (Tekes) Streams-ohjelmasta, jolle esitämme kiitoksemme. Hankkeen johtoryhmää kiitämme rakentavasta ja asiantuntevasta palautteesta. Erityisen lämpimät kiitokset toimitusjohtaja Juha-Heikki Tanskaselle ja yli-insinööri Juhani Puolanteelle käsikirjoituksen tarkistamisesta, arvokkaista kommentteista ja parannusehdotuksista.

Keskeiset termit

Termi	Selitys
Annuiteetti	Vuotuinen pääomakustannuserä. Lasketaan oletetun vuosikoron ja lainan kuoletusajan avulla.
Asuinjäte	Asumisessa syntynyt tai ominaisuuksiltaan siihen rinnastettavissa oleva jäte.
Asuinkiinteistö	Kiinteistö, jota käytetään asumiseen.
Diskonttaus	Menetelmä, jolla tulevaisuudessa koituvat kustannukset muunnetaan nykyhetken rahanarvoon. Diskonttaustekijä riippuu korkokannasta ja tarkasteltavan ajanjakson pituudesta.
Elinkaari-inventaario	Elinkaari-inventaario eli inventaarioanalyysi (Life cycle inventory LCI). Standardien SFS EN ISO 14 040 – 14 043 –mukainen ympäristövaikutusten arviointimenettelyn tiedonkeruuvaihe.
Elinkaarikustannus	Tuotteen tai palvelun elinkaaren aikana syntynyt kustannus. Elinkaaren aikaiset rajaukset on toteutettu mahdollisimman yhtenevästi ympäristövaikutusten arvioinnissa käytettyjen rajausten kanssa. Valituista tarkastelunäkökulmasta riippuen elinkaarikustannukset määritetään joko yhteiskunnallisina tai yksityisinä elinkaarikustannuksia.
Energiahöydyntäminen	Materiaalin höydyntäminen energiana joko polttamalla, mädättämällä tai käyttämällä muita energiahöydyntämistekniikoita (esim. pyrolyysiä).
Hyvitys	Tarkasteltavan järjestelmän ja vallitsevan nykytilan välisen ympäristökuormituksen erotus. Kun hyvitys on negatiivinen, tarkasteltava järjestelmä on ko. kuormitustekijän suhteen nykytilaa edullisempi.
Jätepaperi	Käyttäjien käytöstä hylkäämä paperijae.
Jätejae (esim. sanomalehtipaperi, biojäte, metalli)	Kokonaisjättemäärä voidaan jakaa ominaisuuksiltaan yhtenäisiin osiin, joita sanotaan jätejakeiksi (Tanskanen 1996).
Jätelaji (esim. keräyspaperi, sekajäte, biojäte, lasi)	Erilliskerättävä jätevirta, joka voi koostua yhdestä tai useammasta jätejakeesta (Tanskanen 1996).
KapasiteettiekspONENTTI eli Langin eksponentti	Prosessien kustannusten laskentaan käytetyn yhtälö ja sen eksponenttina käytetty kerroin (usein 0,6 – 0,7).
Kertymäluokka	Jätteiden tuottajista käytettävä nimitys menettelyn tarkasteluissa. Kertymäluokkia ovat asuinkiinteistöt, toimipaikkakiinteistöt ja aluekeräyspisteet.
Keräyksen kattavuus eli osallistumisaste	ks. osallistumisaste.
Keräysaste	Jätteen erilliskerätyn jakeen suhde syntyneeseen kokonaismäärään.
Keräyspaperi	Sekajätteestä erikseen lajiteltu eli erilliskeräyksen piiriin päätyneet paperijae.
Kierrätys	Materiaalihöydyntämisen muoto, jossa materiaali käytetään uudeleen vastaavan tuotteen valmistukseen.
Lajittelutehokkuus	Tehokkuus (%), jolla erilliskeräykseen veloitettut saavat erotelluksi jätejakeen sekajätteestä.
Langin eksponentti eli kapasiteettiekspONENTTI	ks. kapasiteettiekspONENTTI.
LCA	Elinkaariarviointi (Life cycle assessment LCA). Standardien SFS EN ISO 14 040 – 14 043 –mukainen ympäristövaikutusten arviointimenettely.

LCIA	Vaikutusarviointi (Life cycle impact assessment LCIA). Standardien SFS EN ISO 14 040 – 14 043 – mukainen ympäristövaikutusten arviointimenettelyn vaihe.
Materiaalihyödyntäminen	Materiaalin hyödyntäminen materiaalina vastaavan tuotteen valmistuksessa (kierrätys) tai jonkin muun tuotteen raaka-aineena.
Niukkuushinta	Teoreettinen käsite, joka kuvaa uusiutumattoman luonnonvaran, kuten fossiilisen polttoaineiden, arvoa maassa louhimattomana. Kuvaa luonnonvaran ehtymistä.
Nykyarvo	Kuvaa tulevaisuudessa koituvan maksun tai tulon arvoa nykyhetken rahassa ilmaistuna.
Osallistumisaste eli keräyksen kattavuus	Se osuus kiinteistöistä (%), joka kuuluu mukaan erilliskerättävän jakeen keräykseen.
REF	Muoveja ja paperikuituja sisältävä kierrätyspolttoaine, recycled fuel. Termiä käytetään Suomessa, mutta kansainvälisesti tunnetumpi lyhenne on SRF, solid recovered fuel.
Sanomalehtipaperi	Keräyspaperijae, jota käytetään sanomalehdissä.
SLCC	Yhteiskunnallinen elinkaarikustannus kuvaa annetun tuotejärjestelmän elinkaaren aikaisia yksityisten ja ulkoisten nettokustannusten summaa.
SRF	Kansainvälinen lyhenne muoveja ja paperikuituja sisältävälle kierrätyspolttoaineelle, solid recovered fuel. Ks. myös REF.
Toiminnallinen yksikkö	Yksikkö, jota kohden elinkaari-inventaarion päästöt lasketaan. Jätehuoltotarkasteluissa toiminnallisena yksikkönä käytetään yleensä 1 t jätettä tai 1 t jätettä.
Toimipaikkajäte	Toimipaikkojen eli eri alan yritysten tuottama jäte.
Toimipaikkakiinteistö	Kiinteistö, jota käytetään yritystoimintaan.
Tuotejärjestelmä	Elinkaariarvioinnissa käytetty nimitys tarkasteltavalle kokonaisuudella. Pitää sisällään tiettyihin toimintoihin liittyvät valmistus-, jaostus-, loppukäyttö- ja hävitys- ja energiantuotantoprosessit kuljetuksineen.
Uudelleenkäyttö	Materiaalin käyttö samassa käyttötarkoituksessa uudelleen.
Uusiokäyttö	Materiaalin käyttö uudelleen jossakin muussa käyttötarkoituksessa.
Velvoiteraja	Asuinkiinteistöt: huoneistomäärältään sen kokoinen kiinteistö, jonka on osallistuttava jätejakeen erilliskeräykseen. Esim. pääkaupunkiseudulla paperille 5 huoneistoa/kiinteistö ja sitä suuremmat kiinteistöt. (2004) Toimipaikat: sen verran jätettä tuottava kiinteistö, että sen on osallistuttava jätejakeen erilliskeräykseen. Esim. pääkaupunkiseudulla paperille 50 kg/kiinteistö/viikko (2004).
Yhteiskunnallinen kustannus	Yhteiskunnallinen kustannus kattaa yksityiset sekä hintajärjestelmälle ulkoiset, mutta reaalisesti yhteiskunnalle koituvat kustannukset.
Yksikköprosessi	Tuotejärjestelmään kuuluva osaprosessi. Kaikki yksikköprosessit yhdessä muodostavat tuotejärjestelmän.

Lähteet

- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Tiedotteita 2045, Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT, Espoo.
- Björklund, A. 2000. Environmental systems analysis of waste management – Experiences from applications of the ORWARE model. Doctoral thesis. Division of industrial ecology. Dep. of chemical engineering and technology. Royal Institute of Technology, Stockholm.
- Bärring, M., Nyström, O., Nilsson, P-A., Olsson, F., Egard, M. & Jonsson, P. 2003. El från nya anläggningar. Elforsk rapport nr 03:14. Elforsk AB.
- Chiang, A. C. 1984. Fundamental methods of mathematical economics. MacGraw Hill, Inc.
- Dahlbo, H., Laukka, J., Melanen, M. & Peltola, S. 2003. Elinkaarinäkökulma jätehuollon kestävyteen - tapaustarkasteluna sanomalehti, LCA-WASTE. (Life cycle approach to sustainability of waste management - a case study on newspaper). A review of the project status in: Yearbook 2003 of the Tekes technology programme STREAMS - Recycling Technology and Waste Management.
- 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. To be published in the Finnish Environment series.
- Ekvall, T. 1999. Key methodological issues for life cycle inventory analysis of paper recycling. Journal of Cleaner Production 7(4): 281-294.
- Ekvall, T. & Finnveden, G. 2000. The application of life cycle assessment to integrated solid waste management. Part 2 – Perspectives on energy and material recovery from paper. Transactions of the Institution of Chemical Engineers, Part B: Process Safety and Environmental Protection, 78: 288-294.
- Energy Information administration 2005. www.eia.doe.gov
- Goedkoop, M. & Spriensma, R. 2001. The Eco-indicator 99 – A damage oriented method for life cycle impact assessment. Methodology report. Third edition 22.6.2001. Amersfoort, The Netherlands, PRé Consultants B.V.
- Grönroos, E. 2002. Jätteenpolttolaitoksen prosessikuvaus. Suullinen ja kirjallinen tiedonanto. Turun kaupungin jätteenpolttolaitos.
- Hukkanen, J. 2002. Tiedonanto. UPM-Kymmene Oyj.
- ISO (International Standards Organization) 1997. ISO 14040: Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja Pääpiirteet. Geneve: ISO.
- ISO 1998. ISO 14041: Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely sekä inventaarioanalyysi. Geneve: ISO.
- ISO 2000a. ISO 14042: Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Vaikutusarviointi. Geneve: ISO.
- ISO 2000b. ISO 14043: Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Tulosten tulkinta. Geneve: ISO.
- Itävaara, M. 2001. Jätevirtojen hallinta USA:ssa. VTT julkaisuja 851. Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT, Espoo.
- Jebson, R.S. 2002. Capital cost estimation for chemical engineering projects. Paper #407. Institute of Food Science, Nutrition and Human Health. Massey University, New Zealand. www.cape.canterbury.ac.nz/Apcche_Proceedings/APCChE/Data/407rev2.pdf
- Karhu, H. 2003. Tiedonanto. Suunnittelukeskus Oy.
- Keskuslaboratorio Oy – Centrallaboratorium ab 2004. KCL-ECO elinkaari-inventaario-ohjelma, www.kcl.fi > LCA Products and Services
- Laukka, J. 2003. Life cycle inventories of newspaper with different waste management options. Pro-gradu-tutkielma. Ympäristötieteen koulutusohjelma. Kuopion yliopiston ympäristötieteiden laitos, Kuopio.
- Lehtonen, K., Tontti, T. & Kuisma, M. 2003. Biojäte- ja lietekompostien käyttömahdollisuudet kasvintuotannossa, Maa- ja elintarviketalous 28. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus.

- Lindfors, L.-G., Christiansen, K., Hoffman, L., Virtanen, Y., Juntila, V., Hanssen, O. J., Rönning, A., Ekvall, T. & Finnveden, G. 1995a. Nordic guidelines on life-cycle assessment. Copenhagen, Nordic Council of Ministers. Nord 1995:20.
- Lohiniva, E, Sipilä, K., Mäkinen, T. & Hietanen, L. 2002. Jätteiden energiakäytön vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin. VTT Tiedotteita 2139. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo.
- Loikala, J. 2001. Pääkaupunkiseudun jätteenkäsittelystrategia. Taustaselvitys. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 2001:10. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta YTV, Helsinki.
- Ludwig, C., Hellweg, S. & Stucki, S. 2003. Municipal Solid Waste Management. Strategies and Technologies for Sustainable Solutions.
- McDougall, F, White, P, Franke, M. & Hindle, P. 2001. Integrated Solid Waste Management: A Life Cycle Inventory. IWM-2-ohjelma. Oxford.
- Mäkinen, T, Sipilä, K., Hietanen, L. & Heikkonen, V. 2000. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 2000:10. Pääkaupunkiseudun jätteiden energiakäyttöselvitys. Loppuraportti. VTT Energia.
- Paasonen, S. 2003. Tiedonanto. Vantaan Energia Oy.
- Paatero, P. 2000. Puhdistamolietteiden hyödyntämis- ja loppusijoitusvaihtoehdot sekä niiden vertailu. Suomen ympäristö 210. Helsinki.
- Paavo Ristola Oy 2001. Kaasutuslaitoksen ympäristövaikutusten arviointiselostus. Vantaan Energia Oy, Helsinki.
- Paperinkeräys Oy 2003. <http://www.paperinkerays.fi>
- Pelkonen, M., Rauta, E. & Tanskanen, J-H. 2000. Yhdyskuntajätehuollon päästöjen järjestelmätarkastelu. TKK-VHT-21. Vesihuoltotekniikan laboratorio. Teknillinen korkeakoulu, Espoo.
- Peltola, S. 2003. Kotikeräyspaperin kierrätyksen kustannukset YTV:n alueella. Pro gradu -tutkielma. Ympäristöekonomian laitos. Helsingin yliopisto, Helsinki.
- Petäjä, J. 2003. Tiedonanto. Suomen ympäristökeskus (SYKE).
- PRé Consultants 2005. SimaPro 6 LCA software. www.pre.nl > SimaPro 6 LCA Software
- Project Planning and Management Ltd. 2003. Promoter. Project finance modelling software. Glossary of terms. Lang exponent. <http://www.promoter.com/glossary.htm>
- Pulkkinen, P, Holopainen, M. & Keinänen, K. 2001. Talous- ja rahoitusmatematiikka. WSOY.
- RIL Rakennusinsinöörien liitto 1983. Jätehuolto. Yhdyskuntajätteen keräily ja kuljetus. Helsinki.
- Ruuskanen, P. 2002. Tiedonanto. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta YTV.
- SCC Viatek 2003. Kotitalouksien sekajätteen määrä- ja laatututkimus. Väli­raportti 1. YTV Jätehuolto.
- SCC Viatek 2003. Kotitalouksien sekajätteen määrä- ja laatututkimus. Väli­raportti 2. YTV Jätehuolto.
- Seppälä, J. 1999. Decision analysis as a tool for life cycle impact assessment. LCA Documents, Vol. 4, edited by W. Klöpffer and O. Hutzinger. Bayreuth, Eco-Inforna Press.
- Seppälä, J. 2003. Life cycle impact assessment based on decision analysis. Systems Analysis Laboratory Research Reports A86. Doctoral dissertation. Department of Engineering Physics and Mathematics. Helsinki University of Technology, Espoo.
- Seppälä, J. & Melanen, M. 2004. Indikaattorit ja malli Kymenlaakson ekotehokkuuden arviointia varten. Päivitetty: 31.5.2004. Viitattu: 14.7.2004. Saatavissa internetistä: www.ymparisto.fi > Suomen ympäristökeskus > Tutkimus > Hankkeet ja tulokset > Alueellinen ekotehokkuus – esimerkkinä Kymenlaakso (ECOREG) > Ekotehokkuus_indikaattorit_malli.pdf
- Steen, B. 1999a. A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS). Version 2000 – General system characteristics. Gothenburg, Chalmers University of Technology. CPM report 1999:4.
- Steen, B. 1999b. A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS). Version 2000 – Models and data of the default method. Gothenburg, Chalmers University of Technology. CPM report 1999:5.
- Suunnittelukeskus Oy 2003. Sekajätteen käsittelylaitos. Tekninen hankesuunnitelma. YTV Jätehuolto.
- Suunnittelukeskus Oy 2003b. Jätteenkäsittelykeskuksen laajennusalue. Hankesuunnitelma. YTV Jätehuolto.

- Tanskanen, J.-H. 1997. YTV:n alueen jätehuollon mallintaminen. Loppuraportti. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1997:2. YTV Jätehuoltolaitos.
- Tanskanen, J.-H. 1996. Syntypaikkalajitteluun perustuvan yhdyskuntajätehuollon tarkastelu – jätevirrat, kustannukset ja päästöt. Suomen ympäristö 38. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.
- Tanskanen, J.-H. 2000. An approach for evaluating the effects of source separation on municipal solid waste management. Väitöskirja. Teknillinen korkeakoulu, Helsinki.
- Teittinen, H. 2002. Keräyspaperin ominaisuuksia. Tiedonanto. Paperinkeräys Oy.
- Tekstiili- ja vaateteollisuus ry 2002. Tekstiilien kierrätys. <http://www.finatex.fi/html/pdf/TY5.pdf>
- Thermoselect s.a. 2004. www.thermoselect.ch
- VAHTI. Ympäristönsuojelun tietojärjestelmä. Ympäristöhallinto.
- Vesanto, P. 2002. Jätteiden energiakäyttö muutoksessa 2002. Suomen Kaukolämpö ry.
- Vilenius, P. 1999. Paperin ja kartongin kulutus Suomessa 1998. Paperinkeräys Oy.
- Vinnari, E. 2003. Pirkanmaan biojätehuollon järjestelmä- ja kustannustarkastelu. Opinnäytetyö. Bio- ja ympäristötekniikan laitos. Ympäristötekniikan osasto. Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere.
- VNA 9.11.2000/931. Valtioneuvoston asetus maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta. Annettu Helsingissä 9.11.2000. Suomen säädöskokoelma 931/2000: 2371-2376.
- VNP 14.4.1994/282. Valtioneuvoston päätös puhdistamolietteen käytöstä maanviljelyksessä. Annettu Helsingissä 14.4.1994. Suomen Säädöskokoelma 282/1994.
- VNP 4.9.1994/861. Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista. Annettu Helsingissä 4.9.1997. Suomen Säädöskokoelma 861/1997: 3204-3212.
- VpA 22.12.1993/1390. Jäteasetus. Helsinki 22.12.1993. Suomen säädöskokoelma 1390/1993.
- VpL 3.12.1993/1072. Jätelaki. Helsinki 3.12.1993. Suomen Säädöskokoelma 1072/1993.
- VTT – Valtion teknillinen tutkimuskeskus 2002. VTT-Lipasto. <http://lipasto.vtt.fi>
- Wilén, C., Salokoski, P., Kurkela, E. & Sipilä, K. 2004. Finnish expert report on best available techniques in energy production from solid recovered fuels. The Finnish Environment nr 688.
- YTV – SAD Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta 1991. Pääkaupunkiseudun yhdyskuntajätteen koostumus 1990. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1991:3.
- YTV – Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta 2002. Pääkaupunkiseudun yleiset jätehuoltomääräykset 1.1.2002. <http://www.ytv.fi/jateh/ytv/suomi.pdf>
- YTV – Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta 2003. Hinnat ja määräykset. <http://www.ytv.fi/jateh/index.html>
- Ympäristöministeriö 2002. Tarkistettu valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2005. Helsinki: Ympäristöhallinto. Päivitetty: 29.1.2004. Viitattu: 1.7.2004. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=2655&lan=fi>
- Ympäristöministeriö 2003. Kansallinen biojätestrategia. Helsinki: Ympäristöhallinto. Päivitetty: 29.1.2004. Viitattu: 22.6.2004. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=2657&lan=fi>
- Örn, J. 2002. Puunkorjuun ja puutavaran kaukokuljetuksen suoritteet ja kustannukset vuonna 2002. Metsäteho.

Liite I. Jätehuollon suunnitelmien ja strategioiden yksityiskohtia.

Tarkistettu valtakunnallinen jätesuunnitelma

Valtakunnallisessa jätesuunnitelmassa on asetettu jätelaji- ja toimialakohtaiset jätteen hyötykäyttö- ja vähentämistavoitteet (taulukko 60).

Taulukko 60. Jätelaji- ja toimialakohtaiset yhdyskuntajätteen hyötykäyttö- ja synnyn ehkäisytaavoitteet (Tarkistettu valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2005)

Yhdyskuntajätelaji	Hyödyntämistäaste 1997 (%)	Hyödyntämistäaste 2005 (%)	Synnyn ehkäisytaavoite (%)
Paperi ja pahvi		80	-20
Aaltopahvi		85	-15
Muovi		70	-17
Lasi		75	-15
Metalli		95	-17
Pakkausjätteet		70	-6
Yhdyskuntalietteet	91	90	-10
Toimiala	Hyödyntämistäaste 1997 (%)	Hyödyntämistäaste 2005 (%)	Synnyn ehkäisytaavoite (%)
Kaivostoiminta	-	-	-
Maaseutuelinkeinot	92	100	-
Teollisuus	61	70	-15
Talonrakentaminen	41	70	-15
Energiantuotanto	65	70	-5
Yhdyskunnat	38	70	-15

Kansallinen biojätestrategia

EY:n neuvoston kaatopaikkadirektiivin mukaisessa kansallisessa strategiassa mietittiin keinoja vähentää kaatopaikoille sijoitettavien, biohajoavien jätteen määrää. Työryhmän ehdotuksessa on esitetty 3 vaihtoehtoista keinoa, joiden avulla päästään valtakunnallisen jätesuunnitelman hyödyntämistävoitteisiin ja otetaan huomioon vaatimus käsittelemättömän biojätteen kaatopaikkasijoituskiellosta. Näillä ehdoin työryhmä sai biohajoavan jätteen käsittelylle kolme erilaista vaihtoehtoa, joissa käsittelyt jakautuivat eri suhteissa eri käsittelymenetelmien kesken (taulukko 61). Alueellisesti valittavaksi laatimistaan vaihtoehtoista (Ve) työryhmä päätyi suosittamaan vaihtoehtoa 2.

Taulukko 61. Biojättestrategiatyöryhmän vertailemat biohajoavan jätteen käsittelyvaihtoehdot (Ve). Työryhmän suositus on vaihtoehto 2.

Käsittelymenetelmä	Nykytila (%)	Ve 1 (%)	Ve 2 (%)	Ve 3 (%)
Kierrätys	19	28	28	29
Biologinen hyödyntäminen	10	26	15	10
Energiahyödyntäminen	12	21	24	38
Erilliskerätty energijae (REF)		17	11	7
Sekajätteestä valmistettu energijae (REF)			9	
Massapoltto		2	3	29
Muut		1	1	1
Kaatopaikka	59	20	20	20

Liite 2. Kaavaliite.

Erilliskerättyjen jätteiden todelliset kertymät voidaan laskea kaavalla 1:

$$a_{g,i} = \frac{r_{g,i}}{100} \cdot w_{g,i} \cdot m_g \quad (1)$$

- jossa a = erilliskeräykseen päätyvän jättejakeen määrä (t/v)
r = jättejakeen keräysaste (%)
w = jättejakeen tuotannon ominaisjättemääräkerroin (t/hlö/v)
m = asukas- tai työntekijämäärä (hlö)
g = jätteentuottajaryhmää kuvaava alaindeksi
i = jätejakeetta kuvaava alaindeksi

Keräysaste voidaan määrittellä keräyksen kattavuuden ja keräykseen osallistuvien lajittelutehokkuuden avulla (kaava 2).

$$r_{g,i} = \frac{p_{g,i}}{100} \cdot e_{g,i} \quad (2)$$

- jossa r = tuotetun jättejakeen erilliskeräysaste (%)
p = osallistumisaste jättejakeen erilliskeräykseen (%)
e = lajittelutehokkuus (%)
g = jätteentuottajaryhmää kuvaava alaindeksi
i = jätejakeetta kuvaava alaindeksi

Jättejakeen i vaatima keräysastiatilavuus v voidaan laskea keräyspistekohtaisesti (kaava 3)(LT3.1, LT3.2):

$$v_{g,i} = \frac{a_{g,i}}{\frac{\alpha_{g,i}}{100} \cdot \beta_{i,c} \cdot f_{g,i}} \quad (3)$$

- jossa v = keräysastiatilavuus (m³)
a = kiinteistöllä tuotetun jättejakeen määrä (t/v)
α = astian täyttöaste (%)
β = jättejakeen tilavuuspaino (t/m³)
f = tyhjennystiheys (a⁻¹)
g = jätteentuottajaryhmää kuvaava alaindeksi
c = jäteastiatyyppiä kuvaava alaindeksi
i = jätejakeetta kuvaava alaindeksi

Keräyspisteen astiamäärä voidaan laskea kaavalla 4 (LT3.1, LT3.2):

$$n_{g,i,c} = \frac{v_{g,i}}{V_c} + q \quad (4)$$

- jossa n = astioiden lukumäärä (-)
v = jättejakeen vaatima keräysastiatilavuus (m³)
V = jätteen keräysastian tilavuus (m³)
q = pyöristysvakio, joka kuvaa astialukumäärän pyöristämisessä keskimäärin tarvittavaa keräysastioiden tilavuusylimäärää (0,32)
g = jätteentuottajaryhmää kuvaava alaindeksi
c = jäteastiatyyppiä kuvaava alaindeksi
i = jätejakeetta kuvaava alaindeksi

Ajo- ja tyhjäkäyntisuorite tyhjennyksen eri vaiheissa voidaan ilmoittaa jätetonni-kohtaisena aikana (kaava 5) (vrt. Tanskanen 2000, kaava 16).

$$t_{c,v,g,i} = \left[\frac{(t_{ta\ c,v,g,i} + t_{sa\ c,v,g,b,i}) \cdot f_{g,i}}{60 \cdot a_{g,i}} + \frac{(t_{ka\ v,g,i} + \lambda_v)}{l_{v,i}} \right] \cdot \frac{(100 + \varphi)}{100} \quad (5)$$

- jossa t = jätteiden keräykseen ja kuljetukseen kuluva aika (h/t)
 t_{ta} = astioiden tyhjentämiseen kuluva aika (min/kiinteistö)
 t_{sa} = keräyspisteiden väliseen siirtymäajoon kuluva aika (min/kiinteistö)
 f = tyhjennystiheys (a^{-1})
 t_{ka} = jätteiden kuljetukseen kuluva aika (h/kuorma)
 λ = kuorman purkuaika (h)
 a = kiinteistöllä tuotetun jätejakeen määrä (t/v)
 l = kuorman koko (t)
 φ = tyhjäkäyntiä kuvaava hukka-aikakerroin (20 %)
 60 = ajan muuntokerroin (min)
 c = jäteastiatyyppiä kuvaava alaindeksi
 v = ajoneuvotyyppiä kuvaava alaindeksi
 g = jätteen tuottajaryhmää kuvaava alaindeksi
 b = erilliskeräyksen kattavuutta kuvaava alaindeksi
 i = jätejakeen kuvaava alaindeksi

Keräystyössä syntyvien päästöjen kokonaismäärä (P) tarkasteltavan jätteen tuottajaryhmän kiinteistöltä kerättävää jätetonnin kohti riippuu käytetyn ajoneuvon ominaisuuksista (kaava 6) (vrt. Tanskanen 2000, kaava 17).

$$P_{c,v,g,i,\sigma,\varepsilon} = T_{ta\ c,v,g,i} \cdot p_{v,k,s,\sigma,\varepsilon} + T_{sa\ v,g,b,i,k} \cdot p_{v,k,s,\sigma,\varepsilon} + T_{ka\ v,g,i} \cdot p_{v,k,s,\sigma,\varepsilon} \quad (6)$$

- jossa P = jätteiden keräyksessä yhteensä syntyvät päästöt (g/t)
 T_{ta} = astioiden tyhjentämisessä kuluva kokonaisaika (h/t)
 T_{sa} = keräyspisteiden välisessä siirtymisajossa kuluva aika (h/t)
 T_{ka} = kuorman purkupisteelle tapahtuvan kuljetusajon kokonaisaika (h/t)
 p = keräilyajoneuvon ominaispäästökerroin (g/h)
 c = jäteastiatyyppiä kuvaava alaindeksi
 v = ajoneuvotyyppiä kuvaava alaindeksi
 g = jätteen tuottajaryhmää kuvaava alaindeksi
 b = erilliskeräyksen kattavuutta kuvaava alaindeksi
 i = jätejakeen kuvaava alaindeksi
 k = kuorman täyttöastetta kuvaava alaindeksi
 s = keskinopeutta kuvaava alaindeksi
 σ = ajon jakautumista maantie- ja katuajoksi kuvaava alaindeksi
 ε = päästökomponenttia kuvaava alaindeksi

Keräilyajoneuvon päästöt (E) kuormalla l voidaan laskea, kun tunnetaan mittauksiin perustuvat tiedot ajoneuvon päästöistä tyhjällä ja täydellä kuormalla (kaava 7) (VTT Lipasto). Päästökerroin E on päästötarkasteluja varten muunnettu oletetun keskinopeuden avulla tuntikohtaiseksi kuvaamaan käyntiajan aiheuttamaa päästöä. (kaava 8).

$$E_{v,i,\sigma,\gamma,\varepsilon} = \frac{\left(e_{z,\sigma,\gamma,\varepsilon} + (e_{fl,\sigma,\gamma,\varepsilon} - e_{z,\sigma,\gamma,\varepsilon}) \cdot \frac{l_{v,i}}{y_v} \right)}{l_{v,i}} \quad (7)$$

$$p_{v,k,s,\sigma,\gamma,\varepsilon} = E_{v,i,\sigma,\gamma,\varepsilon} \cdot S_{v,g,i} \cdot l_{v,i} \quad (8)$$

jossa E	= ajoneuvon tuottama päästö (g/tkm)
e	= ajoneuvon tuottama päästö (g/km)
l	= kuorman koko (t)
y	= ajoneuvon kantavuus (t)
p	= keräilyajoneuvon ominaispäästökerroin (g/h)
S	= keräysajoneuvon keskinopeus (km/h)
z	= tyhjää kuormaa kuvaava alaindeksi
fl	= täyttä kuormaa kuvaava alaindeksi
v	= ajoneuvotyyppiä kuvaava alaindeksi
k	= kuorman täyttöastetta kuvaava alaindeksi
i	= jättejaetta kuvaava alaindeksi
s	= keskinopeutta kuvaava alaindeksi
σ	= ajon jakautumista maantie- ja katuajoksi kuvaava alaindeksi
γ	= ajoneuvon ikää kuvaava alaindeksi
ε	= päästökompontenttia kuvaava alaindeksi

Kun päästökerronta määritellään aikasuoritteelle, jossa moottoria käytetään paikallaan, käytetään keskinopeusoletusta kuvaamaan työn vaatimaa moottoritehoa, koska valmiita päästökertoimia ei ole saatavissa tyhjennyskäynnille. Suurimmilla päästökertoimilla keskinopeus on katuajossa 25 km/h ja polttoaineen kulutukseksi ajoneuvon iästä riippuen saadaan noin 7,0 l/h (VTT Lipasto). Luku vastaa suuruusluokaltaan aikaisempien tutkimusten tuloksia, joissa kulutuksen on arvioitu olleen 7 – 10 l/h (Pelkonen ym. 2000).

Tyhjentämiseen kuluvan ajan yhtälöt voidaan kuvaajien avulla ratkaista kiinteistökohtaisesti kooltaan 200, 240 ja 600 litraa oleville astioille (kaavat 9, 10, 11) (LT3)

$$t_{ta\ c=600,v,g,i} = 0,9488 \cdot n_{g,c=600,i} + 0,9517 \quad (9)$$

$$t_{ta\ c=240,v,g,i} = 0,0035 \cdot n_{g,c=240,i}^4 - 0,05 \cdot n_{g,c=240,i}^3 + 0,2354 \cdot n_{g,c=240,i}^2 + 0,2932 \cdot n_{g,c=240,i} + 0,8467 \quad (10)$$

$$t_{ta\ c=200,v,g,i} = 0,6626 \cdot n_{g,c=200,i} + 0,1995 \quad (11)$$

$$t_{ta\ c=1300,4000,6000,v,g,i} = 6 \cdot n_{g,c=1300,4000,6000,i} \quad (12)$$

jossa t_{ta}	= astioiden tyhjentämiseen kuluva aika (min/kiinteistö)
n	= astioiden lukumäärä (-)
g	= jätteentuottajaryhmää kuvaava alaindeksi
c	= jätteastiatyyppiä kuvaava alaindeksi
i	= jättejaetta kuvaava alaindeksi

Kiinteistön astioiden tyhjentämisessä syntyneet päästöt (P_{ta}) voidaan ratkaista ajoneuvokohtaisen päästökertoimen (p) avulla (kaavat 13, 14):

$$T_{ta\ c,v,g,i,k} = \frac{t_{ta\ c,v,g,i} \cdot f_{g,i} \cdot (100 + \varphi)}{60 \cdot a_{g,i}} \quad (13)$$

$$P_{ta\ c,v,g,i,k,\sigma,\gamma,\varepsilon} = T_{ta\ c,v,g,i,k} \cdot P_{v,k,s,\sigma,\gamma,\varepsilon} \quad (14)$$

jossa T_{ta} = astioiden tyhjentämisessä kuluva kokonaisaika (h/t)
 P_{ta} = astioiden tyhjentämisessä syntyvät päästöt (g/t)
 t_{ta} = astioiden tyhjentämiseen kuluva aika (min/kiinteistö)
 f = tyhjennystiheys (a^{-1})
 a = keräyspisteellä tuotetun jätėjakeen määrä (t/v)
 φ = tyhjäkäyntiä kuvaava hukka-aikakerroin (20 %)
 p = keräilyajoneuvon ominaispäästökertoimen (g/h)
 60 = ajan muuntokerroin (min)
 c = jäteastiatyyppiä kuvaava alaindeksi
 v = ajoneuvotyyppiä kuvaava alaindeksi
 g = jätteentuottajaryhmää kuvaava alaindeksi
 i = jätējaetta kuvaava alaindeksi
 k = kuorman täyttöastetta kuvaava alaindeksi
 s = keskinopeutta kuvaava alaindeksi
 σ = ajon jakautumista maantie- ja katuajoksi kuvaava alaindeksi
 γ = ajoneuvon ikää kuvaava alaindeksi
 ε = päästökomponenttia kuvaava alaindeksi

Keräyspisteiden väliseen siirtymäajoon (t_{sa}) kuluva aika riippuu kiinteistöjen ja aluekeräyspisteiden välisestä etäisyydestä (kuva 7). Siirtymäaika voidaan laskea kuvaajalle sovitettujen yhtälöiden avulla (kaavat 15, 16, 17) (LT3.1, LT3.2).

$$0\ m \leq d_{g,b} \leq 61\ m$$

$$t_{sa\ c,v,g,b,i} = 0,0116 \cdot d_{g,b} \quad (15)$$

$$61\ m > d_{g,b} \leq 900\ m$$

$$t_{sa\ c,v,g,b,i} = 1E-09 \cdot d_{g,b}^3 - 4E-06 \cdot d_{g,b}^2 + 0,0058 \cdot d_{g,b} + 0,3375 \quad (16)$$

$$d_{g,b} > 900\ m$$

$$t_{sa\ c,v,g,b,i} = 0,0012 \cdot d_{g,b} + 1,9798 \quad (17)$$

jossa t_{sa} = keräyspisteiden väliseen siirtymäajoon kuluva aika (min/kiinteistö)
 d = keräyspisteiden välinen etäisyys (m)
 c = jäteastiatyyppiä kuvaava alaindeksi
 v = ajoneuvotyyppiä kuvaava alaindeksi
 g = jätteentuottajaryhmää kuvaava alaindeksi
 b = erilliskeräyksen kattavuutta kuvaava alaindeksi
 i = jätējaetta kuvaava alaindeksi
 k = kuorman täyttöastetta kuvaava alaindeksi
 σ = ajon jakautumista maantie- ja katuajoksi kuvaava alaindeksi

Siirtymääjon päästöt (P_{sa}) voidaan edelleen laskea jätetonnikohtaista kokonaisaika (kaava 18) ja ominaispäästökerrointa (p) käyttäen (kaava 19) (LT3.1, LT3.2).

$$T_{sa \ v,g,b,i,k} = \frac{t_{sa \ c,v,g,b,i} \cdot f_{g,i} \cdot (100 + \varphi)}{60 \cdot a_{g,i}} \cdot \frac{100}{100} \quad (18)$$

$$P_{sa \ c,v,g,i,k,\sigma,\gamma,\varepsilon} = T_{sa \ c,v,g,i,k} \cdot P_{v,k,s,\sigma,\gamma,\varepsilon} \quad (19)$$

jossa T_{sa} = keräyspisteiden välisessä siirtymääjossa kuluva kokonaisaika (h/t)
 f = tyhjennystiheys (a-1)
 a = keräyspisteellä tuotetun jättejakeen määrä (t/v)
 φ = tyhjäkäyntiä kuvaava hukka-aikakerroin (20 %)
 P_{sa} = kiinteistöjen välisessä siirtymääjossa syntyvät päästöt (g/t)
 p = keräilyajoneuvon ominaispäästökerroin (g/h)
 60 = ajan muuntokerroin (min)
 c = jäteastiatyyppiä kuvaava alaindeksi
 v = ajoneuvotyyppiä kuvaava alaindeksi
 g = jätteen tuottajaryhmää kuvaava alaindeksi
 b = erilliskeräyksen kattavuutta kuvaava alaindeksi
 i = jätejakeen kuvaava alaindeksi
 s = keskinopeutta kuvaava alaindeksi
 σ = ajon jakautumista maantie- ja katuajoksi kuvaava alaindeksi
 γ = ajoneuvon ikää kuvaava alaindeksi
 ε = päästökompontenttia kuvaava alaindeksi

Kuorman tyhjentämisessä purkupisteeseen kuluva aika (t_{ka}) voidaan laskea oletetun keskimääräisen edestakaisen etäisyyden ja keräysajoneuvon keskinopeuden avulla (kaava 20).

$$t_{ka \ v,g,i} = \frac{h_g}{s_{v,g,i}} \quad (20)$$

Tyhjennysajon aikana syntyvät päästöt (P_{ka}) ratkaistaan jätetonnikohtaista kokonaisaika (T_{ka}) (kaava 21) ja ominaispäästökerrointa (p) käyttäen (kaava 22) (LT3.1, LT3.2).

$$T_{ka \ v,g,i} = \frac{t_{ka \ v,g,i} + \lambda_v \cdot (100 + \varphi)}{l_{v,i}} \cdot \frac{100}{100} \quad (21)$$

$$P_{ka \ c,v,g,i,k,\sigma,\gamma,\varepsilon} = T_{ka \ v,g,i} \cdot P_{v,k,s,\sigma,\gamma,\varepsilon} \quad (22)$$

jossa t_{ka} = keräyspisteeltä kuorman purkupisteeseen kuluva ajoaika (h)
 s = keräysajoneuvon keskinopeus (km/h)
 h = keräyspisteiden ja purkupisteiden välinen edestakainen matka (km)
 T_{ka} = kuorman purkupisteelle tapahtuvan kuljetusajon kokonaisaika (h/t)
 λ = kuorman purkuaika (h/kuorma)
 l = kuorman koko (t)
 φ = tyhjäkäyntiä kuvaava hukka-aikakerroin (20 %)
 P_{ka} = kuorman purkupisteelle tapahtuvan kuljetusajon päästöt (g/t)
 p = keräilyajoneuvon ominaispäästökerroin (g/h)
 c = jäteastiatyyppiä kuvaava alaindeksi
 v = ajoneuvotyyppiä kuvaava alaindeksi
 g = jätteen tuottajaryhmää kuvaava alaindeksi

- i = jättejaetta kuvaava alaindeksi
- k = kuorman täyttöastetta kuvaava alaindeksi
- s = keskinopeutta kuvaava alaindeksi
- σ = ajon jakautumista maantie- ja katuajoksi kuvaava alaindeksi
- γ = ajoneuvon ikää kuvaava alaindeksi
- ε = päästökomponttia kuvaava alaindeksi

Keräily- ja kuljetustyön kustannukset U_{tot} voidaan laskea kulutetun työajan ja kulutetun polttoaineen tai tehdyn tyhjennystyön avulla (Tanskanen 2000), kun tiedetään tyhjennys- ja astiakohtaiset kustannukset (kaavat 23-25).

$$U_{tot\ c,i,g} = U_{c\ g,i} + U_{f\ g,i} \quad (23)$$

$$U_{c\ g,i} = uc_{g,i} \cdot \frac{n_{g,i,c}}{a_{g,i}} \quad (24)$$

$$U_{f\ g,i} = ut_{g,i} \cdot n_{g,i,c} \cdot \frac{f_{g,i}}{a_{g,i}} \quad (25)$$

- jossa U_{tot} = keräily- ja kuljetuskustannus (€/t)
 U_c = astiakustannus (€/t)
 U_f = tyhjennyskustannus (€/t)
 n = astioiden lukumäärä (-)
 uc = astiakohtainen vuosikustannus (€/astia/v)
 ut = astiakohtainen tyhjennyskustannus (€/tyhjennys)
 f = tyhjennystiheys (a^{-1})
 a = erilliskeräykseen päätyvän jättejakeen määrä (t/v)
 c = jätteastiatyyppiä kuvaava alaindeksi
 g = jätteentuottajaryhmää kuvaava alaindeksi
 i = jättejaetta kuvaava alaindeksi

Toinen vaihtoehto on käyttää laskentaan keräys- ja kuljetustyöhön kulunutta aikaa (t, ks. kaava 5) ja työn tuntikustannusta (kaava 26).

$$U_{tot\ c,i,g} = t_{c,v,g,i} \cdot ut_{g,i} \quad (26)$$

- jossa U_{tot} = keräily- ja kuljetuskustannus (€/t)
 t = jätteiden keräykseen ja kuljetukseen kuluva aika (h/t)
 ut = tyhjennyskustannus (€/h)

Sähkön ja lämmön päästökertoimien ratkaiseminen (kaavat 27 – 39):

Energiamuoto	Tuotettu energia	Energiantuotannon hyötysuhde	Primäärienergia	Päästöjen kohdistamiskerroin	Ominaispäästö
	E_{pow} (MWh)	η (%)	E_{prim} (MWh)	E_{η} (-)	$P_{järj/\eta\ \varepsilon}$ (t)
Sähkö	$E_{pow\ el}$	η_{el}	$E_{prim\ el}$	$E_{\eta\ el}$	$P_{järj/\eta\ \varepsilon, el}$
Lämpö	$E_{pow\ heat}$	η_{heat}	$E_{prim\ heat}$	$E_{\eta\ heat}$	$P_{järj/\eta\ \varepsilon, heat}$
Yhteensä	$E_{pow\ tot}$	η_{tot}	$E_{prim\ tot}$		

Energiamuoto	Tuotetun energia ja- kautuminen	Energiantuotannon hyötysuhde	Primäärienergian ja- kautuminen	Ominaispäästö
	$E_{pow-\%}$	η	$E_{prim-\%}$	$P_{järj/\eta, \epsilon}$
	(%)	(%)	(%)	(t)
Sähkö	$E_{pow-\% el}$	η_{el}	$E_{prim-\% el}$	$P_{järj/\eta, \epsilon, el}$
Lämpö	$E_{pow-\% heat}$	η_{heat}	$E_{prim-\% heat}$	$P_{järj/\eta, \epsilon, heat}$
Yhteensä		η_{tot}		

$$E_{pow\ tot} = E_{pow\ el} + E_{pow\ heat} \quad (27)$$

$$E_{pow-\% el} = \frac{E_{pow\ el}}{E_{pow\ tot}} \cdot 100 \quad (28)$$

$$E_{pow-\% heat} = \frac{E_{pow\ heat}}{E_{pow\ tot}} \cdot 100 \quad (29)$$

$$E_{prim\ el} = \frac{E_{pow\ el}}{\eta_{el}} \cdot 100 \quad (30)$$

$$E_{prim\ heat} = \frac{E_{pow\ heat}}{\eta_{heat}} \cdot 100 \quad (31)$$

$$E_{prim\ tot} = E_{prim\ el} + E_{prim\ heat} \quad (32)$$

$$E_{prim-\% el} = \frac{\frac{E_{pow-\% el}}{\eta_{el}}}{\frac{E_{pow-\% el}}{\eta_{el}} + \frac{E_{pow-\% heat}}{\eta_{heat}}} \cdot 100 \quad (33)$$

$$E_{prim-\% heat} = \frac{\frac{E_{pow-\% heat}}{\eta_{heat}}}{\frac{E_{pow-\% el}}{\eta_{el}} + \frac{E_{pow-\% heat}}{\eta_{heat}}} \cdot 100 \quad (34)$$

$$\eta_{tot} = E_{pow\ tot} / E_{prim\ tot} = \left(E_{pow-\% el} / \eta_{el} + E_{pow-\% heat} / \eta_{heat} \right)^{-1} \quad (35)$$

$$E_{\eta_{el}} = E_{prim-\% el} \cdot 0,01 = E_{prim\ el} / E_{prim\ tot} \quad (36)$$

$$E_{\eta_{heat}} = E_{prim-\% heat} \cdot 0,01 = E_{prim\ heat} / E_{prim\ tot} \quad (37)$$

$$P_{järj/\eta, \epsilon, el} = E_{\eta_{el}} \cdot P_{järj, \epsilon} \quad (38)$$

$$P_{järj/\eta, \epsilon, heat} = E_{\eta_{heat}} \cdot P_{järj, \epsilon} \quad (39)$$

jossa E_{pow} = energiantuotantolaitoksen tuottama energia (MWh)
 $E_{\text{pow-\%}}$ = energiamuodon osuus energiantuotantolaitoksen tuottamasta kokonaisenergiämäärästä (%)
 E_{prim} = energiantuotantolaitoksen tuottama primäärienergia (MWh)
 $E_{\text{prim-\%}}$ = energiamuodon osuus energiantuotantolaitoksen tuottamasta primäärienergiasta (%)
 η = hyötysuhde (%)
 E_{η} = energiantuotantolaitoksen päästöjen kohdistamiseen käytettävä kerroin (-)
 $P_{\text{järj}}$ = päästön kokonaismäärä (t)
 $P_{\text{järj}/\eta}$ = kohdistamiskertoimen avulla laskettu ominaispäästö (t)
 el = sähkön tuotantoa kuvaava alaindeksi
 $heat$ = lämmön tuotantoa kuvaava alaindeksi
 tot = kokonaismäärää kuvaava alaindeksi
 ε = ympäristökuormitetta kuvaava alaindeksi

Langin eksponenttiyhtälö (Project Planning and Management Ltd. 2003, Jebson 2002) (kaava 40):

$$C_a = C_b \cdot [Q_a / Q_b]^x \quad (40)$$

jossa C_a = laitoksen a perustamiskustannukset (e)
 C_b = vertailulaitoksen b perustamiskustannukset (e)
 Q_a = laitoksen a kapasiteetti (t/v tai MW)
 Q_b = vertailulaitoksen b kapasiteetti (t/v tai MW)
 x = Langin kustannuskapasiteettiekspONENTTI

Diskonttaustekijä (dis) riippuu korkokannasta ja tarkasteltavan ajanjakson pituudesta (kaava 41) (Chiang 1984):

$$dis = (1 + ri)^{-nt} \quad (41)$$

jossa dis = diskonttaustekijä
 ri = korkokanta (%)
 nt = ajanjakson pituus (a)

Annuiteettitekijä määritellään oletetun korkokannan ja oletetun käyttöiän avulla (kaava 42) (Pulkinen ym. 2001).

$$an = \frac{0,01ri \times (1 + 0,01ri)^{nt}}{(1 + 0,01ri)^{nt} - 1} \quad (42)$$

jossa an = annuiteettitekijä
 ri = korkokanta (%)
 nt = käyttöikä (a)

Hyvitysten laskeminen (kaavat 43 ja 44):

$$H_{\text{järj } \varepsilon} = P_{\text{järj } \varepsilon} - P_{\text{käyt } \varepsilon} \quad (43)$$

$$P_{-h \text{ järj } \varepsilon} = P_{\text{järj } \varepsilon} + H_{\text{järj } \varepsilon} \quad (44)$$

- jossa $H_{\text{järj}}$ = tarkasteltavan järjestelmän ympäristökuormituksessa huomioitava hyvitys (t)
 $P_{\text{järj}}$ = inventaariossa saatu tarkasteltavan järjestelmän ympäristökuormitus (t)
 $P_{\text{käyt}}$ = ympäristökuormitus vallitsevan käytännön mukaisessa tilanteessa (t)
 $P_{\text{hjärj}}$ = tarkasteltavan järjestelmän ympäristökuormitus, kun hyvitykset vallitsevaan käytäntöön nähden on huomioitu (t)
 ε = ympäristöä kuormittavaa tekijää kuvaava alaindeksi

LCIAssa perussääntö vaikutusluokan i indikaattorituloksen laskentaan on (Seppälä 2003):

$$I_i = \sum_{j=1}^m C_{i,j} \cdot x_j \quad ,i= 1,\dots,n \quad (45)$$

- missä I_i = indikaattoritulos vaikutusluokalle i
 $C_{i,j}$ = karakterisointikerroin kuormitustekijälle j vaikutusluokassa i
 x_j = kuormitustekijän (päästön, luonnonvarojen louhinnat tai maankäyttö) j määrä

Normalisoinnissa käytetään tyypillisesti seuraavaa yhtälöä (Seppälä 2003):

$$\frac{I_i(a)}{N_i} = \frac{\sum_{j=1}^m C_{i,j} \cdot x_j(a)}{\sum_{j=1}^m C_{i,j} \cdot x_j(R)} \quad ,i= 1,\dots,n \quad (46)$$

- missä $I_i(a)$ = vaikutusluokan i indikaattoritulos tuotejärjestelmästä a
 N_i = normalisointitekijä vaikutusluokalle i
 $C_{i,j}$ = karakterisointikerroin kuormitustekijälle j vaikutusluokassa i
 $x_j(a)$ = tuotejärjestelmän a aiheuttama kuormitustekijän j määrä
 $x_j(R)$ = referenssijärjestelmän R aiheuttama kuormitustekijän j määrä

Tuotejärjestelmän kokonaisvaikutusindikaattoritulosten laskennassa käytetään tyypillisesti seuraavaa aggregointisääntöä (Seppälä 2003):

$$I(a) = \sum_{i=1}^n w_i \frac{I_i(a)}{N_i} \quad (47)$$

joka koostuu vaikutusluokakohtaisista painokertoimista w_i sekä vaikutusluokkien i normalisointituloksista.

Liite 3. Ajoneuvojen päästökertoimet (VTT Lipasto).

		Kok. massa/ Kuorma 6 t / 3,5 t				Keskinop. maantieajossa: 83 km/h				Kok. massa/ Kuorma 15 t / 9 t				Keskinop. maantieajossa: 83 km/h				Kok. massa/ Kuorma 40 t / 25 t				Keskinop. maantieajossa: 81 km/h			
		Keskinop. katuajossa: 30 km/h								Keskinop. katuajossa: 25 km/h								Keskinop. katuajossa: 20km/h							
		EURO 0		EURO 1		EURO 2		EURO 3		EURO 0		EURO 1		EURO 2		EURO 3		EURO 0		EURO 1		EURO 2		EURO 3	
Päästö	Lasti	Maant.	Katu	Maant.	Katu	Maant.	Katu	Maant.	Katu	Maant.	Katu	Maant.	Katu	Maant.	Katu	Maant.	Katu	Maant.	Katu	Maant.	Katu	Maant.	Katu	Maant.	Katu
CO ₂	tyhjä	286	304	291	309	296	314	304	322	458	472	466	480	473	488	485	501	775	1200	787	1219	800	1239	821	1271
	täysi	329	402	335	409	340	415	349	426	560	702	570	714	579	725	594	744	1053	1763	1071	1791	1088	1820	1116	1868
CH ₄	tyhjä	0,03	0,05	0,02	0,04	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02	0,05	0,02	0,04	0,01	0,03	0,01	0,02	0,02	0,04	0,02	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02
	täysi	0,03	0,08	0,02	0,06	0,01	0,03	0,01	0,03	0,02	0,08	0,02	0,05	0,01	0,04	0,01	0,03	0,02	0,07	0,02	0,05	0,01	0,03	0,01	0,03
N ₂ O	tyhjä	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
	täysi	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
SO ₂	tyhjä	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,005	0,004	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,007	0,011	0,008	0,012	0,008	0,012	0,008	0,012
	täysi	0,003	0,004	0,003	0,004	0,003	0,004	0,003	0,004	0,005	0,007	0,005	0,007	0,006	0,007	0,006	0,007	0,010	0,017	0,010	0,017	0,010	0,017	0,011	0,018
NO _x	tyhjä	2,80	2,80	2,20	2,20	1,90	1,90	1,30	1,30	6,60	6,50	4,60	4,50	4,00	3,90	2,60	2,60	15,00	0,03	10,00	0,03	9,00	0,03	6,00	0,03
	täysi	4,20	4,00	3,50	3,20	2,90	2,70	2,10	1,90	8,70	10,0	6,10	7,20	5,20	6,20	3,50	4,10	19,00	0,04	13,00	0,04	12,00	0,04	7,70	0,04
PM	tyhjä	0,34	0,63	0,24	0,42	0,15	0,25	0,10	0,16	0,34	0,90	0,22	0,58	0,10	0,26	0,07	0,17	0,03	1,00	0,16	0,65	0,07	0,29	0,05	0,19
	täysi	0,60	0,38	0,43	0,24	0,28	0,13	0,19	0,07	0,40	0,90	0,26	0,58	0,12	0,26	0,08	0,18	0,33	1,00	0,22	0,66	0,10	0,30	0,07	0,20
HC	tyhjä	0,70	2,40	0,50	1,80	0,35	1,20	0,30	1,00	0,64	2,30	0,45	1,60	0,32	1,20	0,25	0,93	0,26	1,60	0,18	1,10	0,13	0,78	0,10	0,63
	täysi	0,60	2,30	0,40	1,60	0,30	1,20	0,25	1,00	0,54	2,00	0,38	1,40	0,27	1,00	0,21	0,81	0,24	1,40	0,17	1,00	0,12	0,72	0,10	0,57
CO	tyhjä	1,60	5,00	0,80	2,30	0,40	1,30	0,35	1,00	1,40	5,10	0,65	2,30	0,36	1,30	0,29	1,00	0,76	5,50	0,34	2,50	0,19	1,40	0,15	1,10
	täysi	1,70	5,10	0,88	2,30	0,55	1,30	0,46	1,00	1,60	5,00	0,73	2,30	0,41	1,30	0,33	1,00	0,89	4,90	0,40	2,20	0,22	1,20	0,18	1,00
Diesel	tyhjä	91	97	92	98	94	100	96	102	146	150	148	153	150	155	154	159	246	381	250	387	254	394	261	404
	täysi	105	128	106	130	108	132	111	135	178	223	181	227	184	230	189	236	335	560	340	569	346	578	355	593
Ener- gia	tyhjä	3,9	4,2	4,0	4,2	4,0	4,3	4,1	4,4	6,3	6,5	6,4	6,6	6,5	6,7	6,6	6,8	11,0	16,0	11,0	17,0	11,0	17,0	11,0	17,0
	täysi	4,5	5,5	4,6	5,6	4,6	5,7	4,8	5,8	7,7	9,6	7,8	9,8	7,9	9,9	8,1	10,0	14,0	24,0	15,0	24,0	15,0	25,0	15,0	26,0

Diesel-polttoaineen tiheys: 0,845 kg/l

Euro 0	Vuosimallit	= > 1991
Euro 1	Vuosimallit	1992 – 1995
Euro 2	Vuosimallit	1996 – 1998
Euro 3	Vuosimalli	1999 ja uudemmat

Kuvailulehti

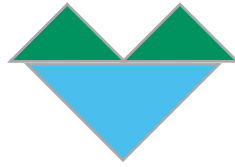
Julkaisija	Suomen ympäristökeskus (SYKE)		Julkaisu-aika Maaliskuu 2005
Tekijä(t)	Tuuli Myllymaa, Helena Dahlbo, Markku Ollikainen, Sanna Peltola ja Matti Melanen		
Julkaisun nimi	Menettely jätehuoltovaihtoehtojen ympäristö- ja kustannusvaikutusten elinkaaritarkasteluun		
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut	Julkaisu on saatavana myös internetistä www.ymparisto.fi/julkaisut		
Tiivistelmä	<p>Kulutuksen ja jätemäärien jatkuvasti lisääntyessä jätehuoltoratkaisuilla on yhä suurempi vaikutus tuotteiden elinkaaren ekologisuuteen ja kustannuksiin. Optimitilanteessa jätehuoltoratkaisujen ympäristövaikutukset ovat mahdollisimman pieniä ja tilanne on saavutettu mahdollisimman vähin kustannuksin. Sopivimpien jätehuoltoratkaisujen etsiminen ja vertailu edellyttää systemaattista, tapauskohtaista tarkastelua.</p> <p>Suomen ympäristökeskus (SYKE) ja Helsingin yliopisto toteuttivat 2002 - 2004 Tekes-rahoitettua hankkeen "Elinkaarinäkökulma jätehuollon kestävyteen - tapaustarkasteluna sanomalehti (LCA-WASTE)". Hankkeessa tutkittiin sanomalehden erilaisten jätehuoltovaihtoehtojen ekologisuutta ja kustannuksia ja kehitettiin saatujen tulosten pohjalta yksittäisten jätelajien jätehuoltoratkaisujen valintaan yleisesti sovellettavissa oleva menettely.</p> <p>LCA-WASTE-menettelyyn koottiin kokemuksia jätehuoltoratkaisujen valintaan ja paremmuuteen vaikuttavista tekijöistä ympäristö- ja kustannusnäkökulmasta. Menettely kuvaa elinkaariarviointiin (LCA) perustuvan jätehuoltovaihtoehtojen vertailuprosessin etenemistä vaiheittain ja esittää keinoja yhdistää saadut ekologiset ja kustannustiedot lopullisiksi johtopäätöksiksi. Menettelyn käytännön työkaluksi laadittiin kokoelma Excel-laskentataulukoita. Taulukoiden avulla saadaan mitoitettua tarkasteltavalle jätelajille suunniteltuja käsittelyprosesseja, joille ympäristö- ja kustannustietoja ryhdytään kokoamaan. Lisäksi taulukoita voidaan käyttää laskettaessa arvioita jätehuoltojärjestelmän tunnusluvuista ja kustannuksista. Laskentataulukot ovat käytettävissä hankkeen www-sivuilla: http://www.environment.fi/syke > Research > Research projects and results > Life cycle approach to sustainability of waste management - a case study on newspaper (LCA-WASTE) > LCA-WASTE-menettely.</p>		
Asiasanat	elinkaari, elinkaarianalyysi, LCA, ympäristövaikutukset, sanomalehtipaperi, kustannukset, SLCC, jätehuolto, jätteet		
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristö 750		
Julkaisun teema	Ympäristönsuojelu		
Projektihankkeen nimi ja projektinumero	LCA-WASTE		
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Teknologian kehittämiskeskus (Tekes)		
Projektiryhmään kuuluvat organisaatiot	Suomen ympäristökeskus (SYKE), Helsingin yliopisto (HY)		
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-1952-7	ISBN 952-11-1953-5 (PDF)
	Sivuja 108	Kieli suomi	
	Luottamuksellisuus Julkinen	Hinta 21 €	
Julkaisun myynti/ jakaja	Edita Publishing Oy, PL 800, 00043 Edita, vaihde 020 450 00 Asiakaspalvelu: puh. 020 450 05, telefax 020 450 2380 Sähköposti: asiakaspalvelu.publishing@edita.fi , www.edita.fi/netmarket		
Julkaisun kustantaja	Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki		
Painopaikka ja -aika	Vammalan Kirjapaino Oy, Vammala 2005		

Presentationsblad

Utgivare	Finlands miljöcentral (SYKE)	Datum Mars 2005	
Författare	Tuuli Myllymaa, Helena Dahlbo, Markku Ollikainen, Sanna Peltola och Matti Melanen		
Publikationens titel	Metoder för livscykelanalys av miljö- och ekonomiska effekter hos olika avfallshanteringsalternativ		
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt	Publikationen finns tillgänglig också på internet www.ymparisto.fi/julkaisut		
Sammandrag	<p>Då konsumtionen och avfallsmängderna hela tiden ökar har avfallshanteringsmetoderna allt större effekt på hur ekologiska produkterna är och på kostnaderna under deras livscykler. Optimalt är avfalls-hanteringsmetodernas miljöeffekter möjligast små och skapar lägsta möjliga kostnader. Att söka och jämföra de lämpligaste lösningarna för avfallshantering kräver systematiska fallstudier.</p> <p>Finlands miljöcentral (SYKE) och Helsingfors universitet genomförde under 2002-2004 ett projekt finansierat av TEKES kallat "Avfallshanteringens hållbarhet ur livscykelperspektiv – dags-tidningar som fallstudie (LCA-WASTE)". I projektet studerade vi ekologin och kostnaderna hos olika hanteringsmetoder för tidningspappersavfall och utvecklade med hjälp av dessa resultat en metod att välja lämpligaste avfallshanteringslösning för varje avfallsfraktion.</p> <p>För LCA-WASTE-metoden samlades erfarenheter om faktorer som ur ekologisk och ekonomisk syn-vinkel påverkar valet och rangordningen hos olika avfallshanteringslösningar. Metoden beskriver steg för steg hur den på livscykelanalys (LCA, life cycle assessment) baserade jämförelseprocessen av olika avfallshanteringsalternativ framskrider. Metoden ger också förslag till hur erhållna ekologiska och ekonomiska data kan kopplas ihop för slutliga de konklusionerna. En samling Excel-kalkyltabeller konstruerades för att bearbeta metoden i praktiken. Med tabellerna kan man dimensionera de behandlingsprocesser man planerat för den avfallsfraktion man studerar och för vilken man planerar att samla in miljö- och kostnadsuppgifter. Vidare kan man använda tabellerna när man approximerar avfallshanteringsystemets parametrar och kostnader. Kalkyltabellerna finns tillgängliga på projektets webbsidor: http://www.environment.fi/syke > Research > Research projects and results > Life cycle approach to sustainability of waste management – a case study on newspaper (LCA-WASTE) > LCA-WASTE-menettely.</p>		
Nyckelord	avfall, avfallshantering, livscykel, livslängd, livscykelanalys, LCA, miljöeffekter, SLCC, tidningspapper, kostnader		
Publikationsserie och nummer	Miljön i Finland 750		
Publikationens tema	Miljövård		
Projektets namn och nummer	LCA-WASTE-projektet		
Finansär/ uppdragsgivare	Teknologiska utvecklingscentralen Tekes		
Organisationer i projektgruppen	Finlands miljöcentral (SYKE), Helsingfors Universitet		
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-1952-7	ISBN 952-11-1953-5 (PDF)
	Sidantal 108	Språk Finska	
	Offentlighet Offentlig	Pris 21 €	
Beställningar/ distribution	Edita Publishing Ab, PB 800, FIN-00043 Edita, Finland, växel 020 450 00 Postförsäljningen: Telefon +358 20 450 05, telefax +358 20 450 2380 Internet: www.edita.fi/netmarket		
Förläggare	Finlands miljöcentral, PB 140, 00251 Helsingfors, Finland		
Tryckeri/ tryckningsort och -år	Vammalan Kirjapaino Ab, Vammala 2005		

Documentation page

Publisher	Finnish Environment Institute (SYKE)	Date March 2005
Author(s)	Tuuli Myllymaa, Helena Dahlbo, Markku Ollikainen, Sanna Peltola and Matti Melanen	
Title of publication	A method for implementing life cycle surveys of waste management alternatives' environmental and cost effects	
Parts of publication/ other project publications	This publication is also available in the Internet www.ymparisto.fi/julkaisut	
Abstract	<p>Consumption and the amount of wastes are constantly increasing and therefore the waste management solutions have an increasing impact on the ecology and costs of the life cycle of a product. In an optimal situation the environmental impacts of a waste management solution are as few as possible and this is achieved with as low costs as possible. Searching and comparing the most appropriate waste management solutions demands systematic and case-specific studies.</p> <p>The Finnish Environment Institute (SYKE) and the University of Helsinki carried out in 2002 - 2004 a joint project called "Life cycle approach to sustainability of waste management - a case study on newspaper (LCA-WASTE)", financed by the National Technology Agency of Finland (Tekes). In the project, the ecology and costs of different waste management alternatives for newspaper were studied. A commonly applicable, waste fraction specific method for choosing waste management solution was created on the basis of the results.</p> <p>The LCA-WASTE method was constructed from experiences influencing the choice and ranking of waste management alternatives in environmental and cost perspectives. The method describes phase by phase the proceeding of a life cycle assessment (LCA) based process for comparing different waste management alternatives and brings in ways to combine ecological and economical results into final conclusions. A collection of Excel calculation sheets was created as a functional tool of the method. These calculation sheets can be used for dimensioning the planned treatment processes for a waste fraction to give the basis for the environmental and economic data collection. Moreover, with the calculation sheets one can produce estimates on key figures for the waste management system operation and costs. The calculation sheets (in Finnish) are available on the project web sites: http://www.environment.fi/syke > Research > Research projects and results > Life cycle approach to sustainability of waste management - a case study on newspaper (LCA-WASTE) > LCA-WASTE-menettely.</p>	
Keywords	life cycle, LCA, environmental impact, newspaper, cost, SLCC, waste management	
Publication series and number	The Finnish Environment 750	
Theme of publication	Environmental protection	
Project name and number, if any	LCA-WASTE project	
Financier/ commissioner	National Technology Agency of Finland (Tekes)	
Project organization	Finnish Environment Institute (SYKE), University of Helsinki	
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-1952-7
	No. of pages 108	Language Finnish
	Restrictions Public	Price 21 €
For sale at/ distributor	Edita Publishing Ltd., P.O.Box 800, 00043 Edita Finland, Phone +358 20 450 00 Mail orders: Phone +358 20 450 05, telefax +358 20 450 2380 Internet: www.edita.fi/netmarket	
Financier of publication	Finnish Environment Institute, P.O.Box 140, FIN-00251 Helsinki, Finland	
Printing place and year	Vammalan Kirjapaino Ltd, Vammala 2005	



YMPÄRISTÖN- SUOJELU

Menettely jätehuoltovaihtoehtojen ympäristö- ja kustannusvaikutusten elinkaaritarkasteluun

Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) ja Helsingin yliopiston yhteistyöhankkeessa "Elinkaarinäkökulma jätehuollon kestävyys – tapaustarkasteluna sanomalehti (LCA-WASTE)" tutkittiin sanomalehtipaperin jätehuoltovaihtoehtojen elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia ja kustannuksia.

Tutkimusten tulosten perusteella laadittiin jätehuoltovaihtoehtojen vertailuun ja valintaan yleisesti sovellettavissa oleva menettely. Tässä julkaisussa esitettävään LCA-WASTE-menettelyyn koottiin tutkimuksen kuluessa kertyneitä kokemuksia jätehuoltoratkaisujen valintaan ja paremmuuteen vaikuttavista tekijöistä sekä ympäristö- että kustannusnäkökulmasta. Julkaisussa kuvataan elinkaariarviointiin (LCA) perustuvan jätehuoltovaihtoehtojen vertailuprosessin etenemistä vaiheittain ja esitetään keinoja yhdistää saadut ekologiset ja kustannustiedot lopullisiksi johtopäätöksiksi. Julkaisun oheen käytännön työkaluksi laadittiin kokoelma Excel-laskentataulukoita, joita voidaan käyttää apuna jätehuoltojärjestelmää kuvaavien tunnuslukujen laskennassa sekä arvioitaessa käsittelyprosessien kokoluokkaa ja kustannuksia.

Julkaisu on saatavissa myös Internetissä:
<http://www.ymparisto.fi/julkaisut>

LCA-WASTE-menettelyn laskentataulukot ovat saatavissa hankkeen www-sivuilla:
<http://www.environment.fi/syke> > Research > Research projects and results > Life cycle approach to sustainability of waste management - a case study on newspaper (LCA-WASTE) > LCA-WASTE-menettely

ISBN 952-11-1952-7
ISBN 952-11-1953-5 (PDF)
ISSN 1238-7312

Edita Publishing Oy
PL 800, 00043 EDITA, vaihde 020 450 00
Asiakaspalvelu:
puhelin 020 450 05, faksi 020 450 2380
Edita-kirjakauppa Helsingissä:
Annankatu 44, puhelin 020 450 2566
www.edita.fi

